

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FORMAÇÃO CIENTÍFICA,  
EDUCACIONAL E TECNOLÓGICA**

**MARCUS VINICIUS PERES**

**ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA BASEADO EM ATIVIDADES DE  
LABORATÓRIO MEDIADAS PELA UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE DE  
VIDEOANÁLISE E MODELAGEM.**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2016**

**MARCUS VINICIUS PERES**

**ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA BASEADO EM  
ATIVIDADES DE LABORATÓRIO MEDIADAS PELA UTILIZAÇÃO DE UM  
SOFTWARE DE VIDEOANÁLISE E MODELAGEM.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de “Mestre em Ensino de Ciências” – Linha de Pesquisa: Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Arandi Ginane Bezerra Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Lenz

**CURITIBA**

**2016**

Esta Dissertação e o seu respectivo Produto Educacional estão licenciados sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.



#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

P437e  
2016 Peres, Marcus Vinicius  
Ensino de física moderna e contemporânea baseado em atividades de laboratório mediadas pela utilização de um software de videoanálise e modelagem / Marcus Vinicius Peres.-- 2016.  
98 f. : il. ; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica, Curitiba, 2016.  
Bibliografia: p. 88-95.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Recursos eletrônicos de informação. 3. Tecnologia educacional. 4. Educação aberta. 5. Ciência – Estudo e ensino – Dissertações. I. Bezerra Junior, Arandí Ginane, orient. II. Lenz, Jorge Alberto, co-orient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica. IV. Título.

---

CDD: Ed. 22 – 507.2

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

**FOLHA DE APROVAÇÃO**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 08/2016**

**ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA BASEADO EM ATIVIDADES DE  
LABORATÓRIO MEDIADAS PELA UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE DE  
VIDEOANÁLISE E MODELAGEM**

por

**Marcus Vinicius Peres**

Esta dissertação foi apresentada às 14h00 do dia 16 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ensino de Ciências**, com área de concentração em *Ciência, Tecnologia e Ambiente Educacional* e linha de pesquisa *Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Ciências* do Mestrado Profissional do **Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Arandi Ginane Bezerra Jr

(UTFPR – orientador)

Prof. Dr. Charlie Antoni Miquelin

(UTFPR)

Prof. Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho

(UTFPR)

Prof. Dr. Dinis Gomes Traghetta

(Universidade Positivo)

## AGRADECIMENTOS

Não poderia iniciar estes agradecimentos sem mencionar minha família e amigos próximos que contribuíram com todo o processo do trabalho e sempre estiveram ao meu lado apoiando e incentivando.

Agradeço aos estudantes, professores e instituições envolvidas na pesquisa. Sem estes, o presente trabalho nunca seria validado de maneira adequada.

Aos meus colegas do PPGFCET com os quais pude trocar ideias e amadurecer o projeto.

Ao Wellington Ferrante por ter contribuído com as gravações e medições com o *Tracker*, meu muito obrigado.

E por fim, aos professores Arandi Ginane Bezerra Jr e Jorge Alberto Lenz que me ensinaram Física, experimentação, videoanálise, mas nunca deixaram de lado a honra, sensatez e fidelidade. Sem estes a dissertação não seria desenvolvida. Espero que um dia, eu seja tão relevante pra alguém como eles são para mim.

## RESUMO

PERES, Marcus Vinicius. **Ensino de Física Moderna e Contemporânea baseado em atividades de laboratório mediadas pela utilização de um software de videoanálise e modelagem**. 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Este trabalho visa a utilizar a videoanálise para dar suporte a experimentos de Física Moderna, com a intenção de torná-los disponíveis à comunidade, por meio de um Recurso Educacional Aberto (REA). A Física Moderna e Contemporânea (FMC) está cada vez mais presente nas discussões referentes ao ensino de física, assim como nas tecnologias que nos rodeiam. Professores e estudantes, em geral, têm acesso a instrumentos que possibilitam interações entre os conteúdos vistos em sala de aula e sua contextualização ou utilização no dia-a-dia. Nesse contexto, destacam-se os computadores e *softwares* para análise e tratamento de dados, que trazem possibilidades de incrementar o interesse pelas aulas. O programa *Tracker* dá suporte à realização de experimentos de física através da gravação de vídeos. Assim, é possível conceber atividades experimentais, realizar medidas e obter dados e gráficos por meio do *software*, o que possibilita trabalhos que unem a física moderna aos instrumentos tecnológicos, em sala de aula, permitindo que esses dois eixos de pesquisa que estão em evidência cooperem para o processo de ensino-aprendizagem. Os REA desenvolvidos aproximam nosso trabalho de movimentos internacionais que visam a proporcionar o acesso, uso e reuso a materiais de ensino de qualidade, licenciados de maneira aberta. Para isso, foram produzidos vídeos associados a três experimentos fundamentais de Física Moderna: experimento da gota de óleo de Millikan; experimento de carga/massa do elétron; e experimento de difração de elétrons. Os vídeos foram analisados com o *Tracker* e postos na internet, à disposição da comunidade, sob uma licença *Creative Commons*. Foram elaborados tutoriais detalhados, para nortear o uso dos materiais em sala de aula, além de uma parte destinada a exploração pelos próprios estudantes, na forma de um “faça você mesmo”. Em complemento ao desenvolvimento do produto, também foi realizada pesquisa de validação do material, caracterizada pela aplicação de questionários para professores e estudantes. A análise das respostas e dos dados obtidos ocorreu de maneira qualitativa, de acordo com referenciais da área de Ensino.

**Palavras-chave:** Física Moderna e Contemporânea. Ensino de Física. Recursos Educacionais Abertos. Tecnologias de Informação e Comunicação. Videoanálise. *Tracker*. experimento de Millikan. carga-massa do elétron. difração de elétrons.

## ABSTRACT

PERES, Marcus Vinicius. **Modern and contemporary physics teaching based on laboratory activities mediated by video-analysis-and-modelling software**. 2016. Master's Thesis – Graduation in Scientific, Educational and Technological Formation. Federal University of Technology, Paraná. Curitiba, 2016.

This work aims at the development of Open Educational Resources (OER) for the teaching of Modern Physics experiments, based on video-analysis. Modern Physics teaching strategies constitute an important theme amongst the physics education community, mainly due to the ubiquitous presence of Modern Physics in technologies that surround us. In fact, in their everyday life, teachers and students have wide access to technologies that allow them to establish connections between classroom contents and their applications. In this context, we highlight the use of computers and data analysis software, which bring about wide possibilities to overcome the monotony of science classes. *Tracker* is a software that constitutes an important video-analysis tool, which was developed for physics teaching based on video recording of experiments. It facilitates the design of laboratory and experimental activities, including data collection and graph preparation. Therefore, *Tracker* serves as a platform to integrate both Modern Physics teaching and technological tools in the classroom, bringing together two research pillars in Physics Education (Modern Physics and the use of Technology). The OER was developed in accordance to international trends in open source technologies, and it comprises videos related to three fundamental experiments in Modern Physics: Millikan's oil drop experiment; electron charge-to-mass ratio experiment; and electron diffraction experiment. The videos were analyzed with *Tracker* and posted in the Internet, under a Creative Commons license. Detailed tutorials were also developed in order to facilitate in-classroom use of the materials. In addition, validation of the OER was also performed through questionnaires responded by teachers and students who used the developed material.

**Keywords:** Modern and Contemporary Physics. Physics Teaching. Open Educational Resources. Information and Communication Technologies. Video-analysis. Tracker. Millikan experiment. electron charge-mass ratio experiment. electron diffraction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráficos comparativos entre a previsão teórica e o resultado experimental da radiação de cavidade. ....	20
Figura 2 - Imagem da tela inicial do <i>Tracker</i> , utilizando o vídeo do Experimento de Millikan. ....	33
Figura 3 - Exemplo de nomeação dos arquivos disponíveis para download. À esquerda, o vídeo sem tratamento de dados, à direita, o mesmo vídeo, já inserido no <i>Tracker</i> . ....	44
Figura 4 - Parte integrante do equipamento original do laboratório de Millikan. ....	47
Figura 5 - Experimento didático de Millikan. ....	49
Figura 6 - Imagem vista pela luneta do equipamento. ....	50
Figura 7 - Esquema do experimento da carga/massa de J. J. Thomson. ....	52
Figura 8 - Experimento didático da carga/massa. ....	52
Figura 9 - Feixe de elétrons sendo curvado pelo campo magnético gerado pelas bobinas. .	54
Figura 10 - Esquema do aparato utilizado por Davisson. ....	56
Figura 11 - Pico de 54 eV com um ângulo de $50^\circ$ entre o feixe incidido e o captado. ....	56
Figura 12 - Padrão de difração. ....	57
Figura 13 - Experimento didático da difração de elétrons: (a) Fonte de tensão; (b) Tubo de difração de elétrons com suporte; (c) Alimentação regulável de energia. ....	58
Figura 14 - Padrão da difração de elétrons, obtido no Laboratório de Física Moderna. ....	59
Figura 15 - Valor da carga elétrica do Grupo 1. ....	81
Figura 16 - Valor da carga elétrica do Grupo 2. ....	81
Figura 17 - Valor da carga elétrica do Grupo 3. ....	82
Figura 18 - Valor da carga elétrica do Grupo 4. ....	82
Figura 19 - Valor da carga elétrica do Grupo 5. ....	83



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento de trabalhos referentes a videoanálise (CBEF, RBEF, IENCI) no período de 2011 a 2015.....	61
Tabela 2 - Levantamento de artigos referentes ao ensino de FMC no período de 2009 a 2014. ....	63
Tabela 3 - Preferência dos estudantes, relativa aos tutoriais desenvolvidos.....	75

## LISTA DE SIGLAS

CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
CC	Creative Commons
DCE	Diretrizes Curriculares Estaduais
FMC	Física Moderna e Contemporânea
IENCI	Revista Investigações em Ensino de Ciências
IFSC/USP	Instituto de Física de São Carlos (USP)
IPS	Introductory Physical Science
OA	Objetos de Aprendizagem
OE	Objetos Educacionais
PBEF	Projeto Brasileiro de Ensino de Física
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PEF	Projeto de Ensino de Física
PSSC	Physical Science Study Committee
REA	Recursos Educacionais Abertos
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
UAB	Universidade Aberta do Brasil
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE ABREVIATURAS

avi	Formato de mídia Audio Video Interleave
mov	Formato de mídia para <i>Quick Time</i> - Apple Inc
trk	Extensão no formato do <i>Tracker</i>
wmv	Formato de mídia Windows Media Video

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. JUSTIFICATIVA.....	16
1.2. OBJETIVOS E PROBLEMA DA PESQUISA.....	19
2. ENSINO DE FÍSICA MODERNA.....	20
3. TECNOLOGIAS EM SALA DE AULA – TIC, OE e REA .....	27
3.1. <i>TRACKER</i> .....	32
4. METODOLOGIA.....	34
4.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	35
4.1.1. INFORMAÇÃO/MATERIAL DE CONSULTA .....	36
4.1.2. PRÁTICA EDUCACIONAL.....	41
4.2. CONFEÇÃO DO PRODUTO .....	43
4.4. APLICAÇÃO DA ATIVIDADE E DISPONIBILIZAÇÃO DO PRODUTO.....	45
5. MATERIAL DE REFERÊNCIA PARA A UTILIZAÇÃO DO PRODUTO .....	46
5.1. EXPERIMENTO DE MILLIKAN.....	47
5.2. EXPERIMENTO DA CARGA/MASSA .....	51
5.3. EXPERIMENTO DA DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS.....	55
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	60
6.1. VIDEOANÁLISE NOS PERIÓDICOS BRASILEIROS .....	61
6.2. ARTIGOS RELACIONADOS AO ENSINO DE FMC .....	63
6.3. APLICAÇÃO E ANÁLISE DE UM QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PROFESSORES .....	65
6.4. RESPOSTAS DOS ESTUDANTES SOBRE A PRÁTICA DO EXPERIMENTO DE MILLIKAN .....	72
6.5. RESULTADOS DA CARGA DO ELÉTRON .....	81
7. CONCLUSÕES .....	85
REFERÊNCIAS.....	88
ANEXO A .....	96
ANEXO B .....	97

## 1. INTRODUÇÃO

O ministério da Educação, através dos Parâmetros Curriculares Nacionais, destaca a ideia de que a Física é não somente uma disciplina, mas também uma ferramenta de conhecimento e interação com os fenômenos que nos cercam (PCN+, 2002). Ao mesmo tempo, torna-se impossível condensar toda a Física em apenas três anos de escola básica, fazendo com que alguns temas não sejam explorados de maneira tão completa quanto outros. Fato que ocorre, em especial, com a Física Moderna e Contemporânea (FMC), que tende a ser trabalhada somente no final do ensino médio. O tema FMC, em geral, não ganha destaque nos vestibulares, ainda que ocorra um significativo aumento na abordagem do assunto, que quatorze anos atrás dificilmente aparecia nos livros e trabalhos referentes ao ensino médio (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

Além disso, em contraste com a realidade do século 21, que permite que, rotineiramente, estudantes utilizem diversos aparelhos tecnológicos (CANATO Jr e MENEZES, 2012), ainda assim, é comum que não sejam estabelecidas relações com os conhecimentos vistos nas aulas de Física. Nessa situação, os telefones celulares, que possuem diversos elementos de FMC, surgem como possíveis ferramentas para potencializar atividades que integram conteúdos de Física a temas contemporâneos. Neste contexto, cabe destacar que uma das funções mais utilizadas é a criação de vídeos. Então, verifica-se que o que poderia ser problemático para os docentes acaba se tornando um aliado com potencial de utilização no processo de ensino-aprendizagem.

Portanto, a criação e utilização de objetos educacionais, na forma de vídeos (fazendo uso de celulares, por exemplo), constitui importante elemento que proporciona a aproximação entre as atividades desenvolvidas em um laboratório de Física Moderna e a sala de aula tradicional.

Por unir todas as questões abordadas até aqui, o presente trabalho surgiu da oportunidade de se utilizar o *software* de análise e modelagem *Tracker* (BROWN, 2014), desenvolvido na *Cabrillo College* e traduzido para o português por grupo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para analisar experimentos de FMC, especificamente: difração de elétrons, experimento da carga/massa e experimento de Millikan. Com isso, foi possível elaborar um produto que consiste em objetos educacionais (ANGOTTI, 2015) voltados para que alunos e professores interessados

possam visualizar experimentos reais de Física moderna (configurando vantagem em relação a *applets* e aplicativos) e ter contato com equipamentos comumente caros e de difícil acesso para escolas de nível médio, além de permitir a interação com o experimento por intermédio do *software* de análise e modelagem, em processo conhecido por videoanálise (BEZERRA-JR *et al*, 2012).

Obviamente que essa abordagem não satisfaz completamente a condição de tatear e manipular o material, fundamento importante para a experimentação, mas compreende uma série de parâmetros presentes na prática experimental. Por outro lado, os objetos educacionais baseados em videoanálise permitem uma série de inovações no ensino de Física que servem de base e inspiração para a superação de algumas dificuldades associadas a abordagens mais limitadas.

As atividades experimentais são fundamentais para a Física, sendo esta a ciência natural que, por excelência, muito se utiliza de laboratórios para seu desenvolvimento (PINHO-ALVES, 2000). Obviamente que tanto a Química quanto a Biologia também necessitam de recursos de laboratório, com um agravante: o material para o desenvolvimento, principalmente o didático, destas ciências é, na maioria das vezes, descartável. Assim, a verba para custear estes ambientes se faz necessária de tempos em tempos enquanto que os laboratórios de física precisam, muitas vezes, apenas de manutenção.

Ocorre que o acesso aos laboratórios de Física é dificultado à maioria dos estudantes – e mesmo a professores – por diversos elementos. Por isso, o produto desta dissertação proporciona uma execução próxima daquelas desenvolvidas no laboratório e também permite que se trabalhe ancorado em uma prática experimental tradicional: “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” (SERÉ; COELHO; NUNES, 2003). A partir desta base, abordagens críticas e inovadoras podem ser realizadas e ancoradas.

Outro aspecto significativo, segundo Oliveira (2014), é que a experimentação proporciona a reflexão dos estudantes fazendo com que “atingam um nível de entendimento que permita reestruturar seus modelos explicativos dos fenômenos”. Logo, no processo, sua concepção de mundo pode adquirir aspectos e incorporar elementos científicos.

Essa proposta contempla também atividades interdisciplinares visto que diversas escolas contam com aulas de informática (MIRANDA JR, 2005), tornando-se um instrumento que se adapta às mais diversas intenções de uso.

É importante citar também a possível contribuição com relação à sofisticação da linguagem científica, já que a utilização do *software* traz consigo a necessidade de um domínio maior sobre termos científicos mais complexos, bem como sua manipulação, para o tratamento e a análise de dados extraídos dos experimentos realizados. Esse ponto está ligado ao conceito de alfabetização científica (SASSERON; CARVALHO, 2011), já que um contato em nível mais elaborado com os símbolos e termos científicos se faz presente na utilização do programa computacional.

Embora a gama de possibilidades seja variada, o trabalho teve como foco a confecção de um objeto educacional para o uso de qualquer pessoa que venha a ter interesse pela FMC e seus experimentos e que não tenha acesso a um laboratório de FMC. Sendo assim, o produto compreende: a gravação em vídeo de três experimentos de FMC; o tratamento dos dados experimentais através do programa *Tracker*; a elaboração de um roteiro circunstanciado, tendo em vista seu uso em atividades em sala de aula; e também algumas reflexões sobre seu uso como auxiliar à alfabetização científica, no que diz respeito ao contato com símbolos (equações, gráficos e tratamentos estatísticos) e ao desenvolvimento de atividades investigativas, que permitem aproximações com atividades típicas do fazer científico: observar, medir, testar e verificar modelos matemáticos (ZÔMPERO; LABURU, 2011).

## 1.1. JUSTIFICATIVA

Durante o curso de Licenciatura em Física, fui estagiário no Laboratório de Física Moderna da UTFPR durante um ano. Aquele espaço é utilizado para o desenvolvimento das disciplinas de Projetos de Ensino em Física Moderna e Projetos de Ensino em Ótica, constituintes do currículo do curso de Licenciatura. Basicamente, o objetivo dessas matérias é promover o contato dos estudantes do último ano do curso com experimentos de Física moderna e com atividades voltadas ao seu ensino.

Como o custo do laboratório é bem elevado, no contexto da realidade escolar brasileira, basta saber que a maioria dos equipamentos do laboratório foi adquirida em maio de 2011, com recursos do projeto REUNI. Estes custos, atualizados para o mês de maio de 2016 (IGP-DI correspondente a 38,38%), correspondem a aproximadamente R\$ 800.000,00. Dificilmente, na mencionada realidade brasileira, um estudante de ensino médio teria a oportunidade de trabalhar com esses equipamentos, principalmente nas escolas públicas. É neste contexto que o uso de objetos educacionais se torna importante, ao servir de ferramenta para que as práticas desenvolvidas no laboratório estejam acessíveis para qualquer pessoa.

Outro fator a se destacar é que a tecnologia, cada vez mais presente, possibilita que o alcance do material seja bem maior do que alguns anos atrás. Por isso, todos os materiais desenvolvidos estão disponibilizados na Internet como Recursos Educacionais Abertos (REA), termo criado pela UNESCO para incentivar a livre disseminação de informação ligada à educação. Os trabalhos serão licenciados pela iniciativa *Creative Commons* (CC) que visa unir o direito de criação com a liberdade de adaptação. Assim, qualquer pessoa pode utilizar, editar, personalizar o trabalho como bem entender, desde que referenciados os autores originais.

Portanto, o cerne do problema da pesquisa gira em torno do desenvolvimento de uma ferramenta que conjugue elementos referentes à experimentação e Tecnologias de Informação e Comunicação para a produção de REA. Isto surge como um fato novo, visto que os artigos relacionados à videoanálise raramente fazem menção à experimentação e, quando o fazem, apenas discutem a substituição de todo o processo experimental pela videoanálise. Além disso, o trabalho será em torno de um assunto cada vez mais presente no cotidiano das



pessoas, mas que ainda encontra-se muito distante da sala de aula: Física Moderna e Contemporânea.

Perante isso, e por considerar que grande parte dos alunos do ensino médio estudam apenas tópicos de física clássica, a reformulação curricular torna-se cada vez mais necessária e urgente, pois não é admissível que os estudantes não tenham contato com o conhecimento construído pela ciência no século XX. Esse contato, além de possibilitar a compreensão de fenômenos ligados a situações que ocorrem na vida dos estudantes, contribui para atrair jovens a seguir a carreira científica, estudando o que de mais recente acontece no ramo da ciência. (BORGES, 2005).

Nos últimos anos, é crescente o debate sobre a inserção da física moderna no Ensino Médio. Vários estudos foram produzidos [...] que vêm reforçando a necessidade da inserção imediata da física moderna e contemporânea no Ensino Médio. (DOMINGUINI, 2012).

De fato, uma “preferência” da escola com relação à física clássica acaba se alastrando por diferentes abordagens e propostas. Se, por exemplo, um *software* for desenvolvido para tratamento de dados ele será utilizado para analisar casos clássicos, com a mecânica sendo a maior beneficiada. Com o programa de análise *Tracker* não é diferente. O próprio programa vem com uma série de experimentos sobre a Física Clássica, principalmente mecânica, mas pouquíssimo material referente à física moderna.

Com o desenvolvimento deste projeto, podem-se adicionar os materiais produzidos à biblioteca virtual do *Tracker*, garantindo a possibilidade do material ser utilizado e melhorado, inclusive, sendo disponibilizado em diversos países.

A seguir, encontram-se informações referentes à abordagem do *Tracker*, em três revistas brasileiras de ensino de física e ciências: “Caderno Brasileiro de Ensino de Física” que possui três artigos; na “Revista Brasileira de Ensino de Física”, na qual foi encontrado um trabalho que o utiliza; e na “Investigações em Ensino de Ciências” que não conta com trabalhos relacionados à videoanálise em suas edições.

No “Caderno Brasileiro de Ensino de Física” existem apenas três trabalhos relevantes para essa pesquisa em mais de cem publicados nos últimos cinco anos. Quando voltamos à análise para a “Revista Brasileira de Ensino de Física” os resultados são ainda mais desanimadores. Em um universo de aproximadamente duzentos artigos, existe um trabalho em que o *software* citado aparece. Já na revista “Investigações em Ensino de Ciências”, não existe artigo algum referente ao tema.

Essa pesquisa foi feita procurando pelas palavras “*Tracker*”, “videoanálise”, “videoanalise” e “*video analysis*” nos campos de busca dos sítios das três revistas.

Porém, ressalte-se que o presente trabalho se torna ainda mais relevante quando a Física Moderna é o foco de análise. Faz-se um discurso de inovação quanto ao estudo da física no ensino médio (BORGES, 2005), mas, quando surgem novas ferramentas, recaímos nas aplicações da Física Clássica. Obviamente esse é o caminho natural pela facilidade e pela relevância no ensino médio, visto que o norte da maioria das escolas é o conteúdo cobrado em vestibulares.

Os experimentos de Física Moderna se encontram muito distantes das instituições de ensino, principalmente das escolas básicas. Como o *Tracker* trabalha com vídeos, os professores e alunos terão uma imagem mais realista de como são os equipamentos, permitindo assim certo contato com aparatos e evitando a utilização de imagens meramente esquemáticas presentes em livros e apostilas que, muitas vezes, simplificam demais ou deturpam a realidade (CARMO; MEDEIROS; de MEDEIROS, 2000).

Além disso, o avanço tecnológico dos últimos anos permite a utilização de programas como o *Tracker* como um objeto de aprendizagem importante para o desenvolvimento de diversos conteúdos.

[...] o acelerado desenvolvimento da parafernália microeletrônica - arrastando no seu bojo computação gráfica, internet, TV a cabo etc. - resultou na brutal intensificação da galáxia de imagens constitutiva de nosso dia-a-dia. Os professores não ficam imunes a isso, fazem parte dessa cultura. Livros didáticos e softwares educacionais, por exemplo, têm forte apelo visual. Quantidade e qualidade gráfica de imagens são aspectos levados em conta pelos professores na seleção de recursos didáticos. (SILVA *et al.*, 2006).

É importante ressaltar os trabalhos já realizados juntando o *Tracker* com a Física Clássica (HEIDMANN *et al.*, 2012; BEZERRA-JR *et al.*, 2012). Por isso torna-se fundamental amplificar ideias já exploradas para outros temas como a física moderna e contemporânea. Destaca-se, ainda, que parte das ideias desenvolvidas neste trabalho resultou em publicação em periódico relevante na área de Ensino. Trata-se do uso da videoanálise em FMC para o caso da abordagem do experimento de Millikan (BEZERRA-JR *et al.*, 2015).

## 1.2. OBJETIVOS E PROBLEMA DA PESQUISA

Os laboratórios de FMC permanecem distantes das instituições de ensino, tanto no nível básico (fundamental e médio) quanto superior e, por isso, poucos estudantes e professores têm contato com os experimentos. Logo o acesso a práticas fundamentais para a compreensão da FMC não acontece, resultando em um problema de pesquisa que deve ser atacado.

Por isso a utilização do *Tracker* no tratamento dos experimentos de carga/massa, difração de elétrons e experimento de Millikan, caracteriza-se como objetivo geral deste trabalho, bem como produzir e disponibilizar materiais colaborativos em formato de vídeos e tutoriais sobre os experimentos citados.

Os objetivos específicos englobam:

- 1º Realizar uma pesquisa no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e Revista Investigações em Ensino de Ciências (IENCI) para verificar a situação do ensino de FMC no Brasil;
- 2º Construir e analisar um questionário preliminar para extrair as percepções dos professores de Física de Curitiba (redes públicas e privadas), sobre o ensino de FMC;
- 3º Produzir três vídeos sobre: difração de elétrons, experimento de *Millikan*, experimento da carga/massa e tratá-los com o *software Tracker*;
- 4º Aplicar o material produzido em uma aula de FMC e utilizar um questionário para colher impressões e opiniões dos estudantes.

## 2. ENSINO DE FÍSICA MODERNA

Até o final do século XIX a Física estava em uma situação de estabilidade, mas não explicava com sucesso alguns problemas, em especial a radiação do corpo negro. O resultado da equação de Rayleigh-Jeans não coincidia com os resultados experimentais para grandes frequências (Figura 1). Esse fato ficou conhecido como “catástrofe do ultravioleta” (EISBERG, 2013).

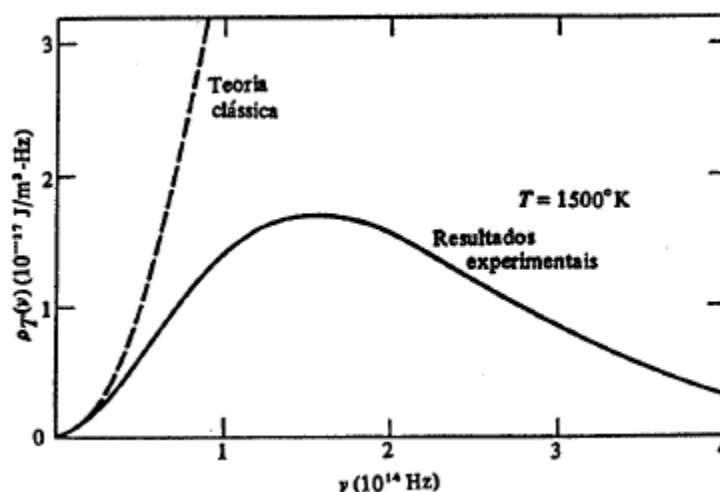


Figura 1 - Gráficos comparativos entre a previsão teórica e o resultado experimental da radiação de cavidade.

Fonte: Eisberg (2013)

Para resolver esse problema, Planck tratou a energia das ondas estacionárias como uma grandeza discreta ao invés de contínua (EISBERG, 2013). Essa situação evidenciou os limites da Física Clássica, que não resolvia adequadamente determinados problemas.

Assim, no começo do século XX iniciam-se os estudos referentes à relatividade e mecânica quântica cujas aplicações tornaram-se fundamentais para a humanidade (HAWKING, 2001; TRAGHETTA, 2013; CORDEIRO e PEDUZZI, 2013).

Fazendo um recorte histórico, vale mencionar que, em 1957, a União Soviética, cujo principal adversário era os EUA, lança o Sputnik e sai na frente pela corrida espacial. Isso gerou uma série de medidas por parte das duas potências: o envio do cosmonauta Yuri Gagárin para o espaço e, por parte dos americanos, o pouso da Apollo 11 na Lua. Esse avanço tecnológico trouxe consigo uma infinidade de medidas políticas que impactaram a sociedade americana e mundial, inclusive na educação.

Assim, no final da década de 50 e início de 60 foram lançados programas educacionais voltados ao ensino de ciências e desenvolvimento de cientistas: *Physical Science Study Committee (PSSC)*, *Introductory Physical Science (IPS)*, *Nuffield*, *Projeto Harvard*.

Um dos primeiros projetos com a preocupação de introduzir tópicos modernos no ensino médio foi o projeto Harvard, dirigido ao ensino médio norte-americano (Holton, 1970). Em suas unidades 5 e 6, há tópicos de física atômica, nuclear e de partículas. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

Isso proporcionou uma série de materiais que apresentavam conceitos e incentivavam o estudo das ciências. Neles já era possível encontrar diversas atividades e citações relacionadas à FMC, especialmente no PSSC. Seguem, porque interessantes no contexto do presente trabalho, alguns links de vídeos que mostram atividades de FMC ligadas a esses programas de ensino:

- <https://www.youtube.com/watch?v=QmWosUB6NTg> (Carga/massa);
- <https://www.youtube.com/watch?v=CYLalgh83C0> (Franck-Hertz);
- <https://www.youtube.com/watch?v=pvIEa627gpA> (Experimento de Millikan);
- <https://www.youtube.com/watch?v=AZ2TTMLBWw8> (Dilatação do tempo).

Note-se que esses programas foram traduzidos para diversos idiomas, entre eles o português brasileiro. A propósito, em 1970 aconteceu o 1º Simpósio Nacional de Ensino de Física na cidade de São Paulo e na ata do evento fazem-se exigências com relação à criação de programas de ensino de ciências genuinamente brasileiros, que se adaptem à realidade do país e não sejam apenas uma tradução de projetos de outros países. Segundo as moções do evento (SNEF, 1970):

[...]3ª – Que seja instituída uma comissão da Sociedade Brasileira de Física (Comissão de Assuntos de Ensino) – coordenada pela diretoria (pelo Secretário de Assuntos de Ensino) para estudar objetivos, programas, currículos e métodos de ensino, e, com base nos trabalhos do Simpósio, acompanhar a execução das recomendações das moções dirigidas às autoridades.

4ª – Que a Sociedade Brasileira de Física seja sempre consultada quando da elaboração de novos programas e currículos de física em todos os níveis.

5ª – Que sejam concedidas verbas para implantação de projetos brasileiros de elaboração de textos e material de ensino de física.

Surgem então o Projeto de Ensino de Física (PEF), o Projeto Brasileiro de Ensino de Física (PBEF), mais tarde o Grupo de Reestruturação do Ensino de Física (GREF) e outros. Sobre o PEF, Garcia, Garcia e Higa (2007) destacam que este

programa tinha como objetivos alcançar estudantes que não se aprofundariam em Física em suas carreiras profissionais e também abordar conceitos que permitissem a resolução de problemas e apresentar tópicos de Física Moderna.

O ensino de FMC é incentivado por diversos documentos oficiais brasileiros, tais como PCN+ (BRASIL, 2002) e Diretrizes Curriculares da Educação Básica (PARANÁ, 2008). Ao pesquisar em periódicos como a RBEF e o CBEF haverá material de pesquisa acadêmica sobre esse assunto, quer seja relatos de experiência (NETO, FREIRE JR e SILVA, 2009; SILVA e ASSIS, 2012; CASTRILLÓN, FREIRE JR e RODRIGUEZ, 2014) ou materiais de consulta para professores que atuam no ensino médio e graduação (CORDEIRO e PEDUZZI, 2010; COSTA e PAVÃO, 2012; BETZ, 2014) e, ainda, trabalhos voltados para o ensino de FMC na graduação (SODRÉ JR, 2010; POZO, 2011; MELO, PIMENTEL e RAMIREZ, 2011; BIENZOBAS e SALINAS, 2013), dentre outras iniciativas.

Portanto, a Física Moderna e Contemporânea tem sua importância destacada em muitos trabalhos e documentos como uma matéria que possibilita a interação com diversas tecnologias e também que se relaciona com outras frentes de conhecimento humano. Essas ideias são corroboradas por documentos oficiais que evidenciam a importância da FMC para a sociedade.

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo de matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico. (BRASIL, 2002).

A Física moderna também se torna importante ao alcançar diversas frentes de conhecimento como: a radiação aplicada à medicina, a espectroscopia na astronomia e a mecânica quântica para a computação (NICOLAU; BROCKINGTON; SASSERON, 2011).

Mesmo assim, a Física do ensino médio permanece privilegiando os conceitos da teoria clássica, ainda que o avanço tecnológico e a proximidade desses equipamentos com os estudantes cresçam a cada dia (OLIVEIRA, VIANNA E FERREIRA, 2007). Segundo Monteiro *et al* (2009) os professores de ensino médio

não incluem em seus planejamentos e planos de aula a Física moderna, ainda que reforcem a importância desse conteúdo para a escola e sociedade. Isso acontece por inúmeros motivos, dentre os quais se destacam: a formação do professor, as exigências das escolas, os modelos avaliativos (vestibulares e ENEM) etc.

Em 2000, Ostermann e Moreira destacaram que a importância da abordagem da Física moderna era uma necessidade e que o tema precisava amadurecer para futuras aplicações nas salas de aula do ensino básico. Chamaram atenção para a questão de que não só trabalhos e materiais precisavam ser desenvolvidos, mas também a formação dos professores acerca do assunto necessitava cuidados.

Quanto a isso, é importante que os estudantes de licenciatura recebam uma carga de Física moderna e contemporânea em sua formação, de maneira que estejam aptos a lecionar estes conteúdos ao longo de suas carreiras.

A busca por alternativas para que esse ensino seja efetivado nas escolas é bastante necessária e a realização de pesquisas em sala de aula nos parece o caminho para obtenção destas alternativas. Complementarmente a isso, é urgente a necessidade por uma formação inicial do professor, para que ele, quando estiver em sala de aula, sintam-se capazes de ensinar esses tópicos, pois de outra forma, a abordagem da Física Quântica no Ensino Médio não evoluirá do *status* de pertinência para o status de realidade em grande parte dos cursos de EM. Não podemos nos esquecer de que o principal elo da corrente da inserção de tópicos de FMC no EM é o professor: apenas ele pode, de fato, efetivar movimentos nesse sentido. (SILVA; ALMEIDA, 2011).

Já no ano de 2009, Pereira e Ostermann ressaltaram o aumento significativo da produção de trabalhos sobre FMC, mesmo que a característica principal encontrada nos trabalhos fosse de “bibliografia de consulta para professores”. Também ressaltaram a importância de que se apliquem esses materiais desenvolvidos para que haja maior impacto em sala de aula.

Uma informação que chama atenção é que os trabalhos de ensino de Física moderna relacionados a experimentos (tópico fundamental para o estudo do desenvolvimento da FMC) se restringem, muitas vezes, ao tema “efeito fotoelétrico”. Isso pode acontecer por diversos motivos, dentre os quais se destacam a facilidade na sua exemplificação e abordagem em sala de aula.

Essa informação pode ser obtida através das análises dos trabalhos de Ostermann e Moreira (2000) e de Ostermann e Pereira (2009) que pesquisam os artigos científicos relacionados ao ensino de FMC. No trabalho de 2000, dentre 82 trabalhos, apenas 9 fazem referência aos experimentos tradicionais da Física

moderna e todos têm no efeito fotoelétrico seu mote. Informação parecida foi extraída do artigo de 2009: dos 102 artigos 9 são de experimentos de FMC e 8 trazem como pesquisa o efeito fotoelétrico. Essa questão já foi observada cerca de 25 anos atrás, em Jones *apud* Ostermann e Moreira (2000) cujo trabalho critica o protagonismo do efeito fotoelétrico.

Salienta-se que vários outros experimentos são tão importantes quanto o Efeito fotoelétrico para o desenvolvimento da FMC, por exemplo: Experimento de Millikan, Michelson-Morley, Experimento de Franck-Hertz, Difração de Elétrons.

Uma pesquisa bibliográfica posterior a 2009 foi realizada e se encontra nos outros capítulos desse trabalho. O que se nota é uma mudança nos rumos das pesquisas referentes a experimentos tradicionais da Física moderna. Nas três revistas analisadas (Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)) encontram-se cinco trabalhos cujo tema principal é algum experimento de FMC, quatro estão na RBEF e um no CBEF.

Dentre os trabalhos mencionados anteriormente, dois estão relacionados ao efeito Compton e são do mesmo autor, fazendo parte da RBEF com os títulos: “A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica” e “O modelo do grande elétron: o background clássico do efeito Compton”. Os demais trabalhos têm como protagonistas a dualidade onda partícula (representada pelo efeito fotoelétrico e difração de elétrons) e o experimento de Millikan, presentes na edição de 2014 da RBEF números 4 e 1, respectivamente. Há ainda um trabalho sobre o efeito fotoelétrico de 2012, presente no número 2 do CBEF.

Uma rápida análise mostra que, dos cinco artigos, dois contam com o efeito fotoelétrico como foco de análise, sem contar os artigos em que este experimento é citado como “pedra angular” do ensino de Física.

No que diz respeito à opinião dos professores sobre a inserção de FMC no ensino médio Oliveira, Vianna e Ferreira (2007) destacam que, como vestibulares não cobram este assunto rotineiramente em suas provas, o tema não se torna relevante no ensino médio.

Os resultados de uma entrevista realizada por Borges (2005), por sua vez, mostra que parte dos professores do Rio Grande do Sul não percebiam grandes



diferenças metodológicas no ensino de Física do século XXI, em comparação com o século XX, mesmo que a linguagem e as aplicações sejam mais amplas.

Quanto a isso o ensino de Física moderna e contemporânea tem especificidades, principalmente no que diz respeito à construção matemática (NICOLAU; BROCKINGTON; SASSERON, 2011), que trazem dificuldades tanto para os estudantes quanto para os professores, esses contratempos estão além das dificuldades naturais da Física Clássica (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005).

Uma das dificuldades mais alarmantes é a necessidade de, muitas vezes, ser necessário a desconstrução de ideias tradicionais que comprometem a compreensão de conceitos da Física Moderna. As situações em que a Física Clássica não pode ser aplicada corretamente (como a catástrofe do ultravioleta) ilustram esta afirmação.

Uma tarefa pouco trivial é justamente encontrar formas de discutir com os alunos, de maneira eficaz, os elementos centrais das ideias de Einstein. E isto ocorre porque a origem revolucionária característica da Teoria da Relatividade pode ser uma fonte de dificuldade no processo de aprendizagem desta teoria, pois a estrutura cognitiva do estudante deverá ser alterada a fim de compreender os conceitos desta nova física. Romper com a visão arraigada dos alunos, por exemplo, da existência de um espaço absoluto, é um processo longo, custoso e requer uma enorme reflexão do professor. (NICOLAU; BROCKINGTON; SASSERON, 2011).

Condensando todos os motivos citados sobre a importância do ensino de Física moderna no ensino médio e se atendo às referências utilizadas, existe uma série de motivos para que isso ocorra: proximidade com diferentes áreas do conhecimento humano, construção científica do século XX, a aplicação dos conceitos, proximidade com a tecnologia, dentre outros.

No que diz respeito à experimentação em Física moderna, este tipo de trabalho é extremamente escasso (conclusão extraída de uma pesquisa bibliográfica que também será apresentada nesta dissertação). Isso está associado a diversas questões: a pouca aderência da Física moderna por parte do ensino médio, falta de formação de professores e, principalmente, a impossibilidade de todas as escolas de nível básico adquirirem estes equipamentos. Conforme mencionado, o Laboratório de Física Moderna da Universidade Tecnológica Federal do Paraná custou aproximadamente R\$ 800.000,00, verba em geral indisponível para escolas públicas e particulares do Brasil.

Este projeto está em conformidade com estas preocupações, visto que o produto terá como enfoque a gravação e tratamento de um programa computacional

para experimentos de Física Moderna e, como estará disponível na internet, poderá contribuir com os estudantes de licenciaturas que necessitem de material de consulta. Assim o trabalho pode contribuir, não só com professores e estudantes do ensino médio, mas também com professores em formação.

### 3. TECNOLOGIAS EM SALA DE AULA – TIC, OE e REA

Para a fundamentação deste trabalho, o conceito de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) é importante, pois, com a popularização da Internet, celulares e mídias sociais a rotina escolar sofreu uma grande transformação. Segundo Sánchez e Espinosa (2012), é óbvio que a existência das TIC proporcionou uma versatilidade às práticas educacionais atingindo todas as fases escolares, desde o ensino fundamental até o superior.

O uso de recursos audiovisuais não chega a ser “novo”. Segundo De Pablo Pons *apud* Nespoli *et al* (2009) na década de 40 estes materiais eram utilizados para a formação de militares. No Brasil, essa inclusão de TIC tem início na década de 70, e um dos principais programas relacionados a essa iniciativa é o Núcleo de Tecnologias Educacionais para a Saúde (NUTES), situado no Rio de Janeiro.

Obviamente que o aumento no uso de dispositivos eletrônicos e na produção de conteúdos na última década influencia a produção educacional. Além disso, há uma gama variada de materiais disponíveis, “A internet caracteriza-se pela multiplicidade de materiais e informações disponíveis. Além disso, o ritmo exponencial do seu crescimento não dá mostras de que irá se arrefecer.” (SCHNEIDER; CAETANO; RIBEIRO, 2012). Dentre os recursos bastante utilizados estão os *applets* e simulações ligados a sites como PHET (projeto da Universidade do Colorado que visa a produção de simulações em diversas áreas do conhecimento) e KHAN ACADEMY. Sobre estes recursos Law *et al* (2015) afirmam: “Infelizmente, enquanto as salas de aula tornam-se mais ativas, a aprendizagem on-line normalmente se baseia em vídeos de aulas passivas ou animações no estilo KHAN ACADEMY.”.

A maior peculiaridade das simulações é que elas têm seu comportamento ligado a um programa de computador que, muitas vezes, desconsidera diversos elementos pertinentes ao experimento como: resistência do ar, atrito etc. Essa prática entra em contradição com situações mais realistas e possíveis observações no laboratório.

Então, a prática experimental é de fundamental importância para o processo de ensino e aprendizagem de Física. Segundo as Diretrizes Curriculares da Educação Básica (2008) “[...] as atividades experimentais podem suscitar a compreensão de conceitos ou a percepção da relação de um conceito com alguma

ideia anteriormente discutida.”. Essa afirmação é corroborada por inúmeros artigos (SERÉ, COELHO e NUNES, 2003; ARAÚJO e ABIB, 2003; SARAIVA-NEVES, CABALLERO e MOREIRA, 2006; PEREIRA, BEZERRA e DA SILVA, 2014).

Para que os experimentos sejam acessíveis para todos os interessados, torna-se necessário disseminar os materiais produzidos na universidade de alguma maneira. Felizmente, a Internet permite disponibilizar conteúdos de maneira simples e eficaz. Ocorre que isso pode acontecer de duas maneiras: cobrar alguma taxa pelos serviços ou, simplesmente, postar algo de maneira independente sem envolver dinheiro em retribuição.

Um dos objetivos deste trabalho é propiciar, para a maior quantidade de pessoas possíveis, os tutoriais construídos e vídeos desenvolvidos garantindo o acesso aos dados dos experimentos e também a personalização das atividades. Por exemplo, a marcação de pontos diferente daquelas disponibilizadas.

A UNESCO, entendendo que o acesso à educação é primordial “para a construção da paz”, cunha o termo Recursos Educacionais Abertos (REA):

Todo e qualquer conteúdo que seja utilizado para fins educacionais podem ser REA. São livros, planos de aula, softwares, jogos, resenhas, trabalhos escolares, vídeos, áudios, imagens e outros recursos compreendidos como bens educacionais essenciais ao usufruto do direito de acesso à educação e à cultura. A ideia principal por trás dos REA é que qualquer coisa que você publique pode ser utilizada e recombina por outras pessoas, aumentando o conhecimento de todos. Como blocos que podem ser conectados por pessoas diferentes, em locais diferentes e de modos diferentes, para satisfazer uma necessidade específica de conhecimento. (RECURSOS EDUCACIONAIS ABERTOS, 2016).

Os REA são pautados em quatro “liberdades”: uso, aprimoramento, recombinação e distribuição. Assim, deve-se permitir a utilização de um recurso disponibilizado bem como sua alteração de acordo com a necessidade do usuário, a fusão de um ou mais REA com o intuito de melhorar o material e, por fim, a cópia e distribuição dos trabalhos.

Para disponibilizar materiais na Internet sem qualquer prejuízo jurídico faz-se o uso de *Creative Commons* (CC), que é uma organização sem fins lucrativos que visa unir o reconhecimento de autoria com a liberdade oferecida pela Internet. Portanto permite-se que as pessoas utilizem, compartilhem e distribuam qualquer trabalho com proteção em relação aos direitos autorais. Mesmo assim, os usuários devem atentar para eventuais condições que o criador do material tenha determinado (CREATIVE COMMONS, 2016). Em resumo, os CC servem para

“compartilhar o trabalho criativo” com segurança, objetivo este que se encontra em conformidade com os REA.

Voltando à questão dos REA, Segundo Rossini (2010), um dos principais problemas encontrados para o seu desenvolvimento no Brasil é o investimento massivo em aparatos tecnológicos (computadores, *tablets*, televisões, *laptops* e etc.) sem a preocupação de adaptação ao processo educacional. Logo, materiais para a utilização de REA, em escolas, existem.

Obviamente que, segundo Arimoto, Barroca e Barbosa (2014), existem outros obstáculos para o uso e disseminação dos recursos, dentre os quais se destacam: “falta de políticas educacionais, falta de reconhecimento e incentivo e falta de métodos e técnicas de apoio à criação”.

Traçando um paralelo entre estes últimos parágrafos, percebe-se que os investimentos e análises do problema são superficiais, com os responsáveis limitando-se em gastar dinheiro em máquinas sem planejamento ou desenvolvimento de projetos de criação de Recursos Educacionais Abertos.

Quando analisado o trabalho de Arimoto, Barroca e Barbosa (2014), notamos que os três primeiros colocados no quesito REA mais desenvolvidos são: 1º - Áudio/Vídeo; 2º - Notas de Aula; 3º - Livros Didáticos.

O fato de o recurso mais utilizado ser o vídeo não surpreende, tendo em vista o grande potencial que traz para uma aula de Física, quando o intuito é mostrar determinado fenômeno acontecendo. O que acaba sendo uma vantagem em relação a *applets* e aplicativos que, muitas vezes, desconsideram informações importantes para determinado fenômeno, como a resistência do ar. Logo, o recurso em vídeo pode ser mais próximo do dia-a-dia do estudante (PORTO-RENÓ *et. al.*, 2011).

Hoje é comum encontrarmos imagens de qualquer acontecimento devido ao fácil compartilhamento de áudio e vídeo, para isso, basta ter um *smartphone* ou uma câmera qualquer e a produção de material didático pode acontecer (com diferentes níveis de qualidade).

É de se esperar, portanto, que existam diversos trabalhos referentes a vídeos nos principais periódicos brasileiros ligados ao ensino de Física. Fazendo uma análise sobre este tema no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física e Investigações em Ensino de Ciências, nos últimos três anos, percebemos que existem apenas 4 artigos: 1 no CBEF (2015), 1 na RBEF (2015) e 2 na IENCI (ambos em 2013). Então, surpreendentemente, ao contrário do

ensino de FMC, a utilização de vídeos no ensino de Física não se destaca no âmbito nacional.

Um dos possíveis motivos para que isso aconteça é que estes recursos estejam sendo utilizados por professores, em sua maioria, apenas como materiais auxiliares à aula, e em poucos casos sendo considerados principais (ARIMOTO, BARROCA e BARBOSA, 2014).

Vale aqui notar que, como parte do projeto de pesquisa desenvolvido no âmbito da UTFPR, atualmente, diversos vídeos produzidos no Laboratório de Física Moderna da UTFPR estão disponíveis em um portal (Ciência Curiosa) e são referentes aos seguintes experimentos:

- <https://www.youtube.com/watch?v=mirlcqCEceM> (Experimento com lâmpadas espectrais);
- [https://www.youtube.com/watch?v=Fk\\_ZQQsAkSo](https://www.youtube.com/watch?v=Fk_ZQQsAkSo) (Experimento de Millikan);
- <https://www.youtube.com/watch?v=daviRMAAt4E> (Experimento da difração de elétrons);
- [https://www.youtube.com/watch?v=42iSu7M\\_ghA](https://www.youtube.com/watch?v=42iSu7M_ghA) (Experimento de carga/massa do elétron);
- [https://www.youtube.com/watch?v=\\_vBBpcJofj0](https://www.youtube.com/watch?v=_vBBpcJofj0) (Experimento do efeito fotoelétrico);
- <https://www.youtube.com/watch?v=d7n2Aq-wJT4> (Determinação da constante de Plank com LEDs);
- <https://www.youtube.com/watch?v=HyCN-ivBnJ4> (Experimento de Franck-Hertz);
- <https://www.youtube.com/watch?v=VmhE5UzsjXo> (Produção de nanopartículas por ablação a laser).

Estes vídeos estão disponíveis para qualquer pessoa com acesso à Internet e se diferenciam de simulações por mostrar os experimentos verdadeiros e comentados pelos estudantes de licenciatura em Física da instituição. Isto vem em oposição aos diversos conteúdos encontrados na pesquisa bibliográfica, os quais se limitam às funções já mencionadas.

Neste aspecto, podemos afirmar que a iniciativa de utilizar o *Tracker* para a realização de experimentos voltados a FMC conversa diretamente com o conceito de

experimento remoto. Esta ideia ressoa com propostas como a Universidade Aberta do Brasil, que visa proporcionar, em conjunto com universidades públicas, a formação de pessoas que não têm oportunidades de ingressar em cursos de nível superior (UAB, 2016). Como o enfoque é o ensino à distância, o primeiro obstáculo, para um curso como Física, é justamente o acesso a laboratórios. Com os produtos confeccionados para esta dissertação é possível que, pelo computador, o estudante possa realizar a mesma prática instrumental que um aluno no laboratório de FMC (HECKLER; MOTTA; GALIAZZI, 2015).

### 3.1. TRACKER

Conforme comentado anteriormente, além de existirem poucas variações de materiais disponíveis, é comum que estes abordem com ênfase, em sua maioria, a Física Clássica. Para desenvolvermos um REA voltado para a Física moderna, utilizamos o software *Tracker* (BROWN, 2014), que faz parte do *Open Source Physics*, 2011. Sobre essa iniciativa destaca-se estar:

[...] relacionado ao desenvolvimento de programas com códigos abertos destinados ao ensino de física. A ideia é oferecer a professores e estudantes ferramentas computacionais que possibilitem modos diferentes de descrever, explicar, prever e entender fenômenos físicos. (BEZERRA-JR *et al*, 2012).

O referido programa pode ser considerado um objeto de aprendizagem que é definido como qualquer objeto tecnológico que possa ser revertido para o ensino (Gama, 2007). Os Objetos Educacionais (ou Objetos de Aprendizagem), também possuem algumas características, segundo Mendes, Souza e Caregnato (2007):

Reusabilidade: reutilizável diversas vezes em diversos ambientes de aprendizagem... Adaptabilidade: adaptável a qualquer ambiente de ensino... Granularidade: conteúdo em pedaços, para facilitar sua reusabilidade... Acessibilidade: acessível facilmente via Internet para ser usado em diversos locais... Durabilidade: possibilidade de continuar a ser usado, independente da mudança de tecnologia... Interoperabilidade: habilidade de operar através de uma variedade de hardware, sistemas operacionais e browsers, intercâmbio efetivo entre diferentes sistemas. (MENDES; SOUZA; CAREGNATO, 2007).

Com relação ao *Tracker*, todas essas características são notadas: pode ser utilizado em diversos ambientes, desde escolas de nível básico até universidades. Além disso, adapta-se facilmente de acordo com o interesse do usuário. Está disponível na Internet em diversas línguas (inclusive português do Brasil) e para diversos sistemas operacionais. Portanto, atende a todos os tópicos expostos referentes ao conceito de objeto de aprendizagem.

Também é possível, com o *Tracker*, elaborar gráficos com as grandezas desejadas (por exemplo, posição x tempo). Toda essa análise é baseada estabelecendo um sistema de referência representado por uma régua; para isso é necessário saber a dimensão de alguns dos objetos presentes nos vídeos.

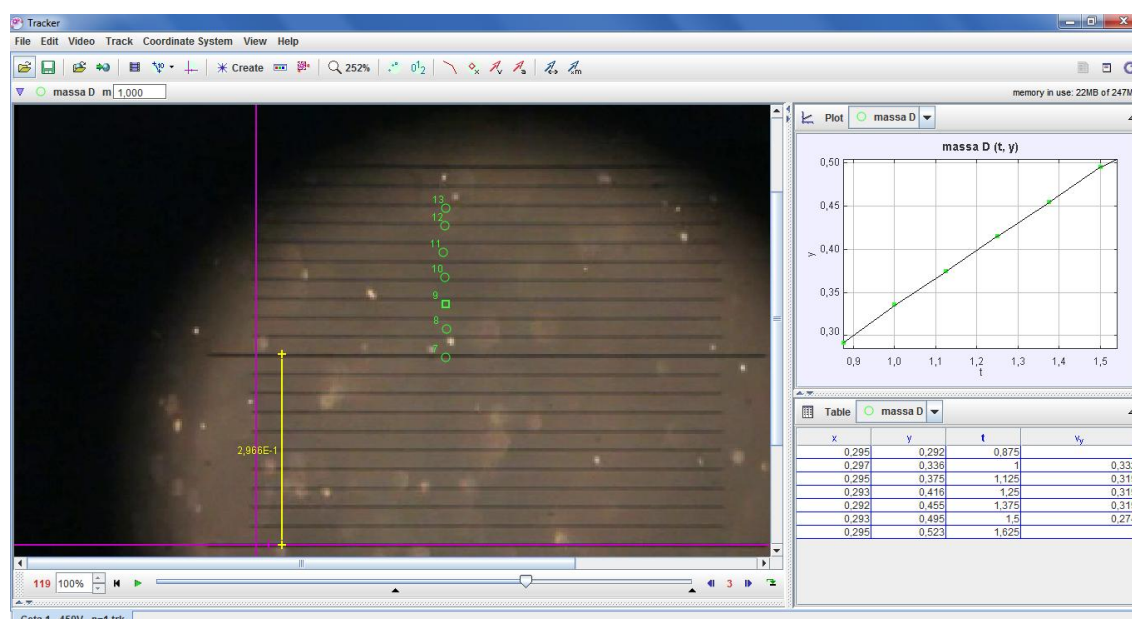
É importante salientar, do ponto de vista prático, que a qualidade da imagem está relacionada à câmera utilizada. A análise quadro a quadro sofre influências da definição espacial (número de pixels) e temporal (quadros por segundo) proporcionada pelo instrumento de captação de imagem.



Sobre o funcionamento do programa, Bezerra-jr *et al* (2012) destacam que é possível:

(...) realizar análise de vídeos quadro a quadro, graças ao que é possível o estudo de diversos tipos de movimento a partir de filmes feitos com câmeras digitais ou *webcams* de computadores comuns e telefones celulares.

A seguir (Figura 2), um exemplo da aplicação do *Tracker* em um experimento:



**Figura 2 - Imagem da tela inicial do *Tracker*, utilizando o vídeo do Experimento de Millikan. Fonte: Bezzerra-jr *et al* (2015)**

Na Figura 2 temos as coordenadas definidas pelas linhas cor de rosa. A régua, que servirá como parâmetro para as medições, está na cor amarela. Finalmente, temos os círculos verdes representando a posição de uma partícula variando no tempo. Do lado direito, é possível extrair um gráfico envolvendo as grandezas relevantes, de acordo com a necessidade do usuário, o que favorece várias abordagens didático-metodológicas de trabalho.

Portanto, dadas as características do *software*, no contexto dos diversos trabalhos de pesquisa publicados (e aqui analisados) nos últimos anos, destaca-se a necessidade e a possibilidade de aliar a experimentação com as tecnologias, tendo em vista o ensino de Física Moderna. Logo, os objetos educacionais desenvolvidos para uso integrado com o *Tracker* proporcionam uma abordagem mais completa e de fácil acesso que pode contribuir positivamente para o ensino de Física Moderna e Contemporânea.

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi desenvolvida em quatro partes. A primeira diz respeito à pesquisa bibliográfica referente à FMC em três periódicos relevantes para o ensino de Física. Esta etapa foi necessária para delimitar e compreender a realidade do ensino de FMC no Brasil, medida necessária para perceber a relevância desta dissertação, no contexto da educação brasileira.

A segunda parte foi a aplicação de um questionário para professores de Física que atuam regularmente em escolas públicas e particulares de Curitiba. Esta fase teve como objetivo colher as concepções dos professores acerca do ensino de FMC no que diz respeito a: inserção deste conteúdo nos níveis básicos de ensino, formação neste conteúdo e materiais utilizados. Esta etapa encontra-se descrita no capítulo 6, seção 6.3.

Em seguida, tendo os resultados das pesquisas preliminares, a terceira etapa restringiu-se à elaboração e confecção do produto educacional, que se resume a um tutorial escrito e mais três tutoriais em vídeo, para cada experimento trabalhado: Experimento de Millikan, Experimento da difração de elétrons e o experimento da carga/massa.

Por fim, foi realizada a aplicação do experimento de Millikan em duas turmas de Física de duas escolas privadas de Curitiba. Os estudantes tiveram acesso aos tutoriais e, em seguida, realizaram o experimento. Após este período de desenvolvimento, foi requisitado que respondessem um questionário como parte da avaliação da atividade.

#### 4.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Na primeira parte da pesquisa fez-se necessário a análise do estado atual do ensino de FMC nos últimos anos. Em Pereira e Ostermann (2009), foi realizada uma pesquisa sobre artigos de FMC nas principais revistas do ensino de Física (tanto nacionais quanto internacionais).

Esse artigo abordou os artigos referentes ao período de 2000, ano em que Ostermann e Moreira desenvolveram pesquisa semelhante, a 2009. Portanto, buscou-se, nesta dissertação contemplar o período de 2009 a 2014, com foco nas seguintes revistas:

- Caderno Brasileiro de Ensino de Física;
- Revista Brasileira de Ensino de Física;
- Revista Investigações em Ensino de Ciências.

Para elucidar a pesquisa, os trabalhos foram separados em duas categorias: Informação e material de consulta; Prática educacional.

#### 4.1.1. INFORMAÇÃO/MATERIAL DE CONSULTA

Nessa categoria encontram-se trabalhos que contêm informações, para professores ou alunos, mas que não trazem práticas, sugestões, relatos de experiências ou situações aplicadas à sala de aula (também aparecem artigos de pesquisa em ciências exatas). É a categoria na qual a maioria dos trabalhos analisados está inserida.

Conforme mencionado anteriormente, Pereira e Ostermann (2009) fizeram uma pesquisa sobre a produção de trabalhos de FMC durante o período de 2000 a 2009. Na conclusão, o aumento da produção de artigos ganha destaque, devido a uma constatação, no trabalho de Ostermann e Moreira (2000), segundo a qual existia a necessidade de uma produção maior na área.

Em Bassalo (2009), fez-se uma discussão sobre o Nobel de 2008 com o intuito de apresentar o conteúdo do trabalho, simetrias entre as interações forte e fraca, que rendeu o prêmio a três cientistas japoneses.

No trabalho de Cordeiro e Peduzzi (2010), as conferências, e o material disponível no site no prêmio Nobel, de Marie e Pierre Curie são exploradas para fins didáticos por seu caráter histórico, motivacional e social. Um fato interessante apresentado pelo trabalho é que, segundo Owens (2009), Marie Curie é a cientista mais retratada para crianças inglesas, com Albert Einstein em segundo lugar. Resultados estes contraditórios com outra constatação do trabalho que leva em consideração a “escassez feminina nas ciências”. Nas considerações finais, os autores destacam que o trabalho é, primordialmente, voltado para professores e estudantes de Física.

Steiner (2010) apresenta uma discussão sobre a história dos buracos negros desde a descrença até a aceitação pela comunidade científica. Privilegia a relação de buracos negros e quasares e possui grande embasamento histórico e matemático.

Sodré Jr. (2010) escreve sobre “o lado escuro do universo”, dissertando sobre a matéria escura e a energia escura. O artigo faz bastante uso da matemática para elucidar algumas questões e conclui afirmando que o lado escuro será o grande foco de estudo da cosmologia nos próximos anos.

Em Bassalo (2010) é realizado um trabalho sobre o prêmio Nobel de 2009, muito semelhante ao trabalho do ano anterior, já mencionado, do mesmo autor. O

prêmio foi entregue para cientistas norte-americanos pela descoberta da “transmissão de luz em fibra ótica” e pelo desenvolvimento do “sensor CDD”.

Guerra, Reis e Braga (2010) defendem a introdução da Física moderna no ensino médio, especialmente o tópico de relatividade restrita, subsidiadas por uma abordagem histórico-filosófica. Fazem um paralelo entre o modelo do ensino de Física brasileiro atual com a “tradição” do ensino de Física francês do século XIX, e destacam ainda que, neste período, a França encontrava-se muito atrasada tecnologicamente com relação à Inglaterra. Em seguida, iniciam um resumo sobre o desenvolvimento da relatividade restrita, passando por: Lorentz, Poincaré, Calinon e Einstein. Na conclusão do trabalho, comentam que a FMC deve ser inserida no ensino básico para que o estudante não só compreenda o ambiente em que vive, mas também conheça a relação entre ciência e a cultura do século XX. Por fim, chama-se atenção para as dificuldades associadas, principalmente, à formação do professor, que deve estar preparado para trabalhar estes assuntos em sala de aula.

Silva e Almeida (2011) fazem uma revisão de trabalhos sobre mecânica quântica no ensino médio. Foram analisados 11 periódicos nacionais e internacionais e selecionados 23 artigos e depois separados em cinco categorias: Revisão da literatura sobre o ensino de FQ/FMC, Análise curricular, Análise dos conteúdos em livros que abordam FQ/FMC, Elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino, e Concepções de professores sobre o ensino de FQ/FMC no EM. Finalizam o trabalho evidenciando a importância na produção de mais artigos relacionados à Física quântica, para o ensino de Física.

Lavín e Pozo (2011) discutem a questão do ensino de modos vibracionais de uma molécula triatômica. Trabalho com uma linguagem de ensino superior e sem proposta de aplicação em uma aula de ensino médio.

Figueira (2011) traz uma análise, mediada pelo *Tracker*, do experimento de movimento browniano. Os dois vídeos foram selecionados na *Internet*. Depois do tratamento do vídeo e análise dos dados, encontra-se o número de Avogadro. Cabe ressaltar que o artigo não deriva de uma prática educacional, apenas capta-se um material já disponível na rede que é tratado com o auxílio do software em seguida.

Em Silva, Freire Jr e da Silva (2011) é apresentado o efeito Compton e sua descoberta sob a luz do personagem/cientista Arthur Holly Compton e sua fixação pela Física Clássica, apesar de contribuir com a Física quântica.

Melo, Pimentel e Ramirez (2011) discutem maneiras de, pedagogicamente, “construir uma estrutura algébrica para os processos de medida em mecânica quântica”. Trata-se de fonte de pesquisa e informação para professores e estudantes do ensino superior.

O artigo de Piqueira (2011) relaciona a mecânica quântica ao desenvolvimento de tecnologias, especialmente computadores. Ao longo do trabalho, se aprofunda em alguns tópicos da mecânica quântica como: formulação de Dirac da mecânica quântica, evolução temporal de um sistema quântico, a moeda quântica, a porta “not” quântica, teorema da impossibilidade de cópia, não localidade e entrelaçamento, produto tensorial e entrelaçamento e aplicações.

Dominguini (2012) faz uma análise dos livros indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio e também das opiniões dos autores destes materiais sobre a FMC no ensino médio. Cada autor destaca um objetivo para o ensino de Física moderna: Gaspar, “Desafio motivador”; Gonçalves e Toscano, “Dar condições aos alunos de compreenderem as notícias veiculadas”; Luz e Álvares, “Sem sacrifícios da física clássica ou do interesse do estudante”; Penteadó e Torres, “Destaque à física moderna”; Sampaio e Calçada, “Física moderna de forma simplificada”.

Costa e Pavão (2012) apresentam a história e importância da supercondutividade, cem anos após sua descoberta.

Vieira (2012) aprofunda a discussão sobre relatividade para referenciais com velocidades maiores que a da luz, introduzindo o conceito dos táquions.

No artigo de Cordeiro e Peduzzi (2014), os autores abordam a interdisciplinaridade da Física e da Química através dos trabalhos sobre a descoberta do nêutron e da radioatividade artificial. Há o enfoque sobre a fissão nuclear, sua descoberta e aplicação. Também discutidas as mudanças conceituais que ocorreram na Física e na Química, visto que a fissão nuclear foi uma “descoberta não predita pela teoria”. Finalizam o texto destacando algumas percepções de ciência, descoberta, abordagem histórica, dentre outras.

Bassalo (2014) discute o prêmio Nobel de 2013, trabalho semelhante aos artigos do mesmo autor sobre as premiações de outros anos. Desta vez, o assunto que rendeu o prêmio Nobel daquele ano, para Peter Higgs e François Englert, foi a previsão do bóson de Higgs.

No artigo de Assis (2013) apresenta-se uma diferença entre a cor química e estrutural. Procura embasar-se no caso das cores presentes nas asas das borboletas e, para explicação, faz uso de conceitos de ótica e nanotecnologia.

Kneubil (2013) discute a importância da inserção de FMC no ensino médio, mas apresenta uma discussão sobre a presença de conceitos de Física Clássica no LHC: cargas, campo elétrico, campo magnético, entre outros.

Em Bienzobaz e Salinas (2013), abordam-se as questões referentes à termodinâmica e seus limites. É um trabalho com linguagem de ensino superior, que inclui tópicos de mecânica quântica e mecânica estatística.

No trabalho de Nóbrega e Mackedanz (2013), os autores relacionam os conteúdos vistos no ensino médio com o LHC. A matemática foi simplificada, pois os efeitos relativísticos são desconsiderados.

Parente, Santos e Tort (2013) fazem uma revisão sobre o trabalho centenário de Niels Bohr. É ressaltado que o trabalho de Bohr pode fomentar o interesse de alunos, de ensino médio e graduação, pela Física quântica.

No artigo de Soares (2013) são abordados os fundamentos da cosmologia relativística e suas implicações. Novamente, linguagem de ensino superior.

Melo, Pimentel e Ramirez (2013) fazem uso de uma linguagem sofisticada para abordar o princípio de ação quântica de Schwinger.

Silva e Freire Jr (2014) fazem uma discussão sobre a evolução histórica da pesquisa de Compton, dando atenção especial para o ambiente semiclássico, no qual Compton estava inserido.

A interpretação da onda piloto ganha destaque no trabalho de Betz (2014). Esse artigo tem como alvo um curso de mecânica quântica de nível superior, sendo considerado um material de consulta sobre a introdução da mecânica quântica e que possibilita um melhor entendimento sobre os comportamentos ondulatório e corpuscular da luz.

Paiva (2014) faz um estudo “sobre o espalhamento Compton inverso”. Outro material voltado para aulas do ensino superior.

Em Veissid, Pereira e Peña (2014), é apresentada uma nova maneira de se fazer um tratamento estatístico no experimento de Millikan.

Nota-se que os trabalhos voltados para a Física da Matéria Condensada são predominantes, pois diversos artigos utilizam matemática muito densa para ser aplicada ao ensino básico. Outro campo que aparece com destaque é o da história

da ciência, com vários autores resgatando aspectos históricos em seus trabalhos. Para finalizar, ressalta-se que o ensino de FMC não recebe muito destaque nos periódicos de ensino de Física/ciências citados nesta dissertação.



#### 4.1.2. PRÁTICA EDUCACIONAL

Nessa categoria, encontram-se os artigos que relatam experiências de sala de aula, aplicações, sugestões ou desenvolvimentos de práticas na escola básica. As atividades realizadas com estudantes, como entrevistas, também fazem parte desse grupo.

Em Neto, Freire Jr e Silva (2009) realizou-se uma entrevista com alunos do 3º ano do ensino médio sobre o princípio da complementaridade e procurou-se analisar a aprendizagem dos estudantes.

Fanaro, Otero e Arlego (2009) aplicaram uma Estrutura Conceitual Proposta para Ensinar cujo tema era mecânica quântica. Os discursos sobre as concepções dos estudantes foram analisados para a conclusão do trabalho.

Já em Caruso e Freitas (2009), destaca-se a apresentação da teoria da relatividade e o uso de tirinhas para auxiliar os professores em sala de aula. É ressaltada a capacidade que a tirinha, por ser um instrumento lúdico, tem de “prender a atenção” dos estudantes.

Silva e Assis (2012) discutem uma prática experimental do efeito fotoelétrico, desenvolvida com material de baixo custo. Ressaltam o desenvolvimento da prática e as interações sociais decorrentes da atividade.

No trabalho de Silva (2012), foi realizada uma aplicação de modelagem computacional, com o tema detecção de radiação ionizante, em duas turmas de um curso de licenciatura em Física à distância.

No artigo de Calheiro e Garcia (2014), aplicou-se uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre Física de partículas aliada ao conteúdo estudado no 3º ano do ensino médio (eletromagnetismo). Utiliza mapas conceituais feitos pelos estudantes sobre o conteúdo ensinado e conclui que os resultados obtidos demonstram a aprendizagem por parte dos alunos de um conteúdo que alia a Física Moderna e a Física Clássica.

Em Parente, Santos e Tort (2014) é apresentada uma proposta para a sala de aula sobre o modelo de Bohr para o ensino médio. Conclui indicando alguns textos para consultas de professores que tenham interesse em trabalhar com este tema no ensino médio.

Uma série de seis sequências didáticas de mecânica quântica foi desenvolvida por Castrillón, Freire Jr e Rodriguez (2014). A contextualização foi

baseada nos experimentos de Stern-Gerlach, interferômetro de Mach-Zehnder e aplicações na tecnologia. Essas sequências foram aplicadas em cursos universitários e escolas de 2º grau (ensino médio). Constata-se na conclusão que a FMC está mal contextualizada e a aproximação dela com a realidade, por vezes, é dificultada.

Em poucos artigos as práticas em laboratórios de FMC ganharam destaque, embora em diversos trabalhos a importância histórica e conceitual foi explorada pelos pesquisadores. Em geral, os temas abordados restringiram-se à Física moderna conceitual e discussões em torno das metodologias associadas ao ensino de FMC.

Uma análise de resultados mais aprofundada encontra-se no capítulo 6 desta dissertação: “Resultados e Discussões”.

## 4.2. CONFECÇÃO DO PRODUTO

Sabendo da falta de instrumentos e condições de abordar FMC nas escolas, iniciou-se o processo de criação de vídeos sobre experimentos de FMC.

No Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná se encontra o Laboratório de Física Moderna que conta com, pelo menos, dez experimentos relacionados à FMC, dos quais se destacam: Experimento com lâmpadas espectrais, Experimento de Millikan, Experimento da difração de elétrons, Experimento de carga/massa do elétron, Experimento do efeito fotoelétrico, Experimento sobre a Lei de Stefan-Boltzmann, Experimento de Franck-Hertz.

O trabalho baseou-se em três experimentos: Experimento de Millikan, Experimento da carga/massa e Experimento da difração de elétrons.

Em um estudo Delphi que fizemos (Ostermann e Moreira, 1998), com a finalidade de obter uma lista consensual, entre físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do ensino médio, sobre quais tópicos de Física Contemporânea deveriam ser abordados na escola média, se quiséssemos atualizar o currículo de Física neste nível, chegamos a seguinte lista final: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

Em vista disto, os experimentos selecionados contemplam muitos dos aspectos destacados no trabalho de Ostermann e Moreira (2000): dualidade onda-partícula, partículas elementares e estrutura molecular.

O próximo passo consistiu em gravar diversos vídeos, com diferentes valores de tensão para o experimento de Millikan (vide Figura 3) e da carga/massa (esses valores encontram-se no título dos vídeos) e um vídeo para o da difração de elétrons.

Após o processo de gravação, deu-se início à videoanálise com o *Tracker*.



**Figura 3 - Exemplo de nomeação dos arquivos disponíveis para download (número da gota, tensão aplicada e o fator correspondente à carga do elétron). À esquerda, o vídeo sem tratamento de dados, à direita, o mesmo vídeo, já inserido no *Tracker*.**

**Fonte: Autores (2015)**

Foram disponibilizados dois tipos de arquivo: o vídeo (.FLV, .AVI, .MOV, .RMVB, etc.) e o arquivo do *Tracker* (.TRK). Estes materiais ficarão disponíveis, permitindo que o estudante que tiver interesse em visualizar o vídeo no formato do *Tracker* possa fazê-lo, auxiliado pelos vídeos tratados. Já outro interessado que quiser o vídeo “cru” para a própria análise também tem o devido apoio. Isso se dá através dos tutoriais que estão presentes na forma escrita (encontram-se no apêndice do trabalho) e em vídeo (passo a passo), permitindo assim que o usuário interaja da forma que achar melhor e mais conveniente.

São três tutoriais: um escrito sobre o *Tracker* e o Excel, um vídeo sobre o experimento “trackeado” e um vídeo sobre a análise de dados no Excel. Portanto, as práticas estão acessíveis para qualquer pessoa que tenha contato com *Internet* e conhecimentos básicos de informática.

#### 4.4. APLICAÇÃO DA ATIVIDADE E DISPONIBILIZAÇÃO DO PRODUTO

Depois da confecção e disponibilização dos vídeos e seus tutoriais, foi realizada uma atividade relacionada ao experimento de Millikan, no 9º ano do ensino fundamental e no 1º ano do ensino médio de duas escolas particulares de Curitiba. Essas turmas foram escolhidas por estarem trabalhando com os conceitos de velocidade, que estão presentes neste experimento.

Inicialmente, foi ministrada uma aula (50 minutos) para o 1º ano (23 alunos) e duas aulas (100 minutos) para o 9º ano (35 alunos), sobre o Experimento de Millikan. Em seguida, foi indicado para os estudantes onde encontrar os tutoriais. Foi uma atividade avaliativa desenvolvida ao longo de duas semanas, nas quais os estudantes desenvolviam o trabalho fora do ambiente de sala de aula. Junto aos dados do experimento, os alunos deveriam responder a um questionário cujas categorias eram:

- a) Uso de softwares nas aulas de Física;
- b) Avaliação dos tutoriais;
- c) As dificuldades da prática;
- d) Pontos positivos e negativos.

A escolha pelo questionário se deu em virtude das perguntas serem diretas e de fácil pontuação. As questões padronizadas uniformizam as respostas, assim as pessoas teriam tempo de pensar para responder (CHAER; DINIZ; RIBEIRO, 2011).

As respostas foram analisadas de acordo com Machado e Nardi (2007), que escreveram um trabalho sobre a “Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de física moderna”, que avaliou respostas de estudantes para uma prática envolvendo um sistema hipermídia desenvolvido para inserir tópicos de física moderna no ensino médio.

Portanto, as respostas foram tratadas de maneira qualitativa devido à variação de opiniões e entendimentos, facilitando assim a análise dos dados.

*Pesquisa Qualitativa: considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem. (MORESI, 2003).*

## **5. MATERIAL DE REFERÊNCIA PARA A UTILIZAÇÃO DO PRODUTO**

Para a utilização dos materiais produzidos nesta dissertação, é necessário o conhecimento sobre os experimentos trabalhados. Por isso, a primeira parte dos tutoriais escritos (produto desta dissertação) se restringe a uma breve explicação dos experimentos.

Com a intenção de aprofundar a discussão, este capítulo visa fornecer mais informações (históricas, procedimentais e matemáticas) dos experimentos de Millikan, da carga/massa e da difração de elétrons.

## 5.1. EXPERIMENTO DE MILLIKAN

No final do século IX e começo do XX o elétron era um dos principais objetos de estudo dos cientistas, sendo uma espécie de “estrela” principal da Física nesse período. J. J. Thomson ganhou o prêmio Nobel de 1906 em virtude do experimento da carga/massa, no qual definiu o elétron como uma partícula que continha uma carga associada. Porém, este experimento teve sucesso em encontrar uma razão da carga do elétron em função de sua massa, não dissociando as duas coisas. Por isso o trabalho de Millikan, que encontrou o valor isolado da carga, é fundamental para a Física. De acordo com Heering e Klassen (2010) o equipamento era enorme e extremamente complexo (vide Figura 4).



**Figura 4 - Parte integrante do equipamento original do laboratório de Millikan.  
Fonte: Roteiro de física experimental da UNESP (2009)**

Basicamente, o experimento consiste em liberar gotículas de óleo em um campo elétrico uniforme gerado por um capacitor de placas paralelas. Com isso, as gotas que eram carregadas devido ao campo elétrico subiam ou desciam. O movimento das gotas era determinado por uma resultante de forças elétricas e mecânicas (BEZERRA-JR *et al*, 2015). A visualização deste processo era possibilitada pela montagem de um equipamento fundamentalmente constituído de

lentes (uma luneta) e os resultados permitiram definir o valor da carga fundamental do elétron: aproximadamente  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

Para compreender o experimento, necessitamos recorrer ao trabalho original de Millikan (1913), especificamente a equação que fundamenta a prática:

$$q = \frac{mg}{Ev_d}(v_d + v_s) \quad (1)$$

Na qual:

- q: carga da gota carregada;
- m: massa da gota;
- g: aceleração da gravidade;
- E: campo elétrico;
- $V_d$ : velocidade de descida;
- $V_s$ : velocidade de subida.

Definindo o espaço percorrido pelas gotas, podemos encontrar a velocidade constante da gota através da seguinte equação:

$$q = \frac{mg}{E\left(\frac{\Delta S}{T_d}\right)}\left(\frac{\Delta S}{T_d} + \frac{\Delta S}{T_s}\right) \quad (2)$$

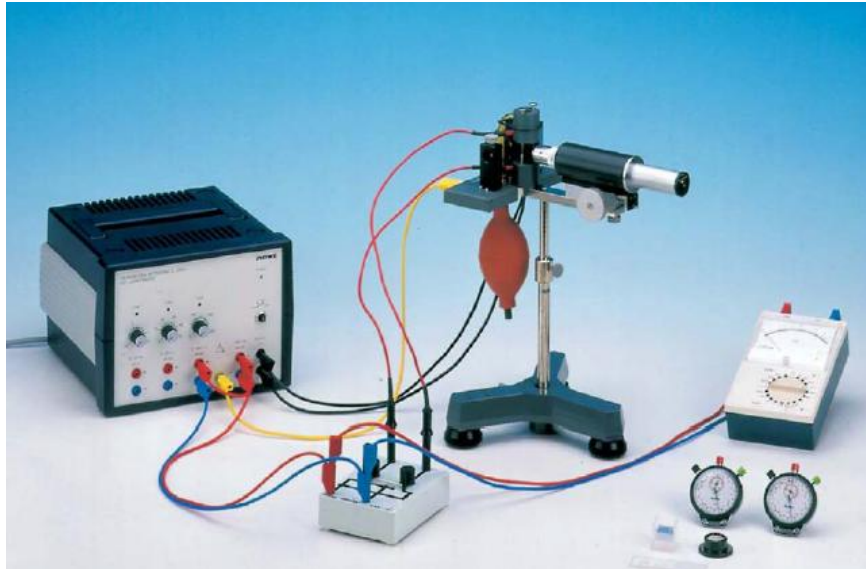
Simplificando, encontramos uma relação direta entre a carga e o tempo de subida e descida da gota de óleo:

$$q = \frac{mgT_d}{E}\left(\frac{1}{T_d} + \frac{1}{T_s}\right) \quad (3)$$

Para obter diversas medidas, Millikan alterava a carga do elétron, irradiando as gotas com raios x, modificando os tempos de subida e descida encontrando, assim, o valor da carga associada a determinada gota.

O equipamento pertencente ao laboratório de Física Moderna da UTFPR (vide Figura 5) é um aparato didático desenvolvido com o intuito de propiciar o contato dos alunos de graduação com o experimento desenvolvido por Millikan. Obviamente que diversas estruturas foram modificadas para atender às contingências do ensino.





**Figura 5 - Experimento didático de Millikan.**  
**Fonte: Manual de instruções do equipamento (2015)**

Na figura 5 é apresentado o experimento didático de Millikan, que conta com: uma fonte de alta tensão, multímetro, uma luneta, um borrifador e um recipiente com silicone líquido. O procedimento em si é semelhante ao feito por Millikan e consiste em borrifar gotas de silicone em uma região submetida a campo elétrico, alterar a polaridade das placas do capacitor que gera este campo e, com o auxílio de cronômetros e de marcações definidas, encontrar os valores das velocidades de subida e descida de determinada gota.

Para se calcular esse valor, faz-se uso da seguinte equação simplificada, presente no manual de instruções do equipamento:

$$q = C \frac{V_s + V_d}{U} \sqrt{V_s - V_d} \quad (4)$$

Na qual:

- q: carga da gota;
- C:  $2,73 \cdot 10^{-11} \text{ kg.m.}(\text{m.s})^{-1/2}$ ;
- $V_s$ : Velocidade de subida;
- $V_d$ : Velocidade de descida;
- U: Tensão.

O valor da constante  $C$  é uma junção de diversos elementos pertencentes ao experimento (raio da gotícula, distância entre os eletrodos do capacitor, densidade do óleo de silicone, viscosidade do ar, aceleração gravitacional, densidade do ar).

A velocidade é calculada a partir do tempo que a gota leva para percorrer determinado espaço definido no experimento. Através da luneta, observa-se uma gradação no próprio equipamento, que pode ser observado na figura 6.



**Figura 6 - Imagem vista pela luneta do equipamento.**  
**Fonte: Bezerra *et al* (2015)**

Cabe ressaltar que esta prática experimental traz grandes dificuldades para os alunos. Para ser realizada com êxito, é recomendável haver um grupo formado por três pessoas, o que implica em uma sincronia que demora a ocorrer. Enquanto um estudante observa o movimento das gotículas na luneta, os outros marcam o tempo de subida e descida. Para isso, o trabalho em equipe torna-se fundamental, visto que as marcações de tempo dependem de avisos do observador.

O manual de instruções ainda destaca que a prática propicia o contato com outros tópicos da Física: campo elétrico, viscosidade, lei de Stokes, método da gota e carga do elétron.

Com o auxílio do *Tracker*, o trabalho pode ser feito individualmente, já que o próprio programa possibilita marcações de posição, velocidade e etc. Assim, o aluno que desejar fazer o experimento por conta própria só precisa de um vídeo e de acesso ao programa.

## 5.2. EXPERIMENTO DA CARGA/MASSA

É comum, nas aulas básicas (9º ano do fundamental), os professores de Física e Química apresentarem o elétron como uma partícula elementar. Essa definição se baseia nos resultados experimentais obtidos por J. J. Thomson em 1897 com o experimento que encontrou a relação de carga/massa.

Para obter essa relação, Thomson analisou a deflexão de um feixe de raios catódicos quando exposto a campos magnéticos e elétricos externos. Para isso, eram emitidos elétrons que passavam entre placas metálicas com diferença de potencial, então o campo elétrico das placas era alterado fazendo com que o feixe de elétrons fosse defletido (vide Figura 7).

Ao mesmo tempo, um campo magnético era aplicado perpendicularmente anulando a deflexão provocada pelo campo elétrico. Dessa maneira, era possível encontrar o valor da velocidade do feixe pela relação:

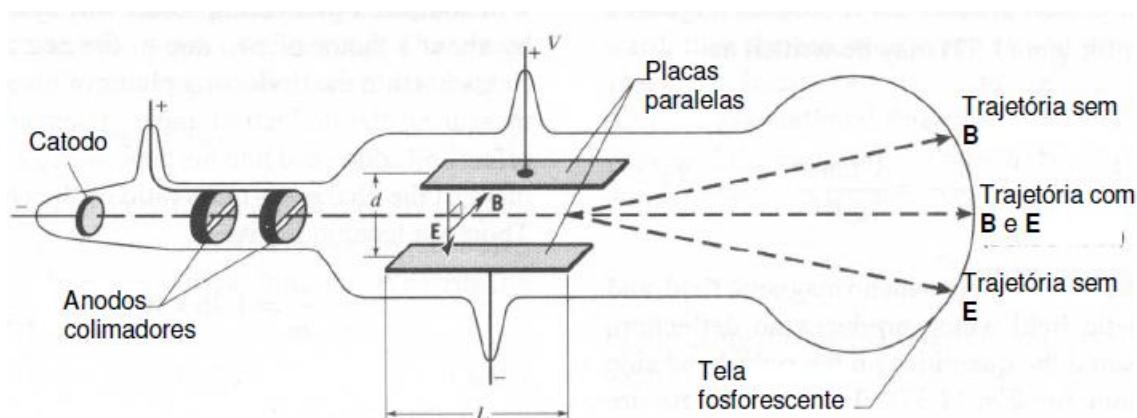
$$v = \frac{E}{B} \quad (5)$$

A equação final utilizada para encontrar a relação da carga/massa do elétron pode ser expressa por (UNESP, 2009):

$$\frac{e}{m} = \frac{2Ey}{B^2(L^2 + 2LL)} \quad (6)$$

Onde:

- $\frac{e}{m}$ : relação carga/massa do elétron;
- E: campo elétrico;
- y: deslocamento total do feixe;
- L: comprimento das placas paralelas;
- l: distância percorrida pelos elétrons, da direita das placas paralelas até o final do bulbo;
- B: campo magnético.



**Figura 7 - Esquema do experimento da carga/massa de J. J. Thomson.**  
**Fonte: ROHLF (1994)**

No aparato didático, a montagem do experimento é diferente. Para gerar o campo magnético, contamos com duas bobinas de Helmholtz, que distorcem o feixe de elétrons produzido dentro do tubo de feixe estreito (vide Figura 8).



**Figura 8 - Experimento didático da carga/massa.**  
**Fonte: PHYWE (2015)**

Uma fonte fornece energia para as bobinas de Helmholtz e a outra para o canhão de elétrons. O feixe surge no canto do bulbo de vidro e, conforme o campo magnético aumenta, este feixe se curva fechando uma circunferência cujo raio é medido com o auxílio de uma estrutura metálica presente no bulbo que delimita: 2, 3, 4 e 5 cm.

O desenvolvimento da equação utilizada se inicia com a energia cinética associada ao elétron acelerado por uma diferença de potencial:

$$eU = \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad (7)$$

Sendo a força de Lorentz:

$$F = evB \quad (8)$$

Como o campo magnético é uniforme, os elétrons seguem as linhas de força magnética fazendo o círculo de raio "r" (vide Figura 9). Portanto, a força centrípeta se iguala à força de Lorentz:

$$evB = \frac{m_0 v^2}{r} \quad (9)$$

Isolamos  $\frac{e}{m_0}$  nas equações (7) e (9) e, em seguida, elevamos ao quadrado a equação (9). Por fim, fazemos a razão entre as duas expressões:

$$\frac{\frac{e^2}{m_0^2}}{\frac{e}{m_0}} = \frac{\frac{v^2}{B^2 r^2}}{\frac{v^2}{2U}}$$

Simplificando a expressão, encontramos, de maneira direta, a relação carga-massa:

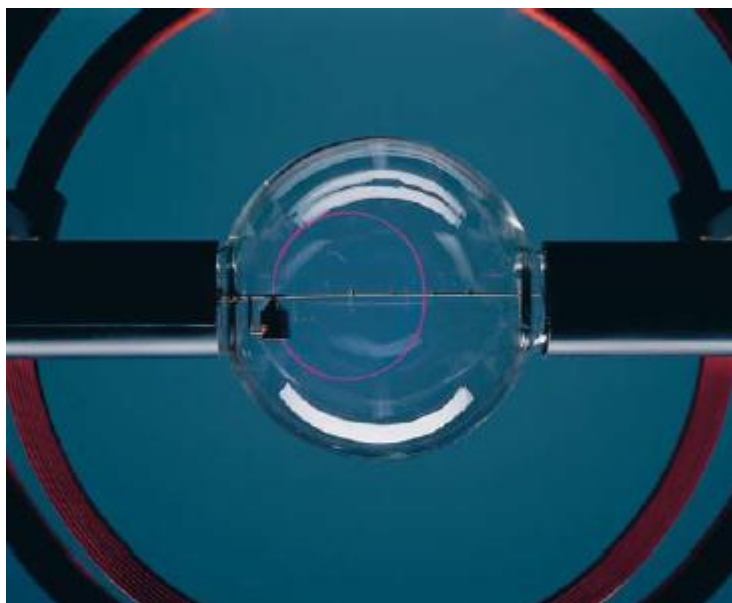
$$\frac{e}{m_0} = \frac{2U}{B^2 r^2} \quad (10)$$

Onde:

- $\frac{e}{m}$ : relação carga/massa;
- $U$ : diferença de potencial aplicada;
- $B$ : campo magnético  $[(\frac{4}{5})^{\frac{3}{2}} \mu_0 n \frac{1}{R}]$ , com  $R = 0,2 \text{ m}$ ;  $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \frac{\text{kg.m}}{\text{A}^2.\text{s}}$ ;  $n = 154$  espiras/metro.
- $r$ : raio do feixe distorcido.

Segundo o manual de instruções, o experimento permite que o estudante entre em contato com os seguintes conceitos físicos: raios catódicos, força de Lorentz, elétron dentro de campos transversais, massa do elétron, carga do elétron.

Outros roteiros de laboratório como os da IFSC/USP e da UNESP trazem mais possibilidades de atividades, como a determinação do campo magnético terrestre.



**Figura 9 - Feixe de elétrons sendo curvado pelo campo magnético gerado pelas bobinas.  
Fonte: PHYWE (2015)**

### 5.3. EXPERIMENTO DA DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS

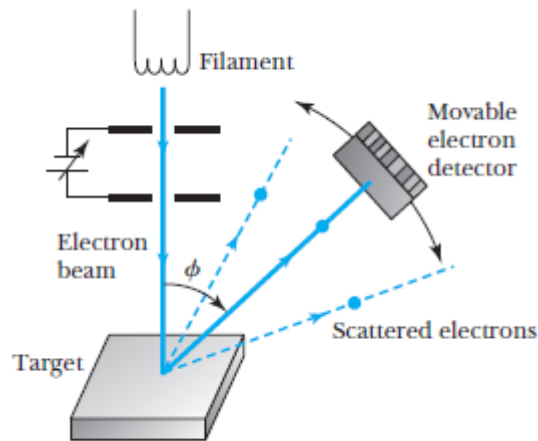
Um dos experimentos mais importantes da Física moderna é o da Difração de Elétrons. Para compreender o que significa isso, é necessária uma abordagem sobre a situação da Física no começo do século XX. A principal discussão girava em torno da interação da luz com a matéria, visto que a catástrofe do ultravioleta havia aberto uma série de discussões sobre a validade de alguns conceitos físicos, aplicados à determinada situação, vigentes na época.

No final do século XIX, Hertz percebeu que o arco voltaico aparecia com maior facilidade se as pás do experimento de Hertz fossem iluminadas com luz ultravioleta (EISBERG e RESNICK, 1979; MANGILI, 2012). A explicação para este acontecimento veio em 1905, quando Einstein dissertou sobre o efeito fotoelétrico, ou seja, a quantização de energia (fótons) e sua interação com a matéria (trabalho que lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921). As medições que constataram experimentalmente o efeito foram realizadas por Millikan, em 1914. O principal impacto deste trabalho se refere ao fato de a luz, em determinado experimento, se comportar como corpúsculo (fóton).

O colossal trabalho de Millikan foi importante para a aceitação da teoria de Einstein por parte da comunidade científica.

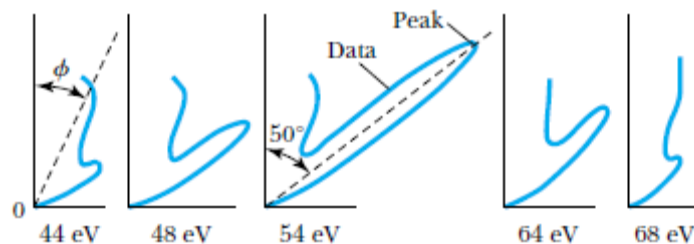
Einstein foi indicado para membro da Academia Prussiana de Ciências por Planck e outros. A atitude negativa inicial perante a hipótese do fóton é revelada por eles em sua declaração, elogiando Einstein, na qual escreveram: "Em resumo, podemos dizer que dificilmente haverá um grande problema, dos quais a física moderna é tão rica ao qual Einstein não tenha dado uma importante contribuição. Que ele tenha algumas vezes errado o alvo com suas especulações, como por exemplo em sua hipótese dos quanta de luz (fótons), não pode ser realmente colocado contra ele, pois é impossível introduzir ideias fundamentalmente novas, mesmo nas ciências mais exatas, sem ocasionalmente correr um risco". (EISBERG; RESNICK, 1979).

A possibilidade contrária, ou seja, de partículas se comportarem como onda foi aventada pela primeira vez em 1924, na tese de doutorado de Louis de Broglie, que apresentou a situação de uma onda comandando o caminho de uma partícula material (onda piloto). Este fenômeno foi comprovado em experiências independentes realizadas por Davisson (vide Figura 10) e G. P. Thomson em 1927/1928.



**Figura 10 - Esquema do aparato utilizado por Davisson.**  
**Fonte: THORNTON e REX (2013)**

Basicamente, o experimento se resumia a lançar elétrons, com o auxílio de diferentes tensões, contra um alvo (cristal de níquel para Davisson, película de diferentes materiais para G.P. Thomson). Após esses elétrons incidirem no cristal, ocorria um espalhamento, que era captado por um detector (figura 10). Davisson notou que para um ângulo de  $50^\circ$  do detector, correspondia um pico de 54 V de tensão (figura 11). Isso corroborou a hipótese desenvolvida por De Broglie, porque a observação só pode ser explicada pela interferência construtiva das ondas, fato semelhante à reflexão de Bragg que acontece no espalhamento de raios X (EISBERG e RESNICK, 1979; THORNTON e REX, 2013).

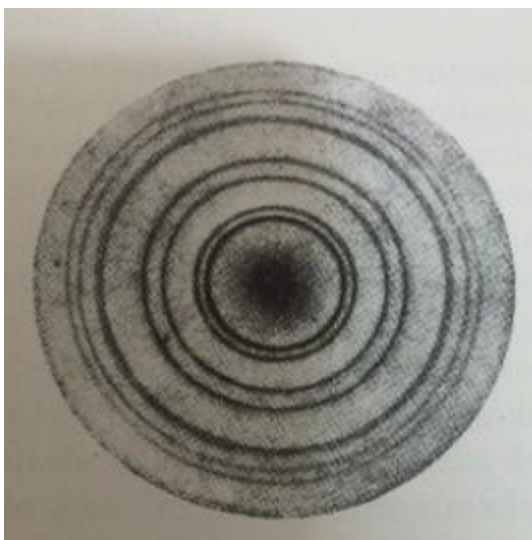


**Figura 11 - Pico de 54 eV com um ângulo de  $50^\circ$  entre o feixe incidido e o captado.**  
**Fonte: Thornton e Rex (2013)**

Em ambos os experimentos, os padrões encontrados foram semelhantes ao de difração de raios X. Com isso, pode-se comprovar que a partícula (elétron) tinha



sua propagação, nas condições do experimento, semelhantes às ondas quando difratadas (vide Figura 12), complementado então a hipótese de De Broglie.



**Figura 12 – Padrão de difração.**  
**Fonte: Born (1986)**

Esta determinação de o elétron se comportando como onda vem de encontro às teorias vigentes de que era uma partícula material, definido por J.J. Thomson, pai de G.P. Thomson. Curioso notar que diversas fontes chamam atenção para este parentesco e a aparente oposição ao comportamento eletrônico encontrado pelos dois. Enquanto o pai define elétron como partícula, o filho encontrou provas de seu comportamento ondulatório (THORNTON e REX, 1979; NUSSENSVEIG, 1998; EISBERG e RESNICK, 2013).

Com esses resultados, estabeleceu-se a dualidade onda-partícula que significava que a luz se comportava como partícula para determinados experimentos e vice-versa.

O experimento didático da difração de elétrons (vide Figura 13) conta com três estruturas básicas: (a) fonte de alta tensão, (b) bulbo com o alvo, (c) fonte de alta tensão auxiliar. Com a estrutura (a) pode-se variar a tensão de 0 a 10 kV (na atividade experimental, variamos até um máximo de 8 kV, para preservar o equipamento), aquecendo o filamento (contido dentro da estrutura (b)) responsável pelo lançamento dos elétrons. A fonte (c) permite-nos variar as tensões entre as grades do experimento, regulando o padrão dos anéis de difração.

Os parâmetros que podem ser variados diretamente são a tensão e o raio dos anéis de difração. Seriam possíveis outras variações, se o cristal dentro do bulbo pudesse ser trocado, mudando com isso a distância entre os planos interatômicos e possivelmente a ordem de difração. No que diz respeito à possibilidades de aprendizado de conteúdos que o equipamento proporciona, o manual de instruções traz:

- Reflexão de Bragg;
- Método de Debye-Scherer;
- Planos de rede;
- Estrutura do grafite;
- Ondas de matéria;
- Equação de De Broglie.

Salienta-se que, apesar do conhecimento de todos estes tópicos ser importante para a prática, ele não é pré-requisito para o desenvolvimento do experimento.



**Figura 13 - Experimento didático da difração de elétrons: (a) Fonte de tensão; (b) Tubo de difração de elétrons com suporte; (c) Alimentação regulável de energia.**  
Fonte: Autor (2015)

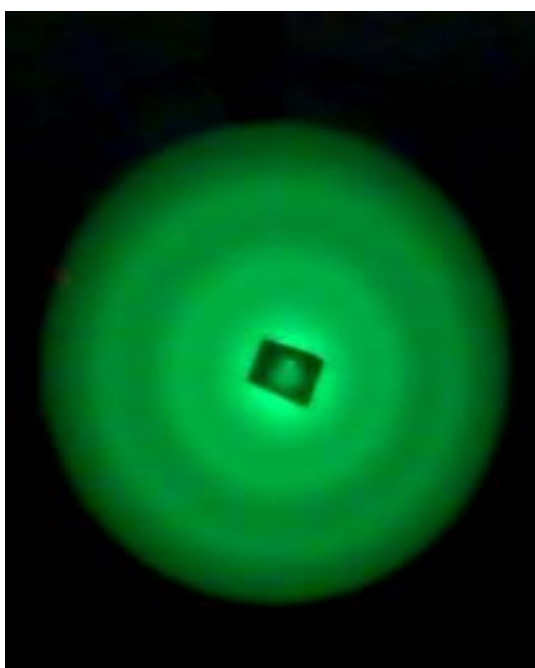
Para extrairmos valores dos experimentos utilizamos as seguintes equações:

$$r = \frac{2Rn\lambda}{d} \quad (11)$$

Na qual:  $r$  é o raio do anel difratado;  $R$  é o raio do bulbo do experimento;  $\lambda$  é o comprimento de onda;  $n$  é a ordem de difração e  $d$  é a distância entre os planos interatômicos do alvo (no caso, cristal de grafite). E também:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2Um}} \quad (12)$$

Nesta equação, temos " $\lambda$ " como comprimento de onda, " $h$ " como a constante de Planck, " $U$ " como a tensão fornecida pela fonte, " $e$ " é a carga elétrica e " $m$ " a massa do elétron.



**Figura 14 - Padrão da difração de elétrons, obtido no Laboratório de Física Moderna.  
Fonte: Autores (2015)**

Assim, concluímos a apresentação dos experimentos escolhidos para a produção do REA desenvolvido como produto desta dissertação.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo, analisamos qualitativa e quantitativamente as informações encontradas no desenvolvimento deste trabalho. Sendo assim, ocorre uma divisão em cinco partes: Artigos sobre videoanálise em periódicos brasileiros; Produção de artigos científicos sobre ensino de FMC; Aplicação e análise de um questionário respondido pelos professores; Aplicação e análise das respostas dos estudantes sobre a prática do experimento de Millikan; Resultados da carga elétrica obtida no experimento de Millikan com o auxílio da videoanálise.

## 6.1. VIDEOANÁLISE NOS PERIÓDICOS BRASILEIROS

Foram pesquisados os trabalhos relacionados à videoanálise nos três periódicos citados (CBEF, RBEF e IENCI). Essa parte foi realizada pesquisando pelos termos “*Tracker*”, “videoanálise”, “videoanalyse” e “*video analysis*” nos locais de busca nos sites dos periódicos.

Foram encontrados quatro artigos, presentes na Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, conforme exposto na Tabela 1.

**Tabela 1 - Levantamento de trabalhos referentes a videoanálise (CBEF, RBEF, IENCI) no período de 2011 a 2015.**

Ano	Título	Tema	Periódicos
2011	Movimento browniano: uma proposta do uso das novas tecnologias no ensino de física.	Movimento browniano.	RBEF
2012	Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física.	Pêndulo Simples.	CBEF
2012	Videoanálise com o software livre <i>Tracker</i> no laboratório didático de física: movimento parabólico e segunda lei de Newton.	Movimento Parabólico/segunda lei de Newton.	RBEF
2013	<i>Digital video analysis of falling objects in air and liquid using Tracker.</i>	Queda livre/velocidade terminal.	RBEF

Fonte: Autor (2016)

Estes dados corroboram a necessidade do desenvolvimento de objetos educacionais voltados a FMC, pois além de existirem poucos materiais relacionados à videoanálise, nenhum tem como foco a física do século XX.

## 6.2. ARTIGOS RELACIONADOS AO ENSINO DE FMC

Outra informação essencial é sobre o número de artigos ligados à FMC disponíveis nos três periódicos analisados. Essa pesquisa foi importante para analisar a situação atual da produção de trabalhos relacionados ao ensino de Física moderna, em complemento aos dois trabalhos de revisão relevantes já citados: “Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa ‘Física Moderna e Contemporânea no ensino médio’” (OSTERMANN; MOREIRA, 2000) e “Uma análise da produção acadêmica recente sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Brasil” (PEREIRA E OSTERMANN, 2009).

Os resultados da pesquisa que compreende o período entre 2009 e 2014, encontram-se tabulados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Levantamento de artigos referentes ao ensino de FMC no período de 2009 a 2014.**

	CBEF Número de artigos de FMC (Total 224)	RBEF Número de artigos de FMC (Total 503)	IENCI Número de artigos de FMC (Total 144)
2009	3	2	3
2010	0	5	0
2011	5	1	0
2012	3	2	0
2013	7	2	0
2014	6	0	1

Pode-se notar que a IENCI é o periódico que possui o menor número de trabalhos sobre FMC. Ao mesmo tempo, o CBEF é o que detém o maior número de artigos, mesmo que grande parte seja destinada ao ensino superior, contendo informações relacionadas às ciências exatas.

Dos 30 trabalhos presentes na categoria informação/material de consulta, 17 possuem características de pesquisa em Física “dura”. Seis trabalhos abordam a história da ciência e só em terceiro lugar, com quatro artigos encontra-se o ensino de FMC.

Este é mais um indício de que, apesar de existir uma grande “comoção” em torno da abordagem da FMC, os principais veículos de informação de ensino de Física trazem pouco material de FMC e ainda menos de ensino de FMC.



### 6.3. APLICAÇÃO E ANÁLISE DE UM QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PROFESSORES

A segunda fase da pesquisa está atrelada à consulta sobre as percepções dos docentes do ensino básico sobre a introdução de FMC em suas aulas.

Por isso, foi aplicado um questionário (que se encontra no apêndice do trabalho) para 12 professores de Física, tanto da rede pública quanto privada, para conhecer as opiniões e percepções dos docentes que se encontram nas escolas de Curitiba. Estes professores foram selecionados por terem cursado a disciplina de Física Moderna do PPGFCET (Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica). Do total, 10 professores responderam ao questionário, um se absteve por não trabalhar o assunto em sala de aula e o outro não respondeu.

Este questionário era composto de uma identificação (se lecionava em escola: particular, pública/municipal, pública/estadual, pública/federal) e 12 perguntas que se dividiam em três categorias:

- a) Impacto da FMC em sua formação;
- b) Abordagem da FMC em sala de aula;
- c) Os materiais e recursos que a escola fornece ou que o professor encontra e utiliza, relacionados à FMC.

Para diferenciar as respostas, cada professor recebeu uma identificação: P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> e assim sucessivamente.

A primeira parte era referente ao ambiente que o professor trabalhava. Sete professores lecionam apenas em escolas particulares (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>5</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>9</sub> e P<sub>10</sub>), dois lecionam somente em escolas estaduais (P<sub>6</sub> e P<sub>8</sub>) e um (P<sub>4</sub>) leciona tanto em uma como na outra.

Quando questionados se haviam cursado disciplinas de FMC na faculdade, a resposta foi unânime: sim. Cabe uma análise aqui. Todos afirmam que estudaram Física moderna na graduação, assim como passaram pela Física Clássica com matérias específicas de mecânica, termodinâmica e eletromagnetismo. Portanto, teoricamente, o professor estaria apto a abordar FMC no ensino médio.

A segunda pergunta explorava o contato desses professores com experimentos de Física moderna. Todos responderam afirmativamente, alguns destacaram que esta experiência ocorreu em disciplinas da graduação.

A pergunta seguinte era sobre o impacto da FMC na formação profissional. Seguem algumas respostas:

*“Abriu o campo de estudo para assuntos mais atuais.” (P<sub>1</sub>)*

*“Era o que mais chamava atenção e é o que de mais interessante tem na física. Mas na escola básica não há espaço para este assunto.” (P<sub>2</sub>)*

*“Foi um impacto relevante, pois em meu curso tive disciplinas específicas que envolviam FMC.” (P<sub>3</sub>)*

*“Foi muito importante, porém, poderia ter sido mais aprofundado.” (P<sub>4</sub>)*

*“Grande, o último ano na graduação foi estudando FMC.” (P<sub>5</sub>)*

*“Adquiri conhecimento necessário pra compreensão de fenômenos que visualizava apenas em livros de divulgação científica e em alguns livros didáticos.” (P<sub>6</sub>)*

*“Sempre ouvi falar sobre FMC, mas estudar tais tópicos como disciplina modificou minha maneira de pensar e ver o mundo.” (P<sub>7</sub>)*

*“De média para baixa, gostei de estudar, porém, em minha atuação como professor, apenas cito a física moderna. Não a trabalho com profundidade.” (P<sub>8</sub>)*

*“Foi motivador o suficiente para desenvolver um TCC em FMC e entrar no mestrado profissional com foco em FMC.” (P<sub>9</sub>)*

*“As aulas de FMC pareciam muito desconexas e sem importância a ser ensinada de verdade para alunos da licenciatura. Só fui perceber a importância do estudo da FMC quando comecei a dar aulas.” (P<sub>10</sub>)*

Em geral, as opiniões são de que a FMC teve grande impacto na formação dos professores. Muitas destacam que estes assuntos são tópicos muito interessantes da física (P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>, P<sub>7</sub> e P<sub>9</sub>). Mas é fundamental chamar atenção

para a pouca inserção destes conteúdos no ensino básico, fato destacado por 2 professores (P<sub>2</sub> e P<sub>8</sub>).

Fazendo coro aos PCN+ (BRASIL, 2002), dois professores (P<sub>1</sub> e P<sub>7</sub>) destacaram que os tópicos de FMC estão ligados aos assuntos e tecnologias atuais.

Esta análise baseada nas respostas dos professores está em conformidade com alguns “clichês” presentes na maioria dos trabalhos relacionados ao ensino de FMC:

- FMC é um tópico interessante;
- Pouco espaço para inserção de FMC no ensino médio;
- Relação deste assunto com a atualidade.

A quarta pergunta questionava a preparação do docente para trabalhar FMC no ensino médio. Quatro professores (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> e P<sub>7</sub>) afirmam que estão aptos a lecionar este conteúdo, dentre esses um (P<sub>2</sub>) destaca as poucas oportunidades para isso, outro (P<sub>7</sub>) que o estudante não está preparado devido à sua “preguiça mental”.

Dois professores (P<sub>5</sub> e P<sub>6</sub>) não se consideram preparados e quatro (P<sub>4</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub> e P<sub>10</sub>) estão parcialmente prontos para aulas de FMC. Segundo os próprios professores, a pouca profundidade em determinados assuntos vistos na graduação contribuí para a falta de preparo. A questão da superficialidade também é citada pelos professores que se sentem mais à vontade para trabalhar conteúdos mais básicos relacionados à FMC.

A pergunta de número 5 questionava a importância do ensino de FMC no ensino médio. As respostas foram as seguintes:

*“O ensino de FMC completa a formação básica do EM.”* (P<sub>1</sub>)

*“Promover o contato dos alunos com assuntos legais de física e também com informações obtidas no dia-a-dia.”* (P<sub>2</sub>)

*“O ensino de FMC no Ensino Médio é de grande relevância, pois é o ensino do que se fez em Física depois de 1900. São tópicos que não devem ser desconsiderados em sala de aula, pois está amplamente presente na tecnologia atual.”* (P<sub>3</sub>)

*“É importante tanto por ser base para as pesquisas atuais quanto por que precisamos mostrar aos nossos alunos que a Física é uma ciência que está em evolução e que não parou no tempo como pode parecer quando ensinamos apenas a Física Clássica. Além ainda de despertar o interesse e a curiosidade dos estudantes.” (P<sub>4</sub>)*

*“Grande, os alunos devem entender que a Física estudada hoje, não é atual.” (P<sub>5</sub>)*

*“É importante para mostrar ao estudante a evolução das teorias e o desenvolvimento até os dias de hoje, comentando sobre o aspecto histórico e Filosófico da Física.” (P<sub>6</sub>)*

*“Promover impactos que fomentem a mudança na forma de pensar dos alunos.” (P<sub>7</sub>)*

*“A importância é que o mundo que vivemos é cercado, além de física clássica, também de física moderna, o qual influencia muito o nosso modo de viver. Devido a FMC hoje temos tecnologias que influenciam no conforto, no entretenimento, no nosso deslocamento (GPS) e causam um grande impacto econômico no mundo atual.” (P<sub>8</sub>)*

*“Mostrar ao aluno que existe algo além da física clássica e aproximar os alunos da FMC, bem como seu desenvolvimento em tecnologias atuais.” (P<sub>9</sub>)*

*“A relação que podemos estabelecer com a Ciência em construção, humanizando o processo de evolução científico. Além disso, relacionar os conceitos científicos com fenômenos que são comuns a realidade dos alunos ou esclarecer o uso de termos recorrentes nos meios de comunicação.” (P<sub>10</sub>)*

Nota-se que a maioria dos professores (P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub> e P<sub>10</sub>) norteia sua explicação com a utilidade da FMC para o cotidiano do século XXI, principalmente voltados ao desenvolvimento de tecnologias, novamente entrando em consonância com diversos documentos oficiais (BRASIL, 2002; PARANÁ, 2008). Alguns ainda apontam a importância de elucidar e discutir o desenvolvimento da física como ciência (P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub> e P<sub>10</sub>).

Outras respostas mostram pontos referentes à formação do estudante (P<sub>1</sub>) e também situações que permitam reflexão quanto à maneira de pensar (P<sub>7</sub>).

Quando perguntados se haviam lecionado FMC alguma vez na vida, as respostas dividiram-se exatamente em cinco para cada lado. Alguns já trabalharam com este assunto no ensino básico (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>8</sub> e P<sub>10</sub>) e os demais nunca abordaram FMC como conteúdo. Consequentemente, as perguntas seguintes foram respondidas por um menor número de professores.

Como havia sido a experiência de lecionar FMC foi a próxima pergunta.

*“Modificou a maneira com que os estudantes enxergam a Física. Eles diziam que tudo o que eles haviam estudado era antigo e já concretizado. A partir das aulas de FMC, perceberam que ainda existem assuntos a serem discutidos e estudados.”* (P<sub>1</sub>)

*“Proveitosa, os alunos se interessavam bastante pelo assunto.”* (P<sub>2</sub>)

*“Creio que a experiência foi válida. Foi satisfatório quando os estudantes viram tópicos de relatividade restrita e geral, além de tópicos de física quântica, embora não tenha sido uma tarefa fácil, pois são temas abstratos.”* (P<sub>3</sub>)

*“Foi um conteúdo leve, de se trabalhar, no sentido em que os alunos demonstraram interesse em entender os fenômenos e suas explicações.”* (P<sub>8</sub>)

*“A primeira vez foi muito difícil. Este ano me senti mais confiante, mas ainda assim, tive que estudar um pouco. Em relação aos alunos, percebo interesse e empolgação, principalmente quando conseguem associar algum conceito com o mundo real.”* (P<sub>10</sub>)

No geral, os discursos giram em torno do interesse e satisfação dos estudantes. Em alguns casos a conexão com o cotidiano foi explorada bem como a dificuldade, tanto por parte do professor quanto do aluno, que o assunto traz naturalmente.

Apenas dois professores continuam trabalhando com FMC (P<sub>3</sub> e P<sub>8</sub>). Muitas das experiências, dos demais professores, haviam acontecido nas matérias referentes a estágios ligados aos cursos de graduação, de maneira que alguns

daqueles que responderam já ter lecionado FMC, não o fizeram de maneira oficial como professores efetivos.

Dentre os materiais utilizados para auxiliar na montagem ou desenvolvimento de aula sobre FMC, foram citados:

- Vídeos (Doutor Quântico, Ciência Curiosa);
- Filmes (Anjos e Demônios, A saga do Prêmio Nobel: A teoria quântica);
- Livros de graduação (Halliday, Serway);
- Livros de ensino médio (Física no cotidiano, Ser protagonista, Física para o ensino médio);
- PHET;
- Materiais de própria autoria.

A pergunta de número 10 era sobre a presença da FMC na escola em que atuam, pois, apesar de o professor não lecionar o conteúdo, pode ser que outros profissionais o façam.

Três professores responderam que sim ( $P_1$ ,  $P_3$  e  $P_9$ ), inclusive sendo conteúdo previsto na ementa da disciplina. Outros professores ( $P_5$ ,  $P_8$  e  $P_{10}$ ) afirmam que o tema é visto esporadicamente, às vezes como revisão no terceiro ano e outras vezes apenas “se sobrar tempo”.

Quando perguntados se as escolas em que trabalhavam forneciam materiais (experimentos, equipamentos e etc.) ou ambientes (laboratórios) para o ensino de FMC as respostas foram unânimes: Não existe qualquer material disponível para FMC. Um professor comentou sobre a existência de equipamentos para a Física Clássica, mas não para moderna.

Esta constatação não surpreende por diversos motivos dos quais se destacam a pouca inserção de FMC e o custo dos equipamentos. Para se ter uma ideia, os equipamentos do Laboratório de Física Moderna da UTFPR custaram aproximadamente R\$ 800.000,00. Este valor não condiz, em geral, com a capacidade de investimentos, mesmo de escolas particulares.

A última pergunta era sobre o conhecimento de materiais de apoio sobre FMC como sites, blogs, canais e etc. Muitos conheciam e utilizavam *applets* do

PHET, vídeos do *YouTube* e sites de universidades. Porém, o uso era feito de maneira superficial, às vezes como consulta para o próprio professor na preparação da aula.

Percebe-se, assim, que, apesar da importância atribuída ao tema – e mesmo nos casos em que os professores efetivamente buscam ensinar conteúdos de Física Moderna - , ainda assim, há uma grande carência de materiais de apoio, em especial aqueles que possam ser utilizados em aulas práticas. Desta forma, também se justifica a necessidade e a importância do presente trabalho e o desenvolvimento do produto deste mestrado profissional, tendo em vista demandas dos próprios professores.

Uma vez realizada esta investigação com foco nos professores, buscou-se avaliar as impressões dos estudantes que travaram contato com alguns dos materiais desenvolvidos.

#### 6.4. RESPOSTAS DOS ESTUDANTES SOBRE A PRÁTICA DO EXPERIMENTO DE MILLIKAN

Após a aplicação do experimento de Millikan pelo autor, os alunos responderam a um questionário (que se encontra no apêndice do trabalho). O questionário foi entregue a 25 estudantes do primeiro ano, dos quais 16 entregaram as respostas, e tinha como objetivo colher informações a respeito dos seguintes tópicos:

- a) Utilização do computador em aulas de física;
- b) Opinião acerca dos tutoriais;
- c) Dificuldades encontradas na realização da atividade;
- d) Pontos positivos e negativos.

A identificação dos estudantes seguiu critério semelhante ao usado no caso da avaliação dos questionários respondidos pelos professores, de modo que os estudantes foram nomeados da seguinte maneira: E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> e assim sucessivamente.

Então, a primeira pergunta foi: Em sua opinião, o uso de um programa de computador colaborou com o entendimento do conteúdo?

*“O uso do computador durante o trabalho foi de muita ajuda para o entendimento do conteúdo porque podemos ter acesso a programas que facilitam o experimento e temos a opção de ler e assistir vídeos tutoriais que nos ensinam e facilitam a compreensão.” (E<sub>1</sub>)*

*“Sim, pois com a utilização do computador podemos pesquisar mais e tirar dúvidas que temos em mente sobre o experimento.” (E<sub>2</sub>)*

*“Sim” (E<sub>3</sub>)*

*“Sim” (E<sub>4</sub>)*



*“Sim, pois deu para ver o que a gente esta estudando em sala de aula na pratica, saindo da parte teórica, dando para ver a partícula se movimentando e entendo o movimento.” (E<sub>5</sub>)*

*“Sim, pois pudemos ter uma visão mais ampla do conteúdo/experimento.” (E<sub>6</sub>)*

*“Sim, o uso do computador colaborou bastante para o entendimento do conteúdo.” (E<sub>7</sub>)*

*“Sim, colaborou.” (E<sub>8</sub>)*

*“Sim, pois através do computador conseguimos ver os vídeos que possibilitaram a execução do trabalho.” (E<sub>9</sub>)*

*“Sim, o uso do computador facilitou o entendimento da matéria.” (E<sub>10</sub>)*

*“Sim, o uso do computador ajudou bastante para o entendimento do trabalho.” (E<sub>11</sub>)*

*“Sim, pois com a utilização do computador podemos pesquisar mais e tirar dúvidas que temos em mente sobre o experimento.” (E<sub>12</sub>)*

*“Sim, foi extremamente útil.” (E<sub>13</sub>)*

*“Sim, o professor ofereceu ferramentas como o Tracker para fazer cálculos físicos avançados e até mesmo básicos, além disso, o computador nos deu a oportunidade de colocar de forma organizada as informações sobre Experimento de Millikan no programa Excel.” (E<sub>14</sub>)*

*“Sim, pois isso possibilitou a utilização de novos recursos para a realização da atividade.” (E<sub>15</sub>)*

*“Sim.” (E<sub>16</sub>)*

Podemos perceber que todos os estudantes consideraram que o software foi de grande ajuda no desenvolvimento do experimento. A maioria (E<sub>1</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>8</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>11</sub>, E<sub>13</sub> e E<sub>16</sub>) respondeu apenas “sim”, em alguns casos, com um

complemento. Outros estudantes destacaram que a utilização do computador permite o acesso a informações que colaborem com o desenvolvimento da atividade (E<sub>2</sub> e E<sub>12</sub>). O restante dos estudantes (E<sub>1</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>6</sub>, E<sub>9</sub> e E<sub>14</sub>) observou que a utilização de programas, como o *Tracker* e o Excel, permitem uma visualização melhor dos fenômenos físicos estudados.

Como já exposto, foram entregues aos estudantes três tutoriais: tutorial escrito que elucida questões referentes ao *Tracker* e ao Excel; um tutorial em vídeo do *Tracker* e outro tutorial, também em vídeo, do desenvolvimento no Excel. A indagação seguinte perguntava sobre a contribuição e preferência dos alunos pelo tutorial escrito ou em vídeo. Seguem algumas das respostas:

*“O tutorial escrito foi o que mais ajudou o grupo, porém estava um pouco confuso tanto que precisamos pedir ajuda de colegas de classe.” (E<sub>1</sub>)*

*“Os dois tutoriais contribuíram bastante para o desenvolvimento do trabalho.” (E<sub>2</sub>)*

*“O vídeo.” (E<sub>3</sub>)*

*“O tutorial em vídeo.” (E<sub>4</sub>)*

*“A parte escrita, pois no tutorial explica certinho como baixar o *Tracker* e como começar usar ele.” (E<sub>5</sub>)*

*“Acho que os dois contribuíram de maneiras iguais, pois nunca havia ouvido falar no *Tracker* e não fazia ideia de como utilizar o Excel para esse tipo de coisa (equações/cálculos).” (E<sub>6</sub>)*

*“O escrito, pois fica um pouco mais claro quanto ao que devemos fazer.” (E<sub>7</sub>)*

*“O tutorial em vídeo.” (E<sub>8</sub>)*

*“O tutorial em vídeo, que explicava como calcular a velocidade de subida e descida da gota.” (E<sub>9</sub>)*

*“Ambos tutoriais contribuíram muito para o desenvolvimento do trabalho. Enquanto o tutorial escrito nos serviu de “base”, o tutorial em vídeo ajudou a sanar todas nossas dúvidas.” (E<sub>10</sub>)*

*“Na minha opinião, o que contribuiu mais para o desenvolvimento da atividade foi o roteiro ( escrito ).” (E<sub>11</sub>)*

*“Vídeo.” (E<sub>12</sub>)*

*“O tutorial em vídeo, pelo fato de ser mais fácil de entender.” (E<sub>13</sub>)*

*“O tutorial de Excel, pois a parte que ficou comigo foi a de montar a planilha pois eu fiz cursos para melhorar e otimizar o uso dessa ferramenta no meu dia a dia, mas ainda com 2 cursos de Excel nunca tinha visto uma formula tão avançada quando a que foi mostrada no cálculo de elétrons.” (E<sub>14</sub>)*

*“O tutorial em vídeo.” (E<sub>15</sub>)*

*“Os tutoriais em vídeo.” (E<sub>16</sub>)*

Nota-se que o tutorial mais vezes mencionado (E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>, E<sub>8</sub>, E<sub>9</sub>, E<sub>12</sub>, E<sub>13</sub>, E<sub>14</sub>, E<sub>15</sub>, E<sub>16</sub>) foi o disponibilizado em vídeo, por dois motivos: complemento ao tutorial escrito (E<sub>10</sub>), facilidade em entender com o recurso em vídeo (E<sub>13</sub>). O restante dos estudantes apenas escolheu o em vídeo, sem mais esclarecimentos. Com relação ao tutorial escrito, 5 estudantes (E<sub>1</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>11</sub>) o consideraram a melhor opção por: trazer mais clareza para o trabalho (E<sub>5</sub> e E<sub>7</sub>), permitir que se trabalhe em um tempo particular (E<sub>1</sub>) (o estudante escolheu o tutorial escrito mas o considerou confuso em alguns quesitos não especificados). O estudante (E<sub>11</sub>) apenas escolheu uma opção. Os demais estudantes (E<sub>2</sub>, E<sub>6</sub> e E<sub>10</sub>) consideraram que os dois tipos de tutoriais (escrito e em vídeo) foram igualmente importantes para o desenvolvimento do trabalho. A Tabela 3 busca sintetizar estas respostas, destacando a preferência dos estudantes pelo tutorial elaborado na forma de vídeo.

**Tabela 3 - Preferência dos estudantes, relativa aos tutoriais desenvolvidos.**

Preferência por Tutoriais	Estudantes	Porcentagem
Vídeo	9 (E <sub>3</sub> , E <sub>4</sub> , E <sub>8</sub> , E <sub>9</sub> , E <sub>12</sub> , E <sub>13</sub> , E <sub>14</sub> , E <sub>15</sub> , E <sub>16</sub> ).	56%
Escrito	5 (E <sub>1</sub> , E <sub>5</sub> , E <sub>7</sub> , E <sub>11</sub> ).	31%
Ambos	3 (E <sub>2</sub> , E <sub>6</sub> e E <sub>10</sub> ).	19%

A pergunta seguinte abordava a questão da clareza dos tutoriais. Sobre isso os estudantes responderam que:

*“Estão, porém nos batemos um pouco para segui-los. Essa dificuldade pode ter ocorrido por ser a primeira vez que usamos um software para realizar um trabalho, não só por causa dos tutoriais.” (E<sub>1</sub>)*

*“Os tutoriais são claros porque eles têm a explicação passo a passo de cada procedimento que deve ser feito, e o vídeo ajuda a tirar todas as dúvidas na hora de fazer o trabalho.” (E<sub>2</sub>)*

*“Sim, explicam passo a passo.” (E<sub>3</sub>)*

*“Sim, sem os tutoriais não conseguiríamos realizar o trabalho. O trabalho era complexo e trabalhoso, mas os tutoriais facilitaram.” (E<sub>4</sub>)*

*“Sim, deu para entender como fazer tudo, pois o tutorial mostra passo a passo não deixando nenhum detalhe de fora, ou seja, a gente não teve dúvidas na hora de montar tanto o Tracker como o Excel.” (E<sub>5</sub>)*

*“Sim, pois estão com linguagens fáceis e simples de entender.” (E<sub>6</sub>)*

*“Sim, pois estão bem detalhados.” (E<sub>7</sub>)*

*“Os tutoriais estão claros, pois conseguimos executar o trabalho, apenas tivemos um pouco de dificuldade na marcação da partícula, mas tal dificuldade foi superada com o tutorial em vídeo.” (E<sub>8</sub>)*

*“Sim, pois com os tutoriais fizemos o trabalho sem muitas dificuldades.” (E<sub>9</sub>)*

*“Sim, todas as complicações que tivemos ao longo do desenvolvimento do trabalho puderam ser resolvidas com a leitura dos tutoriais.” (E<sub>10</sub>)*

*“Sim, principalmente por estarem mostrando cada passo que devíamos seguir, através de imagens, facilitando o entendimento.” (E<sub>11</sub>)*

*“Os tutorias são claros porque eles têm a explicação passo a passo de cada procedimento que deve ser feito, e o vídeo ajuda a tirar todas as dúvidas na hora de fazer o trabalho.” (E<sub>12</sub>)*

*“Sim, os tutoriais ajudaram muito. Acredito que sem os tutoriais em vídeo, o trabalho teria sido dificultado e levado mais tempo para ser feito.” (E<sub>13</sub>)*

*“Sim, eu consegui entender claramente o que o professor Marcus quis transmitir em seu tutorial de como montar a planilha, além disso, é mostrado o passo a passo até o momento em que você deve colocar todos os dados na planilha e são mostradas todas as formulas que tem que ser utilizadas então não teve problema nenhum em fazer as planilhas.” (E<sub>14</sub>)*

*“Sim, pois eles nos acompanham passo por passo ao longo da atividade.” (E<sub>15</sub>)*

*“Sim, pois eu e meu grupo não tivemos nenhuma dificuldade na execução do trabalho.” (E<sub>16</sub>)*

Todos os estudantes consideraram os tutoriais satisfatórios e claros com destaque para o “passo a passo” e o “detalhamento” dos materiais disponibilizados (E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>11</sub>, E<sub>12</sub>, E<sub>14</sub> e E<sub>15</sub>). A linguagem simplificada foi lembrada por um estudante (E<sub>6</sub>) e a maioria considera que os tutoriais contribuíram para facilitar o trabalho (E<sub>4</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>9</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>11</sub>, E<sub>12</sub>, E<sub>13</sub>, E<sub>14</sub> e E<sub>16</sub>). Alguns estudantes consideraram o produto claro, mesmo encontrando dificuldades para realizar a prática experimental (E<sub>1</sub> e E<sub>9</sub>).

Em seguida, foi requisitado que os estudantes apontassem três pontos positivos da utilização do *Tracker* para uma aula de experimento de Millikan e outros três pontos negativos. Nesta parte, as respostas dos alunos E2 e E12 foram iguais.

*“Positivos: O Tracker é um software que pode ser facilmente baixado da internet, ele é bem educacional e não precisa pagar. Negativos: ele é difícil de mexer e entender. Tivemos problemas em abri-lo e não é pratico.” (E<sub>1</sub>)*

*“Positivos: ele facilita muito nas medidas, ele calcula as velocidades automaticamente, a opção "Step Size" selecionada em 4 frames, torna a marcação dos pontos mais rápida e eficiente. Negativos: ocorreram problemas ao abrir o video no Tracker, sem o tutorial, seria muito difícil encontrar as ferramentas e obter os resultados das velocidades, não encontrei o 3º ponto negativo.” (E<sub>2</sub>)*

*“Positivos: extremamente importante para as marcações, ele faz os cálculos automaticamente e é de graça. Negativos: Não funcionou em meu imac, usa um instalador e tem um layout ultrapassado (o que não é muito importante).” (E<sub>3</sub>)*

*“Positivos: seleção da quantidade de quadros, marcadores (da gota), multiplicação automática. Negativos: na hora do download pode acabar vindo um vírus, são tantas opções que dá até para se perder.” (E<sub>4</sub>)*

*“Positivos: ele é bem útil quando precisamos fazer um trabalho voltado para a matéria física, ele é bem fácil de baixar na internet e bem confiável e ele pode ajudar as pessoas que possuem dúvidas sobre certos assuntos relacionados à física. Negativos: difícil de entender sem uma orientação adequada, feito para pessoas que realmente entendem de física e não para qualquer pessoa e é difícil de abrir, não sendo prático.” (E<sub>5</sub>)*

*“Positivos: o Tracker facilita o entendimento, mostrando uma visão mais ampla do conteúdo; auxilia em coisas que demoraríamos horas para fazer (marcar cada ponto das partículas); é um programa prático e eficiente. Negativos: no início é complicado de mexer; painel um pouco confuso; muita informação de uma só vez” (E<sub>6</sub>)*

*“Positivos: faz as contas pra você, facilita seu trabalho, é fácil de mexer. Negativos: demora pra baixar.” (E<sub>7</sub>)*

*“Positivos: foi uma experiência interessante, a utilização do Tracker facilitou muito o entendimento do experimento e ele possui muitas ferramentas interessantes, que podem ajudar em trabalhos de física futuros. Negativos: O aplicativo demorou um pouco para baixar, nós tivemos um pouco de dificuldade na sua utilização e o Tracker não encontrava o vídeo na pasta Downloads, apenas na Vídeos.” (E<sub>8</sub>)*

*“Sem resposta.” (E<sub>9</sub>)*

*“Positivos: O uso do Tracker foi uma experiência nova (e até mesmo agradável); Ele possui muitas outras “funções” que parecem ser interessantes (principalmente para alguém que entenda o programa mais profundamente); Foi mais fácil de utilizá-lo do que eu pensei que seria. Negativos: o painel do programa é um pouco confuso e é fácil se confundir sem os tutoriais.” (E<sub>10</sub>)*

*“Positivos: o Tracker facilitou muito na execução do trabalho, nos ajudou a fazer mais rápido e com as ferramentas que ele oferece conseguimos fazer um trabalho com muito mais detalhes e com valores mais aproximados. Negativos: o Tracker acabou fazendo muito do trabalho pela gente e por ser difícil de mexer acabou dando um pouco de trabalho.” (E<sub>11</sub>)*

*“Positivos: ele facilita muito as medidas, ele calcula as velocidades automaticamente, a opção “Step Size” seleciona em 4 frames, torna a marcação dos pontos mais rápida e eficiente. Negativos: ocorreram problemas ao abrir o vídeo no Tracker, sem o tutorial, seria muito difícil encontrar as ferramentas e obter os resultados das velocidades, não encontrei o 3 ponto negativo.” (E<sub>12</sub>)*

*“Positivos: poder ter a opção de marcar a gota na subida e descida, decidir qual a gota utilizar e o fato do Tracker já realizar as contas que são necessárias. Negativos: perigo de algum vírus entrar no computador e o fato da pagina de download no Tracker ser muito cheia de informações.” (E<sub>13</sub>)*

*“Positivos: eu falando por mim mesmo e não pela equipe acho que precisaria pesquisar sobre tais formulas para realizar os exercícios, além disso o sistema é preciso como tem que ser apesar da baixa velocidade em alguns cálculos, e o Tracker tem um banco de dados muito atualizado e isso ajuda muito pois confere a veracidade dos cálculos. Negativos: o Tracker em si tem um design meio ultrapassado, e as vezes a velocidade de processamento de dados deixa a desejar, além disso ele teve alguns problemas no sistema OS X do MacBook Air, pode ter sido algum bug, porém não consegui usar bem a ferramenta.” (E<sub>14</sub>)*

*“Positivos: os resultados são calculados automaticamente, software é leve, é rápido de se fazer o trabalho. Negativos: é um pouco difícil de entender como usar o software, foi um pouco complicado entender o objetivo final, foi difícil de trabalhar com os números.” (E<sub>15</sub>)*

*“Positivos: fácil de mexer; facilita os cálculos e é rápido para baixar. Negativos: não encontrei nenhum ponto negativo no Tracker, apenas a parte do Excel foi complicadinha.” (E<sub>16</sub>)*

Dentre os pontos positivos mais citados, encontram-se a facilidade em baixar, o fato do software ser livre, a clareza do programa, a facilitação do trabalho

que o *Tracker* proporciona, mas principalmente alguns aspectos técnicos como as marcações e opções presentes no programa. Os pontos negativos que ganharam destaque foram: difícil manipulação, *layout* ultrapassado e problemas com determinado sistema operacional.

Nota-se que a “manipulação” está presente tanto nos aspectos positivos quanto negativos. Enquanto alguns afirmam que o software auxiliou no desenvolvimento do experimento, outros consideraram o trabalho com o *Tracker* difícil.



## 6.5. RESULTADOS DA CARGA DO ELÉTRON

Os alunos do primeiro ano foram divididos em grupos de até quatro pessoas e orientados a escolherem uma gotícula aleatória para marcação dos dados. Como se tratava de estudantes de 9<sup>o</sup> e 1<sup>o</sup> ano do ensino médio, o objetivo mínimo proposto era que chegassem a valores próximos da ordem de grandeza. Na sequência, são apresentados os resultados obtidos pelos grupos, nas Figuras de 15 a 19:

### Grupo 1

Valores de descida	Valores de subida	Cálculo da carga do elétron
1,87E-01	1,26E-01	1,79E-19
1,51E-01	1,31E-01	
1,68E-01	2,75E-01	
2,13E-01	3,07E-01	
2,43E-01	2,76E-01	
1,93E-01		
Média de V em mm/s	Média de V em mm/s	
1,93E-01	2,23E-01	
Média de V em m/s	Média de V em m/s	
1,93E-04	2,23E-04	
Tensão		
350		

Figura 15 - Valor da carga elétrica do Grupo 1.  
Autor: Estudantes (2015)

### Grupo 2

Velocidade de descida	Velocidade de subida	Cálculo da carga do elétron
1,65E-01	2,81E-01	4,08E-19
1,86E-01	2,81E-01	
1,76E-01	3,33E-01	
1,86E-01	3,43E-01	
2,34E-01	3,27E-01	
2,12E-01		
1,81E-01		
2,06E-01		
Média das velocidades em mm/s	Média das velocidades em mm/s	
1,93E-01	3,13E-01	
Média das velocidades em m/s	Média das velocidades em m/s	
1,93E-04	3,13E-04	
Tensão		
350		

Figura 16 - Valor da carga elétrica do Grupo 2.  
Fonte: Estudantes (2015)

## Grupo 3

Velocidade de Descida	Velocidade de Subida	Cálculo da Carga do Elétron
2,09E-01	2,88E-01	3,52E-19
1,66E-01	2,94E-01	
1,50E-01	2,67E-01	
1,67E-01	2,82E-01	
2,31E-01	3,73E-01	
2,32E-01		
1,94E-01		
1,88E-01		
Média das Velocidades em mm/s	Média das Velocidades em mm/s	
1,93E-01	2,83E-01	
Média das Velocidades em m/s	Média das Velocidades em m/s	
1,93E-04	2,83E-04	
Tensão		
350		

Figura 17 - Valor da carga elétrica do Grupo 3.  
Fonte: Estudante (2015)

## Grupo 4

Velocidade de Descida	Velocidade de Subida	Cálculo Para a Carga do Elétron
1,95E-01	2,89E-01	9,17E-17
1,87E-01	3,00E-01	
1,65E-01	2,84E-01	
1,51E-01	3,10E-01	
1,89E-01	3,61E-01	
2,25E-01		
2,07E-01		
1,93E-01		
2,04E-01		
Média da Velocidade: mm/s	Média da Velocidade: mm/s	
1,91E-01	3,09E-01	
Média da Velocidade: m/s	Média da Velocidade: m/s	
1,91E-04	3,09E-04	
Tensão: V	Tensão: V	
350	350	

Figura 18 - Valor da carga elétrica do Grupo 4.  
Fonte: Estudantes (2015)

## Grupo 5

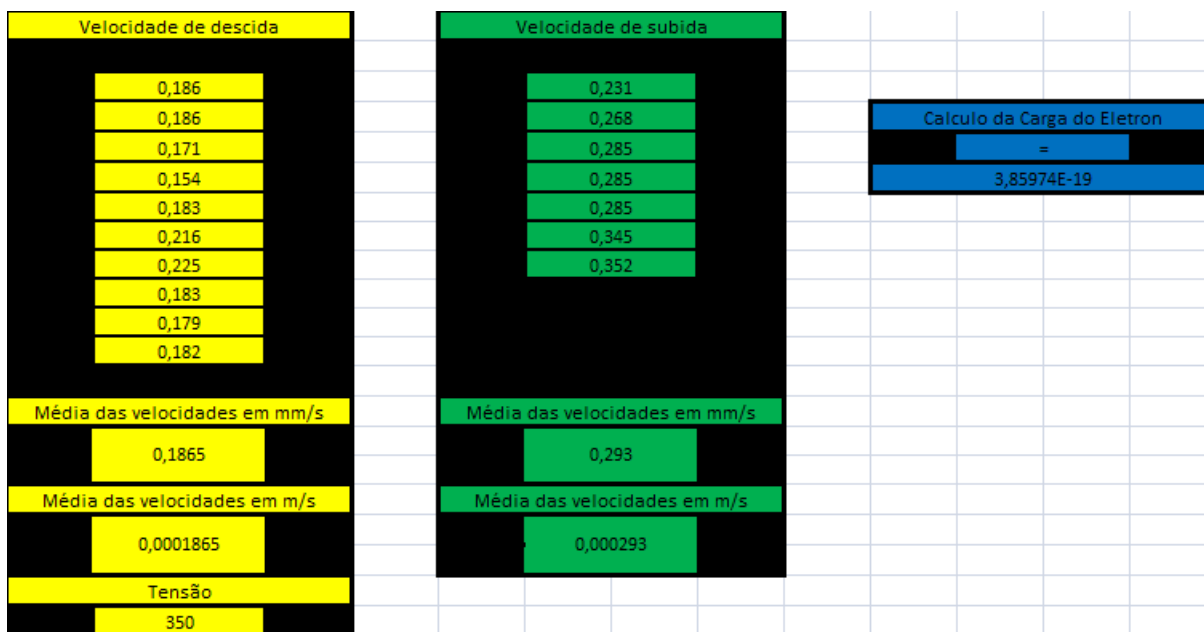


Figura 19 - Valor da carga elétrica do Grupo 5.

Fonte: Estudantes (2015)

Podemos perceber que quatro grupos conseguiram chegar a uma ordem de grandeza próxima a  $10^{-19}$ . Apenas um grupo obteve resultados muito diferentes do valor da carga do elétron (Grupo 4). Em compensação, o melhor resultado foi do Grupo 1, que encontrou o valor de  $1,79 \times 10^{-19}$  C. Alguns estudantes reconheceram que a prática foi facilitada pelo uso dos tutoriais, afirmando que sem estes “*seria muito difícil encontrar as ferramentas e obter os resultados das velocidades*”.

Desta forma, entende-se que tenha sido demonstrada, de maneira preliminar, a possibilidade de utilização, em sala de aula, dos materiais desenvolvidos como produto deste mestrado profissional.

O produto da dissertação é constituído na forma de vídeos e tutoriais, os quais estão acessíveis para qualquer pessoa que tenha acesso à Internet, no site *Trackerbrasil*, nos seguintes links:

- [http://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/?page\\_id=190](http://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/?page_id=190)
- [http://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/?page\\_id=196](http://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/?page_id=196)
- [http://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/?page\\_id=197](http://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/?page_id=197)

Sendo o primeiro link relativo ao experimento de Millikan, o segundo ao experimento da difração de elétrons e o último sobre o experimento da carga/massa.

Logo, a disseminação do conteúdo é facilitada em virtude do grande alcance que a *Internet* proporciona, permitindo que qualquer pessoa baixe o conteúdo e trabalhe baseado em uma sequência didática bem definida (elaborada pelos autores deste trabalho) ou em uma atividade norteada por interesses e diretrizes próprios.

## 7. CONCLUSÕES

A análise de artigos presentes nos periódicos pesquisados mostrou que a produção de trabalhos cujo foco é FMC ainda existe em número reduzido, se compararmos ao número total de artigos que cada edição do periódico tem. Isso ocorre também com artigos referentes à videoanálise. Essa ausência de conteúdos e abordagens referentes à FMC também se manifesta na sala de aula, segundo os professores que responderam ao questionário. Isto contrasta com as diretrizes dos documentos oficiais, que recomendam sua inserção em sala de aula.

As respostas dos professores evidenciam a vontade de ensinar e valorizar a FMC visto que todos, de alguma forma, são favoráveis à abordagem do conteúdo no ensino básico. Por outro lado, estes professores manifestam dificuldades com respeito à tarefa, dentre as quais se destaca a falta de equipamentos e materiais para uso em sala de aula. Neste sentido, o produto desenvolvido neste mestrado aponta um caminho possível no sentido de ampliar as possibilidades de ensino de FMC.

Portanto, o produto desta dissertação, que se encontra disponível livremente para o público, foi confeccionado para dar suporte a algumas dessas práticas e foi validado a partir de uma aplicação nas salas de aula das turmas citadas. Buscou-se, assim, para além do desenvolvimento circunstanciado de um material de apoio aos professores e estudantes, compreender seus efeitos, pontos fortes e limitações no contexto da sala de aula.

No que diz respeito ao Experimento de Millikan, especificamente aos resultados da carga do elétron, as respostas dos estudantes se aproximaram do objetivo que era obter valores próximos à ordem de grandeza ( $10^{-19}$  C). Apenas uma equipe não conseguiu resultados coerentes ( $10^{-17}$  C). Ainda assim, os estudantes, por intermédio do material desenvolvido, tiveram acesso a um experimento fundamental, incluindo a possibilidade da discussão de aspectos históricos e diversos elementos de relevância científica. Os vídeos permitiram “trazer para a sala de aula” um aparato sofisticado e, junto dele, a observação de efeitos físicos complexos, incluindo a possibilidade do equacionamento do problema, a coleta e o tratamento de dados (mediados pela computação com o *Tracker*) que conduzem à

determinação de valores experimentais relevantes. O processo como um todo pode ser considerado significativo na formação científica dos educandos, também por abrir uma multiplicidade de possibilidades para os professores.

É interessante notar que alguns estudantes encontraram no tratamento de dados com o *Excel* uma das principais dificuldades. Este fato já havia sido observado pelo professor Ricardo Meucci em sua dissertação (MEUCCI, 2014), na qual o *Tracker* foi utilizado em atividades relacionadas a leis de conservação em mecânica.

Destaca-se que, como a atividade com os alunos foi desenvolvida ao longo de duas semanas em cada escola, foi possível apresentar e discutir a atividade prática e, sem utilizar o tempo de aula regular estabelecido pelas escolas, trabalhar o experimento de Millikan sem a necessidade da presença contínua do professor. Isso tornou a ação dos estudantes muito mais autônoma, visto que os problemas encontrados eram resolvidos pelas equipes, principalmente com o auxílio dos tutoriais. Neste sentido, percebe-se o potencial do produto a ser utilizado em atividades de educação à distância, por exemplo. Os materiais referentes aos outros dois experimentos (carga/massa e difração de elétrons) serão foco de análise em trabalhos futuros, relacionados a esta dissertação.

De acordo com a pesquisa realizada, também se pode afirmar que o presente trabalho encontra-se na vanguarda dos experimentos de FMC tratados com o *Tracker*, afinal, os trabalhos referentes a esse programa são escassos e a junção de FMC e videoanálise inexistente nos periódicos pesquisados. Desta maneira, configura-se uma contribuição inédita e que abre novas possibilidades no Ensino de Física.

Por fim, o produto desta dissertação pode ser manipulado de acordo com as necessidades de cada professor, visto que os materiais “sem tratamento” também foram disponibilizados. Isto abre a possibilidade de os três experimentos serem realizados em sala de aula de modo a que estudantes e professores tenham maior proximidade com os assuntos, os equipamentos e os dados experimentais.

De Einstein (2015):

“Tudo isso, nas mãos de vocês, se torna uma herança. Vocês a recebem, respeitam-na, aumentam-na e, mais tarde irão transmiti-la fielmente à sua descendência. Desse modo somos mortais imortais, porque criamos juntos obras que nos sobrevivem.”

## REFERÊNCIAS

- ANGOTTI, José A. P. **Ensino de Física com TDIC**. Florianópolis, 2015.
- ARIMOTO, Maurício M.; BARROCA, Leonor.; BARBOSA, Ellen F. **Recursos Educacionais Abertos: Aspectos de desenvolvimento no cenário brasileiro**. RENOTE – Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 12, n. 2, 2014.
- ARAÚJO, Mauro S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, 2003.
- ASSIS, Odílio B. G. **A asa da borboleta e a nanotecnologia: cor estrutural**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, 2301, 2013.
- BASSALO, José Maria Filardo. **O prêmio Nobel de Física (PNF) de 2008**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2: p. 394-415, ago. 2009.
- BASSALO, José Maria Filardo. **O prêmio Nobel de Física (PNF) de 2009**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 2: p. 394-406, ago. 2010.
- BASSALO, José Maria Filardo. **O Prêmio Nobel de Física de 2013**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 2, p.306-332, maio 2014.
- BETZ, Michel E. M. **Elementos de mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 4, 4310, 2014.
- BETZ, Michel; LIMA, Ismael; MUSSATTO, Gabriel. **Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 3, 3501, 2009.
- BEZERRA-JR, Arandi *et al.* **Uma abordagem didática do experimento de Millikan utilizando videoanálise**. Acta Scientiae - Revista de Ensino de Ciências e Matemática, v. 17, n. 3, 2015.
- BEZERRA-JR, Arandi *et al.* **Vídeoanálise 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, Florianópolis, 2012.
- BIENZOBAS, Paula. F.; SALINAS, Silvio R. **Modelo esférico quântico elementar**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 3, 3311, 2013.
- BORGES, Mauro D. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma experiência didática com a teoria da Relatividade Restrita**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- BORN, Max. **Física Atômica**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1986.



BRASIL. **Banco Internacional de Objetos Educacionais**. Ministério da Educação e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação: 2008. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br>>. Acesso em 1 de agosto de 2014.

BRASIL. **Portal do Professor**. Ministério da Educação, 2008. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br>>. Acesso em 1 de agosto de 2014.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. **Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna?** Revista Investigações em Ensino de Ciências. v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

BROWN, Douglas. **Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education**. Disponível em: <<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>>. Acesso em: 10 de Outubro de 2014.

CALHEIRO, Lisiane B.; GARCIA, Isabel K. **Proposta de inserção de tópicos de física de partículas integradas ao conceito de carga elétrica por meio de unidade de ensino potencialmente significativa**. Investigações em Ensino de Ciências – v. 19(1), pp. 177-192, 2014.

CANATO JR, Osvaldo; MENEZES, Luiz Carlos. **A física quântica como conhecimento em rede no ensino de física**. In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias, 2012.

CARMO, L. MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C. **Distorções Conceituais em Imagens de Livros Textos: o Caso do Experimento de Joule**. *Atas do VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*, Florianópolis, 2000.

CARUSO, Francisco; FREITAS, Nilton de. **Física moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, p.355-366, 2009.

CARVALHO NETO, Rodolfo A.; FREIRE JUNIOR, Olival; SILVA, José L. P. B. **Improving students' meaningful learning on the predictive nature of quantum mechanics**. Investigações em Ensino de Ciências – V14(1), pp. 65-81, 2009.

CASTRILLÓN, Jhonny; FREIRE JR, Olival; RODRÍGUEZ, Bóris. **Mecânica quântica fundamental, uma proposta didática**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 1, 1505, 2014.

CHAER, Galdino; DINIZ, Rafael R. P.; RIBEIRO, Elisa A. **A técnica do questionário na pesquisa educacional**. *Evidências*, v. 7, n.7, p. 251-266, 2011.

CORDEIRO, Marinês D.; PEDUZZI, Luiz O. Q. **As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 27, n. 3, p.473-514, 1 mar. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

CORDEIRO, Marinês D.; PEDUZZI, Luiz O. Q. **Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, n. 3, p.536-563, 12 maio 2014. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

COSTA, Marconi B. S.; PAVÃO, Antônio C. **Supercondutividade: um século de desafios e superação**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 2, 2602, 2012.

CREATIVE COMMONS BR. **Creative Commons**. Disponível em: <<https://br.creativecommons.org/sobre/>>, acesso em 24 de janeiro de 2016.

DOMINGUINI, Lucas. **Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 2, 2502, 2012.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

EISNTEIN, Albert. **Como vejo o mundo**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2015.

FANARO, Maria A.; OTERO, Maria R.; ARLEGO, Marcelo. **Teaching the foundations of quantum mechanics in secondary school: a proposed conceptual structure**. Investigações em Ensino de Ciências – V14(1), pp. 37-64, 2009.

FIGUEIRA, Jalves S. **Movimento browniano: uma proposta do uso das novas tecnologias no ensino de física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 4403, 2011.

GAMA, Carmen L. G. **Método de Construção de Objetos de Aprendizagem com Aplicação em Métodos Numéricos**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Programação Matemática) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007.

GARCIA, Nilson D.; GARCIA, Tânia M. B.; HIGA, Ivanilda. **O Projeto de Ensino de Física (PEF): um modo brasileiro de ensinar física da década de 1970**. Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís – MA, 2007. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0311-1.pdf>>. Acesso em Out. 2015

GUERRA, Andreia; REIS, José C.; BRAGA, Marco A. B. **Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no séculos XIX**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 3, p.568-583, 1 mar. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

HAWKING, Stephen. **O universo numa casca de noz**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2009.

HECKLER, Valmir; MOTTA, César S.; GALIAZZI, Maria C. **A experimentação no contexto brasileiro da formação de professores em ciências na EaD**. Revista Científica em Educação a Distância. v. 5, n. 2, p. 103-123, 2015.

HEERING, Peter; KLASSEN, Stephen. **Doing it differently: attempts to improve Millikan's oil-drop experiment**, Physics Education, 45 (4), p. 382-393, 2010.

HEIDEMANN, Leandro A.; ARAUJO, Ives S.; VEIT, Eliane A. **Ciclos de Modelagem: uma alternativa para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, 2012.

IFSC/USP. **Experimento de Millikan**. São Paulo, 2013. Disponível em <[http://www.ifsc.usp.br/~lavfis/images/BDApostilas/ApMillikan/Millikan\\_1.pdf](http://www.ifsc.usp.br/~lavfis/images/BDApostilas/ApMillikan/Millikan_1.pdf)>, acesso em: 12 de fevereiro de 2016.

KAUARK, Fabiana; MANHÃES, Fernanda C.; MEDEIROS, Carlos H. **Metodologia da Pesquisa: Um guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KNEUBIL, Fabiana B. **Explorando o CERN na física do Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, 2501, 2013.

LAWS, Priscilla *et al.* **Using Research-Based Interactive Video Vignettes to Enhance Out-of-Class Learning in Introductory Physics**. *The Physics Teacher*, 53, 114, 2015.

MACHADO, Daniel I.; NARDI, R. **Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de física moderna**. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, n. 1, 2007.

MANGILI, Arthur I. **Heinrich Rudolph Hertz e o Efeito Fotoelétrico**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2011.

MENDES, Rozi M.; SOUZA, Vanessa I.; CAREGNATO, Sônia E. **A Propriedade Intelectual na Elaboração de Objetos de Aprendizagem**. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/548/000502901.pdf?sequence=1>> acesso em 28/06/2015.

MELO, C. A. M.; PIMENTEL, B. M.; RAMIREZ, J. A. **Princípio de ação quântica de Schwinger**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 4, 4302, 2013.

MELO, C. A. M.; PIMENTEL, B. M.; RAMIREZ, J. A. **Teoria algébrica de processos da medida em sistemas quânticos**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, 3306, 2011.

MEUCCI, Ricardo Dalke. **Experimentos sobre leis de conservação para o ensino de física no ensino médio baseados em tecnologias livres**. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MILLIKAN, Robert A. **On the elementary electrical charge and the Avogadro constant**, *Physical Review*, Vol. II, no 2, pp. 108-143, 1913. Disponível em <<http://www.aip.org/history/gap/PDF/millikan.pdf>>. Acesso em: 16 de novembro de 2014.

MILLIKAN, Robert A. **The electron and the light-quant from the experimental point of view**, Nobel Lecture, 1924. Disponível em

<[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1923/millikan-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1923/millikan-lecture.pdf)>. Acesso em: 16 de novembro de 2014.

MIQUELIN, Awdry F. **Ensino-investigativo de física: trabalhando numa abordagem sistêmica em ambiente multimídia-teletemático**. 2003. 125 f. Dissertação – Programa de pós-graduação do Centro de Educação da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MIRANDA JR, Moacir R. **Introdução ao uso de informática no ensino de física no ensino médio**. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MOREIRA, Marco A. **O Modelo Padrão da Física de Partículas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1306, 2009.

MORESI, Eduardo. **Metodologia da Pesquisa**. Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2003.

NESPOLI, Grasiela *et al.* **Tendências de estudo na área da educação em ciências e saúde: um olhar sobre a produção científica do Núcleo de Tecnologia Educacional para Saúde (NUTES/UFRJ)**. In: VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Florianópolis, 2009.

NETO, Rodolfo A. C.; FREIRE JÚNIOR, Olival; SILVA, José L. P. B. **IMPROVING STUDENTS' MEANINGFUL LEARNING ON THE PREDICTIVE NATURE OF QUANTUM MECHANICS (Melhorando a aprendizagem significativa dos alunos sobre a natureza preditiva da Mecânica Quântica)**. Revista Investigações em Ensino de Ciências, v. 14, n. 1, p. 65-81, 2009.

NICOLAU, Jorge L.; BROCKINGTON, Guilherme; SASSERON, Lúcia H. **Formação contínua de professores para abordagem de tópicos de relatividade no ensino médio: saberes docentes dos implementadores**. Revista Experiências em Ensino de Ciências, v. 6, n. 2, p. 96-106, 2011.

NÓBREGA, Fábio K.; MACKEDANZ, Luiz F. **O LHC (Large Hadron Collider) e a nossa física de cada dia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 1, 1301, 2013.

NUSSENZVEIG, MOYSES H. **Curso de Física Básica**, v. 4, Rio de Janeiro: Edgard Bluncher, 1998.

OLIVEIRA, Fábio A. **Uso e divulgação do software livre Tracker em aulas de física do ensino médio**. 2014. 124 f. Dissertação (Ensino de Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, Fábio F.; VIANNA, Deise M.; GERBASSI, Reuber S. **Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, São Paulo, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”**.

Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 1, mar. 2000. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ienci>>. Acesso em: 31 de Outubro de 2014.

PAIVA, Eduardo. **Sobre o espalhamento Compton inverso**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 3, 3303, 2014.

PARANÁ. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica**. Secretaria de Estado de Educação do Paraná. Curitiba, 2008.

PARENTE, F. A. G.; SANTOS, Antônio C. F.; TORT, Alexandre C. **O átomo de Bohr no Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1502, 2014.

PARENTE, F. A. G.; SANTOS, Antônio C. F.; TORT, Alexandre C. **Os 100 anos do átomo de Bohr**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 4, 4301, 2013.

PCN+. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN+**. Ministério da Educação: Brasília, 2002.

PEREIRA, Amanda B. B.; BEZERRA, Cleyton J. S.; SILVA, Oberlan. **Uso da experimentação para o ensino de física: um relato de experiência na dilatação linear**. In: V Encontro Nacional das Licenciaturas, Natal – RN, 2014.

PEREIRA, Marcus V.; BARROS, Susana S. **Análise da produção de vídeos por estudantes como uma estratégia alternativa de laboratório de física no Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 4, 4401, 2010.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. **Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 14 (3), p. 393-420, 2009.

PHYWE. **Manuais da Phywe**. Disponível em: [http://www.phywe-es.com/index.php/fuseaction/download\\_/lrn\\_file/phywe-tess-phy-lep-en.pdf](http://www.phywe-es.com/index.php/fuseaction/download_/lrn_file/phywe-tess-phy-lep-en.pdf). Acesso em: 30 de Setembro de 2015.

PINHO-ALVES, José. **Atividades Experimentais: Do Método à Prática construtivista**. 2000. 302 f. Tese (Doutorado em Educação). 2000 – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2000.

PINHO-ALVES, José. **Regras da Transposição Didática aplicadas ao laboratório didático**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 17, n.2, p. 174-188, 2000.

PIQUEIRA, José R. C. **Teoria quântica da informação: impossibilidade de cópia, entrelaçamento e teletransporte**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 4303, 2011.

PORTO-RENÓ, Denis; VERTUSI, Andréa C.; MORAES-GONÇALVES, Elizabeth; GOSCIOLA, Vicente. **Narrativas transmídia: diversidade social, discursiva e comunicacional**. Palavra Chave, v. 14, n 2, p. 201-215, 2011.

POZO, Roberto L. J. ***El estudio y enseñanza de los modos vibracionales de la molécula triatómica***. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1301, 2011.

RECURSOS EDUCACIONAIS ABERTOS. Disponível em <<http://www.rea.net.br/site/>>. Acesso no dia 12 de Fevereiro de 2016.

ROHLF, James W. ***Modern Physics from  $\alpha$  to z***. Wiley, 1994.

ROSSINI, Carolina A. A. ***Green-Paper: The State and Challenges of OER in Brazil: From Readers to Writers?*** Social Science Research Network, n. 2010-01, 2010. Disponível em: <[http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1549922](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1549922)>, acesso em 12 de dezembro de 2015.

SÁNCHEZ, José L. S.; Espinosa, María P. P.; ***La enseñanza y el aprendizaje de la física y el trabajo colaborativo con el uso de las TIC***. RELATEC –Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa, vol. 11, n. 1, 2012. Disponível em: <<http://campusvirtual.unex.es/revistas>>, acesso em outubro 2015.

SARAIVA-NEVES, Margarida; CABALLERO, Concesca; MOREIRA, Marco Antônio. ***Repensando o Papel do Trabalho Experimental, na Aprendizagem da Física, em Sala de Aula – Um Estudo Exploratório***. Investigações em Ensino de Ciências, Rio Grande do Sul, v. 11, n. 3, p. 383-401, 2006.

SASSERON, Lúcia H.; CARVALHO, Ana Maria. ***Alfabetização Científica: Uma revisão bibliográfica (Scientific Literacy: a bibliographical review)***. Investigações em Ensino de Ciências – V16(1), pp. 59- 77, 2011.

SERÉ, Maria-Geneviève; COELHO, Susana M; NUNES, Antonio D. ***O Papel da Experimentação no Ensino da Física***. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2: p. 394-415, ago. 2009.

SCHNEIDER, Catiúcia K.; CAETANO Lélia; RIBEIRO, Luís O. M. ***Análise de vídeos educacionais no YouTube: caracteres e legibilidade***. RENOTE – Revista Novas Tecnologias na Educação. v. 10, n. 1, 2012.

SILVA, André C.; ALMEIDA, Maria J. P. M. ***Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas***. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.28, n.3, Florianópolis, 2011.

SILVA, Luciene F. ASSIS, Alice. ***Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico***. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p.313-324, 11 set. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

SILVA, Indianara; FREIRE JR, Olival. ***A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica***. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1601 (2014).

SILVA, Indianara; FREIRE JR, Olival; SILVA, Ana Paula B. **O modelo do grande elétron: o background clássico do efeito Compton.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 4601, 2011.

SILVA, Nelson C. **Laboratório virtual de Física Moderna: atenuação da radiação pela matéria.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p.1206-1231, 20 dez. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

SILVA, H. C *et al.* **Cautela em usar imagens em aulas de ciências.** Ciência E Educação, v. 12, n. 2, p. 219-233, 2006.

SOARES, Domingos. **Os fundamentos físico-matemáticos da cosmologia relativista.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 3, 3302, 2013.

SODRÉ JUNIOR, Laerte. **O lado escuro do Universo.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 4, p.743-769, 2 mar. 2010. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

STEINER, João E. **Buracos Negros: sementes ou cemitérios de galáxias?** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 4, p.723-742, 2 mar. 2010. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

THÉ, George A. P. **How to simulate a semiconductor quantum dot laser: general description.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 2, 2302, 2009.

THORNTON, Stephen T.; REX, Andrew. **Modern Physics for Scientists and Engineers.** Cengage Learning, 2013.

TRAGHETTA, Dinis G. **A bomba atômica revelada: a recriação da bomba atômica através da literatura aberta.** Curitiba: Appris, 2013.

UAB. **Universidade Aberta do Brasil.** Disponível em: <<http://www.uab.capes.gov.br/index.php>>, acesso em 10 de maio de 2016.

UNESCO. **Recursos Educacionais Abertos.** Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/es/communication-and-information/access-to-knowledge/open-educational-resources/>>, acesso em 10 de fevereiro de 2016.

UNESP. **Determinação da carga do elétron: Experimento de Millikan.** Roteiro de laboratório de física moderna, 2009.

VEISSID, N.; PEREIRA, L. A; PEÑA, A. F. V. **Uma abordagem diferente na estatística do experimento Millikan.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1302, 2014.

VIEIRA, Ricardo S. **Uma introdução à teoria dos táquions.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 3, 3306, 2012.

ZÔMPERO, Andreia F.; LABURÚ, Carlos E. **Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens.** Revista Ensaio, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

## ANEXO A

### QUESTIONÁRIO – EXPERIMENTO DE MILLIKAN/*TRACKER*

- Em sua opinião, o uso de um programa de computador colaborou com o entendimento do conteúdo?
  
- Na sua opinião, qual tutorial contribuiu mais para o desenvolvimento da atividade?
  
- Os tutoriais estão claros? Justifique.
  
- Escreva três pontos positivos e três negativos, da utilização do *Tracker* no experimento de Millikan.



## ANEXO B

### Questionário para professores sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC)

Escola:

- Particular       Pública/Municipal       Pública/Estadual  
 Pública/Federal

1. Durante sua formação, você teve aulas específicas de FMC?
2. Alguma vez, teve contato com experimentos de FMC?
3. Qual foi o impacto da FMC na sua formação?
4. Sente-se preparado para abordar FMC em sala de aula?
5. Para você, qual a importância de se ensinar FMC no ensino médio?
6. Alguma vez, lecionou FMC no ensino médio? Quando?
7. Como foi essa experiência?
8. Leciona este conteúdo atualmente?
9. Se já lecionou FMC ao longo da carreira, quais materiais (livros, apostilas, experimentos, vídeos, etc.) utilizou no desenvolvimento das aulas?
10. A FMC está presente nas aulas de física do ensino médio na(s) escola(s) que você atua?

11. Na(s) escola(s) em que trabalha, existem equipamentos próprios para o ensino de FMC? (ex: laboratórios, experimentos...)
  
12. Se já trabalhou com física moderna no ensino médio, conhece algum material de apoio como: vídeos, sites, blogs e etc?