

A vídeo-análise como recurso voltado ao ensino de física experimental: um exemplo de aplicação na mecânica

Lúcia Irala Leitão¹, Pedro Fernando Dorneles Teixeira¹, Fábio Saraiva da Rocha²

lucia.irala@unipampa.edu.br, pedrodorneles@unipampa.edu.br, fabio.rocha@ufpel.edu.br

¹ UNIPAMPA, Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé – RS – Brasil.

² UFPEL, Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Pelotas – RS – Brasil.

Resumo

Apresentamos aspectos básicos da técnica de vídeo-análise e discutimos algumas de suas possibilidades na perspectiva de uso como ferramenta de apoio didático, voltada ao ensino de movimentos clássicos em física experimental. Trata-se de um recurso instrucional que não envolve grandes investimentos financeiros, pois, além de um computador, precisamos somente de um equipamento para a captura de imagem, que pode ser uma câmera digital, um aparelho celular com câmera de vídeo ou mesmo uma simples “web cam”. É necessário também um programa computacional onde operamos a análise do vídeo, permitindo trabalhar uma sequência de imagens para conhecer a posição de um objeto em cada instante de tempo. Apresentamos também um resumo dos resultados de uma experiência didática onde foi usado o recurso da vídeo-análise em sala de aula com estudantes da disciplina de Laboratório de Física II oferecida aos diversos cursos de Engenharia e Licenciatura em Física do Campus Bagé da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Verificou-se que a vídeo-análise foi recebida com interesse e motivação pelos alunos e contribuiu para um bom entendimento sobre as bases físicas contidas no estudo do movimento oscilatório executado por um pêndulo físico. Os resultados apontam que é possível utilizar a vídeo-análise como ferramenta facilitadora no ensino da física experimental, porém necessitamos de mais pesquisas que firmem uma direção a ser seguida para consolidar esta alternativa didática.

Palavras chave: Vídeo-análise, Física Experimental, Ensino de Física.

Video-analysis as a resource to experimental physics teaching: an example of mechanic application

Abstract

Basic aspects of the video-analysis technique are presented and some of its possibilities of usage as a supportive didactic tool are discussed, focusing the teaching of classical movements in experimental physics. It consists of an instructional resource which does not demand large financial investments. Besides a computer, an equipment to capture image is needed, what can be a digital camera, a cell phone or simply a web cam. It is also needed a computer program through which the video analysis is done, allowing to work an image sequence to identify the position of an object at each time instant. It is also presented a summary of the didactic experience results in which the video-analysis resource was applied in classroom with students of Physics Laboratory II, offered in the many Engineering and Physics courses at Campus Bagé of the Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). It could be verified that the video-analysis was received with interest by the students and it contributed to a better understanding on the physical basis contained in the study of the oscillatory movement executed by the physical pendulum. The results point that it is possible to use the video-analysis as a tool to facilitate the experimental physics teaching. However, there is a need for more researches to reinforce a direction to consolidate the use of this didactic tool.

Keywords: Video-analysis, Experimental Physics, Physics Teaching.

El análisis de video como recurso dirigido a la enseñanza de la física experimental: un ejemplo de aplicación en la mecánica

Resumen

Presentamos aspectos básicos de la técnica de análisis de video y discutimos algunas de sus posibilidades en la perspectiva de su uso como herramienta de apoyo didáctico, dirigida a la enseñanza de movimientos clásicos en física experimental. Se trata de un recurso de instrucción que no requiere grandes inversiones financieras, pues, además de un computador precisamos solamente un equipo para capturar la imagen, que puede ser una máquina fotográfica digital, un aparato celular con cámara de video o simplemente una "web cam". Es necesario también un programa computacional donde operamos el análisis del video, permitiendo trabajar una secuencia de imágenes para conocer la posición de un objeto en cada instante de tiempo. Presentamos también un resumen de los resultados de una experiencia didáctica donde fue usado el recurso del análisis de video en clase con estudiantes de la materia de Laboratorio de Física II ofrecida a los diversos cursos de Ingeniería y Licenciatura en Física del Campus Bagé de la Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Se corroboró que el análisis de video fue recibido con interés y motivación por los alumnos y contribuyó para una buena comprensión de las bases físicas contenidas en el estudio del movimiento oscilatorio ejecutado por un péndulo físico. Los resultados apuntan que es posible utilizar el análisis de video como herramienta facilitadora en la enseñanza de la física experimental, pero necesitamos más investigaciones que indiquen una dirección a ser seguida para consolidar esta alternativa didáctica.

Palabras claves: Análisis de video, Física Experimental, Enseñanza de Física.

Vidéo-analyse comme appel encore une fois à l'enseignement de physique expérimentale: un exemple d'application de la mécanique

Résumé

Les aspects fondamentaux de la présente technique vidéo-analyse et discuter de certains de ses possibilités dans la perspective d'utilisation comme un outil d'appuyer didactiques, dirigé l'enseignement des mouvements dans classique physique expérimentale. Ce n'est une ressource non instructional comporte importants investissements financiers, parce que, en outre à un ordinateur, nous avons besoin seulement matériel pour la capture de l'image, qui peut être un appareil photo numérique, l'appareil cellulaires avec caméra vidéo ou même un simple "web cam". Il est également un programme informatique où nous exploiter l'analyse de la vidéo, qui permettent de travailler une séquence d'images de connaître la position de l'objet de chaque instant de temps. Nous avons également un résumé des résultats d'une expérience didactique où a été utilisé l'utilisation de la vidéo-analyse dans la salle de classe avec des étudiants de la discipline laboratoire physique II offertes aux divers cours de l'ingénierie et conditions en physique des Campus Bagé des Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Il a été constaté-que le vidéo-analyse a été reçu avec intérêt et de la motivation par les élèves et a contribué à une bonne compréhension sur la base physique figurant dans l'étude du mouvement oscillatoire mis en oeuvre par un pendule physique. Les résultats montrent qu'il est possible d'utiliser la vidéo-analyse comme un outil facilitateur dans l'enseignement de physique expérimentale, mais nous avons besoin davantage de recherche firmem une direction à suivre pour consolider cette alternative didactique.

Mots clés: vidéo-analyse, physique expérimentale, l'enseignement de la physique.

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) têm sido usadas como ferramentas potencializadoras no ensino de física experimental através de computadores, *internet* e programas computacionais educacionais de modelagem, simulação ou até mesmo aquisição de dados experimentais (Rocha, Guadagnini, 2010). Pode-se obter estes programas a baixo custo ou mesmo sem custo, todavia, a simples utilização destes instrumentos tecnológicos na educação não significa necessariamente garantia de aprendizagem dos estudantes. É necessário o uso de TIC de forma consciente e reflexiva. Como afirma D'Ambrosio (2003, p. 61) “É claro que a tecnologia por si não implica uma boa educação. Mas sem dúvida, é quase impossível conseguir uma boa educação sem tecnologia”. Para Araujo e Veit (2009) a eficácia de um recurso computacional não depende apenas de suas características inerentes, mas, especialmente, das estratégias didáticas empregadas no seu uso, sendo necessário levar em consideração uma série de recomendações relativas à forma de implementação, tais como: i) propor questões instigantes, que motivem os estudantes a interagirem com os recursos computacionais; ii) definir objetivos a serem alcançados na interação; iii) definir conceitos e procedimentos associados ao conteúdo que se deseja que os alunos aprendam; iv) promover a reflexão por parte do estudante, tanto sobre os resultados imediatos de suas ações quanto sobre a razoabilidade física dos resultados encontrados.

Ainda sobre o uso das TIC destacamos alguns estudos que apresentam fatores positivos sobre a combinação de recursos computacionais e experimentais. Segundo Dorneles (2010) a inserção de TIC no ensino experimental pode auxiliar os estudantes a interagirem de forma consciente com os experimentos e não por mera tentativa-e-erro, propiciando melhores condições para a análise física do que ocorre nos experimentos reais. Para Zacharia e Anderson (2003) o uso de simulações integradas com experimento real propicia aos alunos maior habilidade para fazerem previsões e darem explicações cientificamente aceitas sobre os fenômenos físicos presentes nos experimentos. Ronen e Eliahu (2000) destacam a possibilidade das TIC propiciarem uma ponte entre modelos teóricos, representações formais e realidade.

Neste trabalho apresentamos e refletimos a respeito do recurso da vídeo-análise como tecnologia educacional voltada ao ensino de física experimental, algumas de suas potencialidades e limitações. Também relatamos resumidamente os resultados de uma experiência didática de uso da vídeo-análise, no âmbito da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). A vídeo-análise é um recurso instrucional baseado no uso do computador, de um equipamento para a captura de imagem e de um programa computacional dedicado a analisar o vídeo de uma experiência física (Rocha, Fajardo, Grisolia, Benegas, Tchitnga, 2011).

A experiência didática cuja proposta era inserir a vídeo-análise para estudo da Mecânica, se deu através de um guia de laboratório que explorou a física das oscilações mecânicas a partir do estudo experimental de um sistema pêndulo físico. Esta experiência foi concebida à luz da teoria sociocultural de Vigotski que nos diz que o desenvolvimento cognitivo do aluno tem origem em processos de interação social (Vigotski, 2001), (Moreira, REIEC Volumen 6 Nro. 1 Mes julio Recepción:9/09/2010

1999). A proposta foi implementada no segundo semestre de 2009 para cinco turmas de alunos da disciplina de Laboratório de Física II oferecida aos cursos de Engenharia e de Licenciatura em Física do Campus Bagé da UNIPAMPA (Leitão, 2009). Os alunos utilizaram a nova técnica conjuntamente com um sensor *photogate* tradicional para medir e comparar os resultados dos valores das principais grandezas físicas envolvidas na descrição do movimento pendular.

Para avaliar a receptividade dos alunos em relação a vídeo-análise, bem como a metodologia didática utilizada em sala de aula e seus reflexos na aprendizagem, foi aplicado um questionário aberto de avaliação. Nos baseamos também nas respostas dadas pelos alunos para as questões constantes no guia de laboratório sobre aspectos básicos da física do sistema oscilatório em estudo.

2. ENSINO DE FÍSICA EXPERIMENTAL

O papel do laboratório didático para a formação do aluno pode ser sintetizado nas palavras de Rosa (2003, p.25):

“A importância da realização de uma atividade experimental parece ser inegável se considerarmos que os professores, ao exercerem a docência, são formadores de pessoas que desenvolverão papel fundamental na sociedade em que estão inseridas. Nessa perspectiva, têm-se jovens que, independentemente da profissão que escolheram, atuarão na sociedade, a qual se encontra em processo constante de transformação, principalmente na área tecnológica, da qual a experimentação é base. Desenvolver atividades que permitam ao aluno refletir, questionar, entre outros aspectos, deve ser o papel do componente experimental no processo ensino-aprendizagem”.

Contudo, na literatura encontram-se vários estudos (Hodson, 1994; Gil-Pérez et al., 1999; Borges, 2002; Dorneles, 2010) que relatam limitações das tradicionais atividades experimentais, propostas a partir de roteiros fortemente dirigidos. É praticamente consensual na literatura que o ensino de laboratório não tem contribuído, de forma significativa, para aprendizagem dos alunos, pois, frequentemente, as atividades experimentais propostas aos alunos não privilegiam a interatividade e apresentam um distanciamento entre teoria e prática. Isto evidencia que o ensino de laboratório tem sido subutilizado e desta forma pode apresentar as seguintes limitações: i) não relaciona as atividades práticas com os conceitos físicos; ii) as operações de montagem dos equipamentos e as atividades de coletas de dados consomem muito tempo ou todo tempo disponível; iii) não proporciona uma apreciação sobre a natureza da ciência e da investigação científica.

Com o objetivo de atenuar essas limitações Saraiva-Neves, Caballero e Moreira (2006) argumentam que o ensino de laboratório deve propiciar aos estudantes uma reestruturação de suas ideias prévias a partir da solução de situações problemáticas. Para que isso ocorra, eles apontam a necessidade de levar em consideração os conhecimentos que os alunos já possuem, de ultrapassar a visão empirista da resposta única e correta e permitir uma inter-relação entre teoria e prática. Séré (2002) também defende a inter-relação entre teoria e experimento e sugere uma diminuição da carga conceitual em favor da escolha consciente de procedimentos e epistemologias adequadas. Em um estudo

posterior Séré, Coelho e Nunes (2003) destacam que é através das atividades experimentais que o aluno é estimulado a não permanecer somente no mundo dos conceitos e das “linguagens”, pois tem a oportunidade de relacionar esses dois mundos com o empírico. Argumentam que para o aluno conseguir questionar esses mundos, manipular modelos e desenvolver métodos ele deve estar consciente de que é necessária uma teoria, isto é, estabelecer uma inter-relação entre teoria e experimento.

Na experiência didática relatada no presente trabalho procuramos estabelecer um vínculo entre teoria e experimento a partir da utilização da vídeo-análise. Concebemos um guia de laboratório que procurou vincular teoria física e prática numa só atividade que explorasse as potencialidades da técnica e ainda proporcionasse aos alunos a comparação entre os dados medidos a partir da vídeo-análise com os dados medidos através do sensor tradicional *photogate*. Procurou-se proporcionar aos alunos uma atividade que fosse na direção de desenvolver o espírito científico e que permitisse refletir e questionar mais a respeito do significado físico do dado experimental que era medido (explorado, investigado), em detrimento de uma atividade apenas de coleta mecânica de dados que muitas vezes pouco acrescenta a bagagem de conhecimentos do aluno.

3. VÍDEO-ANÁLISE COMO RECURSO DIDÁTICO

3.1 Aspectos Básicos

Tradicionalmente, os vídeos vêm desempenhando um papel destacado como recurso de mídia importante para fins didáticos (Sacerdote, 2010), (Clebsch, Mors, 2004). Este recurso muitas vezes é aproveitado para reforçar e/ou aprofundar os conteúdos ministrados em uma disciplina, curso de formação profissional, treinamentos empresariais, entre outros. Como é um recurso que não envolve alto custo financeiro e é de fácil manuseio, proporciona seu uso sem maiores investimentos em diversos ambientes e pode significar garantia de motivação e grande envolvimento por parte dos discentes. Contudo, por vezes é utilizado apenas para manter alguma atividade extra com os alunos, sem que se tenha feito um planejamento adequado sobre a melhor forma de utilizá-lo. Embora o vídeo educativo tenha diversas vantagens como recurso didático, é necessário uma constante avaliação desta metodologia (Silva, 2009). Em se tratando de Ensino a Distância (EaD), o vídeo educativo faz parte de um cardápio quase que obrigatório na maioria dos cursos nesta modalidade. Devido ao poder do vídeo educativo e ao menor contato presencial do aluno desta modalidade de ensino com o professor da disciplina, o EaD esbanja opções de uso deste recurso de fácil acesso dentro dos ambientes e plataformas virtuais de aprendizagem, bem como remetendo a sites como *YouTube*, *CiênciaTube* e outros.

Com o desenvolvimento tecnológico agregado por parte das câmeras de obtenção de vídeos de qualidade profissional (as câmeras rápidas), alguns cientistas se apoderaram da técnica de análise por vídeo para estudar diversos eventos naturais que são de difícil visualização através dos olhos humanos. Na perspectiva educacional, câmeras rápidas de resolução temporal com taxa de aquisição de vídeo de cerca de 1000

quadros por segundo, ou superior, estão sendo usadas, por exemplo, para análise cinemática e dinâmica de movimentos de artes marciais. (Neto, Magini, Saba, 2006).

No caso do uso didático do vídeo para ensinar, ilustrar, informar, divertir, treinar, etc., podemos classificá-lo como de uso *passivo* onde não há nenhuma possibilidade dos alunos interagirem com o objeto pedagógico vídeo. Este é o uso mais largamente empregado em ambientes educacionais até hoje. Ultimamente, com a popularização das câmeras de vídeo e o advento de programas computacionais que reproduzem e editam vídeos com relativa facilidade, entramos numa fase em que se tornou possível a interação dos alunos de uma classe diretamente com os vídeos de uma forma mais *ativa* e participativa. A vídeo-análise se insere neste contexto de possibilidades, pois pode proporcionar uma interação desejável entre o aluno-pesquisador, o evento físico estudado e o vídeo produzido neste estudo, promovendo, portanto, uma maior dinamização da prática pedagógica e um maior poder de investigação da natureza das Ciências em nível escolar e também profissional.

A vídeo-análise para fins educacionais consiste em fazer uma tomada de vídeo de um fenômeno ou experimento e depois executar uma análise minuciosa sobre este vídeo através de ferramentas que relacionem o fenômeno que se quer estudar com grandezas (observáveis) da Física e suas quantificações. Através da análise do vídeo é possível estudar grandezas da Mecânica como posição, velocidade, aceleração e energia de um corpo (Laws, Pfister, 1998) e (Beichner, 1996). Podemos estudar aspectos da ondulatória, passando por experiências de eletricidade e magnetismo, espectroscopia (Collins, 2000), movimento Browniano (Salmon, Robbins, Forinash, 2002), até as leis de conservação tão úteis no ensino de Física (Derby, Fuller, 1999).

O princípio fundamental para estudar, por exemplo, movimentos clássicos da cinemática através da vídeo-análise é utilizar a base de tempo do equipamento que vai filmar o evento (câmera de vídeo, celular, *web cam*) e durante a análise do vídeo informar ao programa qual é o fator de escala entre o espaço físico real e a relação de espaço do vídeo expressa em *pixel* (cada *pixel* é formado por um conjunto de 3 pontos coloridos que compõem a imagem) na imagem em si, em um quadro de referência escolhido entre a sucessão de quadros que compõem o vídeo. Isso pode ser feito facilmente se, ao filmarmos, tivermos o cuidado de medir previamente o tamanho real de algum objeto que fará parte do filme. Este objeto (que pode ser, por exemplo, uma régua) deve estar posicionado no plano do movimento a ser analisado.

O programa computacional base que utilizamos neste trabalho para realizar a vídeo-análise, *Logger Pro 3.6.1*, é disponibilizado pela empresa *Vernier* e sua licença deve ser adquirida. Trata-se de um programa que oferece diversos recursos no tratamento do vídeo para fins de vídeo-análise como também análise geométrica por foto, recursos de estatística sobre dados numéricos e recursos de cálculo como derivadas, integrais e modelagem que consiste em ajustar pontos experimentais a modelos físico-matemáticos pré existentes na memória do programa (ou modelos que podem ser construídos utilizando a linguagem de programação adequada). O grande diferencial deste

programa reside na possibilidade de poder utilizar o sistema de tomada de vídeo disponível via o programa *Logger Pro*, concomitantemente com a captação de dados numéricos através de sensores dos mais diversos tipos como, de movimento, força, campo magnético, temperatura, entre outros. O programa possui ainda uma boa biblioteca de vídeos de exemplos de experiências de ensino básico nas áreas de Física, Química e Biologia que podem servir para ilustrar as potencialidades da vídeo-análise. Pode-se obter uma versão demonstrativa, gratuitamente, através do site da empresa (<http://www.vernier.com/downloads/>). Não vamos aqui nos deter muito na discussão dos programas disponíveis para vídeo-análise, porém, salientamos que existem outros programas, totalmente gratuitos, que possuem a mesma finalidade de vídeo-análise para fins educacionais tais como: “*Data Point*” (<http://www.xannah.org/datapoint/>), “*Physics Toolkit*” (<http://www.physicstoolkit.com/>) e “*Tracker*” (<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>). O *Tracker*, por exemplo, é um pacote para análise de vídeos desenvolvido pela *OPEN SOURCE PHYSICS (OSP) Java framework*. Pode ser utilizado tanto na plataforma *Windows* como nos sistemas operacionais *MAC* e *LINUX* e foi desenvolvido para ser utilizado em cursos introdutórios de Física. Os programas “*MotionPro*” (<http://www.motionprosoftware.com/index.htm>) e “*Pro-Trainer Motion Analysis*” (<http://www.sportsmotion.com/>) se destacam por oferecerem análise de vídeo de movimentos direcionada especificamente para o estudo médico e performance de esportistas.

3.2 A tomada de vídeo

Como a vídeo-análise se baseia no vídeo que é produzido a partir de uma experiência, a qualidade deste vídeo é importante neste contexto. Dependendo do propósito de nossa análise precisamos contar com ótimos recursos de captura de vídeo ou simplesmente um celular com câmera. Como vimos, se estamos interessados em estudar eventos de curta duração temporal como no caso do estudo da força impulsiva característica de um golpe de artes marciais, temos que obter uma câmera profissional rápida que seja capaz de nos dar, por exemplo, uma alta taxa de quadros por segundo. Contudo, se nosso objetivo didático é o de encontrar a velocidade do centro de massa de uma esfera que rola, a partir do repouso, sobre um trilho levemente inclinado então nos basta um celular equipado com câmera de vídeo que usualmente apresenta, no mínimo, a taxa de aquisição de vídeo de 15 quadros por segundo. A maioria das câmeras de vídeo disponível no comércio chega tranquilamente a taxa de 30 quadros por segundo, o que nos dá um bom espectro de possibilidades em termos de estudo dos movimentos clássicos da Física para fins educacionais. Na análise de eventos ultracurtos através da vídeo-análise, além da taxa de quadros por segundo é importante atentar para a velocidade e ângulo de abertura do obturador do dispositivo de captura de vídeo (para casos mais simples estes parâmetros podem ficar a cargo da configuração automática do equipamento de vídeo). Como atualmente os aparelhos tipo *notebook* têm vindo equipados com *web cam*, esta opção pode ser útil e prática na captura de vídeos para fins educacionais. Para sabermos qual a taxa de quadros de filmagem de nosso equipamento, basta gerar um vídeo qualquer, importar no programa de análise e dividir o

número de quadros total que é informado no programa pelo tempo total da filmagem. Estas informações normalmente estão disponíveis nos diversos programas de vídeo-análise.

Além de termos um equipamento de filmagem adequado aos nossos propósitos, são muito importantes as condições de luminosidade, disposição espacial do fenômeno que vai ser filmado e a posição do equipamento de vídeo no “*set*” de filmagem. Por exemplo, no caso do estudo da cinemática, é essencial que o móvel cujo movimento se quer estudar tenha seus contornos bem definidos dentro do vídeo. Para isso a luminosidade e a escolha da cor do plano de fundo de filmagem são essenciais. Por exemplo, se nosso móvel é de cor escura, é desejável um plano de fundo claro para contrastar no vídeo, e vice-versa. Isso dará mais segurança na hora de apontar a posição do móvel quadro a quadro (é importante também não permitirmos a presença de regiões de sombras que possam atrapalhar a definição do móvel dentro da imagem). Evite trocar de cor para o plano de fundo durante a filmagem. O equipamento de vídeo deve ficar com o eixo da lente da câmera na direção perpendicular ao plano que contém a trajetória do móvel (é importante lembrar que através de uma filmagem capturada por apenas uma câmera de vídeo é possível estudar apenas movimentos em uma ou duas dimensões). Análises profissionais em três dimensões podem ser feitas a partir de arranjos mais complexos de filmagens que envolvem um maior número de dispositivos de captura de vídeo e o uso de programas computacionais específicos (<http://www.simi.com/en>), (http://www.contemplas.com/3d_motion_analysis.aspx) ou (<http://www.spicatek.com/>).

Podemos utilizar um tripé ou mesmo uma mesa de apoio bem firme que não permita trepidações, pois estas inutilizam um vídeo para fins de vídeo-análise, por melhor que seja o restante dos indicadores de qualidade do vídeo. Devemos ficar alerta sobre esta possível falha no processo. Uma boa dica é usar controle remoto para acionamento do equipamento de vídeo se este recurso estiver disponível. Como veremos adiante, para o estudo dos movimentos por vídeo-análise é necessário estabelecermos também um conjunto de dois eixos coordenados que se fixam aos quadros estabelecendo uma origem de escala espacial.

Na tomada de vídeo também é importante o bom estabelecimento do campo visual de filmagem. Podemos aproximar nosso equipamento de filmagem, ou a objetiva da câmera, de forma a obter um bom campo visual, desde que, é claro, os extremos do movimento do móvel que queremos estudar estejam contidos dentro do campo de filmagem. Neste caso, deve-se aproximar a câmera do móvel em estudo ou utilizar o zoom ótico e não o zoom digital. Isso porque é o ótico que tem a capacidade de aproximar a imagem do objeto a ser filmado sem comprometer a qualidade desta. O zoom ótico é relativo às lentes do equipamento sendo capaz de ampliar uma imagem de forma real. Por sua vez, o zoom digital é apenas um artifício. Ao contrário do ótico, que aproxima a imagem em tempo real, o zoom digital é feito após o sensor digital da câmera baseado em semicondutores (chamado *CCD - charge-coupled device*) capturar a imagem através das lentes. Pelo zoom digital apenas se “*amplia*” os pixels de parte da imagem capturada, obtendo assim uma imagem pobre em

resolução e informação. A velocidade do obturador (determina o tempo pelo qual a luz deve entrar na câmera) e a abertura do diafragma (regula a abertura do sistema ótico para a entrada de luz) da câmera também são fatores importantes quando se quer melhorar a qualidade da imagem. É preciso compensar o excesso de entrada de luz com uma velocidade mais rápida do obturador. Normalmente o modo automático das câmeras se encarrega de ajustar as condições de exposição à luz para que a imagem capturada pelo sensor da câmera se aproxime bastante da imagem real. Tendo-se à disposição câmeras com maiores recursos, é possível a um operador mais experiente controlar e melhorar a qualidade de vídeos mesmo com propósitos educacionais.

Existem no mercado diversos equipamentos de filmagem que operam com variados formatos de arquivo de imagem. A imagem começa a ser criada quando a luz chega ao *CCD* da câmera. O *CCD* é constituído por fotosensores distribuídos em linhas e colunas numa matriz. O registro da luz que chega se faz através de varredura sincronizada no tempo de forma que seja possível processar a informação trazida pela luz a que cada fotosensor fica submetido quando o obturador da câmera for aberto. A câmera primeiramente carrega esta informação bruta captada pelo *CCD* em uma espécie de pré-formato chamado *RAW* (ou cru em português). Após isso a câmera processa esta informação utilizando um sistema de compressão de imagem (através de um algoritmo computacional) onde há perda de informação em função de diminuir o tamanho do arquivo de vídeo. Os formatos de saída mais comuns hoje são: *AVI*, *MPEG*, *MOV*, *WAV*, *WMV*, *RA*, entre outros. O formato do vídeo produzido pela câmera que temos tem que ser compatível com o programa de vídeo-análise. Uma saída possível, se isto não acontecer, é procurar na *internet* programas que convertem entre diversos formatos (*Video Codec Converter*). O *Logger Pro*, por exemplo, trabalha com os formatos compatíveis com o programa *QuickTime* da *Apple, Inc*, ou seja, *AVI*, *MPEG*, *MOV* e *WAV*.

3.3 O tratamento computacional do vídeo

Após carregar o vídeo, procuramos a caixa de ferramentas que permite executar um conjunto de etapas que começa com a inserção da informação de escala relacionando o espaço real com o conjunto de pixels que compõem a imagem. A escala de vídeo é importante na definição das coordenadas do sistema. É usada para converter as posições dos pixels da imagem em coordenadas reais. Esta escala valerá para todo o tratamento se as condições do vídeo se mantiverem inalteradas, por exemplo, sem nenhum zoom ou distorção da imagem. Em seguida é necessário estabelecer um conjunto de eixos coordenados e origem. A terceira etapa é usar um indicador de posição (disponível no programa) para ir marcando a localização do móvel que se desloca sobre nosso plano de coordenadas espaciais com o passar do tempo. Neste momento o analista do vídeo procura identificar o exato pixel que representa a mesma marca (do móvel) nos diversos quadros que compõem o vídeo. O programa *Tracker* apresenta a possibilidade de uso do recurso “*autotracker*” que elimina a necessidade de marcar a posição do móvel manualmente, em cada quadro, com o indicador de posição via mouse. Ou seja, o programa mesmo se encarrega de seguir o móvel inteligentemente

através de reconhecimento de padrões de imagem. É claro que isso só é possível se estivermos diante de vídeos com forma, tamanho, cor e orientação consistentes durante todos os quadros.

Veja na Figura 1 uma tela capturada do *Logger Pro*, onde aparece no tocador de vídeo interno do programa, um vídeo de um lançamento horizontal e os botões principais que permitem a análise quadro a quadro enquanto o móvel se desloca. Através das ferramentas de análise (canto superior à direita) se pode acompanhar o deslocamento do móvel em estudo. Aparece, de cima para baixo, os seguintes botões básicos: apontador, posicionador do móvel em estudo, estabelecimento de eixos coordenados e origem, transferência de escala, régua. Os demais botões nesta sequência se referem a outras funções mais específicas do programa. Na região inferior da figura localizam-se os botões básicos de um tocador de vídeo. Assim que o posicionador é acionado sobre o móvel, o programa vai construindo automaticamente uma tabela de dados de posição e tempo e a partir destes dados um gráfico. Sobre estes dados tabelados o programa usa recursos de cálculo numérico para encontrar a velocidade e a aceleração do móvel. Este conjunto de dados calculado vai sendo graficado automaticamente, em tempo real, enquanto são obtidos através da vídeo-análise.

É importante lembrar que os programas de vídeo-análise, ao utilizarem o cálculo numérico, fazem isso a partir de informações do usuário que declara o número de pontos que deve ser utilizado no cálculo da derivada. Usuários um pouco mais experientes podem se utilizar deste recurso para tratar suas curvas

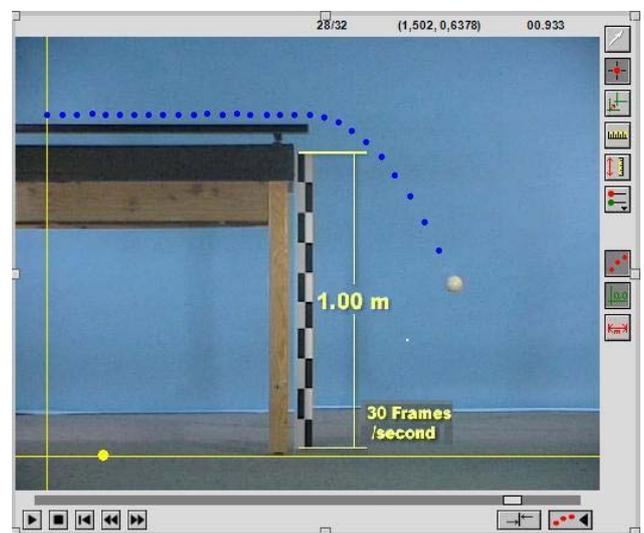


Figura 1 – Tela do programa *Logger Pro* onde vemos um quadro da reprodução do vídeo relativo ao lançamento horizontal de uma esfera. Vídeo adaptado da *Live Photo Physics Series* (Galileo's Projectile, 2008 RIT).

O tratamento dos dados em regime de bem baixa ou “alta” velocidade requer algum cuidado (claro que estamos falando aqui do caso em que é possível a análise do movimento através do recurso de equipamento de filmagem que dispomos). No limite de baixa velocidade se, por exemplo, partimos do repouso, no início o corpo se movimenta muito pouco proporcionando pequeno deslocamento espacial

enquanto vários quadros de filmagem se sucedem. Neste caso, quando usamos o posicionador sobre o objeto, caímos na situação de termos de marcar um ponto muito perto do subseqüente e isso acarreta uma maior imprecisão nos dados. A imprecisão é sentida, pois, a posição do ponto móvel que queremos marcar (como, por exemplo, o centro de massa) pode estar se deslocando tão pouco quadro a quadro que duas posições sucessivas podem representar menor deslocamento que o tamanho do próprio marcador de posição na tela. Quando o programa calcula a velocidade ou aceleração, através das derivadas, aí a falta de precisão nestes dados aparece com maior visibilidade no gráfico da grandeza física que se quer observar. Embora esta seja uma limitação da técnica, podemos contornar razoavelmente o problema utilizando o maior zoom da imagem até termos mais certeza na marcação mais correta da posição. É importante não pular quadros, pois isso leva à perda de informação, principalmente quando sabemos que um bom cálculo de derivadas numéricas demanda uma densidade adequada de pontos na função primitiva. No entanto, no regime de alta velocidade estamos na situação em que a cada quadro que avança, nosso móvel se deslocou bastante. Se, por falta de recursos de máquina, trabalhamos numa baixa taxa de captura de quadros, ficamos novamente numa situação difícil porque teremos uma informação pobre de posição e tempo. Também neste caso, utilizando câmeras comuns, é correto vermos em nosso vídeo o caso da imagem borrada ficando difícil inclusive encontrarmos o ponto do móvel que estamos usando como referência de posição. Podemos obter imagens que acabam ou minimizam o problema do borrão se tivermos em mãos uma câmera que nos dá a condição de alterarmos a velocidade de obtenção. Nos regimes de baixa e alta velocidade se encontram as maiores imprecisões de medida e uma barra de erro pode ser estabelecida a partir de critérios expostos e bem fundamentados (Leitão, Rocha, 2009).

Algumas facilidades devem ser destacadas na análise do vídeo como, por exemplo, a possibilidade de retornar a algum momento (quadro) da experiência em especial visualizando o fenômeno e refazer o tratamento dos dados quantas vezes for necessário. É possível analisar num só vídeo o trajeto de mais de um corpo que se movem simultaneamente, permitindo assim uma correlação direta entre as grandezas físicas que estão sendo estudadas, comparando tabelas e gráficos com muita comodidade. Também é possível, e muito valioso do ponto de vista educativo, aliar o tratamento de vídeo sobre uma experiência com o uso de sensores medindo uma grandeza física em tempo real. O programa *Logger Pro* permite que se faça a tomada de vídeo simultaneamente com medidas oriundas de sensores de posição ou força, por exemplo, ampliando ainda mais a possibilidade de análise de um sistema físico.

É importante sempre ter em mente que o estudo de qualquer movimento através da vídeo-análise está limitado ao compromisso entre a faixa de velocidade do móvel e os limites técnicos do seu equipamento de captura de vídeo.

3.4 Os diversos usos didáticos

Com a possibilidade de uso por parte de professores e alunos deste recurso instrucional de relativo baixo custo, se

pode realmente afirmar que é possível realizar práticas bem interessantes do ponto de vista de explorar a física experimental. Mesmo o professor que não dispõe em sua escola, de um desejável laboratório didático equipado, pode convidar seus alunos para, no pátio do estabelecimento de ensino (ou mesmo em casa), estudar Cinemática e/ou Dinâmica através de inúmeros movimentos. O importante é a própria inovação e a ativação da criatividade dos estudantes. Uma simples bola arremessada para o alto, o movimento de uma pedra presa a um barbante em rotação, ou mesmo um corpo que repousa após deslizar atritado por uma base, podem significar ótimos experimentos de análise e aprofundamento de diversos conceitos básicos da Física. Se pode utilizar a vídeo-análise para explorar diversas situações do dia-a-dia do aluno fugindo assim das explicações sem significado para os alunos e descontextualizadas que são muitas vezes feitas em sala de aula.

Como em qualquer atividade de ensino, entendemos que o uso da vídeo-análise deve ser feito de forma criteriosa, reflexiva e sempre sendo avaliada constantemente em sua eficiência. Entendemos que o uso da vídeo-análise não deve substituir o uso do laboratório didático de ensino de física experimental e aconselhamos o uso conjunto melhorando e ampliando de forma criativa os limites das experiências tradicionais. É interessante, sempre que possível, o uso desta técnica concomitantemente com técnicas tradicionais de ensino de física experimental proporcionando aos alunos a possibilidade de também avaliar, inovar, refletir e comparar os dados medidos e sua confiabilidade. Claro que para cada público de alunos se deve direcionar uma proposta e aprofundamento adequados no que se refere ao uso da vídeo-análise. A internet possui diversos endereços eletrônicos que disponibilizam idéias de como explorar fenômenos físicos através da vídeo-análise (<http://www3.science.tamu.edu/cmse/videoanalysis/>).

4. A EXPERIÊNCIA DE ENSINO

Nesta seção nos limitaremos a descrever de forma resumida a experiência didática de introdução do recurso da vídeo-análise (Leitão, 2009) em disciplinas de física experimental da UNIPAMPA.

O recurso do vídeo-análise foi utilizado em atividades experimentais para um total de 78 alunos, com faixa etária entre 17 e 41 anos de idade, matriculados na disciplina de Laboratório de Física II. Estes alunos estavam distribuídos em cinco turmas e cada turma realizou práticas de laboratório com duração de dois períodos por semana, durante três semanas seguidas. Sendo que cada período tinha uma duração de cinquenta minutos, totalizou seis períodos de cinquenta minutos para cada turma. Estes discentes faziam parte dos cursos de graduação em Engenharia e Licenciatura em Física da UNIPAMPA, Campus Bagé.

Para inserir a vídeo-análise em uma prática de física experimental, propomos uma experiência sobre as oscilações de um pêndulo físico. Para realizar tal prática, montamos um aparato onde foi utilizado um tubo de PVC como pêndulo físico além de contarmos com o cronômetro microcontrolado e sensor *photogate* que pode ser visto através da Figura 2. Trabalhamos com cinco conjuntos de

experimentos onde os pêndulos tinham comprimentos diferentes, sendo o de menor comprimento com 0,60 m e o de maior com 1,00 m.

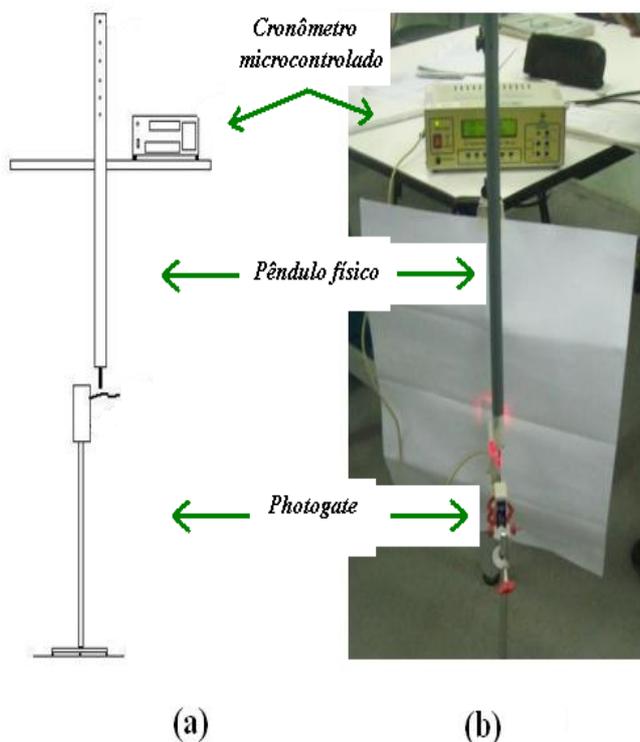


Figura 2: Em (a) temos o desenho do dispositivo experimental utilizado e em (b) uma foto tirada por um aluno do dispositivo experimental utilizado. Em (b) vemos o cronômetro digital microcontrolado e o *photogate* da marca CIDEPE.

Antes do início da experiência, foi discutido com os alunos, através de uma apresentação oral, como seria conduzida a atividade, os objetivos da prática, os detalhes do aparato experimental, o embasamento teórico sobre o modelo físico que seria estudado e o recurso da vídeo-análise. Levando em conta as dificuldades que os estudantes geralmente demonstram em suas atividades de laboratório, apresentamos um guia (veja o APÊNDICE) para a experiência que foi distribuído aos alunos. Estes se reuniram em grupos de quatro indivíduos para a realização da experiência proposta. Procuramos sempre promover a interação intra, intergrupos e com o professor na busca da troca de significados durante a experiência.

Especial atenção foi dada a explanação do recurso da vídeo-análise pois tratava-se de uma novidade para os discentes. Um anexo ao guia da experiência foi criado como o objetivo de mostrar neste caso, o passo a passo, de como se procede para realizar a vídeo-análise (Leitão, 2009). Durante a apresentação do recurso da vídeo-análise, a título de demonstração, foi feita uma análise de vídeo para demonstrar as funções do programa computacional *Logger Pro*. Nesta explicação, os alunos foram conduzidos a refletir sobre alguns conceitos de Cinemática e Dinâmica ilustrados nos gráficos que foram obtidos através desta demonstração. Por fim, apresentamos o equipamento tradicional de medida, que consiste num cronômetro digital microcontrolado e num

sensor *photogate*. Comentamos sobre o funcionamento do cronômetro e que seria realizada a medida do período do movimento pendular através deste sistema tradicional de coleta de dados.

Após uma demonstração introdutória sobre a prática experimental, os alunos realizaram a experiência propriamente dita. A coleta dos dados foi feita através da utilização da vídeo-análise, simultaneamente à utilização do sensor *photogate* visando medir o período do pêndulo físico e outras grandezas físicas importantes. As análises dos vídeos foram realizadas nos computadores instalados no próprio ambiente do laboratório, contando com o auxílio do professor da disciplina. Alguns alunos trouxeram seus próprios computadores pessoais e colocaram a disposição do grupo.

Com a tentativa de realizar a prática proposta, surgiram questionamentos por parte dos alunos sendo assim possível entrarmos no foco dinâmico principal de nossa proposta: a interação social entre os alunos e o parceiro mais capaz – o professor. Posteriormente, tanto na análise do vídeo como na compreensão dos resultados obtidos, os alunos interagiram com o professor e entre eles.

Ao final da atividade, os alunos entregaram ao professor o resultado do estudo que tinha como finalidade pesquisar o comportamento de um sistema oscilatório e também comparar os resultados físicos obtidos através da nova técnica (vídeo-análise) com os resultados obtidos através da teoria newtoniana (utilizada para modelar teoricamente o sistema) e com os resultados obtidos através de um equipamento tradicional de laboratório bem conhecido pelos alunos: cronômetro microcontrolado e sensor *photogate*.

5. APRESENTAÇÃO DE ALGUNS RESULTADOS A RESPEITO DA PROPOSTA DE ATIVIDADE DIDÁTICA INTRODUTÓRIA DA VÍDEO-ANÁLISE.

Através da análise das respostas dos estudantes às questões propostas no guia de laboratório, buscamos indicadores do grau de conhecimento físico alcançado a partir da metodologia proposta, tentando em especial identificar se existe alguma contribuição significativa da vídeo-análise como facilitadora de aprendizagem. Para avaliar como foi a percepção dos alunos em relação à nova técnica implementada bem como a metodologia de inserção em sala de aula, foi elaborado um questionário aberto como instrumento de avaliação (Leitão, 2009). Esta avaliação tinha como objetivo saber a opinião dos alunos quanto a utilização desta técnica como instrumento facilitador de aprendizagem e buscar indicadores que fornecessem subsídios para que se avaliasse se a metodologia utilizada para inserir o novo recurso didático foi eficiente. Destacamos a seguir alguns resultados.

De acordo com as repostas obtidas dos alunos que responderam ao questionário de avaliação, 7/38 já conheciam a vídeo-análise através de contato prévio dentro da própria Universidade, contudo, para a grande maioria era a primeira vez que ocorria o contato com o recurso.

Quanto à avaliação dos alunos sobre a técnica, estes observaram diversas vantagens que equiparam ou até mesmo superaram os recursos tradicionais de medida como: boa precisão dos dados obtidos; possibilidade de rever a experiência várias vezes; praticidade e facilidade no uso do programa para analisar os vídeos e gerar gráficos. Segue um depoimento de um aluno:

“Utilizar a video-análise trás inúmeras vantagens, pois podemos rever a experiência várias vezes podendo rever mínimos detalhes, sendo também mais prático pelo programa já dar mais gráficos e a tabela, o programa também é muito fácil de utilizar”.

Foi observado por 19/38 dos alunos que não há nenhuma desvantagem na vídeo-análise em relação à outra técnica tradicional que foi usada concomitantemente. Também 19/38 dos alunos sentiu vontade de adquirir uma câmera digital de melhor qualidade para obter um vídeo melhor e, conseqüentemente, melhores resultados.

Quanto à aprendizagem dos conhecimentos físicos, 28/38 alunos afirmaram que a nova técnica facilitou a compreensão do movimento de um pêndulo físico, principalmente pela praticidade na construção e estudo dos gráficos.

Para 11/38 dos alunos, a nova técnica poderia substituir sem problemas as técnicas tradicionais. Segundo eles, é um excelente recurso de apoio ao aprendizado, pois é prático e os desvios dos resultados entre a teoria, a vídeo-análise e os resultados obtidos pelas técnicas tradicionais foram pequenas (menor que 5%). Para o restante dos entrevistados, a vídeo-análise deve ser utilizada conjuntamente com os outros equipamentos tradicionais de medida a fim de permitir comparações.

Para 21/38 dos alunos, como o recurso da vídeo-análise é de fácil utilização e análise rápida, este recurso poderia ser utilizado com vantagem para ensinar outros conteúdos da física experimental, ajudando na compreensão e análise física dos fenômenos estudados.

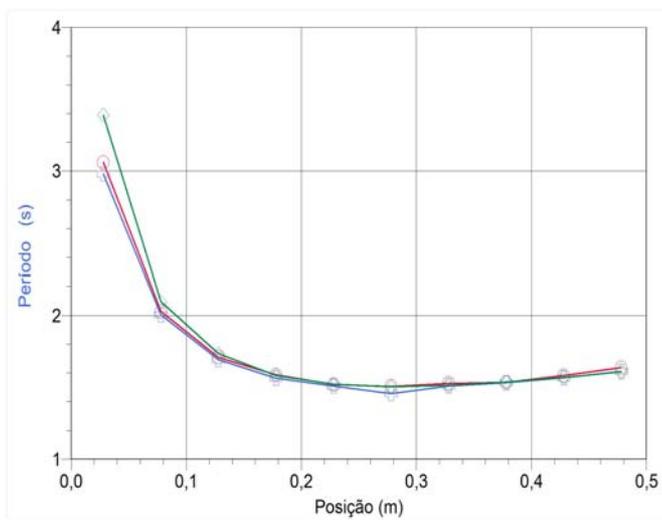


Figura 3: Gráfico do período do pêndulo físico T em função da variável x (posição do centro de massa em relação ao eixo de rotação do pêndulo). Sua construção foi proposta REIEC Volumen 6 Nro. 1 Mes julio Recepción: 9/09/2010

aos alunos visando a comparação entre os dados obtidos pelo sensor *photogate*, pela vídeo-análise e pela teoria newtoniana. Os dados retirados da teoria estão em verde, os dados relativos à vídeo-análise estão em vermelho e os dados referentes ao cronômetro ligado ao sensor *photogate* estão em azul.

Quanto à avaliação das respostas dos alunos às questões propostas no guia de laboratório (veja o APÊNDICE), destacamos alguns pontos para análise.

Foi solicitado aos grupos que construíssem o gráfico do período T contra a posição x do centro de massa em relação ao eixo de rotação do pêndulo. A partir deste gráfico os alunos compararam e discutiram com os colegas de grupo as diferenças entre os dados obtidos pelo sensor tradicional, os dados tirados a partir da vídeo-análise e as previsões pelo modelo teórico baseado no Princípio Fundamental da Dinâmica de Newton. Os alunos, após discussão nos pequenos grupos e também no grande grupo, apontaram para a concordância entre os dados experimentais em até 5% e a discrepância dos dados experimentais com os dados previstos para a teoria em até 10%, principalmente para valores pequenos da variável x . Veja um dos gráficos obtidos pelos alunos na Figura 3. Os dados de vídeo-análise apresentados neste gráfico foram obtidos a partir do tratamento de vídeos obtidos através de uma câmera HP – *Photosmart*, modelo 435, de 3.1 Megapixel e utilizando um taxa de captura de vídeo de 30 quadros por segundo.

Os alunos, em sua maioria, conseguiram analisar a energia cinética do sistema físico do gráfico da Figura 4 e através do gráfico da componente horizontal da velocidade do pêndulo contra a variável tempo. Em particular, identificaram nos pontos de inversão do movimento a energia cinética nula e a energia potencial gravitacional máxima.

Os estudantes utilizaram as medidas do período do pêndulo para estimar a aceleração da gravidade do planeta e apresentar o desvio padrão da média associado ao conjunto de medidas. Destacamos aqui a importância de despertar o grupo de alunos para a crítica aos valores experimentais, pois estes carregam consigo incertezas inerentes ao processo de medição como um todo. Buscou-se também aqui levar o aluno a comparar as duas técnicas experimentais com respeito ao desvio padrão observado para o valor da aceleração da gravidade local. Foi trabalhado também as concepções prévias dos alunos com relação ao tema aceleração da gravidade, já apresentado nas disciplinas de Física anteriores.

Promovemos um amplo debate interno nos grupos e entre os grupos e o professor a respeito de sairmos da idealização imposta no início do trabalho (sistema não dissipativo) para uma visão mais realista onde o sistema oscilatório era amortecido. Infelizmente, poucos alunos (cerca de 5%) conseguiram compreender a evolução temporal do diagrama do módulo da velocidade do pêndulo versus a coordenada horizontal x , neste caso. Veja este diagrama na Figura 4. Acreditamos que a falta de familiaridade dos alunos com diagramas que não representam relações funcionais matemáticas sejam obstáculos para uma análise dos resultados obtidos. Além deste fato, muitos de nossos alunos não estão habilitados a realizar interpretações mais aprofundadas sobre os gráficos.

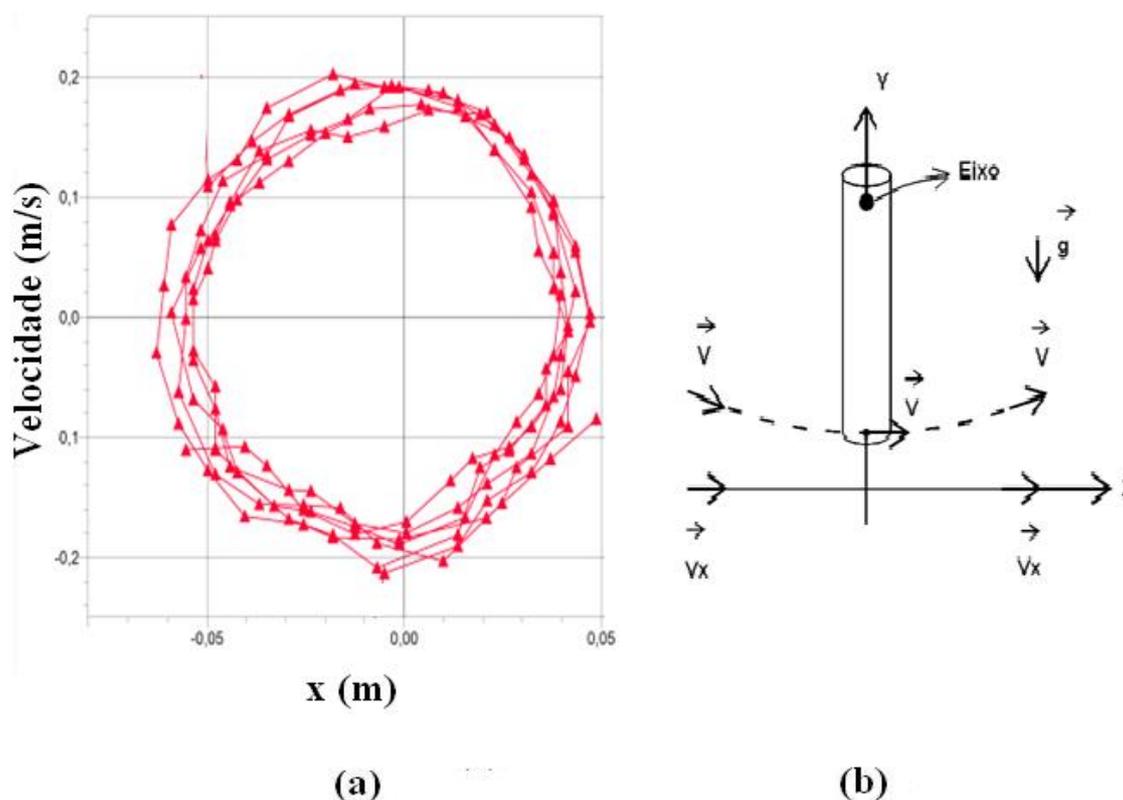


Figura 4: Em (a) temos o diagrama que apresenta a relação entre a projeção da grandeza velocidade do pêndulo na direção do eixo coordenado horizontal (x) versus a posição da coordenada horizontal (x). Este círculo que a figura apresenta deve ir se fechando devido a perda de energia do pêndulo com o passar do tempo e a queda da amplitude de movimento. Em (b) temos a representação vetorial da velocidade durante a trajetória de um ponto material na extremidade do pêndulo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho não tivemos a intenção de esgotar tecnicamente o assunto da vídeo-análise, mas apresentar e informar em caráter introdutório os aspectos básicos da implementação deste recurso. Muitos outros detalhes poderiam ser aqui mostrados e discutidos para aprofundar o assunto, todavia deixamos ao leitor que se utilize da *internet* e procure nos endereços eletrônicos apontados neste texto qual o melhor programa(s) a ser(em) utilizado(s) em suas práticas didáticas. Todos estes endereços oferecem um farto material com dicas e tutoriais de uso que podem tornar o leitor um *expert* no assunto.

Em relação a experiência didática apresentada, queremos dizer que embora o recurso da vídeo-análise seja ainda pouco conhecido e utilizado por professores e alunos de um modo geral, ele foi recebido com entusiasmo pelos estudantes e possibilitou uma boa visão sobre o estudo de um pêndulo físico, desde a execução do vídeo até a análise física do movimento através dos gráficos do programa computacional utilizado. O uso deste recurso instrucional, através de uma metodologia inspirada na Teoria Sociocultural de *Vigotski*, possibilitou um bom intercâmbio de significados devido às interações entre os estudantes e destes com os professores.

Quando ao uso da técnica de análise por vídeo, os alunos apontaram diversas vantagens, em particular, a possibilidade de rever as etapas do experimento. Acreditamos que isso é um diferencial da técnica da vídeo-análise em relação aos experimentos tradicionais. Contudo, *REIEC Volumen 6 Nro. 1 Mes julio*

mesmo com as vantagens apontadas pelos alunos levando a aceitação por parte dos mesmos do novo recurso instrucional, a maioria dos alunos se mostrou inseguro no que se refere ao possível abandono abrupto das técnicas de ensino dos laboratórios tradicionais. Isso se deve, em parte, ao fato de que já dominam minimamente instrumentos como trena, cronômetro, *photogate*, balança, entre outros, enquanto que o novo recurso apresentado ainda precisa de maior familiarização e uso.

Os alunos mostraram bom domínio sobre a análise de energia, porém quando foram solicitados a descrever o que aconteceria no comportamento da velocidade do pêndulo, quando este se apresenta fortemente dissipativo, em sua maioria, não conseguiram identificar o comportamento físico da evolução temporal da energia através do diagrama apresentado na Figura 4a.

Apontamos que é possível e desejável utilizar a vídeo-análise como ferramenta facilitadora do ensino da física experimental, porém investigações mais detalhadas podem firmar uma direção a ser seguida no sentido de viabilizar esta alternativa didática, otimizando, racionalizando o seu uso e, especialmente, tornando-a uma ferramenta capaz de auxiliar os estudantes a superarem suas dificuldades de aprendizagem. Destacamos que apesar de encontrarmos na literatura vários trabalhos (muitos deles citados nesta obra) que discutem as possibilidades do uso da vídeo-análise no laboratório didático de Física, são raros os estudos que investigam aprofundadamente a aprendizagem conceitual

de alunos que desenvolveram atividades experimentais utilizando essa técnica. Por isso, estudos dessa natureza são bem vindos. Contudo os resultados da experiência aqui apresentada são indícios que vão ao encontro de resultados da literatura (e. g. Araujo, Veit e Moreira, 2008 e 2007), Finkelstein et al., 2005; Ronen e Eliahu, 2000) sobre o uso do computador em sala de aula. Tais estudos sugerem que o uso de simulações computacionais pode contribuir para uma melhor compreensão conceitual da Física constituindo-se em um elemento motivador para aprendizagem dos alunos. Apontamos como perspectivas futuras a investigação de situações em que a vídeo-análise pode facilitar a interpretação de incertezas de dados numéricos experimentais medidos e auxiliar os estudantes a superarem suas dificuldades de aprendizagem em tópicos de Física Geral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao *The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)* pelo incentivo e cedência gratuita da licença da programa computacional *Logger Pro 3.6.1* que foi usado como base nas análises de vídeo citadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

Araujo, I. S.; Veit, E. A. (2009). Interatividade em recursos computacionais aplicados ao ensino aprendizagem de Física. In: Gonçalves, R. de A.; Oliveira, J. S. de; Rivas, M. A. C.. (Orgs.). *A Educação na Sociedade dos Meios Virtuais*. Santa Maria: Centro Universitário Franciscano. p. 129-140.

Araujo, I. S.; Veit, E. A.; Moreira, M. A. (2008). Physics students' performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation. *Computers & Education*, Amsterdam, v. 50, n. 4, p. 1128-1140.

_____. (2007). Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vigo, v. 6, n. 3, p. 601-629.

Beichner, R. (1996). The impact of video motion analysis on kinematic graph interpretation skills, *Am. J. Phys.* 64, 1272–1277.

Borges, A. T. (2002). Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p.291-313.

Clebsch, A. B., Mors, P. M. (2004). Explorando recursos simples de informática e audiovisuais: uma experiência no ensino de Fluidos, *Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)*, vol. 26, n. 4, p. 323 – 333. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v26n4/a06v26n4.pdf>. Acesso em 06 de agosto de 2010.

Collins, D. F. (2000). Video spectroscopy—Emission, absorption, and flash, *Phys. Teach.* 38, 561–562.

Derby, N., Fuller. R. (1999). Reality and theory in a collision, *The Physics Teacher*, 37, 24–27.

Dorneles, P. F. T. (2010). Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em Física Geral. 2010. 367 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

D'ambrósio, U. (2003). Novos paradigmas de atuação e formação de docente. In: PORTO, Tânia (org.). *Redes em construção: meios de comunicação e práticas educativas*. São Paulo: JM. p. 55 – 77.

Finkelstein, N. D.; Adams, W. K.; Keller, C. J.; Kohl, P. B.; Perkins, K. K.; Podolefsky, N. S.; Reid, S. (2005). When learning about the real world is better done virtually: a study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics. Physics Education Research*, College Park, v.1, n.1, 010103 8p., July/Dec.

Gaspar, A. (2005). Experimentação em Ciências – Abordagem Crítica e Propostas. *Experiência de Ciências para o Ensino Fundamental*. 1.ed. Ática, p.11-30.

Gil-Pérez, D.; Furió, M. C. P. V.; Salinas, J.; Martinez-Torregrosa, J.; Guisasola, J.; González, E.; Dumas-Carré, A.; Goffard, M.; Pessoa, A. M. C. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 311-320, jun.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 12, n. 3, p. 299-313, nov.

Laws, P., Pfister, H. (1998). Using digital video analysis in introductory mechanics projects, *Phys. Teach.* 36, 282–287, may.

Leitão, L. I. (2009). Proposta de inserção da vídeo-análise como recurso didático voltado para o ensino da mecânica experimental, *Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Educação em Ciências e Tecnologia*, Campus Bagé, Universidade Federal do Pampa.

Leitão, L. I., Rocha, F. S. da (2009). Comparison of new technologic tools for physics teacher education. Using the video analysis to study the translational and rotational cinematics in traditional mechanics. In: 2ª Conferencia Regional del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de la Física (CRAAF - 2), 2009, La Falda - Cordoba/AR. *Libro de Resúmenes*.

Moreira, M. A. (1999) A teoria da mediação de Vigotski. In:____. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária Ltda, p. 107 – 120.

Neto, O. P., Magini, M., Saba, M. M. F. (2006). Análise Cinemática de um Movimento de Kung-Fu: A importância de uma apropriada interpretação física para dados obtidos

através de câmeras rápidas, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol, 28, n. 2, p. 235-239.

Rocha, F.S da., Guadagnini, P. H. (2010). Sensor Sonar de Movimento para Ensino de Física Experimental. Latin-American Journal of Physics Education, v. 4, p. 306-315.

Rocha, F. S. da; Fajardo, F.; Grisolia, M ; Benegas, J.; Tchitnga, R.; Laws, P. (2011). Using “Student Technology” in Introductory Physics: A Comparison of Three Tools to Study Falling Objects. The Physics Teacher, v. 49, p. 165 - 167.

Rosa, C. W. (2003). Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de física na Universidade de Passo Fundo. Ensaio, v. 5, n. 2, p. 1-15.

Sacerdote, H. C. S. (2010). Análise do vídeo como recurso tecnológico educacional, REVELLI – Revista de Educação, Linguagem e Literatura, vol. 2, nº 1, p. 28-37, março. Disponível em: http://www.ueginhumas.com/revelli/revelli3/numero_2/Revelli.v2.n1.artigo03.pdf. Acessado em 06 de agosto de 2010.

Salmon, R., Robbins, C., Forinash, H. (2002). Brownian motion using video capture, Eur. J. Phys. 23, 249–253, may.

Saraiva-Neves, M.; Caballero, C.; Moreira, M. A. (2006). Repensando o papel do trabalho experimental, a aprendizagem da Física em sala de aula: um estudo exploratório. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 383-401, dez. 2006.

Séré, M. G.; Coelho S. M.; Nunes, A. D. (2003). O papel da experimentação no Ensino de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 20, n. 1, p. 30-42, abril.

Séré, M. G. (2002). La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, v. 20, n. 3, p. 357-368, nov.

Silva, J. B., (2009) O Vídeo como Recurso Didático, Monografia apresentada ao Programa de Formação Continuada em Mídias na Educação, Curso de Especialização em Mídias na Educação, Secretaria de Educação a Distância – SEED – MEC, Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

Vigotski, L. S. (2001). A Construção do Pensamento e da Linguagem. São Paulo: Editora Martins Fontes, 496 páginas.

APÊNDICE (Guia para a prática em laboratório¹)

¹ Este guia foi construído com base no *Caderno de Atividades Experimentais* da disciplina de Física I do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Objetivo

O objetivo desta prática é estudar o movimento oscilatório de um pêndulo físico. Através de medidas de parâmetros físicos do movimento do pêndulo, que serão obtidos através da vídeo-análise e de um sensor *photogate*, determinaremos experimentalmente o valor da aceleração da gravidade no laboratório.

Teoria Física

Um pêndulo físico consiste de um corpo rígido suspenso por um ponto que não esteja localizado sobre seu centro de massa, de modo que, quando submetido a pequenos deslocamentos angulares em relação à direção vertical, realiza um movimento oscilatório sob a ação da força gravitacional. Neste sistema mecânico, mantidas as características físicas do pêndulo e da aceleração da gravidade local, verifica-se uma propriedade importante: seu período depende apenas da distância do ponto de suspensão a seu centro de massa. Como o período de seu movimento depende da aceleração da gravidade, o pêndulo físico pode ser usado para determinar o valor desta grandeza em nosso laboratório.

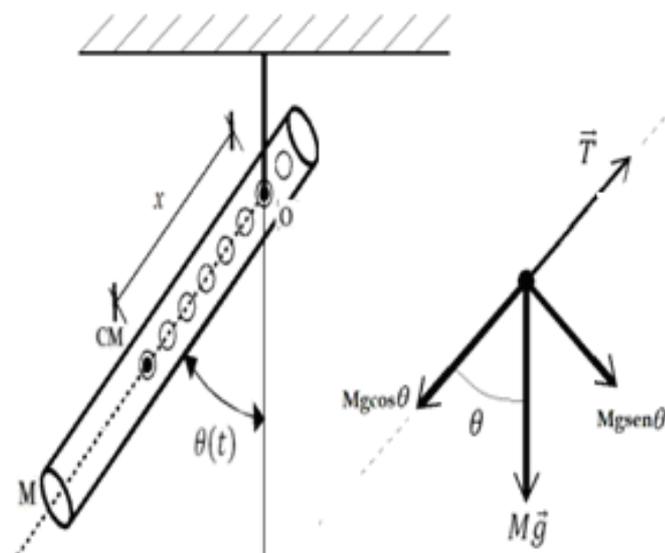


Figura A1: Pêndulo físico e o diagrama das forças atuando sobre o corpo rígido

A Figura A1 mostra um corpo rígido de massa M que, sob ação da força gravitacional, pode rotacionar livremente (desprezamos o atrito) em torno de um eixo fixo passando pelo ponto de suspensão O . Na figura, CM representa o centro de massa do corpo, situado à distância x do ponto O . O único grau de liberdade desse sistema pode ser representado pelo ângulo θ entre a linha que passa por O e CM e a direção vertical. Nós consideraremos o eixo fixo como sendo o eixo z , com seu sentido positivo apontando para o leitor.

Para obtermos a posição angular do pêndulo $\theta(t)$, basta utilizarmos a equação fundamental da dinâmica rotacional:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\tau} \quad (1)$$

onde \vec{L} é o momento angular do corpo e $\vec{\tau}$ é o torque sobre o sistema, ambos em relação ao ponto O . Note que, nesse caso, tanto o momento angular \vec{L} quanto o torque $\vec{\tau}$ são paralelos ao eixo de rotação. Como estamos tratando com um corpo rígido, podemos escrever $\vec{L} = I\vec{\omega}$ onde I é o momento de inércia do corpo em relação ao eixo fixo \hat{x} , e $\vec{\omega} = \frac{d\theta}{dt} \hat{x}$ é sua velocidade angular. Além disso, como o momento de inércia de um corpo rígido em relação a um eixo fixo é constante, podemos reescrever a Eq.(1) como:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} \hat{x} = \vec{\tau} \quad (2)$$

Através do diagrama de forças apresentado na Figura A1, podemos calcular o torque resultante sobre o sistema. Verificamos que o torque resultante sobre o corpo rígido, em relação ao ponto O , é dado por $\vec{\tau} = -Mgx \sin\theta \hat{x}$. Substituindo essa expressão na Eq.(2) obtemos a equação de movimento para a variável angular $\theta(t)$:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -Mgx \sin\theta \quad (3)$$

A equação diferencial acima não é de solução trivial. Contudo, se nos restringirmos a valores pequenos da variável angular θ tal que este ângulo seja menor ou igual a 5° , podemos aproximar $\sin\theta$ por θ na equação acima, obtendo a nova equação de movimento:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{Mgx}{I} \theta \quad (4)$$

que é de fácil solução. Essa é a equação de movimento para o oscilador harmônico. A sua solução pode ser escrita através de funções harmônicas da matemática, como:

$$\theta(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

A Eq.(5) mostra que se o corpo rígido da Figura A1 for deslocado da vertical por um pequeno ângulo θ_0 e depois solto, ele realizará um movimento oscilatório em torno da vertical, de pulsação ω e amplitude $A = \theta_0$. O período T desse movimento oscilatório será dado por:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgx}} \quad (6)$$

Na expressão acima, o período de oscilação do corpo rígido parece depender do valor de sua massa M , o que não é verdade. Vamos reescrever o período em uma forma mais adequada. Primeiro vamos escrever o momento de inércia

I do corpo, em relação ao eixo fixo de rotação, em função de seu momento de inércia I_{CM} , em relação ao eixo que passa pelo seu centro de massa e é paralelo ao eixo de rotação (veja a Figura A2). Para isso, usaremos o *teorema dos eixos paralelos*, que diz que o momento de inércia de um corpo qualquer em relação a um certo eixo que passa por um corpo é a soma do momento de inércia em relação a um eixo paralelo a este passando pelo centro de massa do corpo somado com o produto da massa M do corpo pelo quadrado da distância x entre os dois eixos. Podemos, portanto, escrever:

$$I = I_{CM} + Mx^2 \quad (7)$$

Para o momento de inércia de um cilindro oco girando em torno do diâmetro que passa pelo centro de massa temos a equação (8):

$$I_{CM} = \frac{1}{4}M(R_1^2 + R_2^2) + \frac{1}{12}ML^2 \quad (8)$$

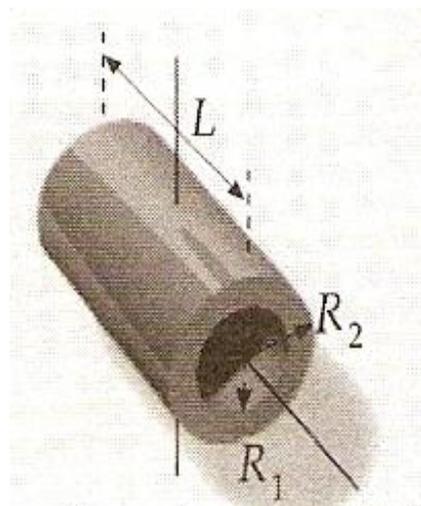


Figura A2 - Figura de cilindro oco em torno do diâmetro que passa pelo centro².

Substituindo a equação (7) e (8) na equação (6) escrevemos o período como:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{4}M(R_1^2 + R_2^2) + \frac{1}{12}ML^2 + Mx^2}{Mgx}} \quad (9)$$

ou, simplificando as massas:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{4}(R_1^2 + R_2^2) + \frac{1}{12}L^2 + x^2}{gx}} \quad (9)$$

² Figura adaptada do livro Física, Paul A. Tipler, vol.1, 4ª Ed. Editora LTC, 2000.

Equipamentos necessários

A seguir segue a lista de equipamentos para realização da experiência de pêndulo físico. Veja a Figura A3 o desenho ilustrativo do aparato experimental.

-Cano PVC com orifícios igualmente espaçados. Nossa dica é de que se pode criar orifícios de 3 em 3 cm desde a extremidade do pêndulo até seu centro de massa.

-Cronômetro digital microcontrolado (marca CIDPEPE) e sensor "photogate". Este item é opcional caso queiramos utilizar o *photogate* como base de comparação da vídeo-análise com outra técnica tradicional de medida física em laboratório didático.

-Trena milimetrada

-Paquímetro

-Câmera digital, *web cam* ou aparelho celular com câmera

-Computador com *Windows 98* ou superior.

-Programa *Logger Pro 3.6.1 (Vernier)* ou outro programa de vídeo-análise.

Esquema do dispositivo experimental utilizado

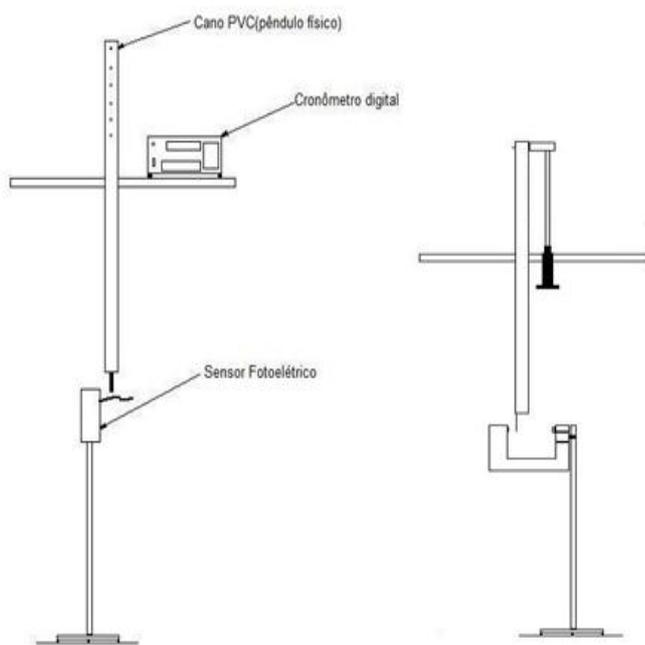


Figura A3 – Desenho do sistema experimental pela vista frontal e pela vista lateral.

Sugestão de Procedimento Experimental

1) Meça o comprimento do cano que será utilizado como pêndulo físico e determine a localização do centro de massa do mesmo.

2) Posicione e ajuste o cronômetro microcontrolado ligado ao sensor *photogate* para que possa medir o período do pêndulo quando este obstruir a passagem da luz que vai até o sensor do *photogate*. Uma tirinha de papelão pode ser fixada à extremidade do pêndulo para servir de obstrutor de luz. A cada nova tomada (medida) de dados se deve zerar o cronômetro.

3) Pendure o pêndulo pelo furo que está mais afastado do centro de massa e coloque a oscilar com uma

amplitude de até no máximo 5°. Anote os valores de, no mínimo, dez períodos correspondentes e faça a média.

4) Meça com cuidado a distância entre o furo e a posição do centro de massa do cano.

5) Repita os procedimentos 3 e 4 para outros orifícios do pêndulo até que se alcance o furo imediatamente anterior ao centro de massa.

6) Obtenha um vídeo com, no mínimo, dez períodos de oscilação para cada furo.

Dicas para fazer a filmagem: para obter um bom vídeo deve-se ter um bom contraste entre o fundo da filmagem e o aparato experimental. Também se deve aproximar a câmera, fazendo um enquadramento mais fechado, adequando o ângulo de visão e proporcionando captar apenas o movimento da extremidade do cano. Nesta extremidade marque com uma tinta, ou mesmo um adesivo, um ponto que apareça claramente durante as tomadas de vídeo.

Por último, faça a análise dos dados através do programa computacional. Para fazer esta análise deve-se seguir os passos que consta no anexo do roteiro.

Obtendo e analisando os resultados

a) Meça \bar{T} para cada x utilizando a técnica da vídeo-análise. Construa o gráfico de \bar{T} versus x . O traçado obtido pela disposição dos pontos experimentais era esperado por você? Discuta com seus colegas de grupo este aspecto.

b) Construa um gráfico de \bar{T} versus x , analise o comportamento do período em função de x usando os dados do *photogate* e, no mesmo gráfico, coloque os dados obtidos em a). Discuta com seus colegas de grupo o que se pode afirmar sobre a comparação gráfica que você está fazendo em termos dos valores experimentais obtidos através das duas técnicas?

c) Determine através do gráfico da letra b) o valor de x que corresponde a um período de valor mínimo. Este valor é o mesmo para as duas técnicas utilizadas. Qual o desvio entre estes valores?

d) Calcule e iguale a zero a derivada de \bar{T} em relação a x através da equação
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{CM} + Mx^2}{Mgx}}$$
 e

mostre que $x = \sqrt{\frac{I_{CM}}{M}}$ no ponto de mínimo \bar{T} . A seguir, encontre o valor teórico esperado para x (mínimo) e compare com os experimentais obtidos na letra c). O que se pode afirmar em relação aos valores obtidos e sua comparação? Os efeitos da simplificação que foi feita sobre o modelo teórico desenvolvido para analisar o pêndulo físico (pequena amplitude de oscilação sendo $\theta \approx \text{sen } \theta$) podem ser vistos através deste resultado?

e) Interprete fisicamente o gráfico da componente horizontal da velocidade do pêndulo em função do tempo obtido pelo programa que executou a vídeo análise. É possível fazer uma análise da energia mecânica total através dos dados apresentados no gráfico? E da energia

cinética? É possível localizar os pontos de inversão do movimento? Que física está associada a estes pontos?

f) Utilizando os valores do período para cada valor de x do photogate e da vídeo análise, determine $\vec{g} \pm \sigma_{\vec{g}}$ para cada técnica (lembre-se que o desvio padrão quantifica a dispersão do dado experimental medido). O que se pode inferir a respeito destes dados e a validade e potencialidade das técnicas de medida utilizadas? É possível fazer um julgamento de qual técnica experimental apresentou melhores resultados em termos de dispersão de medida do valor mais provável para o período do pêndulo? Para você, qual dos valores obtidos para a aceleração da gravidade está mais próximo do valor mais provável de ser encontrado? Discuta com seu grupo como se pode responder cientificamente a esta pergunta?

g) Interprete o diagrama v versus x obtido através do programa de análise de vídeo e escreva o que acontece na evolução temporal deste diagrama que aponta para a realidade de um movimento amortecido.

Lúcia Irala Leitão

Graduada em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal de Pelotas em 2005. Especialista em Educação em Ciências e Tecnologia com ênfase em Física pela Universidade Federal do Pampa em 2009. Atualmente é técnica em laboratório de física da Universidade Federal do Pampa.