

AS MUDANÇAS OCORRIDAS NOS PROGRAMAS DE ENSINO DA FÍSICA, OS LABORATÓRIOS DIDÁTICOS DE FÍSICA E A INCLUSÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS NO DESENVOLVIMENTO DOS EXPERIMENTOS REMOTOS
Changes occurring in physics teaching programs, the learning of physics laboratory and the inclusion of new technologies in the development of remote experiments

Ivanor Nunes de Oliveira[ivanor_nunes@hotmail.com]
Valteni Douglas Chaves [valteni.chaves@si.ifbaiano.edu.br]
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB
Estrada do Bem Querer – km 04, Vitória da Conquista – BA
Marcos Gomes Prado[marcos.gprado@gmail.com]
Carlos Takiya[carlostakiya@gmail.com]
Máisa Soares Santos Lopes[msslopes@gmail.com]

Resumo

Este artigo tem como principal objetivo analisar o intenso desenvolvimento da Física ocorrido, particularmente, no século XX e que colocou tanto a escola de ensino médio quanto a universitária, em diversos países, diante de um problema muito complexo: como organizar, de forma inovadora, o ensino dessa ciência. Entre as propostas apresentadas para solucionar o problema criado, naquela época, destacam-se: 1) O PSSC (Comitê de Estudo de Ciências Físicas) que elaborou para o Ensino Médio um novo programa com manuais e materiais didáticos, incluindo práticas laboratoriais, demonstrações dos fenômenos e das leis físicas e projeções de filmes como parte significativa do seu conteúdo; 2) O “Curso de Física de Berkeley”, que significou um importante avanço na área da educação, dedicando atenção especial aos problemas envolvendo ensino da Física para estudantes dos primeiros semestres nas universidades americanas. Nesse contexto, o interesse está voltado para os procedimentos e metodologias relacionados ao ensino de Física, destacando-se a relação intrínseca entre teoria, laboratórios didáticos de medição, demonstração dos fenômenos e de leis físicas por meio de novas tecnologias utilizadas no desenvolvimento de laboratórios remotos.

Palavras-Chave: Ensino de Física; Laboratório Remoto; Educação à Distância.

Abstract

The main objective of this article is to analyze the intense development of Physics, particularly in the twentieth century, which has placed both the high school and the university in several countries, facing a very complex problem: how to organize, in an innovative way, the teaching of this science. Among the proposals presented to solve the problem created, at that time, the following stand out: 1) The PSSC (Physical Sciences Study Committee), which developed a new program for high school with textbooks and teaching materials, including laboratory practices, demonstrations of phenomena and physical laws and film projections as a significant part of its content; 2) The "Berkeley Physics Course", which signified an important advance in the field of education, paying special attention to the problems of teaching physics to first semester students at universities of America. In this context, interest is focused on procedures and methodologies related to physics teaching, highlighting the intrinsic relationship between theory, didactic laboratories of measurement, demonstration of phenomena and physical laws through new technologies used in the development of remote laboratories.

Keywords: Teaching physics; Remote Laboratory; Distance Education.

1. Introdução

O intenso desenvolvimento da física, ocorrido particularmente no século XX, o seu alcance interdisciplinar em áreas do conhecimento conexas a esta, assim como em áreas distantes, colocou o Ensino Médio e Superior, em diversos países, diante de um problema muito complexo, o de como organizar, de forma inovadora, o ensino dessa ciência.

No final dos anos 50 e início dos anos 60, foram destacadas duas situações que dificultavam a solução do problema elencado. A primeira delas era a existência de um material informativo extenso e a necessidade de filtrar, para a aplicabilidade no ensino, assim como buscar novas formas metodológicas de ensino, devendo proporcionar a preparação de um curso de Física geral de conteúdo suficientemente amplo, profundo e que fosse também harmônico na sua totalidade. A segunda situação era o desnível existente, em muitos casos, entre a importância da física moderna e a preparação tradicionalmente estabelecida, tanto na formação geral como na específica. A complexidade estava justamente nas questões relacionadas aos diferentes tipos de preparação, uma vez que buscas de novos caminhos do ensino da Física estavam sendo realizadas, inicialmente, nos Estados Unidos e, posteriormente, em outros países, inclusive Brasil, levando à elaboração de novos planos, programas de ensino e, em particular, de manuais e materiais didáticos. Nesse sentido, o presente artigo, tomando como base os estudos desenvolvidos pelo *Physical Science Study Committee* (PSSC) por criar novos projetos de ensino da Física, inclusive procedimentos metodológicos voltados ao Ensino Médio e Superior, apresenta uma discussão por considerar um tema atual e a ligação intrínseca entre teoria e aplicabilidade por meio do experimento. Discute-se, portanto, o papel desempenhado pelos laboratórios didáticos de medição, laboratórios de demonstração dos fenômenos e leis físicas e aspectos atuais da sua implementação, com o auxílio de novas tecnologias utilizadas no desenvolvimento de laboratórios automatizados manipulados remotamente- os laboratórios remotos. Este, por sua vez, é utilizado para definir experimento, sendo conduzido e controlado remotamente através da Internet. Nesse modelo, os experimentos utilizam componentes ou instrumentação reais em um local diferente de onde eles estão sendo manipulados, visando atender às práticas laboratoriais nas modalidades de ensino presencial e à distância, estando diretamente ligados às aplicações dos avanços das tecnologias da informação e da comunicação.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 caracteriza brevemente o surgimento do PSSC, destacando aspectos importantes do programa de ensino proposto para a escola média nos Estados Unidos; a Subseção 2.1 apresenta a estrutura do Curso do PSSC com o objetivo de mostrar que a mesma já proporcionava a inclusão do uso pedagógico das tecnologias mais avançadas, correspondentes à técnica disponível naquele período; 2.2 traz considerações sobre a implantação do PSSC no Brasil; 2.3 analisa o ensino da Física nos primeiros semestres das universidades americanas com interesse voltado aos procedimentos e metodologias relacionadas ao ensino dessa ciência; na Seção 3 caracteriza-se a automatização das medições e a elaboração dos dados nos laboratórios didáticos remotos de física; a Subseção 3.1 apresenta o ambiente da maquete experimental, automatizada de um giroscópio simétrico simples, desenvolvido no Laboratório de Automatização de Experimentos Didáticos Remotos de Física da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB); 3.2 apresenta a interface de controle USB; 3.3 apresenta a placa de controle e o respectivo esquema lógico do circuito do motor de passo e sensores; a Seção 4 caracteriza o desenvolvimento e descrição da ferramenta; a Subseção 4.1 modelagem do sistema; 4.2 arquitetura lógica de comunicação; 4.3 discute o funcionamento da interface API RXTX; 4.4 apresenta a ferramenta utilizada; a Seção 5 mostra procedimentos da preparação para a realização dos experimentos; 6 caracteriza o papel das demonstrações no contexto das aulas teóricas e experimentais de Física e a utilização das tecnologias da informação e comunicação; 7 discute a possibilidade de reutilização dos laboratórios remotos didáticos de medição na construção dos laboratórios de demonstrações físicas e a 8, as considerações finais do trabalho.

2.O Comitê de Estudo de Ciências Físicas dos EUA e a elaboração de um novo programa para o Ensino Médio

Em 1956, nos Estados Unidos, foi criado o PSSC. Este, elaborou para o Ensino Médio um novo programa, manuais e materiais didáticos que incluíam práticas laboratoriais, demonstrações dos fenômenos e das leis físicas e projeções de filmes como parte significativa do seu conteúdo. Entre os fatores que influíram diretamente na criação do PSSC, costuma-se relacionar a corrida armamentista e o avanço científico da União Soviética. Entretanto, segundo Rudolph (2006):

O que definiu o projeto mais do que qualquer coisa foram os próprios cientistas, dedicados indivíduos que possuíam "inteligência de primeira classe", como muitas vezes descreveu Zacharias. O compromisso de físicos como Zacharias, Morrison e Friedman não veio de preocupações com a ameaça científica soviética, mas sim sobre o que eles perceberam como uma situação cada vez mais perigosa em casa - um aumento do irracionalismo e da desconfiança entre o público em geral, que acreditavam estar diretamente ameaçada a continuidade da sanidade e o avanço da ciência nos Estados Unidos. Enquanto o conflito militar abriu a porta para a reforma, foi este conflito cultural que, fundamentalmente, deu a forma a sua substância. (RUDOLPH, 2006, p. 2).

Concluiu Rudolph (2006): “A ironia de tudo isso foi que muitos dos cientistas da época consideraram a União Soviética como a fonte da ameaça militar, que produziu as condições necessárias para o surgimento do PSSC, como um modelo que os cientistas americanos procuraram reproduzir.” (Rudolph, 2006, p. 3).

Além dos aspectos históricos das condições que levaram à criação do Projeto PSSC, é igualmente necessário resgatar aspectos da aplicação desse Projeto para o ensino da Física, na atualidade associado à utilização das Tecnologias da Informática e da Comunicação (TIC), por se tratar de uma ferramenta didática de grande valor interativo e que oferece um suporte para o que o programa sugere. Vários autores (Rudolph, 2006; Moreira, 2000; Gaspar, 2004; Filho, 2000; Barra-Lorenz, 1986; Rohling et al, 2002) apresentam substancial descrição e análise do projeto do PSSC, abrangendo diversos aspectos da sua concepção, organização estrutural e objetivos propostos, assim como resultados da sua implementação.

Os procedimentos didáticos propostos no Projeto PSSC chamaram a atenção pelo seguinte aspecto:

A dinâmica proposta de um curso com discussões e atividades dos alunos em classe, visão moderna do conteúdo ministrado e um laboratório didático participativo, sem dúvida demarcou novos procedimentos didáticos para serem, senão adotados, no mínimo serem estudados para futuras propostas. (FILHO, 2000, p. 31).

Sobre a metodologia e concepção do PSSC, foi constatado:

Em síntese, o PSSC estava centrado, de um lado, em uma nova proposta curricular de física, e de outro, no entendimento de que o aluno só poderia aprender ciência por si, a partir da atividade experimental, como se dizia no prefácio do guia de laboratório incluído no texto básico: As ideias, os conceitos e as definições, só têm, na verdade, um sentido efetivo quando baseados em experiências. (GASPAR, 2004, pág. 73).

Tudo isso está refletido na estrutura do Curso de Física do PSSC, que introduziu novas tecnologias na realização das propostas experimentais apresentadas e influenciou o surgimento de outros projetos como o *PhysicsCourse* da Universidade de Harvard e *NuffieldPhysics* da Inglaterra e também projetos brasileiros. Naquele período, no Brasil foram implementados os seguintes projetos: “Física da Luz”, projeto piloto promovido pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura), “PEF – Projeto de Ensino de Física”, “FAI – Física Auto Instrutiva” e o “PBEF – Projeto Brasileiro de Ensino de Física”. Todos frutos do pioneirismo do PSSC.

2.1 A estrutura do curso do PSSC e a introdução de novas tecnologias nos experimentos de Física

A estrutura dada ao Curso de Física do PSSC era formada por quatro partes estreitamente interligadas: quatro livros de textos do aluno com os respectivos guias do professor, além dos kits de experiências de Física Geral, guias de laboratório, filmes e leituras complementares. Nesse sentido, pode-se destacar o fato de que:

Uma das premissas do PSSC era fazer com que os alunos tivessem uma participação mais ativa em todas as atividades, exigindo que todos os alunos realizassem o experimento ao mesmo tempo. Isto causou a necessidade de produzir e oferecer equipamentos para todos os alunos. Estes equipamentos deveriam se caracterizar pela simplicidade e robustez, de forma a diminuir seus custos de confecção e permitir a manipulação pelos próprios alunos. Inicialmente, se pensou em envolver os alunos na confecção dos equipamentos, ideia que foi posteriormente afastada. A organização final dos equipamentos resultou em pequenos “kits” (FILHO, 2000, p. 27).

Outro aspecto importante da estrutura do Curso consistia na utilização da exibição das imagens em filmes didáticos para uma melhor compreensão dos fenômenos e das leis físicas.

O PSSC utilizava uma série de filmes didáticos elaborados com o que existia de melhor em tecnologia audiovisual e técnicas de cinematografia. Os filmes mantinham um rígido programa de Física apresentado através da experimentação, e utilizavam os recursos mais modernos da época, envolvendo, por exemplo, técnicas de “*slowmotion*” e fotografias estroboscópicas em Super-8 (*looping*), com o objetivo de serem utilizados nas próprias salas de aula, inclusive com a possibilidade concreta de tomada de medidas nos experimentos filmados (ROHLING et al, 2002, pág. 169).

Os recursos mais modernos da época, utilizados na experimentação física do PSSC, são uma confirmação de que, assim como as descobertas e pesquisas em novos domínios da Física levam ao surgimento de novos ramos da técnica, o desenvolvimento das ciências técnicas contribui para o aperfeiçoamento dos métodos de pesquisa na Física. Para ilustrar, só “dar um salto” da ficção científica para a realidade, através da “lupa do tempo”.

Quando Wells escreveu o seu “Novo acelerador” ele, provavelmente, não pensou que algo semelhante pudesse ser, de fato, realizado em tempo algum. Contudo, ele teve sorte de ter vivido até este momento. Ele pode, com seus próprios olhos, ver, na verdade somente na tela de projeção, aqueles quadros que foram criados mentalmente por ele tempos antes. A chamada “lupa do tempo” nos mostra numa tela muitos fenômenos em câmara lenta, que ocorrem, em geral, muito rapidamente. A “lupa do tempo” é uma máquina filmadora que realiza, não 24 quadros por segundo, como as filmadoras comuns, mas muitas vezes mais quadros por segundo. Se um fenômeno for filmado dessa maneira e a projeção do filme for feita com a velocidade de 24 quadros por segundo, como usualmente, então o espectador verá o fenômeno, prolongado em dado número de vezes, mais lento que o normal (PERELMAN, 1975, pág. 13).

Observa-se, assim, que a proposta do Projeto do PSSC já incluía no uso pedagógico as tecnologias correspondentes à técnica disponível naquela época.

2.2 Algumas considerações sobre a implantação do projeto do PSSC no Brasil: novas ferramentas para o ensino da Física no Ensino Médio e Superior

A repercussão das concepções avançadas do Projeto do PSSC no Brasil levou a sua tradução para o português:

O maior representante do movimento inovador no ensino de ciências foi o projeto de Física do *Physical Science Study Committee* (...). Sua tradução para o português foi liderada por uma equipe de professores do Instituto Brasileiro de Educação Ciência e Cultura (IBECC) entre 1961 e 1964, na Universidade de São Paulo. O PSSC teve o mérito de modificar

substancialmente a percepção do que se entendia por ensino de Física até aquela época (FILHO, 2000, pág. 26).

Porém, duas contradições contribuíram para o fracasso do Projeto do Curso de Física do PSSC no Brasil. A primeira estava relacionada a situações internas, que restringiram a aplicação do Projeto como: aspectos da “preparação e distribuição inadequadas dos materiais de ensino, o desnível entre o currículo proposto e a nossa realidade educacional e também a despreparação de grande parte dos professores para ministrá-lo” (GASPAR (2004, pág. 73). Entretanto, considera-se que a segunda contradição foi determinante para o insucesso do Projeto:

Assim, a crença de que a experimentação levaria à compreensão ou até mesmo à redescoberta de leis científicas – ideia que hoje seria classificada como um equívoco epistemológico – permeou todo o projeto dando a ele ênfase exagerada e irrealista ao papel da experimentação o que, a nosso ver, levou toda a proposta ao fracasso (GASPAR, 2004, pag. 74).

Segundo Filho: “Se houve algum sucesso do PSSC no Brasil, ele ficou restrito aos cursos de formação de professores. ” (Filho, 2000, p. 30). Nesse sentido, é elucidativo a publicação do artigo: “A Física que todo mundo leu”. Nele, destaca-se a contribuição importante da professora Beatriz Alvarenga para revolucionar o ensino da Física no Brasil, relatando também a sua percepção do fracasso do PSSC.

A professora Beatriz Alvarenga viu de perto o fracasso da experiência do PSSC, no próprio berço, quando esteve nos Estados Unidos. Ela fez questão de visitar escolas de regiões pobres do país e constatou que nelas os professores também não conseguiam aplicar o programa. Na volta concluiu o que hoje parece óbvio: o Brasil precisava produzir os seus próprios livros (LARA et al, 2007, p. 8).

Ultimamente, surgiram diversas propostas de ensino da Física, cujas concepções refletem aspectos teóricos, didático-experimentais e multidisciplinares. Contudo, para o ensino da Física Experimental, torna-se necessário refletir sobre qual a melhor prática, tendo em vista os aspectos mencionados, a fim de que os resultados sejam alcançados de forma satisfatória. Posicionamentos unilaterais e dogmáticos, que não refletem a realidade dialética, objetiva do processo ensino-aprendizagem, devem ser evitados:

Ao longo dos cinquenta anos enfocados nesta rápida retrospectiva sobre o ensino de Física de nível médio, não se pode deixar de mencionar iniciativas e contribuições importantes como “Física do cotidiano”, “equipamentos de baixo custo”, “ciência, tecnologia e sociedade”, “história e filosofia da ciência” e, recentemente, “Física Contemporânea” e “novas tecnologias”. Creio que cada uma destas vertentes tem seu valor, mas também suas limitações e, até mesmo, prejuízos para o ensino de física, na medida em que foram exclusivas. Julgo que é um erro ensinar Física sob um único enfoque, por mais atraente e moderno que seja. Por exemplo, ensinar Física somente sob a ótica da Física do cotidiano é uma distorção porque, em boa medida, aprender Física é, justamente, libertar-se do dia-a-dia. De modo semelhante, ensinar Física apenas sob a perspectiva histórica, também não me parece uma boa metodologia porque para adquirir/construir conhecimentos o ser humano, normalmente, não precisa descobri-los, nem passar pelo processo histórico de sua construção. Tampouco o computador será um bom recurso metodológico, se for usado com exclusividade, dispensando a interação pessoal, a troca, ou negociação, de significados que é fundamental para um bom ensino de Física (MOREIRA, 2000, pág. 95)

Entretanto, o problema do ensino da Física não se restringiu aos programas do Ensino Médio. Como se pode ver na seguinte subseção, o “Curso de Física de Berkeley” trouxe novas propostas para o ensino dessa ciência, nas universidades americanas.

2.3 O ensino da Física aos estudantes dos primeiros semestres nas universidades americanas

Uma atenção especial foi dedicada também ao problema do ensino da Física aos estudantes dos primeiros semestres nas universidades americanas. Na Universidade de Berkeley, por exemplo, foi elaborado o “Curso de Física de Berkeley”, que significou um importante avanço na área da educação. Os principais méritos dos manuais desse curso estavam na apresentação da Física Clássica, ligando-a, organicamente, com as ideias fundamentais da Teoria Especial da Relatividade, da Mecânica Quântica e da Física Estatística. Tendo em vista suas observações sobre a assimilação do material pelos estudantes, os autores demonstram preocupação com os elementos necessários para eficácia no ensino, recomendando aos profissionais, além dos seminários teóricos e práticas laboratoriais, ministrar aulas teóricas acompanhadas de demonstrações. O Curso de Física de Berkeley era constituído por manuais das disciplinas de Mecânica, Eletricidade e Magnetismo, Ondas, Mecânica Quântica e Física Estatística e mais três manuais de experimentos laboratoriais, conceitualmente relacionados com o novo curso de Física Geral. Entretanto, as modificações surgidas do conteúdo e da estrutura do conhecimento, devido à revolução científico-técnica, continuam colocando, ao lado das antigas tarefas que refletem o papel da universidade, novas tarefas de formação profissional para adaptar-se às dinâmicas condições de perfil profissional exigido pela sociedade, onde a graduação passa a ter um papel de formação inicial no processo contínuo de educação permanente.

Neste sentido, com a aprovação da nova Lei de Diretrizes e Bases (LDB) o Ministério da Educação e Cultura (MEC) convocou as instituições educacionais de ensino superior para a organização dos novos programas de formação, através da construção de currículos plenos nas diferentes habilitações para cada área do conhecimento, da mesma forma que foram criados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), que constituem um referencial de qualidade para educação no Ensino Fundamental e no Ensino Médio em todo o país. Nesse contexto, são apresentadas algumas características do experimento científico moderno desenvolvido com o auxílio das novas tecnologias da informação.

3. Automatização das medições e elaboração dos dados das medições nos experimentos laboratoriais didáticos de Física

Recentemente, tem sido introduzidas pequenas inovações em maquetes de experimentos clássicos de Física Geral, consistindo apenas de algumas adaptações de sensores e de circuitos eletrônicos para a realização de medições de grandezas físicas. Contudo, tais inovações não resolveram o problema metodológico da inserção do computador nas práticas laboratoriais de Física, pois continuam utilizando as duas etapas distintas: inicialmente, a coleta de dados durante as medições das grandezas físicas e, em seguida, a elaboração dos resultados dos experimentos de Física Geral que passou a ser realizada com o auxílio do computador. Este, por sua vez, é utilizado apenas na segunda etapa para os cálculos, geração de gráficos e visualização de resultados. Vale salientar que, para se resolver o problema apresentado, o computador deve ser utilizado em todo o âmbito do experimento laboratorial, desde a coleta de informações até a análise de resultados.

Diante do experimento científico moderno, caracterizado por uma grande quantidade de parâmetros mensuráveis, a utilização do computador para o controle do desenvolvimento do experimento, para o registro e elaboração dos resultados das medições e a apresentação dos dados obtidos numa forma cômoda para o pesquisador se faz necessário. Nesse sentido, vale esclarecer que apesar da automatização das medições e da elaboração dos dados do experimento não se restringir apenas à pesquisa científica e cada vez mais vir sendo introduzida nas práticas laboratoriais dos cursos universitários, principalmente nos de Engenharia e Física, a substituição do laboratório didático clássico pelo laboratório remoto ainda não é uma realidade.

A atual proposta de automatização dos experimentos didáticos de Física e sua manipulação à distância constitui um salto qualitativo na modernização dos laboratórios. Porém, a realização da automatização das medições e da elaboração dos resultados dos experimentos exige uma nova concepção, um novo design das maquetes experimentais, que contenha o(s) sistema(s) de automatização e controle.

Segundo Gomes & Bogosyan (2009, p. 4747), os laboratórios remotos modernos utilizam arquitetura baseada no paradigma cliente-servidor e possuem um conjunto típico de componentes: a) o experimento em si; b) os equipamentos e dispositivos de instrumentação que permitem a aquisição e controle de dados. Estas tecnologias são utilizadas para efetuar a comunicação entre o computador do laboratório e a experimento real. Para realizar esta ligação é necessário determinar o hardware, o protocolo de comunicação entre servidor e experimento e o software de aquisição, controle e processamento de dados; c) o computador servidor do laboratório (PC Host) que assegura o controle e monitoramento do experimento, através dos equipamentos e dispositivos de instrumentação; d) o servidor que faz a ligação, através da Internet, entre os usuários remotos e o servidor do laboratório; e) o servidor de câmera web; f) a aplicação cliente que permite o usuário acessar o experimento através de um navegador web.

A literatura especializada apresenta vários exemplos de experimentos acessados remotamente: ambiente para o estudo do pêndulo matemático e a determinação da aceleração da força de gravidade (Guimarães et al 2013); laboratório de Física para medir a posição e o brilho de objetos com uma câmera web (Nedev & Ivanova, 2006); laboratório para experimentos de engenharia elétrica e eletrônica (Karadimas & Efstathiou, 2007); experimento para controle de velocidade de motor de corrente contínua (Irmak et al, 2009); medição da viscosidade de líquidos pelo método de Stokes (Oliveira et al, 2007); acionamento de motores de indução controlados por processadores digitais de sinais (Tekin & Gökbulut 2010); laboratório remoto de um modelo em escala de tanques quádruplo com equipamentos industriais reais (Domínguez et al 2011); laboratório remoto de lógica de programação para cursos de engenharia (García-Zubia et al 2011); laboratórios remotos e simulados: uma revisão literária comparada (Ma & Nickerson, 2006).

Abaixo, apresenta-se um ambiente de prática laboratorial remota desenvolvido no Laboratório de Automatização de Experimentos Didáticos Remotos de Física da UESB.

3.1 Maquete experimental automatizada de um giroscópio simétrico simples

O ambiente (Fig. 1) mostra a maquete experimental automatizada de um giroscópio simétrico simples desenvolvida para o estudo da sua precessão sob a atuação da força de gravidade. Chama-se giroscópio simétrico um corpo de revolução que gira rapidamente em torno do seu eixo geométrico. Esta rotação com grande velocidade angular, é mantida por um motor elétrico ou ocorre por inércia (depois de uma aceleração antecipada).

A maquete experimental é constituída de:

- 1) pedestal em forma de disco; 2) eixo central fixado verticalmente na base; 3) aro concêntrico com o eixo central; 4) disco de alumínio 5) motor Brushless DC; 6) par de eixos cilíndricos na direção do eixo geométrico do giroscópio; 7) circuito eletrônico de controle; 8) mola responsável por posicionar o giroscópio na posição de repouso após a execução do experimento; 9) fio de nylon; 10) motor de passo e 11) par de sensores de velocidade. (PRADO, 2011, p. 32).

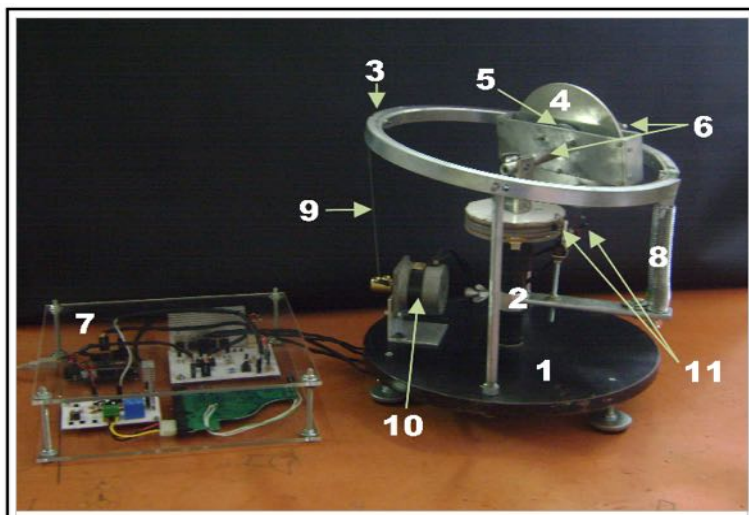


Figura 1: Maquete Experimental Automatizada do Giroscópio Simétrico Simples.

3.1.2 Interface eletrônica

A interface eletrônica da maquete automatizada (Figura 3) mostra que:

O controle eletrônico da maquete é constituído por três circuitos independentes, a interface USB, o circuito controlador do motor de passo e sensores infravermelhos e o circuito controlador do motor Brushless DC. A primeira interface faz a conexão e o controle dos demais circuitos. (PRADO, 2011, p.34).

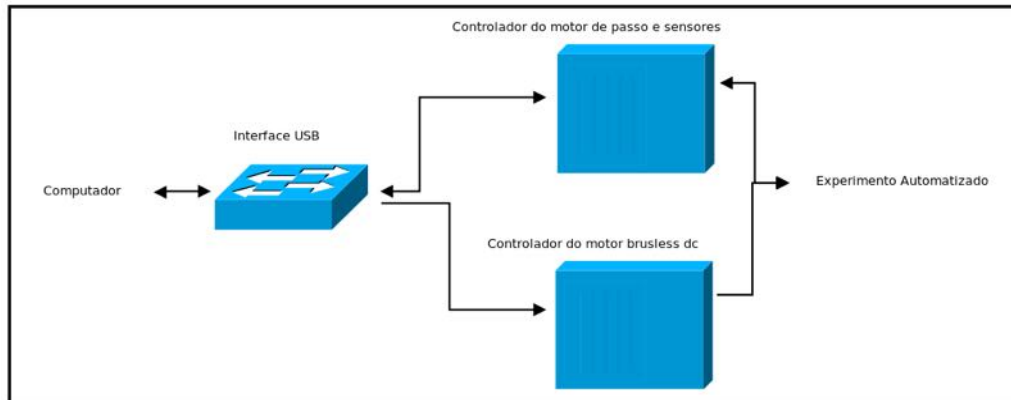


Figura 2: Diagrama Arquitetural da Comunicação das Interfaces Eletrônicas.

A comunicação com o computador se dá por meio de uma placa eletrônica baseada em um micro controlador atmega168 denominada plataforma Arduino. Essa plataforma caracteriza-se por uma placa física em código aberto baseada em um circuito de entradas/saídas simples, além de ser um ambiente de desenvolvimento do software Arduino. Essa interface de hardware provê uma forma simplificada de se trabalhar com dispositivos eletrônicos e a comunicação entre eles. A comunicação usada para troca de informação com o computador, neste trabalho, baseia-se na comunicação serial suportada pela interface USB.

O motor de passo usado para mudar o ângulo de rotação do giroscópio e os sensores infravermelhos que captam a rotação do disco e do eixo de precessão, compartilham a mesma placa de circuito impresso (figura 3).

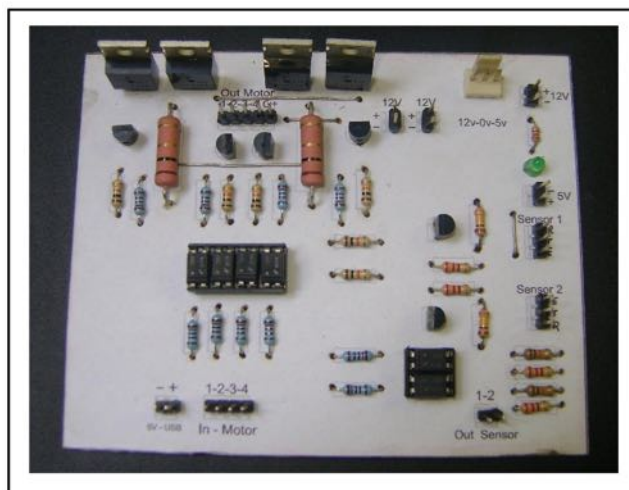


Figura 3: Placa Eletrônica para controle do motor de passo e sensores infravermelho

A placa é composta por um circuito de potência para controle do motor de passo unipolar, divisores de tensão transistorizados para controle dos sensores infravermelhos e acopladores ópticos para proteção da conexão com a interface USB.

O motor utilizado no projeto é acionado com a sequência de meio passo, disponibilizando uma maior precisão, suavidade e torque.

O circuito controlador dos sensores infravermelhos tem a capacidade de manter acionados os emissores de infravermelho e receber informação dos sensores receptores. Esses sensores são usados para medir a velocidade de rotação do disco e do eixo principal.

O motor Brushless DC, comumente usado em HD's de computadores, é controlado por uma placa eletrônica de disco rígido. Essa placa é alimentada com tensões de 5 e 12 volts, sendo que um circuito de chaveamento construído especificamente para a mesma, faz a conexão entre a interface de controle USB e a placa do motor Brushless DC.

3.1.3 Realização do experimento

Como apresentado anteriormente, o sistema eletrônico é responsável por ligar e desligar os motores, além de receber e processar as informações provenientes dos sensores de rotação. Dessa forma o experimento é realizado acionando o motor do disco e após o mesmo alcançar uma velocidade constante, tem a inclinação de seu eixo modificada. Ao liberar o apoio da extremidade do eixo, sustentado pelo aro, o efeito de precessão pode ser visto e analisado ao surgir um movimento angular no eixo central do experimento.

4. Desenvolvimento e descrição da ferramenta

Foi desenvolvida a ferramenta de controle do giroscópio livre, experimento laboratorial de Física, bem como suas características e funcionalidades. O sistema desenvolvido disponibiliza ao usuário a realização do experimento, coleta de dados e geração de relatório.

4.1 Modelagem do sistema

A figura 5 mostra as funcionalidades da ferramenta por meio do diagrama de Casos de Uso. Essas funcionalidades são apresentadas por meio de relacionamentos de atores e casos de uso, sendo que o último representa uma unidade discreta da interação entre um usuário e o sistema.

O ator classificado como Todos constitui qualquer pessoa não cadastrada no sistema. O mesmo possui o direito de visualizar e imprimir um documento sobre a teoria do giroscópio e assistir a uma gravação do experimento em funcionamento.

O ator Aluno representa alunos do Curso de Física e demais pessoas cadastradas no sistema, que possuem o direito de executar o experimento e de receberem, ao final da realização do mesmo, um relatório contendo os resultados obtidos.

O ator Administrador tem todos os privilégios do sistema. O mesmo é responsável por cadastrar os usuários e outros administradores no sistema e executar todas as funcionalidades disponibilizadas a um ator Aluno.

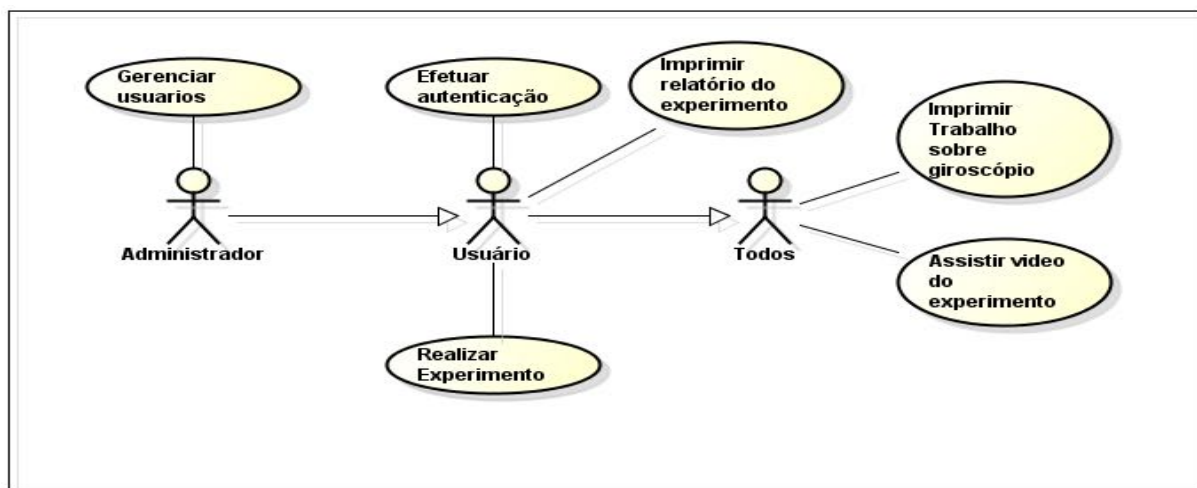


Figura 5: Diagrama de Casos de Uso do Sistema Cliente

O ator Administrador tem todos os privilégios do sistema. O mesmo é responsável por cadastrar os usuários e outros administradores no sistema e executar todas as funcionalidades disponibilizadas a um ator Aluno.

4.2 Arquitetura lógica de comunicação

Um computador que atua como servidor Web e armazena a aplicação cliente, como visto na figura 6, tem a responsabilidade de disponibilizar uma interface gráfica para o usuário, manter comunicação com o banco de dados e realizar comunicação com o sistema de controle do experimento.

No Laboratório de Física da UESB está localizado o computador que se conecta fisicamente ao experimento automatizado e que mantém disponível o sistema servidor de aplicação, o qual implementa as funções de controle do giroscópio.

Entre os dois computadores, localizados dentro da rede da UESB, encontra-se uma rede DMZ – Rede Desmilitarizada, que tem por objetivo separar e proteger a rede interna da Internet e um *firewall*, responsável por impedir o acesso não autorizado aos sistemas da Instituição.

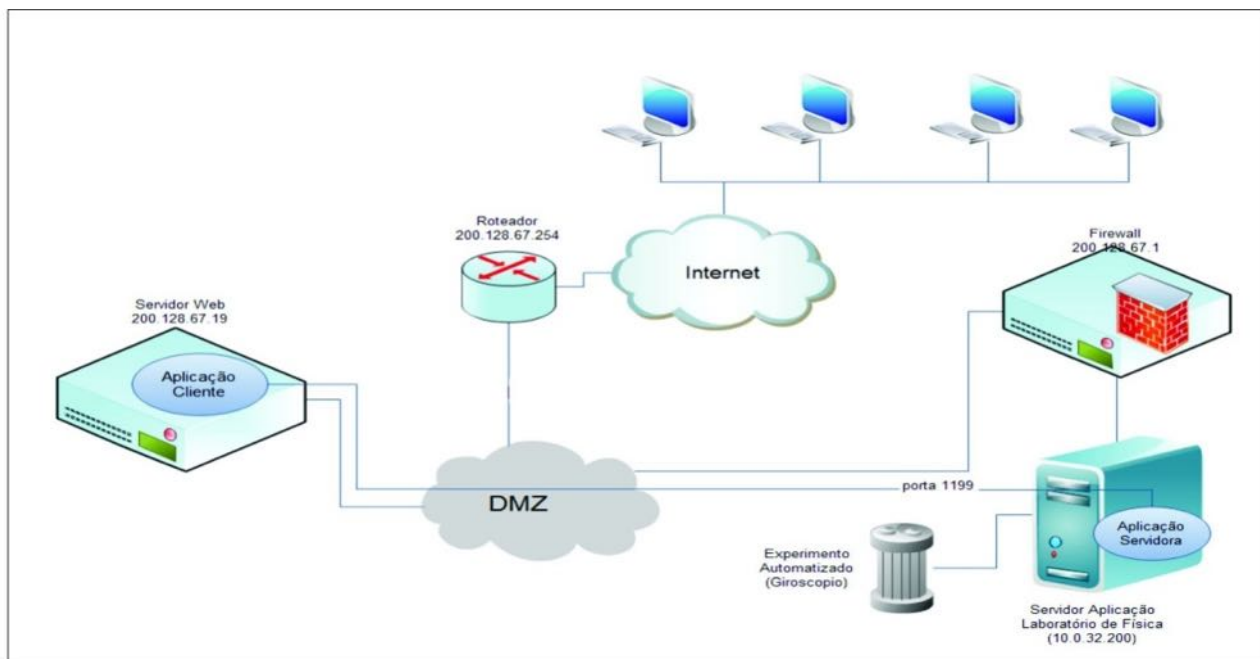


Figura 6: Arquitetura Lógica de Comunicação.

4.4 Apresentação da ferramenta

O sistema cliente é disponibilizado a todos usuários da internet, oferecendo a visualização de uma animação do experimento em funcionamento, da documentação sobre a teoria do giroscópio e a opção de autenticação.



Figura 7: Página inicial da ferramenta.

O sistema é dividido em dois módulos: o administrador, que possui autorização de cadastrar usuário ao sistema e manipular o experimento e o usuário, que disponibiliza o controle do experimento e geração de relatórios. A ferramenta pode ser acessada pelo site <http://girosoft.uesb.br>. O acesso ao módulo administrador se dá da seguinte forma: o botão Início abre a página que contém o vídeo do experimento em execução, como mostrado na figura 7. O botão Teoria carrega a página que contém a documentação da teoria sobre o experimento laboratorial do giroscópio. O botão Login abre a página (figura 8) que possibilita ao usuário se autenticar e ter acesso ao sistema servidor como usuário comum, sendo maior parte alunos do curso de Licenciatura em Física, ou administrador,

professores e técnicos laboratoriais. Essa autenticação é realizada por uma busca no banco de dados de usuários cadastrados. O botão Sobre, carrega a página que contém uma breve explicação do sistema bem como os dias e horários de funcionamento.

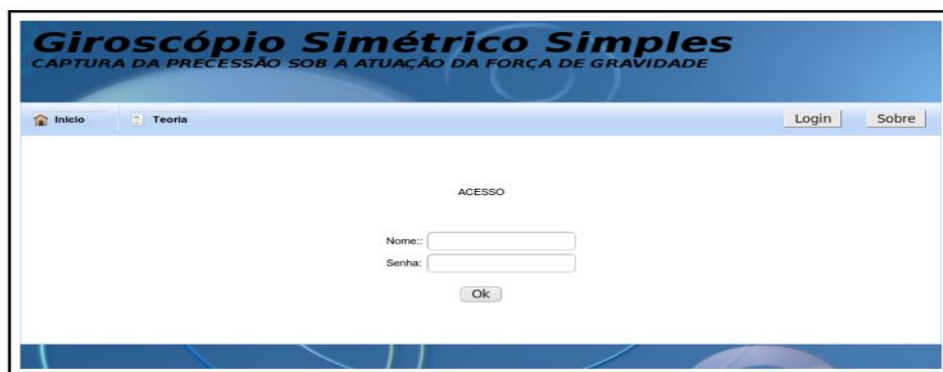


Figura 8: Página de autenticação da ferramenta.

O módulo usuário disponibiliza a interface para o controle do giroscópio simétrico simples. Essa página (figura 9), que é acessada por meio do botão Experimento, apresenta alguns dados que possuem valores fixos do experimento, uma tabela que armazena os dados obtidos através da sua realização, uma imagem do giroscópio no ambiente laboratorial e os botões Executar e Relatório, que inicializam todo o processo e geram o relatório, respectivamente.

Ao clicar no botão Executar, o sistema cliente, localizado na UINFOR, fará uma chamada remota a uma função que está implementada no sistema servidor e se encontra conectado fisicamente à maquete laboratorial automatizada. O experimento iniciará sua execução e após alguns segundos, retornará com os dados capturados pelos sensores.



Figura 9: Página de controle do experimento laboratorial.

A Figura 10 apresenta um recorte do conteúdo de um relatório gerado após a execução do experimento. O relatório, que pode ser impresso, disponibiliza as fórmulas matemáticas relacionadas ao experimento, os dados referentes à maquete e os valores obtidos por meio dos sensores.

O módulo administrador, por exclusividade, disponibiliza a interface para o cadastro de novos usuários, sendo possível a escolha da categoria, usuário comum ou administrador, como visto

na figura 11. As informações inseridas nos campos deste formulário serão salvas em um banco de dados e servirão para autenticação no sistema.

Usuario: usuario

Relatório do Experimento Giroscópio Simétrico Simples

Tomando como base a equação que define a velocidade angular de precessão Ω do giroscópio temos:

$$\Omega = \frac{mgd}{I \omega}$$

Onde m é a massa em quilogramas do giroscópio, g a aceleração da gravidade, d a distancia em metros do ponto de apoio ao centro de massa do giroscópio, I o momento de inercia do disco e ω a velocidade angular em radianos por segundo do disco. O momento de inercia pode ser calculado por meio da fórmula:

■ ■ ■

Dados do Giroscópio		
N°	Velocidade Angular do Disco - rad/s	Velocidade Angular de Precessão - rad/s
1	295.16	2.68
2	445.88	2.26

Observações:

Figura 10: Relatório do Experimento Giroscópio Simétrico Simples.

Com o propósito de disponibilizar a visualização do experimento laboratorial automatizado, propõe-se a criação de um servidor de vídeo. Esse servidor deverá manter comunicação com o sistema servidor aplicação, já existente, ampliando assim, as características da ferramenta. Dessa forma, o usuário poderá visualizar a execução do experimento em tempo real.

Giroscópio Simétrico Simples

CAPTURA DA PRECESSÃO SOB A ATUAÇÃO DA FORÇA DE GRAVIDADE

Inicio
Teoria
Experimento
Admin
Sair
Sobre

Cadastro de Usuários

Nome Completo:

Email:

Instituição:

Login:

Senha:

Administrador:

Figura 11: Página de cadastro de usuários.

5.Preparação para a realização dos experimentos

Para facilitar o estudo dos alunos, foram organizados guias laboratoriais impressos relativos às disciplinas de Mecânica, Física Molecular e Termodinâmica, Eletricidade e Magnetismo, Óptica e Física Moderna. O número de práticas propostas para serem realizadas pelos estudantes, relativas às disciplinas de Física Geral, enumeradas acima, foi determinado de acordo com o Programa do

Cursode Licenciatura da UESB. Cada trabalho de laboratório apresenta a seguinte estrutura: 1) Título do trabalho; 2) Objetivo(s); 3) Fundamentos teóricos; 4) Descrição da maquete experimental; 5) Ordem de realização do trabalho; 6) Elaboração dos resultados das medições; 7) Questões para o controle da aprendizagem do material.

Considerando que algumas maquetes experimentais do laboratório remoto estão prontas, foi preparada a versão eletrônica dos itens 1-4 daqueles experimentos para acesso livre no site do Laboratório. Entretanto, para a realização do experimento, os estudantes passam por uma avaliação sobre os fundamentos teóricos e sobre a maquete experimental para depois se cadastrarem na base de dados do sistema e efetuar a autenticação para a realização do experimento. Na tela principal da interface WEB estão indicados os experimentos disponíveis da prática laboratorial. Terminada a execução, o relatório pode ser impresso.

Os experimentos didáticos automatizados manipulados a distância, sua arquitetura e o auxílio de ferramentas adequadas, podem trazer grande benefício, uma vez que permitem a reutilização para fins demonstrativos e outros métodos. Na próxima seção, são analisados alguns aspectos do significado das demonstrações físicas.

6.O papel das demonstrações no contexto das aulas teóricas e experimentais de Física e a utilização das TIC

As aulas de demonstrações não constituem uma complementação da parte expositiva das disciplinas de Física Experimental, mas sua parte inseparável, orgânica. Por esse motivo, elas não podem ser consideradas apenas como forma de ensino, pois constituem uma parte significativa do conteúdo do curso experimental. Como regra, todos os fenômenos fundamentais que constituem o tema de uma aula teórica devem ser demonstrados experimentalmente. É verdade que nem todo fenômeno sobre o qual se fala pode ser demonstrado durante as aulas teóricas e, neste caso, deve-se limitar ao uso de outros recursos como a projeção de fotos do fenômeno ou a projeção de um filme, mas isto pode ser considerado apenas como uma exceção.

Numa sala de aula, a demonstração de um fenômeno físico, em muitos casos, não oferece uma boa visibilidade para os alunos situados mais distantes, além disso, não permite a eles uma visão do experimento de diferentes ângulos. Sendo assim, faz-se necessário o uso de recursos de multimídia. Tais recursos não só dariam maior abrangência à exibição do experimento, como também permitiriam o armazenamento das imagens e dados coletados, para posterior análise. Hoje, são conhecidas diversas ferramentas para o tratamento de imagens, que possibilitam a sua visualização controlada: congelamento, adiantamento, retrocesso, *slowmotion*, *zoom*, etc.

As imagens do experimento podem ser captadas através de um sistema de câmeras que, assim como os sensores instalados na maquete experimental, é conectado a um PC host, o qual é responsável pela captura e armazenamento das imagens e dos dados do experimento. Os mesmos poderão ser exibidos em tempo real, por meio de data show, ou em um momento posterior. As câmeras utilizadas pela arquitetura podem ser do tipo IP, as quais dispensam o uso de fitas de vídeo ou sistemas mais avançados e podem ser ligadas diretamente a um HUB ou SWITCH, um dispositivo que tem a função de interligar os computadores de uma rede local não obrigando assim, que o PC host esteja na mesma sala ou prédio que o experimento. Em geral, os sensores dependem do tipo de experimento, devendo fazer parte de um Sistema de Aquisição de Dados – SAD conectado ao PC.

Enfim, é possível acompanhar a realização de um experimento, com sinais físicos captados por meio de diversos tipos de sensores, podendo-se, portanto, reconstruir o mesmo em um display ou em um PC. Esta funcionalidade pode ser bastante útil didaticamente em um laboratório de demonstrações. Outra funcionalidade é o compartilhamento das experiências, pois as imagens

gravadas poderão ser disponibilizadas para os alunos *in loco* ou via Internet, para posterior estudo. No aspecto metodológico, as demonstrações tornam qualquer fenômeno mais claro para os estudantes, uma vez que contribuem para uma melhor assimilação. Vale salientar que durante a preparação do plano de aula, é necessário ter a preocupação em demonstrar os fenômenos mais importantes e leis citadas. Para facilitar a compreensão, o número de demonstrações não deve ser em grande escala, pois exposições verbais que tomam grandes intervalos de tempo entre as demonstrações podem tirar a atenção dos alunos. Para isso, é viável que durante os raciocínios teóricos os resultados intermediários sejam ilustrados e cada conclusão intermediária demonstrada durante a aula. É importante esclarecer que as aulas demonstrativas de Física devem ser, preferencialmente, qualitativas e os cálculos, baseados nos dados experimentais, devem ser priorizados nas aulas de laboratório.

Na próxima seção, propõe-se a reutilização dos laboratórios didáticos remotos.

7. A possibilidade de reutilização dos laboratórios remotos didáticos de medição na construção dos laboratórios de demonstrações físicas

A reutilização do Laboratório de experimentos didáticos remotos de Física da UESB na construção dos laboratórios didáticos remotos de demonstrações físicas, constitui uma das vantagens desse tipo de laboratório. Como mencionado acima, os experimentos remotos demonstrativos podem ser realizados através dos ambientes desenvolvidos naquele Laboratório, utilizando as ferramentas adequadas.

Segundo Gravier et al (2008, p.4), os laboratórios remotos estão sofrendo evolução, mas o grande número de tecnologias utilizadas para o seu desenvolvimento indica que pouco esforço está sendo empregado para reutilizar os laboratórios remotos existentes. Para cada etapa do desenvolvimento, existem várias opções de tecnologias. A escolha de algumas delas é inerente ao tipo de experimento, mas geralmente é baseada em experiência anterior, infraestrutura e ferramentas de desenvolvimento disponíveis, habilidades e experiência dos desenvolvedores.

Reforçando o que foi mencionado na Seção 6, são conhecidas diversas ferramentas para o tratamento de imagens, que possibilitam a sua visualização controlada: congelamento, adiantamento, retrocesso, *slowmotion*, zoom, etc. Essas facilidades podem ser utilizadas nas imagens armazenadas dos experimentos.

Outra ferramenta que também pode ser utilizada é a vídeo-análise, definida da seguinte maneira:

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. (LEITÃO et al, 2011, p.21).

Os autores concluem: “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.” (Leitão et al, 2011, p. 27).

Existem programas gratuitos de vídeo-análise para fins educacionais, porém dentre os mais conhecidos, o Logger Pro 3.6.1, que precisa ser licenciado, é o que oferece vantagens. Estes se dão:

[...] 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. (LEITÃO et al, 2011, p.22).

Assim, pode ser feita a comparação dos resultados obtidos pelo método de tratamento de imagem com as medições e a elaboração dos resultados do experimento automatizado.

8. Considerações finais

A construção dos laboratórios didáticos de Física automatizados, da UESB e manipulados através da Internet, tem sido realizada com a participação dos alunos da graduação, onde encontram a possibilidade de desenvolver projetos multidisciplinares que envolvem conhecimentos de Física, Eletrônica e Programação, para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC).

Foram construídas quatro maquetes experimentais automatizadas e outras em desenvolvimento. As automatizadas têm sido utilizadas por alunos do Curso de Licenciatura em Física, modalidade de ensino presencial. Os experimentos ocorrem de forma ordenada a fim de se obter resultados satisfatórios. O primeiro passo é coletar os dados de forma integrada, segura e dinâmica. Em seguida, a automatização das medições e a elaboração dos dados do experimento de Física. Tais procedimentos proporcionam mais tempo aos estudantes para a complementação das aulas teóricas, aprofundamento dos conhecimentos de métodos e técnicas do experimento, estudo de aparelhos de pesquisa científica e familiarização com os mesmos, domínio de diferentes métodos de pesquisa experimentais, domínio de métodos matemáticos e gráficos dos resultados obtidos e a avaliação das medições realizadas.

São inúmeras as vantagens do experimento automatizado: 1) pode ser manipulado remotamente e visualizado em tempo real; 2) com a utilização de ferramentas adequadas e pela sua arquitetura, pode ser utilizado tanto nas práticas de laboratório quanto para fins demonstrativos, possibilitando o uso dinâmico das Demonstrações Físicas integrado às aulas teóricas, a fim de relacionar o fenômeno estudado com as grandezas físicas e suas quantificações e ilustrações gráficas; 3) facilita a utilização concomitante com a vídeo-análise, reduzindo o tempo necessário para o estudo do experimento, pois “uma câmera ou conjunto de câmeras e o circuito de sensores, que fazem parte da sua arquitetura, são conectados ao PC host que é responsável pela captura e armazenamento dos dados e controle do experimento, podendo também armazenar as imagens capturadas.” (Guimarães et al, 2013, p. 90); 4) o computador é utilizado em todo o âmbito do experimento laboratorial, desde a coleta dos dados das medições até a elaboração dos resultados, oferecendo ao aluno mais tempo para uma melhor reflexão sobre os aspectos das tecnologias e metodologias utilizadas e sua ligação com a teoria; 5) disponibilização de acesso a um número maior de usuários e por mais tempo; 6) utilização do laboratório em curso de educação a distância.

9. REFERÊNCIAS

Barra, V. M., & Lorenz, K.M. (Dez. 1986). *Produção de materiais didáticos de ciências no Brasil, período: 1950 a 1980*. São Paulo: Ciência e Cultura. 38 (12) – pp. 1970-1983.

Filho, J. P. A. (2000). *Atividades experimentais do método a prática construtiva*. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC: Programa de Pós-Graduação em Educação. Florianópolis – SC.

Domínguez, M. et al. (2011). *Remote laboratory of a quadruple tank process for learning in control engineering using different industrial controllers*. Computer Applications in Engineering Education, n/a-n/a. doi:10.1002/cae.20562.

- García-Zubia, J. et al. (2011). *Application and User perceptions of using the WebLab-Deusto-PLD in Technical Education*. Frontiers in Education Conference (FIE).
- Gaspar, A. (Dez. 2004). *Cinquenta anos de Ensino de Física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor*. XV Encontro de Físicos do Norte e Nordeste. 2002.EDUCAÇÃO, Ano 13, n.21, p.71-91.
- Gomes, L., &BOGOSYAN, S. (2009). *Current Trends in Remote Laboratories*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 56(12), pp. 4744-4756.
- Gravier, C. et al. (2008). *State of the art about remote laboratories paradigms - foundations of ongoing mutations*. International Journal of Online Engineering.1, pp.1-9.
- Guimarães, V. S., &Oliveira, I.N. et al. (2013). *Um Ambiente para as Práticas Laboratoriais Remotas de Física: Estudo do Pêndulo Matemático*. Revista Brasileira de Informática na Educação, Volume 21, Número 2, pp. 78-91.
- Irmak, E. et al. (2009). *A remote laboratory experiment for 4-quadrant control of a DC motor*. Computer Applications in Engineering Education, 19(4), 747-758. doi:10.1002/cae.20361.
- Karadimas, D., & Efstathiou, K. (2007). *An Integrated Educational Platform Implementing Real, Remote Lab-Experiments for Electrical Engineering Courses*. Journal of Computers, 2(2), 37-44. doi:10.4304/jcp.2.2.37-44.
- Lara, G. et al. (Maio 2007). *Obcecados por uma meta*. DIVERSA – Revistada Universidade Federal de Minas Gerais, Ano 5, No. 11. Acesso em 02 fev., 2014, <http://www.ufmg.br/diversa/11/educacao.html>.
- Leitão, L. I.; Teixeira, F.P.D., &Rocha, F.S. (2011). *A vídeo-análise como recurso voltado ao ensino de física experimental: um exemplo de aplicação na mecânica*. Revista Eletrônica de Investigacion en Ciencias, v. 6, No. 1, pp. 18-32.
- Ma, J., &Nickerson, J. V. (2006). *Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review*. ACM Computing Surveys. 38(3).
- Moreira, M.A. (Mar. 2000). *Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no.1 – p. 94-99.
- Nedev, S., & Ivanova, V.C. (2006). *Web camera as a measuring tool in the undergraduate physics laboratory*. European Journal of Physics, 27(5), 1213-1219. doi:10.1088/0143- 0807/27/5/020.
- Oliveira, C. R. et al. (2009). *Um Ambiente para a Prática Remota de Aulas Laboratoriais de Física (determinação da viscosidade de líquidos)*. Revista Brasileira de Informática na Educação, Volume 17, Número 1. pp. 43-57.
- Oliveira I.N. et al. (2010). *Um ambiente de prática laboratorial remota para o estudo do Pêndulo Matemático e a determinação da aceleração da força de gravidade com a sua ajuda*. In: XXVIII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste, 2010, 30, Recife. Anais do XXVIII EFNNE, Recife: SBF, p.158.
- Perelman, Y. (1975). *Física Recreativa*. Editora Mir, Moscou, V.1.
- Prado, M. G. (2011). *Automatização de uma maquete experimental de um giroscópio simétrico simples para o estudo da sua precessão sob a atuação da força de gravidade*. 2011. 50 f. Trabalho

de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Curso de \Ciência da Computação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Vitória da Conquista, BA.

Rohling, J. H. et al. (Jun. 2002). *Produção de Filmes Didáticos de Curta Metragem e CDRoms para o Ensino de Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, no. 2 – pp. 168-175.

Rudolph, J. L. *PSSC in Historical Context: Science, National Security, and American Culture during the Cold War*. PSSC 50 Years Later -American Association of Physics Teachers. Compadre.org. Acesso em 02 fev., 2014, <http://www.compadre.org/portal/pssc/docs/Rudolph.pdf>.

Tekin, A.; Ata, F., & Gökbulut. M. (2010). *Remote control laboratory for DSP-controlled induction motor drives*. Computer Applications in Engineering Education, n/a-n/a. doi:10.1002/cae.20440.