

# O laboratório virtual: Uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica

(*Virtual laboratory: An experimental-based educational activity on mechanics*)

Monaliza Fonseca<sup>1</sup>, Nora L. Maidana<sup>1</sup>, Elizabeth Severino<sup>2</sup>, Suelen Barros<sup>1</sup>,  
Glauco Senhora<sup>1</sup>, Vito R. Vanin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidade de São Paulo Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil*

<sup>2</sup>*Colegio Santa Cruz, São Paulo, SP, Brasil*

Recebido em 27/2/2013; Aceito em 27/5/2013; Publicado em 30/10/2013

O Laboratório Virtual, enquanto estratégia de ensino, tem a finalidade de complementar a ação docente em sala de aula, a fim de trabalhar conceitos abstratos de maneira experimental. Para isso, filmamos sistemas reais com o objetivo de observar todo o movimento do objeto em estudo junto com um instrumento que possibilitou a medida de sua posição. Posteriormente, incorporou-se ao vídeo um código de tempo, de modo que, ao transformar-se o filme em quadros independentes, as imagens extraídas permitiram medir a posição ocupada pelo corpo em instantes sucessivos e conhecidos. Com a tabela de posição por tempo, toda a evolução dinâmica do sistema pode ser obtida. O projeto foi desenvolvido e aplicado em disciplinas de mecânica no curso de Licenciatura do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. O Laboratório conta com experimentos sobre movimentos de translação, rotação e de fluidos, dois dos quais foram usados para exemplificar a proposta de construção desse laboratório, suas motivações iniciais, o processo de concepção de um experimento, suas etapas de filmagem, edição e disponibilização em um ambiente virtual, que pode ser acessado em <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto>. Explicaremos o uso pedagógico do laboratório virtual fornecendo detalhes sobre o modo de acesso aos dados e guias de estudo, a etapa de coleta dos dados pelos estudantes e a proposta de análise. Mostraremos resultados típicos obtidos dos experimentos, tanto do ponto de vista de interpretação dos fenômenos em si quanto da maneira como os estudantes internalizaram os diversos conteúdos envolvidos, que vão dos princípios físicos e interpretação estatística das informações obtidas ao uso de planilhas de cálculo, métodos de redução de dados e redação de sínteses e relatórios.

**Palavras-chave:** laboratório virtual, experimentos filmados, ensino de mecânica.

The Virtual Laboratory is a complementary educational activity which aims to work with abstract concepts from an experimental point of view. Real systems were recorded to show the whole motion of an object along with an instrument for position measurement. A time code was added to the recorded video; hence the object position can be measured at known times in the extracted frames. From the position vs. time table, the dynamical evolution of the system can be obtained. This project was developed and applied to Bachelor of Education degree students of the Instituto de Física - Universidade de São Paulo. This Laboratory includes experiments on translational, rotational and fluid motion, from which two were used to describe the initial motivation for the laboratory development, the steps taken to build an experiment, from its conception to recording, editing, and making it available through a virtual interface, which can be accessed by the URL <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto>. We will explain the pedagogical character of the virtual laboratory, and detail the access path to page content, study guides, and data, as well as the analysis proposed to the students. Typical results achieved with this experiment will be shown, both on the physical phenomenon interpretation and on the way the students internalize different aspects, ranging from physical concepts to statistical interpretation of the information to datasheet calculation, data reduction methods and report preparation techniques.

**Keywords:** virtual laboratory, recorded experiments, teaching mechanics.

---

<sup>1</sup>E-mail: [nmaidana@if.usp.br](mailto:nmaidana@if.usp.br).

## 1. Introdução

O computador é uma ferramenta que revolucionou o dia a dia da nossa sociedade e está sendo incluído no contexto escolar para os mais diversos usos. Os jovens estão cada vez mais conectados, buscando novas formas de comunicação e interação com os outros. Por isso, surge a necessidade de potencializar o uso da Internet para fins educativos [1]. Seus inúmeros recursos, se bem aproveitados, podem servir de suporte às aulas teóricas. A inserção dessa tecnologia no ensino, em especial de Física, vai de encontro à necessidade cada vez maior do professor de tornar o conhecimento científico mais atrativo para os alunos [2]. Dentre as diversas estratégias possíveis para o ensino, a que receberá destaque neste trabalho é o laboratório didático, reformulado de modo a adequá-lo às novas tecnologias. O laboratório virtual pode ser pensado de duas maneiras diferentes, por um lado *simulações*, que recriam situações físicas idealizadas de modo a facilitar a interpretação de um fenômeno físico e, por outro, os *experimentos filmados*, que usam situações físicas reais filmadas, e podem servir de base a uma análise tanto qualitativa como quantitativa. Neste trabalho, faremos uso de filmes para análises quantitativas de alguns dos fenômenos físicos abordados em disciplinas básicas de Mecânica.

A ideia do Laboratório Virtual surgiu de professores de mecânica no curso de licenciatura do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, dada a necessidade de fornecer exemplos da teoria que tivessem base concreta e permitissem criar degraus com nível intermediário de abstração para a compreensão do conteúdo. Essa necessidade era acentuada pela falta, no currículo, de disciplinas experimentais com conteúdo correspondente ao das aulas teóricas. O laboratório virtual era uma maneira de complementar as aulas em sala com atividades baseadas no comportamento real dos objetos.

Muitos trabalhos já foram desenvolvidos no sentido de criar um ambiente virtual para atividades de laboratório, por exemplo, Yang e Heh [3], Barbeta e Yamamoto [4] e Presoto *et al.* [5] utilizam filmagens de situações reais para servir de apoio à criação de gráficos e análises quantitativas a partir de um *software*. No entanto, esses trabalhos diferem do que apresentaremos aqui na extração dos dados do vídeo, que os próprios estudantes fazem por meio de observação dos quadros extraídos do filme, o que dispensa o uso do *software*, que o estudante não controla: ele vê a posição do objeto na foto e, no relógio, o instante do evento.

O intuito do nosso laboratório virtual é mostrar como a teoria vista em sala de aula se aplica a uma situação concreta por meio de filmes de experimentos reais. Trata-se da produção e uso de uma ferramenta de aquisição de dados experimentais, com medições de posição, tempo e massa, que posteriormente são usados para as análises propostas, aproximando-se de um

laboratório didático convencional. O conteúdo físico presente nas referidas atividades cobre desde Leis de Newton, leis empíricas do atrito e leis de conservação de grandezas físicas do movimento, até o estudo de movimentos circulares e da dinâmica de rotação como giroscópios, rodas de inércia e situações de rolamento com e sem escorregamento. Os recursos e programas do computador, como ferramentas didáticas, serão essenciais na disponibilização do material, realização de cálculos com planilhas e preparação de gráficos.

O desenvolvimento desta metodologia de trabalho começou em 2004 com um grupo que fazia parte do PROMAT – Programa de Apoio a Produção do Material Didático da Pró-Reitoria de Graduação da USP, cujos integrantes eram professores, alunos da graduação e pós-graduação do Instituto de Física e da Escola de Comunicação e Artes (ECA). A partir de 2007, o Laboratório Virtual passou a ser desenvolvido exclusivamente por alunos do Instituto de Física, selecionados pelo programa intitulado EPA – Ensinar, Pesquisar e Aprender, também da Pró-Reitoria de Graduação, em especial nos projetos denominados Experimentos Virtuais em Disciplinas Teóricas de Mecânica e Experimentos Virtuais de Mecânica [6,7] e coordenados por professores desse instituto.

Apresentaremos, por meio de dois exemplos, o método geral de construção das experiências alocadas na página <http://fep.if.usp.br/~fisfoto> e os recursos computacionais que permitem estudar aspectos fundamentais da física básica por meio de medidas de grandezas físicas em filmagens de sistemas reais, o que posteriormente pode promover a compreensão conceitual e operacional da teoria em estudo. A avaliação incluiu a comparação do aprendizado de estudantes que realizaram experimentos similares neste laboratório virtual e no laboratório convencional, inclusive com o levantamento das opiniões dos diferentes grupos.

## 2. Descrição do processo de criação

O grupo que elaborou este material foi constituído por dois professores coordenadores e de dois a quatro estudantes, que mudaram ao longo de vários anos.

O exemplo inicial corresponde à primeira experiência filmada, que abordou os conceitos de velocidade constante e variável. Para isso, usou-se um trilho de ar com dois carrinhos diferentes: um com vela e outro sem ela. A vela (semelhante à de um barco veleiro) imprimia uma aceleração ao carrinho (contrária ao movimento, devido ao arrasto do ar), de modo que a velocidade variava no percurso filmado, ao contrário do outro, que não levava a vela. Essas filmagens estão no endereço [http://fep.if.usp.br/~fisfoto/trilho\\_ar/trilho\\_f.htm](http://fep.if.usp.br/~fisfoto/trilho_ar/trilho_f.htm).

Uma vez adquirido o conhecimento das técnicas aplicadas nas diferentes etapas do processo de desenvolvimento de um experimento virtual, desde a criação

e disponibilização na página mencionada até a aplicação em sala de aula, iniciou-se o período de realização de novas experiências. Dessas, selecionamos, para um segundo exemplo, o experimento acerca da conservação da energia mecânica, que também usou o trilho de ar, mas que precisa de uma análise mais sofisticada, porque as incertezas de medição exigem compreender que a medida da energia flutua com o tempo, de modo estatístico, mesmo que a energia seja constante. As filmagens correspondentes estão no endereço <http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/index.html>.

Nas reuniões do grupo, avaliavam-se quais dos assuntos dentre os conteúdos programáticos das disciplinas de mecânica poderiam ser explorados para exemplificar aquela teoria. Foram selecionados experimentos que não necessitam de materiais e equipamento sofisticados, envolvendo objetos familiares aos estudantes. Os passos seguidos consistiam em:

- a) Escolha do experimento e discussão de quais grandezas físicas poderiam ser determinadas a partir da montagem idealizada.
- b) Filmagem de todo o aparato experimental de modo a conseguir extrair os dados em uma análise posterior.
- c) Verificação da qualidade das medidas das grandezas de interesse, a partir dos quadros (fotos) extraídos dos filmes.

Se a qualidade das medidas era considerada adequada, o experimento era incorporado ao acervo com as seguintes etapas:

- d) Realização de novas filmagens com possíveis melhoras na qualidade do experimento.
- e) Elaboração dos roteiros, que instruíam os alunos na realização das experiências.

Quando as medidas obtidas não tinham qualidade satisfatória, ou novos arranjos experimentais eram filmados até se obter dados com a qualidade desejada ou buscava-se outro experimento.

As condições favoráveis à filmagem foram de extrema importância: ambiente com boa iluminação, posicionamento correto da câmera, fundo adequado, entre outros, foram fatores que enriqueceram a qualidade do material a ser empregado e facilitaram a leitura dos quadros por parte dos alunos.

## 2.1. Materiais

Os experimentos virtuais foram filmados com uma câmera digital<sup>2</sup> de boa qualidade que, além da boa resolução, permitiu a transferência dos arquivos para o computador. Nada impede o uso de filmadoras analógicas, contanto que seja possível transformar o conteúdo em um filme digital. Foi imprescindível o uso de um tripé ou alguma base que servisse de apoio para a câmera, a fim de evitar movimentos que prejudicassem a qualidade dos filmes.

No que diz respeito ao arranjo experimental, foi necessário prever os instrumentos que seriam usados pelo aluno durante a análise e adicionar fitas métricas, transferidores e outros materiais no campo de filmagem que permitissem a medição das grandezas estudadas.

## 2.2. Filmagem

Durante o processo de filmagem, levou-se em conta que todo o material seria acessado apenas pela página virtual, que precisaria, então, ser capaz de mostrar a totalidade do experimento. Para isso, foram realizadas dois tipos de filmagens: uma à distância, que permitia uma visão geral do arranjo experimental e seu funcionamento, e outra de perto (em *close*), que destacava o objeto estudado e o instrumento de medição usado na leitura das posições, lineares ou angulares conforme o sistema de interesse. Essa filmagem em *close* foi realizada de modo a manter o corpo em movimento (ou parte dele) dentro do campo de visão da filmadora, para que fosse possível medir as posições do objeto nos diferentes instantes de tempo, e minimizar o efeito de paralaxe, que poderia ser ignorado na análise.

As experiências foram idealizadas como aulas de laboratório, de maneira que distintas situações da mesma experiência deviam ser dispostas na página, possibilitando seu uso por diversas turmas de alunos, e que cada grupo pudesse analisar uma experiência cujas condições fossem diferentes. Portanto, a filmagem foi repetida em diferentes situações para um mesmo experimento e, por isso, foi necessário marcar cada cena, para possibilitar a organização do material que iria ser alocado na página. Essas identificações das cenas também são importantes nos testes iniciais, possibilitando fazer posteriormente a correspondência entre os filmes e as condições escolhidas. Por isso, inseriu-se no começo de cada filmagem uma placa com o nome da situação e uma descrição das condições do experimento (uma *claquete*).

## 2.3. Edição

Existem trabalhos que tomam os dados do próprio vídeo por meio de um *software* específico [3-5], mas neste Laboratório Virtual a análise é realizada exclusivamente sobre os quadros extraídos do vídeo.

Para dar início ao tratamento do filme, inseriu-se um contador de tempo no vídeo gravado. Há vários programas com essa função, em especial neste trabalho usamos o *VirtualDub* [8], com o qual é possível marcar o tempo até os milésimos de segundo. Esse cronômetro digital, comumente chamado de *time code*, foi inserido de modo a ficar numa extremidade dos quadros do vídeo. Assim, toda vez que é acionado o comando *play*, a posição do objeto filmado e a contagem do tempo são vistas simultaneamente. A etapa seguinte foi o desdobramento do vídeo em fotos, com o contador já incorporado. Para

<sup>2</sup>O modelo usado foi uma câmera Compact VHS, JVC Analógica. Pro-cision 5 Head System. Tela de 4" LCD color monitor.

isso, existe a possibilidade de usar os programas *VirtualDub* ou o *Adobe Premiere* [9], os quais possibilitam a extração de quadros de um vídeo, cujos intervalos de tempo são iguais a 1/30 de segundo, o que significa que se obtém 30 quadros ou “frames” por segundo de filmagem. Quando o filme for todo transformado em quadros, cada um terá seu código de tempo, referente a um instante específico do movimento.

Em grande parte dos vídeos, cada *frame* é formado por 525 linhas divididas em dois campos, um deles formado pelas linhas ímpares e o outro, pelas pares, formando a imagem completa quando eles se entrelaçam. Quando está sendo realizada a filmagem, a câmera “varre a imagem” duas vezes, as linhas pares primeiro e, depois de todas elas, as linhas ímpares, de modo que o quadro é formado por duas imagens obtidas em instantes ligeiramente diferentes, gerando algo parecido com duas fotos sobrepostas. Em visualizadores de imagens comuns, essa defasagem não é percebida, no entanto, quando se divide o filme de um objeto em movimento em fotos com intervalos de tempo muito pequenos, esse efeito pode se tornar considerável. Nos casos em que as imagens ficaram borradas, resolvemos o problema com o *desentrelaçamento* da imagem, que elimina um dos campos. Optamos por desentrelaçar as fotos no momento em que elas eram extraídas do vídeo. No programa *Adobe Premiere*, escolhe-se a função “sempre desentrelaçar” e seleciona-se qual campo será mantido [10].

#### 2.4. Disponibilização

Todo o material produzido, tanto os filmes quanto as fotos, estão disponíveis na página <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto>. Assim, foi necessário adequar o formato do vídeo para não sobrecarregar o servidor que hospeda a página dos experimentos virtuais e permitir que os usuários consigam visualizar os vídeos mesmo com uma conexão mais lenta. A opção escolhida foi codificar o vídeo no formato DIV-X, que não é um decodificador de vídeo encontrado na maioria dos computadores, de modo que normalmente é necessário fazer o *download* do *codec* (codificador-decodificador) para visualizar as filmagens através do Microsoft Windows Media Player ou programa similar.

A página do experimento virtual deve ser suficientemente bem organizada para que, quando o aluno navegue pela rede, consiga ter acesso a todo o conteúdo necessário à realização do experimento. No *link* citado acima é possível visualizar a página de abertura dos experimentos virtuais. Abas na parte superior permitem acessar cada conjunto específico de experimentos. Assim, na aba *Translação* encontram-se experimentos que envolvem movimento linear, nos quais é possível estudar conceitos de atrito, força, conservação de quantidade de movimento e energia. Na aba *Rotação* existem experimentos usados no estudo de movimentos circula-

res como rodas de inércia, giroscópios e rolamentos com e sem escorregamento.

A fim de facilitar a compreensão dos alunos, a estrutura da página de cada experimento virtual possui elementos comuns (*Introdução, Roteiro, Processo de Filmagem, Materiais, Filmes e Fotos*).

Na página de abertura de cada experimento, abaixo da foto que ilustra o mesmo, encontra-se o roteiro necessário para sua execução, onde está a descrição detalhada de como o aluno deve prosseguir na obtenção de dados e análise correspondente.

A aba *Filmes e Fotos* apresenta os filmes dos movimentos vistos de longe, para apreciar a experiência, e em *close*, para a leitura dos dados. Também são dispostas, quando necessário, as fotos dos objetos de estudo sobre uma balança, onde se vê o valor da massa, evidenciando assim a fonte dos valores adotados para as grandezas físicas, o que evita dúvidas posteriores sobre a origem dos dados.

#### 2.5. Material de apoio às análises

O Laboratório Virtual foi criado para ser usado por alunos em diferentes etapas da aquisição do conhecimento e, por isso, a análise e interpretação das experiências podem ser efetuadas desde uma forma simples até uma mais avançada, com cálculo de incertezas e interpretação estatística, como poderemos observar nos dois exemplos escolhidos nesta publicação. O material de apoio para uma análise mais sofisticada se encontra na própria página dos experimentos virtuais, na aba denominada *Guias*, com textos sobre:

- Familiarização com Planilhas eletrônicas.
- Cálculo de incertezas, que mostra como realizar a propagação de incertezas de medição para grandezas como quantidade de movimento linear ou angular, energia cinética, energia potencial, energia mecânica, velocidade angular, torque, momento de inércia de um cilindro e aceleração angular.
- Assuntos de matemática, por exemplo integração numérica e cálculo numérico de uma derivada.
- Aspectos particulares de cada experimento, como o procedimento de leitura da posição do objeto estudado.

Nossos estudantes (curso de Licenciatura do IFUSP), quando iniciam seus estudos nos experimentos virtuais, não têm familiaridade com ferramentas computacionais como as planilhas de cálculo de computador. Por isso, desenvolveu-se o projeto da *monitoria web* com o objetivo de proporcionar ao aluno conhecimentos adequados para que possa elaborar planilhas e gráficos de qualidade. Após a realização das experiências, os alunos devem entregar um relatório, normalmente redigido em dupla e com o auxílio de um editor de texto no computador, que é corrigido pela

equipe que ministra a disciplina. Esses relatórios são corrigidos e devolvidos rapidamente, para que eles possam avaliar seu trabalho e em alguns casos para que possam retificar tanto a análise dos dados quanto corrigir erros conceituais.

## 2.6. Avaliação do material da página

Após a realização de cada um dos experimentos, os relatórios entregues pelos alunos foram copiados a fim de realizar uma análise detalhada acerca do modo com que a aplicação do laboratório virtual vem contribuindo à formação dos estudantes e para garantir acesso de longo prazo ao conjunto do material, de modo a possibilitar a reinterpretação dos resultados. Dessa avaliação, muitas vezes surgiu a necessidade de mudanças, seja na concepção do guia de realização do experimento como no experimento em si, o que levou a realizar novas filmagens, roteiros de trabalho e a desdobrar experiências, ou seja, propor aos estudantes a realização do experimento em duas etapas.

A fim de avaliar a eficácia do laboratório virtual, em alguns experimentos, parte dos alunos realizou experiências equivalentes de maneira tradicional, ou seja, em um laboratório convencional, usando todos os equipamentos necessários para a montagem do arranjo experimental e fazendo as medições sem a intermediação da filmagem. O roteiro empregado por essa parcela da turma foi reformulado de modo a medir as mesmas grandezas que são determinadas no laboratório virtual. O processo finalizou com a comparação dos resultados obtidos nos dois tipos de laboratório e a verificação da qualidade dos resultados para cada tipo de experiência. Levantou-se também a opinião dos alunos sobre qual dos laboratórios teria sido mais eficiente e em quais momentos escolheriam um ao invés do outro. Em particular, o experimento trilho de ar foi submetido a esse tipo de análise comparativa dos resultados pedagógicos.

## 3. Experimentos virtuais: trilho de ar e energia

### 3.1. Descrição geral

Os experimentos que servem de exemplo neste texto destinaram-se aos estudantes do curso de Licenciatura em Física do IFUSP que seguem as disciplinas de Mecânica do 1º e 2º semestre da grade curricular e podem ser encontrados sob os títulos trilho de ar e energia no sítio <http://fep.if.usp.br/~fisfoto/> na aba *Translação*, com o objetivo de realizar atividades que permitissem visualizar conceitos relacionados às Leis de Newton e à conservação de energia, que são assuntos iniciais no curso de graduação.

### 3.2. Experimento trilho de ar

Como mencionado anteriormente, o protagonista deste experimento era um carrinho que deslizava sobre um trilho de ar, que reduzia o atrito da superfície, em duas situações diferentes: em uma delas o carrinho portava uma vela, como observado na Fig. 1, e na outra situação o carrinho não portava a vela. A questão colocada para os alunos é identificar qual dos carrinhos estava portando a vela, a partir das filmagens em *close*, cujas imagens não cobriam a parte onde estaria a vela. O objetivo é verificar a influência da vela pela aplicação das Leis de Newton. A vela foi dimensionada para que o atrito adicional fosse pelo menos igual ao atrito do carrinho com o trilho de ar, mas não tão grande que sua ação fosse evidente, de forma que a análise quantitativa era um elemento essencial da solução da questão.

No trilho foi presa uma fita métrica, que serviu para medir as posições do carrinho ao longo do tempo. A filmadora foi fixada a outro trilho de ar, paralelo ao do carrinho e montado mais baixo, de modo que a câmera pudesse ficar no mesmo nível que o carrinho do primeiro trilho. Dessa forma, o carrinho estudado ficou no campo visual da filmadora e foi possível acompanhar o deslizamento do primeiro, sem provocar erros de paralaxe na leitura da posição na fita métrica. Pela filmagem, e fazendo uso dos programas anteriormente citados, o filme foi desmontado em quadros e disponibilizado para a análise dos alunos da maneira como ilustra a Fig. 2.



Figura 1 - Carrinho portando a vela, sobre o trilho de ar. Na parte de baixo vê-se a fita métrica, amarela, que permite determinar a posição do carrinho nos quadros da filmagem em *close*.

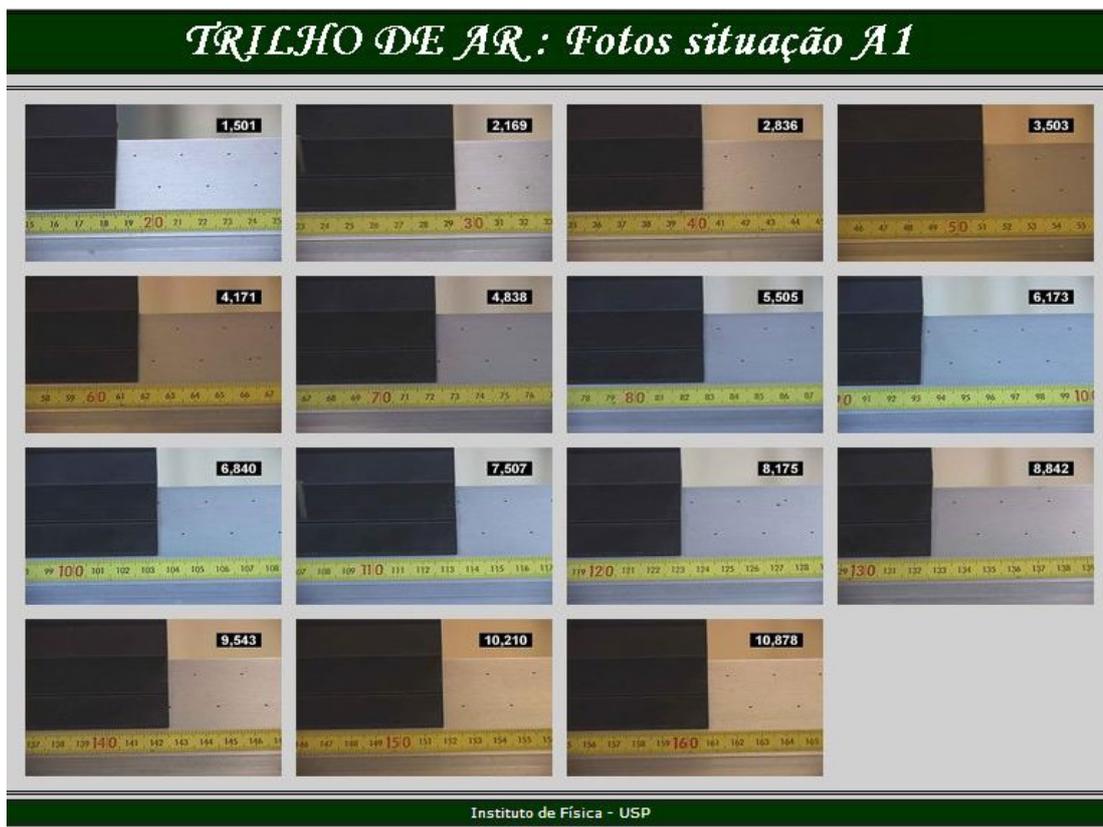


Figura 2 - Um dos conjuntos de quadros extraídos da filmagem em *close* usadas para análise do movimento do experimento trilho de ar, como aparece em [http://fep.if.usp.br/~fisfoto/trilho\\_ar/situacao\\_a1/index.html](http://fep.if.usp.br/~fisfoto/trilho_ar/situacao_a1/index.html). O retângulo escuro no lado esquerdo é a quina inferior direita do carrinho que se vê na Fig. 1 e os números no canto superior direito são as leituras do cronômetro digital inserido no vídeo conforme seção 2.3.

Pelo conjunto de fotos nota-se que não é possível, só por elas, saber qual o carrinho que porta a vela – tal constatação só pode ser feita após a conclusão do processo de análise da velocidade do carrinho ao longo do tempo.

### 3.3. Dados e resultados típicos da experiência trilho de ar

A partir das fotos ilustradas na Fig. 2, é possível a coleta de dados de posição,  $x_i$ , para cada instante de tempo  $t_i$  do movimento do carrinho. O aluno deve usar o navegador de Internet no computador para coletar os pares  $(x_i, t_i)$  disponíveis no endereço do experimento e algum programa de construção de planilhas eletrônicas. Seguindo o roteiro proposto, a primeira etapa consiste em calcular a velocidade do carrinho por meio da fórmula

$$\bar{v}_{[t_{i-1};t_{i+1}]} = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}},$$

onde  $i$  representa o número da foto e  $\bar{v}$  a velocidade média no intervalo de tempo  $[t_{i-1}, t_{i+1}]$ . Assim, adota-se a velocidade média como aproximação da velocidade no instante  $t_i$ , para acompanhar o movimento.

Os valores obtidos para a velocidade em função

do tempo podem ser representados graficamente. Na Fig. 3, são apresentados os gráficos para os movimentos com e sem vela. Cada conjunto de dados está acompanhado da reta de tendência como é solicitado aos alunos na apresentação dos relatórios. Uma vez interpretado esse resultado à luz das leis de Newton, é possível identificar qual dos carrinhos portava a vela.

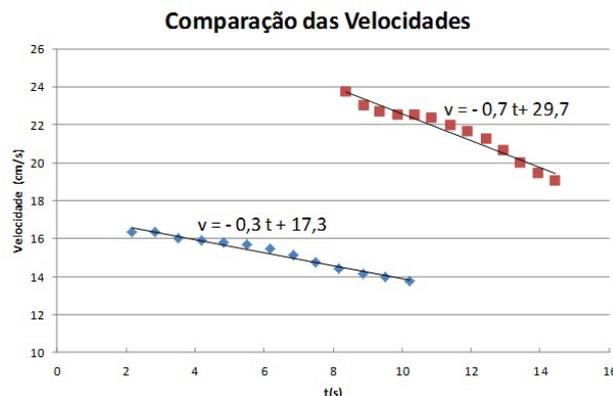


Figura 3 - Gráficos das velocidades dos carrinhos em função do tempo construídos a partir dos dados extraídos dos quadros das filmagens do experimento trilho de ar. O conjunto de marcadores quadrados indica o movimento com vela, enquanto os losangos representam o movimento sem vela.

### 3.4. Conteúdo pedagógico da experiência trilho de ar

Pretende-se que, baseado no conceito de inércia, o aluno consiga deduzir qual carrinho portava a vela. A partir do gráfico das velocidades, em que ele identifica a ocorrência da (des)aceleração, é esperado que relacione a ausência de forças externas com a tendência do corpo a manter seu estado de movimento e, por esse motivo, a presença da vela produz uma força que contraria essa tendência.

Apesar de esperarem que um carrinho tivesse velocidade constante, os alunos observam que isso não acontece, uma vez que o ar insuflado por baixo do carrinho não consegue eliminar todo o atrito entre ambas as superfícies – assim, a adição da vela incrementa a força de atrito total e, portanto, a intensidade da aceleração, ou seja, a consideração adicional do atrito com o trilho não impede descobrir qual carrinho porta a vela. O fato de ambos os carrinhos estarem acelerados é uma característica inerente à realidade deste “Laboratório Virtual” e obriga estudantes e professores a uma abordagem prática da lei de inércia, com maior possibilidade de aplicação aos fenômenos da natureza, em que o atrito sempre está presente.

Fisicamente, a força de arrasto depende da velocidade do carrinho, de modo que a ideia de aceleração constante na situação com vela é uma simplificação do problema. Na Fig. 3, percebe-se que a dependência temporal na situação sem vela é bastante bem aproximada pela reta e corresponde a um coeficiente de atrito cinético de  $\sim 0,0003$ , típico do trilho de ar, o que não acontece na outra situação, em que a aceleração varia mais, não só pela variação da força de atrito viscosa, mas também porque a montagem da vela não era suficientemente rígida, o que produzia oscilações no movimento do carrinho: a aceleração é bastante maior que a média entre 8 e 9 s e aparentemente nula em torno de 10 s. Espera-se que uma discussão do movimento real com esse nível de profundidade seja possível mais adiante no curso, mas esse experimento é o primeiro da série e busca ilustrar a lei da inércia, de modo que pretende-se que os alunos associem a maior variação de velocidade com a existência de uma força adicional, no caso devido ao arrasto da vela no ar, sem uma análise quantitativa rigorosa. Assim, a simplificação da interpretação, deixando momentaneamente de lado as propriedades da força de arrasto, procura manter o foco no significado das leis de Newton.

### 3.5. Experimento energia

O experimento baseou-se na filmagem de um carrinho que oscilava preso a duas molas (uma em cada extremidade) e sobre um trilho de ar, como mostra a Fig. 4. O objetivo é estudar o comportamento das energias cinética, potencial e total do sistema, em função do tempo. A análise permite perceber a transformação de

energia potencial elástica em cinética e vice versa. O arranjo experimental foi planejado para que o fator de qualidade do oscilador fosse da ordem de 100, de modo que a perda de energia por oscilação pudesse ser ignorada.



Figura 4 - Carrinho preso a duas molas para a experiência Energia. O filme correspondente ao movimento pode ser apreciado em [http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/energia\\_f.htm](http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/energia_f.htm).

A filmagem do movimento foi semelhante à descrita na seção 3.2 e, com os mesmos programas usados no experimento descrito anteriormente, o filme foi transformado em quadros e disponibilizado para a análise dos alunos da maneira como ilustra a Fig. 5.

### 3.6. Dados e resultados típicos da experiência energia

A partir de imagens como as da Fig. 5, é possível a coleta de dados de posição para cada instante de tempo do movimento do carrinho. A fim de determinar o valor da energia cinética, é preciso calcular a velocidade para cada instante seguindo o mesmo procedimento descrito no experimento trilho de ar. O roteiro da experiência, disponível no endereço [http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/roteiros/roteiro\\_energia1.pdf](http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/roteiros/roteiro_energia1.pdf), detalha como calcular as energias cinética e potencial do sistema massa-molas a partir das posições medidas e velocidades calculadas. Essas grandezas estão representadas no gráfico da Fig. 6, onde se observa a transformação das energias cinética e potencial, assim como a energia total.

### 3.7. Conteúdo pedagógico da experiência energia

Era esperado que o aluno conseguisse internalizar o conceito de energia, o que, neste caso, significa compreender como as energias potencial e cinética dependem das grandezas cinemáticas, todas contidas nos quadros do filme, e das outras características do sistema, expressas pela constante de força da mola e da massa, além de perceber que essas duas formas de energia tão diferentes podem ser somadas, ilustrando a aditividade das diversas formas de energia. O gráfico

deve ajudar a fazer a correspondência entre a realidade e o conceito. Nessas análises, é sugerido ao aluno que todas as grandezas sejam apresentadas com suas respectivas incertezas, cujos cálculos podem ser realizados baseando-se nas expressões propostas no roteiro <http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/>

roteiros/roteiro\_energia2.pdf e no guia de incertezas [http://fep.if.usp.br/~fisfoto/guia/roteiros/roteiro\\_incertezas.pdf](http://fep.if.usp.br/~fisfoto/guia/roteiros/roteiro_incertezas.pdf), uma vez que o valor experimental não é idêntico em todos os instantes, mas sim flutua estatisticamente em torno de um valor médio bem definido.

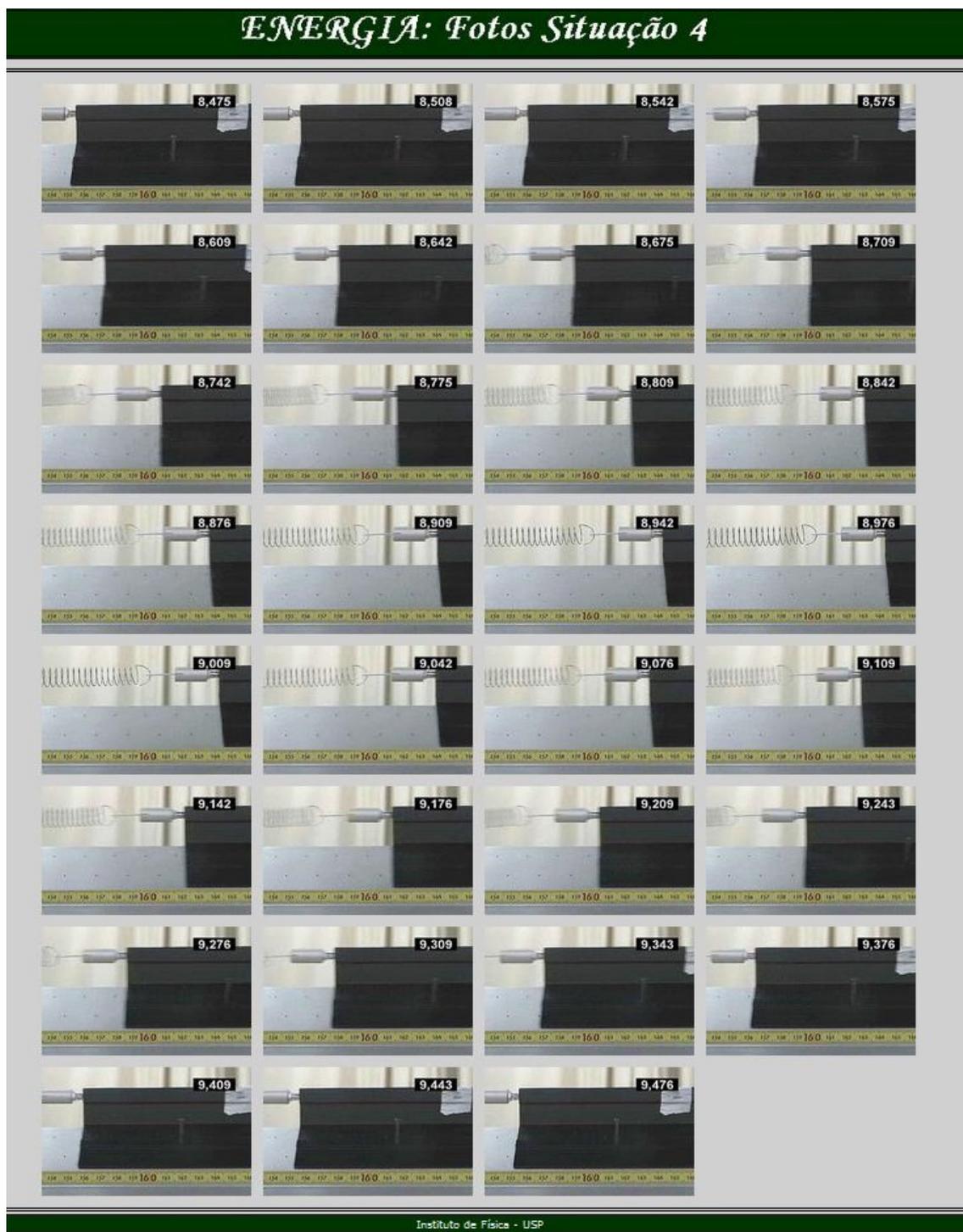


Figura 5 - Quadros usados para análise do movimento do experimento virtual Energia, como aparece em [http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/situacao\\_04/index.html](http://fep.if.usp.br/~fisfoto/energia/situacao_04/index.html).

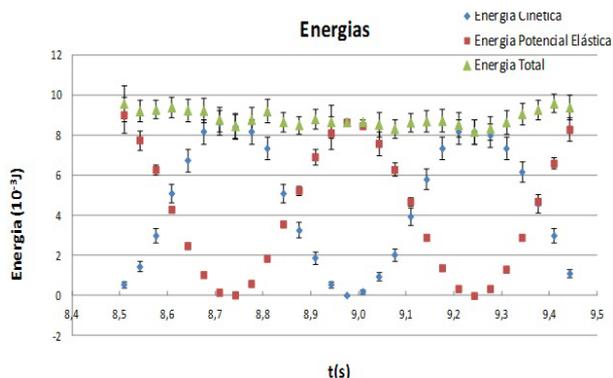


Figura 6 - Gráfico das energias mecânicas da experiência Energia. As barras de erro correspondem a um desvio-padrão da grandeza representada, obtido a partir de um cálculo estatístico.

#### 4. Discussão

Os resultados das medidas das grandezas físicas obtidos com o uso do laboratório virtual são precisos. As incertezas nos valores representados no gráfico do experimento de energia exemplificam o nível de precisão que proporciona o método de medida e análise descrito neste trabalho. Isso se deve ao fato do laboratório virtual permitir a análise quadro a quadro, possibilitando a visão instantânea do movimento a intervalos muito curtos e, em consequência, a leitura de medidas que não seriam possíveis a olho nu.

Assim, este laboratório virtual, quando comparado ao tradicional, tem as vantagens de possibilitar a realização do experimento e sua análise em qualquer lugar de onde se possa acessar a página correspondente, além de proporcionar resultados precisos em certas situações em que é difícil medir diretamente as grandezas de interesse, sem a intervenção das filmagens.

O projeto da *monitoria web* conseguiu proporcionar ao aluno o apoio necessário para que adquira os conhecimentos indispensáveis para trabalhar com planilhas e gráficos.

Durante a realização de alguns experimentos virtuais, os alunos foram indagados a respeito da preferência do modo virtual ou tradicional. As respostas foram bastante diversificadas, como mostraram os seguintes exemplos de depoimentos:

(...) fica evidente que o laboratório virtual seria uma boa opção, pois além de ser preciso, os resultados obtidos são mais próximos do esperado teoricamente (...) ele pode ser aplicado em salas de aula, pois aparentemente, os recursos disponíveis para aplicação do experimento são mais acessíveis (...) o custo é menor.

Sem dúvida nenhuma usaria o laboratório que teve os melhores resultados na obtenção dos dados (...). Seria o Virtual.

Acredito que ambos os laboratórios tem os

seus pontos positivos e negativos, porém acredito que o laboratório tradicional instrua mais os alunos, pois podemos realizar as medições, e realizar as análises através de dados coletados por nós mesmos. Temos uma visão melhor da experiência realizando a mesma.

#### 5. Considerações finais

O Laboratório Virtual vem sendo aplicado nas disciplinas de mecânica dos três primeiros semestres da grade curricular do curso de Licenciatura em Física da Universidade de São Paulo desde 2004. Em cada disciplina, são propostos dois ou três experimentos virtuais, com temática relacionada diretamente ao conteúdo teórico trabalhado em classe.

Foram realizados testes para determinar o limite de velocidade que pode ser filmado com uma câmera digital comum e que mantivesse uma boa resolução; o valor obtido foi de 30 cm/s. Movimentos acima dessa velocidade geram imagens borradas.

Do estudo dos gráficos e conclusões apresentados nos relatórios dos estudantes, é possível verificar se a experiência fez sentido para o aluno; em particular, a qualidade do gráfico mostra a familiaridade com o experimento e a compreensão do assunto. Há alunos que entregam relatórios incompletos e com gráficos que não correspondem ao fenômeno observado, de onde se infere que eles ou não têm uma fundamentação conceitual com relação à teoria envolvida no experimento e por isso não conseguem fazer a correspondência entre a representação gráfica e a realidade ou se mostram descomprometidos com a realização dos experimentos. Em relação aos experimentos de translação, verificamos que os estudantes que fizeram o Laboratório Virtual compreenderam melhor o significado da velocidade como derivada da posição em relação ao tempo. Uma possível explicação para esse fato pode estar ligado à maneira de deduzir a velocidade nos dois tipos de experimento: no virtual é necessário analisar dois quadros diferentes com os respectivos instantes registrados, enquanto no laboratório real a correspondência das posições com os instantes de tempo exige a compreensão do funcionamento de todo o aparelho experimental utilizado nas medidas do tempo e da posição.

Atualmente, a maioria dos estabelecimentos de ensino está conectada à Internet, bem como muitos dos lares, enquanto que os aparatos experimentais existem em poucas escolas. Com apenas essa conexão à rede, o laboratório virtual permite que o estudante possa realizar grande parte da atividade experimental, que corresponde à análise dos dados e a interpretação dos resultados.

A análise dos relatórios entregues também serviu de base para modificações no próprio experimento ou na página web. Os experimentos do laboratório virtual

dão, frequentemente, margem para desdobramento em outras experiências. Um exemplo é o experimento de Energia aqui citado, cujos filmes podem ser divididos em quadros de outra maneira para servir de base ao estudo de oscilações amortecidas.

As atividades de criação, acompanhamento, avaliação e recriação dos experimentos virtuais sempre foram muito envolventes para os membros do grupo que desenvolveu o Laboratório Virtual. Houve um aprendizado significativo dos conceitos envolvidos nos experimentos pelos estudantes da equipe, muito além do conteúdo proposto para os alunos das disciplinas.

Durante todos esses anos, com a aplicação do laboratório virtual nas turmas de graduação, notou-se, em parte dos alunos, um bom nível de aproveitamento e rendimento acadêmico. A partir da vivência com alunos e a instrução dos mesmos para a realização dessas atividades, foi possível perceber o envolvimento deles com os fenômenos que eram explorados. Essa nova proposta de laboratório vem então como uma alternativa de atividade a ser desenvolvida paralelamente às aulas teóricas, que é aberta ao público e livre para ser usada nos moldes propostos ou com adaptações do usuário.

Independente da preferência entre este Laboratório Virtual e o real, a filmagem de um arranjo experimental e a posterior inserção de um código de tempo adequado, permite aprimorar o processo de análise de um fenômeno físico. A precisão das medições de tempo e posição é boa e, em certas situações obtêm-se melhores resultados em comparação com aqueles obtidos em um laboratório tradicional, de modo que se constitui em uma maneira alternativa para realizar as atividades práticas no laboratório.

## Agradecimentos

À Pró Reitoria de Graduação pelas bolsas, do Pro-Mat (Produção de Material Didático para o Ensino), e EPA (Ensinar, Pesquisar e Aprender), ao Laboratório Didático do Instituto de Física da USP, Profis (Espaço de Apoio, Pesquisa e Cooperação de Professores de

Física - IFUSP) e finalmente aos colegas Marcelo Henrique Leite, Paulo Henrique Acedo, Roberta Martins Miranda e Igino G.V. Martins que colaboraram nas etapas iniciais deste projeto.

## Referências

- [1] P. Lévy. *O Que é o Virtual?* (Editora 34, São Paulo, 1996).
- [2] C. Fiolhais e L. Trindade. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 259 (2003).
- [3] K.Y. Yang and J.S. Heh, *J. Sci Educ Technol* **16**, 451 (2007).
- [4] V.B. Barbeto e I. Yamamoto, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 158 (2002).
- [5] L.O. Presoto, J.A. Lenz, N.S.F., Cortez e A.G.J. Bezerra, in: *XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Manaus, AM (2011).
- [6] S.F. Barros, *Experimento virtual de Rolamento: Um Estudo das Dificuldades Apresentadas pelos Alunos do Curso de Licenciatura do IFUSP*. Monografia (Licenciatura em Física), Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo (2011).
- [7] E.Z.G. Severino, *Recursos virtuais em aulas de laboratório de física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo. São Paulo (2006).
- [8] Virtualdub, versão (1.10.3) (Software). GNU General Public License. Disponível em <http://www.virtualdub.org/>, (2005). Acesso: 13/5/2013.
- [9] Adobe Premiere, versão (CS6) (Software). Adobe Systems Software Ireland Ltd. Disponível em <http://www.adobe.com/br/products/premiere.html>, (2012). Acesso em 26/8/2013.
- [10] Adobe Support, *Definir Opções de Campo Para Vídeo Entrelaçado Importado*. Disponível em [http://help.adobe.com/pt\\_BR/PremiereElements/8.0/Win/Using/WS09e4b3c48f3a79fc19b622510385d4355c-7fa5.html](http://help.adobe.com/pt_BR/PremiereElements/8.0/Win/Using/WS09e4b3c48f3a79fc19b622510385d4355c-7fa5.html). Acesso: 26/8/2013.