

AUTOMATIZAÇÃO DE LABORATÓRIOS DIDÁTICOS DE FÍSICA GERAL - CONSTRUÇÃO DE UMA MAQUETE EXPERIMENTAL AUTOMATIZADA PARA A DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK.

Automation of didactic laboratories of general physics - Construction of an automated experimental model for the determination of Planck's constant.

Ivanor Nunes de Oliveira [ivanor_nunes@hotmail.com]

Karina Pereira Moreira[kari.pereira@yahoo.com.br]

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

Estrada do Bem Querer – km 04, Vitória da Conquista – BA

Wilton Lacerda Silva [wiltonlacerda@gmail.com]

Valteni Douglas Chaves [valteni.chaves@ifbaiano.edu.br]

Marcos Gomes Prado[marcosg.prado@gmail.com]

Maísa Soares Santos Lopes [msslopes@gmail.com]

Resumo

Em cursos de ciências físico-matemáticas e naturais e nos cursos de engenharias o uso dos laboratórios é fundamental para que os alunos obtenham conhecimento e habilidades essenciais para sua formação profissional. Entretanto, laboratórios de pesquisa e ensino tradicionais têm um custo financeiro alto no que diz respeito à sua montagem e manutenção. Uma alternativa é o uso de laboratório remoto. Nesse sentido, um dos problemas centrais para o funcionamento dos cursos de graduação em Física, modalidade à distância, tem sido a criação dos laboratórios de Física automatizados com experimentos que podem ser manipulados à distância via Internet. A experiência de ensino na UESB, Universidade multicampi, mostra que a automatização desses laboratórios, em desenvolvimento nesta IES desde 2005, pode ser utilizada não somente nos cursos de graduação em Física, modalidade à distância, mas também nos cursos presenciais dos *campi* da instituição, com custo-benefício menor que a duplicação desses laboratórios. No presente artigo, apresenta-se a construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck.

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

Abstract

In physical-mathematical and natural sciences courses and in engineering courses, the use of laboratories is fundamental for students to obtain knowledge and skills essential for their professional training. However, traditional research and teaching laboratories have a high financial cost in terms of assembly and maintenance. An alternative is the use of remote lab. In this sense, one of the central problems for the operation of undergraduate courses in physics, distance modality, has been the creation of automated laboratories with experiments that can be manipulated at a distance via the Internet. The teaching experience at the UESB, a multi-campus university, shows that the automation of these laboratories,

which has been under development at this IES since 2005, can be used not only in undergraduate courses in physics, distance learning, but also in face-to- Less costly than duplication of these laboratories. In the present article, the construction of an automated experimental model for the determination of Planck's constant is presented.

Keywords: Teaching Physics; Remote Laboratory; Distance Education.

Introdução

Durante a realização de experimentos nos laboratórios tradicionais, o pesquisador tem contato direto com as maquetes experimentais, com os aparelhos de medição. Os objetos em estudo encontram-se diante dele e, nessas condições, ele tem a possibilidade de atuar manualmente na realização dos trabalhos científicos. Entretanto, semelhante situação, não é típica para muitas áreas das pesquisas científicas. Nem sempre foi possível a presença do pesquisador ao lado dos objetos e aparelhos de medição como, por exemplo, durante o trabalho com substâncias nocivas à saúde humana, durante o estudo de objetos distantes, como o estudo da Terra desde o espaço cósmico próximo. Contudo, problemas deste tipo já eram resolvidos, antes do surgimento do computador, com a criação de aparelhagens especiais para controle à distância e coleta de dados experimentais. A rádio comunicação era utilizada para a transmissão de comandos e recebimento de dados enviados pela aparelhagem instalada nos aeróstatos em grandes altitudes e nos satélites artificiais da Terra. Podem ser dados exemplos de tais pesquisas realizadas à distância no período compreendido entre os anos 30 – 70 do século passado. Naqueles anos, não existiam dificuldades técnicas principais para a organização de experimentos à distância. Porém, para a realização de experimentos didáticos clássicos isto, simplesmente, não era razoável. Naquele tempo, o preço de um sistema de automatização e controle à distância de uma maquete experimental simples ultrapassava em muitas vezes o preço da própria maquete.

A partir do início dos anos 80 esta situação começou a mudar. Apareceram os microcomputadores, relativamente, baratos, que começaram a ser utilizados não somente para os cálculos numéricos, elaboração de dados, mas também a serem incluídos como componentes das maquetes experimentais. Aos poucos, foram fabricados aparelhos de medição, cujos dados podiam ser introduzidos no computador. Ao mesmo tempo, surgiram também sistemas eletrônico-mecânicos capazes de realizar tarefas por comandos recebidos dos computadores. Desta maneira, as maquetes experimentais de laboratório tornaram-se parcialmente ou totalmente automatizadas. A utilização dos computadores e a automatização modificaram o caráter do trabalho na área das pesquisas experimentais. Em termos condicionais, podia-se dizer que a pesquisa científica era realizada, com o auxílio de um monitor, teclas, mouse e de um programa especial criado para a interação com a maquete experimental que, ao mesmo tempo, realizava a elaboração dos dados. Entretanto, a distância do local de trabalho do pesquisador até o local de realização dos experimentos era limitada pelo comprimento dos fios de comunicação. Transferir o local de trabalho para qualquer lugar era difícil. Naqueles anos, ainda não existia a densa rede de canais de comunicação entre os computadores, a Internet.

A situação mudou radicalmente com o desenvolvimento impetuoso da rede da Internet. Os canais de ligação entre os computadores ficaram acessíveis, confiáveis e baratos. A troca de dados, praticamente instantânea, entre os computadores que se encontrem em diferentes pontos da Terra pela rede da Internet tornou-se habitual. Estas possibilidades foram utilizadas também na organização das pesquisas científicas. Notemos que a relação custo-benefício mudou. Atualmente, o preço de uma maquete experimental é muitas vezes maior que o gasto com os canais de comunicação para a transmissão de

dados. Surgiram os chamados laboratórios à distância, cujos usuários poderiam realizar as suas pesquisas encontrando-se a distâncias significativas desses. No laboratório à distância, as maquetes experimentais estão totalmente automatizadas, controladas por computadores ligados à rede da Internet. Neles estão instalados programas especiais.

1.1 A automatização das maquetes experimentais dos Laboratórios Didáticos de Física da UESB

Os Laboratórios Didáticos de Física Geral da UESB, atualmente, possuem cerca de quarenta experimentos. Entretanto, está sendo implementado o projeto de automatização dos experimentos existentes, o que constitui um salto qualitativo na modernização dos laboratórios. Desta maneira, a concepção das maquetes experimentais dos laboratórios está sendo desenvolvida e sua construção está sendo realizada de acordo com o projeto de automatização das medições e da elaboração dos resultados dos experimentos de Física geral. Nas maquetes são acoplados os sistemas de automatização e controle. O computador é utilizado em todo o âmbito do experimento laboratorial, desde a coleta de informações até a análise de resultados. Neste caso, em primeiro lugar, o processo é realizado de forma integrada, mais segura e dinâmica. Em segundo lugar, a automatização das medições e da elaboração dos dados dos experimentos de física, tem sido também utilizada nos cursos presenciais, o que proporciona mais tempo aos estudantes para a complementação das aulas teóricas, o aprofundamento dos conhecimentos de métodos e técnicas do experimento, o estudo de aparelhos de pesquisa científica e familiarização com os mesmos, dominar diferentes métodos de pesquisas experimentais, dominar métodos matemáticos e gráficos dos resultados obtidos e também a avaliação das medições realizadas.

Novos modelos educacionais de interação têm emergido em função da difusão e do avanço das Novas Tecnologias da Informação e Comunicação – NTIC's.

2. As novas tecnologias no desenvolvimento dos laboratórios remotos.

Em cursos de ciências físicas e naturais e nos cursos de engenharias o uso de laboratório é fundamental para que os alunos obtenham conhecimento e habilidades essenciais para sua formação profissional. Entretanto, laboratório de pesquisa e ensino tem um custo financeiro alto no que diz respeito a sua montagem e manutenção (Gomes & Bogosyan, 2009). Uma alternativa é o uso de laboratório remoto. A expressão laboratório remoto (ou laboratório web – *weblab*) é utilizada para definir experimento que é conduzido e controlado remotamente através da Internet. Os experimentos utilizam componentes ou instrumentação reais em um local diferente de onde eles estão sendo manipulados. O usuário acessa e controla o computador do laboratório e, a partir daí, aciona os equipamentos, faz as observações, testa as condições e coleta os dados do experimento. A instalação de câmeras de vídeo no ambiente do laboratório permite que o usuário tenha uma visão “*on-line*” do que se passa no seu interior (Ma & Nickerson, 2006). O uso de laboratório remoto permite benefícios como: compartilhamento de recursos sofisticados e caros entre várias instituições; disponibilização de acesso a um número maior de usuários e por mais tempo; utilização do laboratório em curso de educação à distância; acessibilidade para pessoas com deficiência física motora; e não exposição física a substâncias perigosas (Ma & Nickerson, 2006), (Gravier et al., 2008), (Chen et al., 2010), (Domínguez et al., 2011). Entretanto, o desenvolvimento destes laboratórios é constituído de um conjunto de tecnologias de software e hardware que pode assumir as mais diversas configurações em função da escolha dos recursos tecnológicos empregados em sua implementação (Chella, 2006). Os desenvolvedores de laboratórios remotos são

especialistas em sua área de pesquisa, mas não necessariamente nas tecnologias que envolvem este tipo de laboratório.

2.1 Os desafios das novas tecnologias e suas aplicações nas áreas técnico-científicas

Tendo em conta o exposto acima, pode-se concluir que os cursos técnico-científicos das IES se encontram diante de muitos desafios:

“As mudanças das condições ocorridas ultimamente e o nível já alcançado de aplicações modernas das tecnologias da informação, criam uma série de desafios para as instituições de ensino superior que possuem cursos de formação de especialistas no campo da engenharia e ciências naturais. Ou seja, elas exigem atualização constante e mudanças no ensino de cursos de acordo com os mais recentes desenvolvimentos, o que é especialmente importante para os trabalhos práticos dos alunos. A principal tarefa da universidade nestas condições permanece a mesma: preservar e melhorar a formação prática diante de meios financeiros limitados, necessários para a modernização e reequipamento da instrumentação tecno-científica moderna de ensino dos laboratórios didáticos e dos laboratórios de pesquisa.” (Andreev V.V, et al., 2008).

Como solução do problema apresentado os autores propõem o seguinte:

“Uma possível solução para este problema é o uso de medição, monitoramento e controle dos processos tecnológicos com base em computadores e controladores programáveis. A utilização de modernos recursos de software e hardware, unidos por uma plataforma de software universal, permite criar ferramentas virtuais e reais multifuncionais com interface cômoda para estudantes e pesquisadores. Em conexão com os mais recentes avanços na tecnologia dos computadores tem-se oportunidades reais para introduzir os mais avançados e eficientes recursos de software e hardware, altamente interativos sem o uso de equipamentos caros” (Andreev V.V, et al., 2008).

Nesse sentido, um dos problemas centrais para o funcionamento dos cursos de graduação em Física, modalidade à distância, tem sido a criação dos laboratórios de física geral automatizados com experimentos que podem ser manipulados à distância via Internet.

A experiência de ensino na UESB, Universidade multicampi, mostra que a automatização dos laboratórios de física geral em desenvolvimento nesta IES desde 2005, pode ser utilizada não somente nos cursos de graduação em física, modalidade à distância, mas também nos cursos presenciais dos *campi* da instituição, com custo-benefício menor que a duplicação desses laboratórios.

Entre outros experimentos laboratoriais automatizados, já em funcionamento na UESB, estão em fase de conclusão os seguintes trabalhos: Projeto de um sistema automatizado para o estudo experimental dos campos eletrostáticos pelo método de modelagem; Pêndulo de Torção automatizado para o estudo experimental dos momentos de inércia de corpos de formas irregulares.

3. A Física moderna e os experimentos didáticos relacionados com a determinação da constante de Planck

Uma revisão da literatura científica mostra os avanços teóricos ocorridos no início do século XX, que resultaram na substituição do eletromagnetismo clássico pelos *quanta* eletrodinâmicos e o surgimento da mecânica quântica. O trabalho científico de Max Planck sobre a radiação emitida por um corpo negro deu início ao intenso desenvolvimento da teoria quântica, sem a qual os êxitos da física moderna não

seriam possíveis. A espectrometria da radiação emitida por um corpo negro mostrou uma falha na teoria clássica, que explicava as emissões de radiação, satisfatoriamente, apenas a baixas temperaturas. O estudo das leis da radiação de corpos negros levou ao surgimento da mecânica quântica. Experimentalmente, a radiação mais próxima à de um Corpo Negro ideal é a emitida de pequenas aberturas para extensas cavidades. Qualquer luz entrando pela abertura deve ser refletida várias vezes nas paredes da cavidade antes de escapar e, então, a probabilidade de que seja absorvida pelas paredes durante o processo é muito alta, independente de qual seja o material que a compõe ou o comprimento de onda da radiação. Tal cavidade é uma aproximação de um corpo negro e, ao ser aquecida, o espectro da radiação do buraco é contínuo, e não depende do material da cavidade.

A curva formada pelo espectro de radiação emitido por um Corpo Negro foi um dos maiores desafios no campo da Física Teórica durante o fim do século XIX. O problema finalmente foi resolvido em 1901 por Max Planck com a Lei de Planck da Radiação de Corpo Negro (Eisberg & Resnick, 2015). Fazendo mudanças na Lei da Radiação de Wien consistentes com a Termodinâmica e o Eletromagnetismo, ele achou uma fórmula matemática que descrevia os dados experimentais de maneira satisfatória:

$$\epsilon_{\lambda,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (1)$$

onde $\epsilon_{\lambda,T}$ representa a capacidade de emissão de um Corpo Negro, c a velocidade da luz, h a constante de Planck, k a constante de Boltzmann, ν a frequência linear e T a temperatura absoluta.

Para fornecer uma interpretação física, Planck, então, assumiu que a energia das oscilações na cavidade são quantizadas. Einstein trabalhou em cima desta idéia e propôs a quantização da radiação eletromagnética em 1905 para explicar o efeito fotoelétrico. Estes avanços teóricos resultaram na substituição do eletromagnetismo clássico pelos *quanta* eletrodinâmicos, que hoje são chamados *fótons*.

Em 1917, Einstein formulou a teoria da "emissão de radiação estimulada", que descreve a possibilidade de criação das condições nas quais os elétrons emitem, simultaneamente, luz de um único comprimento de onda. Isto é, na verdade, ele descreveu a possibilidade teórica da criação de um emissor controlado de radiação eletromagnética, mais tarde, chamado laser.

Contudo, a descoberta do laser aconteceu somente no início da segunda metade do século passado, ligada ao trabalho de cientistas dos EUA e da URSS (Yariv, 1989).

A palavra "laser" é uma abreviatura para: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificação de luz devido à emissão estimulada). Os lasers são, fundamentalmente, novas fontes de luz, que não existem na natureza. A luz laser é coerente, isto é, estritamente ordenada pela fase, por isso, ela pode ser fortemente focalizada. Os lasers são utilizados em diversas áreas técnico-científicas, por exemplo: na tecnologia de medição, em linhas de comunicação, computadores, na medicina, nos equipamentos técnicos onde encontraram ampla aplicação. Os lasers de semicondutores (lasers de diodo) são baratos e se destacam entre os diferentes tipos de lasers existentes pelas suas qualidades. Ampla literatura de Eletrônica Quântica se dedica à teoria dos lasers (SVELTO, 1988), (STRAKOVISKY, 1973).

Entretanto, temas da física moderna como Radiação do Corpo Negro, Efeito Fotoelétrico, a física dos lasers, etc., ainda são ministrados, em muitos cursos de graduação em física das IES, apenas teoricamente, devido a inexistência de laboratórios didáticos de física moderna, dado o seu alto custo e as limitações orçamentárias.

3.1 Lasers de Diodo

Os lasers de diodo são semicondutores complexos que convertem uma corrente elétrica em luz (SVELTO, 1988). Entre as aplicações dos lasers de diodo podem ser citadas as seguintes (Lasers de semicondutores).

- a) Lasers de diodo de alta potência são usados como fontes de bombeamento de alto desempenho para lasers do estado sólido (lasers com bombeamento de diodo). Eles permitem realizar bombeamento elétrico com baixa tensão elétrica e alto rendimento. O comprimento de onda de emissão dos lasers de diodo é selecionado com base no comprimento de onda exigido de bombeamento.
- b) A gama de comprimentos de onda possíveis dos lasers de diodo é muito grande e cobre a maior parte da região do visível, infravermelho próximo e médio-infravermelho do espectro. Alguns lasers de diodo também permitem reconstruir o comprimento de onda.
- c) Os lasers de diodo pequenos permitem a realização de comutação rápida e a modulação da potência óptica, o que possibilita utilizá-los, por exemplo, nos transmissores das linhas de fibra óptica.
- d) Os lasers de diodo, pelas suas características, são o tipo mais importante de lasers. Seu uso tornou-se extremamente difundido, inclusive em campos tão diversos como transmissão óptica de dados, gravação óptica de informação, metrologia, espectroscopia, processamento de material, bombeamento de lasers do estado sólido, bem como em várias áreas da medicina.

3.2 Algumas propostas de experimentos didáticos relacionados com a determinação da constante de Planck

Cavalcante e Haag (2005), ao realizarem um estudo sobre o corpo negro e a determinação experimental da constante de Planck, contribuíram na área da instrumentação para o ensino de física, apresentando uma nova proposta para a determinação da constante de Planck utilizando diodos de emissão de luz como sensores espectrais seletivos da radiação emitida por um filamento aquecido. Foi apresentada uma abordagem experimental do tema da distribuição da energia de um Corpo Negro.

Ednilson *et al.* (2009) realizaram estudo que teve como principal objetivo o cálculo da constante de Planck. Foi construído um circuito eletrônico utilizando um diodo emissor de luz (LED). Através das medições de tensão e corrente no circuito, foi traçada a curva característica do diodo e obtida a sua tensão de corte, utilizada no cálculo da constante de Planck.

Ducharme (2006) apresenta trabalho de laboratório intitulado: Semicondutor Diodo Laser. No trabalho, o autor propõe a realização de um estudo das principais características dos lasers de diodo.

3.3 Determinação da constante de Planck com o auxílio de uma maquete experimental automatizada.

No presente trabalho, para a determinação da constante de Planck (Moreira, K.P., 2008), utiliza-se a maquete experimental automatizada (Fig. 1) descrita abaixo. O circuito eletrônico da referida maquete contém um laser de semicondutor de pequenas dimensões (laser point), cuja curva característica Ampère \times Volt é obtida utilizando-se um potenciômetro digital. A construção do circuito eletrônico é

descrita na parte 3.5. Ele comunica-se com o computador em todos os âmbitos do experimento, incluindo as medições da tensão e da corrente do laser de semiconductor, a construção do gráfico da curva característica do laser e o cálculo da constante de Planck. O esquema óptico da maquete experimental é dado na Fig. 2.

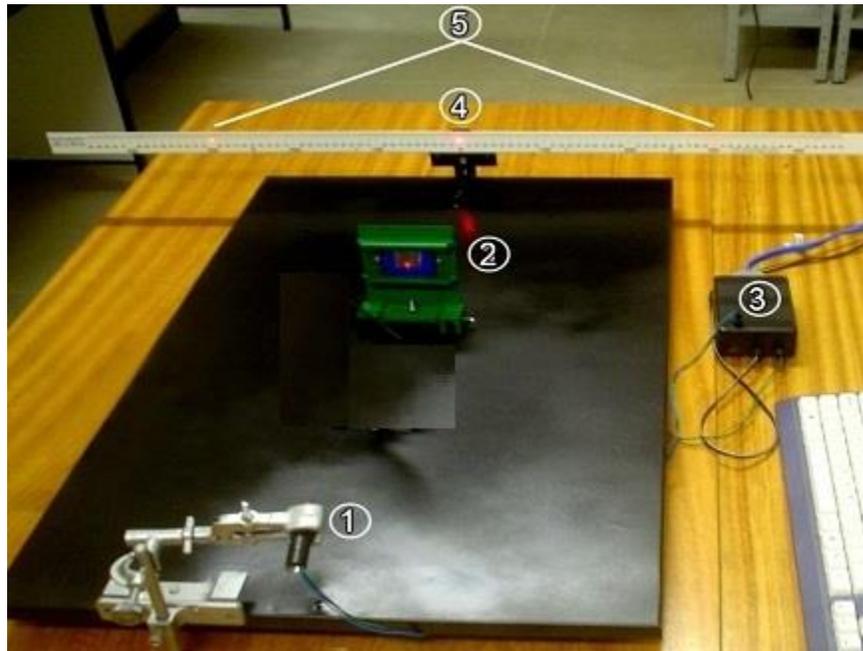


Fig.1 – Maquete experimental automatizada para determinação da constante de Planck.

A maquete é constituída pelos seguintes componentes, indicados por números na Figura 1: 1) Plataforma com o laser de semiconductor; 2) Rede de difração fixa em um suporte; 3) Circuito eletrônico. São mostrados, também, o máximo central e o primeiro máximo secundário do espectro da luz emitida pelo laser (números 4 e 5, respectivamente) ao passar pela rede de difração.

Na Figura 2 a seguir, dispõe-se o esquema óptico da maquete experimental supracitada.

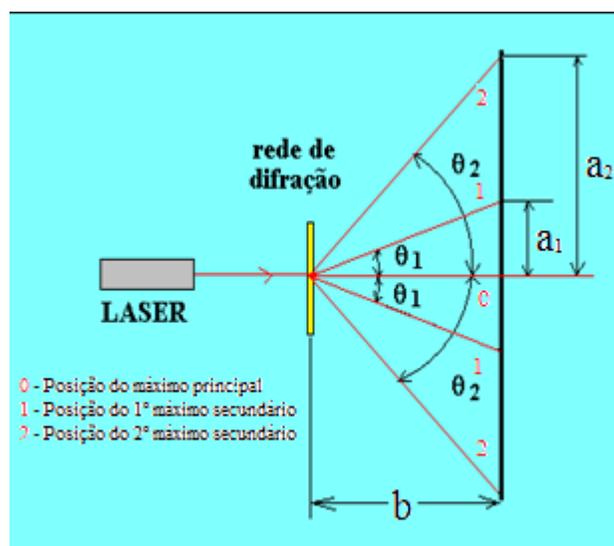


Figura 2 – Esquema óptico da maquete experimental.

3.4 Obtenção da fórmula de cálculo da constante de Planck.

Tendo em conta o conceito de energia como medida quantitativa das diferentes formas de movimento da matéria, podemos igualar as expressões quantitativas clássica e quântica da energia:

$$e \cdot U_o = h\nu, \quad (2)$$

no qual e é a carga do elétron, U_o é o potencial que determina o limiar da radiação laser, h é a constante de Planck e ν é a frequência linear da emissão laser. Logo, obtemos:

$$h = \frac{e \cdot U_o}{\nu}. \quad (3)$$

A expressão da frequência linear tem a seguinte forma:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (4)$$

onde c é a velocidade da luz.

Com o auxílio de uma rede de difração com período conhecido, pode-se determinar os comprimentos de onda da luz incidente medindo-se os ângulos de difração, segundo os quais são observados os máximos principais para linhas espectrais diferentes (Figura 2). A fórmula de cálculo é a condição de formação dos máximos principais:

$$d \sin \theta_m = m\lambda, \text{ ou seja, } \lambda = \frac{d \sin \theta_m}{m}. \quad (5)$$

Tendo em conta (4) e (5), obtemos:

$$h = \frac{e \cdot U_o d \sin \theta_m}{m \cdot c}, \quad (6)$$

onde d é a constante de rede e m é a ordem de difração.

De acordo com o esquema apresentado na Figura 2, a tangente do ângulo θ é calculada pela fórmula $\operatorname{tg} \theta = \frac{a}{b}$. O valor do ângulo θ é dado pela fórmula: $\theta = \arctg \frac{a}{b}$, onde a é a distância medida, através da régua, desde a ordem zero de difração (máximo central) até a ordem de difração escolhida (máximo secundário) e b é a distância entre a rede de difração e o ponto de luz criado na régua pelo raio do laser em ordem zero de difração.

3.5 Construção do Circuito Eletrônico

Como a maquete experimental automatizada deve ser controlada pelo computador, no circuito eletrônico construído, foi utilizado um potenciômetro digital, modelo X9C102, da *Xicor*¹.

Um potenciômetro digital é composto por um arranjo de resistores em série selecionáveis por uma lógica de controle. Assim, a resistência entre todos os elementos em série será o valor nominal do potenciômetro. Já a função do eixo, que selecionará uma posição de resistência entre o início e o fim da série, é feita por uma lógica de controle binária, com passos discretos definidos. Esta é a principal

¹Data Sheet disponível em: <http://www.intersil.com/data/fn/FN8222.pdf>.

diferença entre os potenciômetros analógicos e digitais: enquanto no analógico é possível obter infinitos valores de resistência entre o eixo e uma das extremidades, nos digitais apenas uma quantidade fixa e pré-definida de valores pode ser obtida (BRAGA, 2008).

O potenciômetro digital X9C102, escolhido no desenvolvimento deste projeto, tem seu diagrama de blocos ilustrado na Figura 3. Este potenciômetro consiste em um contador digital de 0 a 99 (*oneofone-hundreddecoder*) que habilitará o número de pequenos resistores. Sendo que, a quantidade de resistores habilitados irá corresponder ao número fornecido pelo contador digital. Caso seja contado o número 100, por exemplo, o potenciômetro apresentará na saída o valor máximo de sua resistência, que no caso é de 1K Ω . Caso seja contado o número zero, será fornecida uma resistência nula. O valor da contagem corresponde, também, ao número de passos necessários para se obter a curva total do laser de semiconductor ao variar a sua tensão de alimentação. Esses passos podem fornecer uma analogia com a partição de uma integral, em que a soma desses passos forneceria a área do gráfico da curva do laser.

O potenciômetro digital precisa ser habilitado para seu funcionamento. Para efetuar a contagem de 1 a 100, é necessário fornecer ao pino \overline{CS} (*Chip Select*) um nível baixo de tensão de um sinal de *clock*.

O pino \overline{INC} (*Increment*) irá girar o cursor para aumentar ou diminuir a resistência do potenciômetro, a depender da direção indicada pelo nível lógico sobre a entrada U/\overline{D} (*Up/Down*). A direção de giro do cursor é controlada da seguinte forma: quando a entrada no pino U/\overline{D} é um nível alto (V_{cc}), o contador de centena é incrementado; mas se a entrada for um nível baixo (GND), o contador será decrementado.

Observe que no diagrama de bloco, mostrado na Figura 3, cada saída do contador está ligada ao GATE (ou porta) do FET (transistor de efeito de campo), que ao receber um sinal V_{cc} , faz com que uma tensão igual a da fonte recaia sobre o resistor ligado a ele.

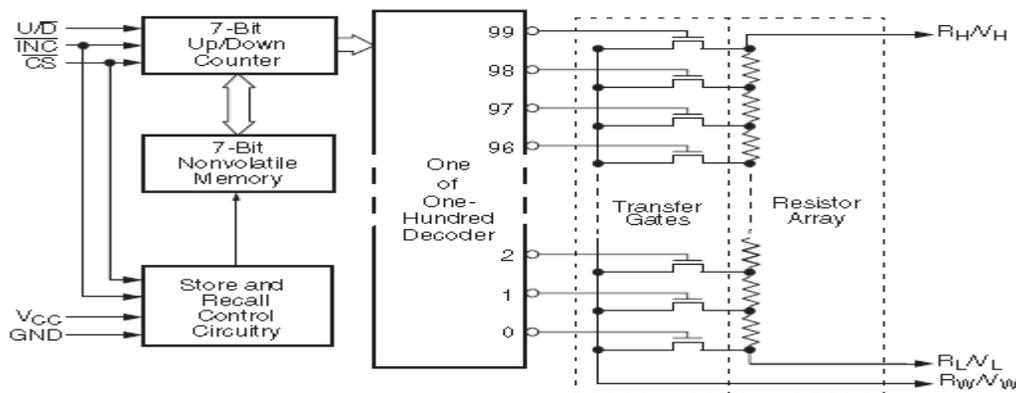


Figura 3 – Diagrama de blocos do potenciômetro digital X9C102.

Fonte: Data Sheet, 2006.

Neste caso, o FET funciona como uma chave eletrônica que se encontra no estado fechado ao receber um sinal de V_{cc} no GATE e no estado aberto quando não recebe nenhum sinal no GATE. A medida que o contador de centena é incrementado, mais FET's são habilitados e mais resistores recebem o sinal da fonte. A saída do potenciômetro está no pino R_W/V_W , que corresponde ao cursor do potenciômetro e determina a posição deste cursor dentro da matriz de resistores. O pino R_W/V_W é equivalente ao eixo móvel para variação da resistência em um potenciômetro mecânico. No circuito

desenvolvido neste trabalho, o potenciômetro foi utilizado como mostra o diagrama elétrico da Figura 4. Sua direção U/\overline{D} é controlada através do pino 14 da porta paralela, enquanto seleção o início do giro do cursor, indicado por \overline{INC} , é controlado pela porta paralela através do pino 1.

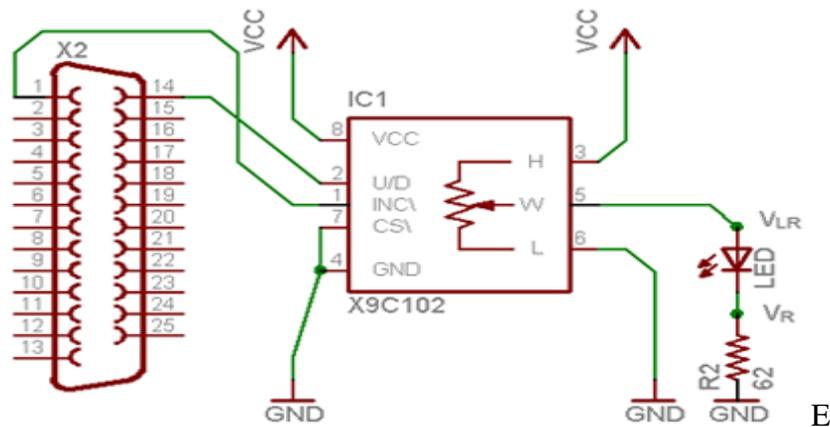


Figura 4 – Esquema elétrico da tensão do laser de semiconductor.

3.6 Conversão Analógica / Digital

Como a tensão a ser medida é uma grandeza analógica, sua medição não pode ser feita diretamente pelo computador, precisando, desta forma, ser transformada para um sinal da forma digital. Para isso, foi usado um conversor analógico/digital ou conversor A/D. Esses conversores são largamente empregados em placas de aquisição de dados e controle que interconectam computadores com dispositivos de medida.

A conversão de sinais analógicos em seus correspondentes digitais é caracterizada pela velocidade e precisão com que estas equivalências são estabelecidas. Para tal, existem técnicas e algoritmos de conversão bem conhecidos. Como exemplo, pode citar-se a conversão de sinais sob a forma de escada, a integração de dupla rampa e a conversão em aproximações sucessivas. A técnica de aproximações sucessivas apresenta a vantagem de operar com grande rapidez, uma vez que uma sucessão de tensões ponderadas é comparada com o sinal de entrada. Cada nível de tensão sucessivo é armazenado se for menor que o sinal recebido na entrada, mas se este nível de tensão for maior que o recebido ele é rejeitado. O processo é repetido dígito por dígito até que a precisão desejada seja obtida. A velocidade do processo de conversão por aproximações sucessivas é limitada apenas pelos retardos de propagação nos circuitos, sendo o conversor capaz de executar milhares de conversões por segundo (SOUSA, 1998, p.414).

O conversor analógico-digital utilizado no presente trabalho foi o ADC0804 desenvolvido com tecnologia CMOS, pela *National Semiconductor*². Este conversor está baseado na técnica de conversão em aproximações sucessivas com resolução de 8 bits e tempo de conversão entre 66µs e 73µs, de acordo com as especificações em seu *Data Sheet*. Dispõe ainda, de oito entradas multiplexadas. Estas entradas podem ser acessadas individualmente através de 3-bits de endereçamento (CS, WR e RD). Para que a

²Data Sheet obtido no site da DataSheetCatalog. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS005671.PDF>>.

conversão tenha início, é necessário enviar um sinal de partida (start), e uma vez terminado o processo de conversão, o correspondente valor digital referente à entrada analógica selecionada estará disponível nos 8-bits de saída (D0-D7).

Os pinos 6 e 7 são aqueles que “leem” o valor analógico a ser convertido. Estas entradas analógicas, $V_{IN (+)}$ e $V_{IN (-)}$, são protegidas contra sobrecargas, mas para um bom funcionamento, os sinais aplicados devem estar entre 0V e a tensão de alimentação. Já o sinal do *clock* para estes A/Ds pode ser derivado das fontes externas, tais como um *clock* do sistema, ou *self-clocking* (auto sincronizado), que facilmente se realiza adicionando um resistor e um capacitor externos, como usado na construção deste circuito.

O ADC0804 obtém o valor medido de tensão do diodo laser e o converte para código binário que, então, é enviado para o computador via porta paralela. Esta numeração, em valor binário, é interpretada pelo *software* que controla todo o circuito e calcula o valor de tensão lido pelo Circuito Integrado. É importante salientar a porta paralela que é empregada para gerar as palavras de controle necessárias para o funcionamento do conversor A/D e também para o recebimento de dados provenientes do mesmo. Em alguns computadores, no entanto, este fluxo de dados bidirecional precisa ser ativado por meio de um *jump* existente na placa de porta paralela do microcomputador ou em alguns casos (micros IBM, por exemplo) a configuração deste modo de operação deve ser feita através da BIOS do computador. No caso deste projeto, o fluxo bidirecional da porta paralela foi ativado através da BIOS no modo EPP.

Neste projeto o ADC0804 foi configurado como indicado na Figura 5 que ilustra o diagrama elétrico do módulo conversor e sua conexão com a porta de comunicação paralela do computador.

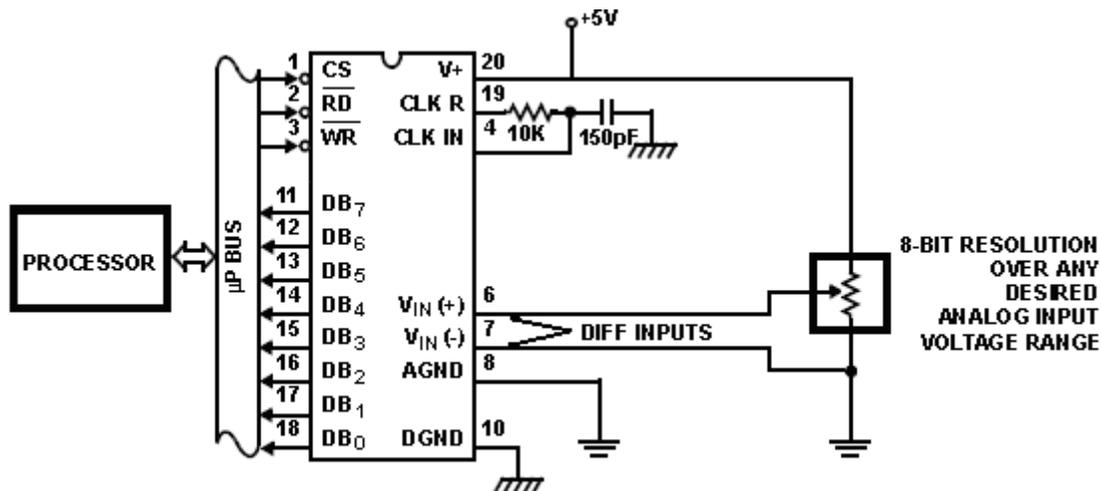


Figura 5 – Esquema de funcionamento do ADC0804.
Fonte: Data Sheet, 2002.

Para que se possa utilizar o conversor, deve-se habilitar seu funcionamento através do pino \overline{CS} , fornecendo um valor lógico zero (GND), já que sua entrada é invertida. A mesma tensão que é aplicada ao V_{CC} do conversor A/D será aplicada ao circuito, sendo seu valor de 5V.

O início e fim da conversão é controlado a partir do pino \overline{WR} , de entrada invertida, sendo necessária a sua habilitação. Sua entrada é alternada, através da porta paralela, entre os valores lógicos: baixo e alto que indicam, respectivamente, o início e o fim da conversão. Para a leitura do sinal convertido é preciso enviar ao pino \overline{RD} , de lógica também invertida, um valor baixo. Neste projeto, o pino \overline{RD} é

mantido sempre habilitado. De modo que quando houver um valor convertido, ele imediatamente envia para as saídas DB0-DB7, ligadas a porta paralela, fornecendo assim uma palavra de 8 *bits* correspondendo ao valor da tensão lido pelo conversor A/D. O esquema elétrico deste projeto, indicando a conversão da tensão, é mostrado na ilustração a seguir.

Para este projeto, é preciso medir tanto a tensão como a corrente através laser de semiconductor, de tal modo que seriam necessários o uso de dois CI's (ADC0804), um destinado a medir a corrente e outro destinado a medir a tensão do laser. Para reduzir o tamanho do circuito, optou-se por usar um relé para alternar a leitura da tensão sobre o resistor e o laser que estão em série no circuito.

Os relés são dispositivos comutadores eletromecânicos que podem ser comparados a interruptores e chaves acionadas por um sinal elétrico. O relé possui uma bobina onde instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar um par de contatos, através do campo magnético que é gerado. Este par de contatos, na ausência de corrente na bobina, fica separado. Na presença de corrente, o campo magnético atrai um dos contatos que encosta no outro.

Com esse funcionamento, o relé é usado no circuito como um multiplexador de dois canais, como é mostrado no diagrama elétrico da Figura 6.

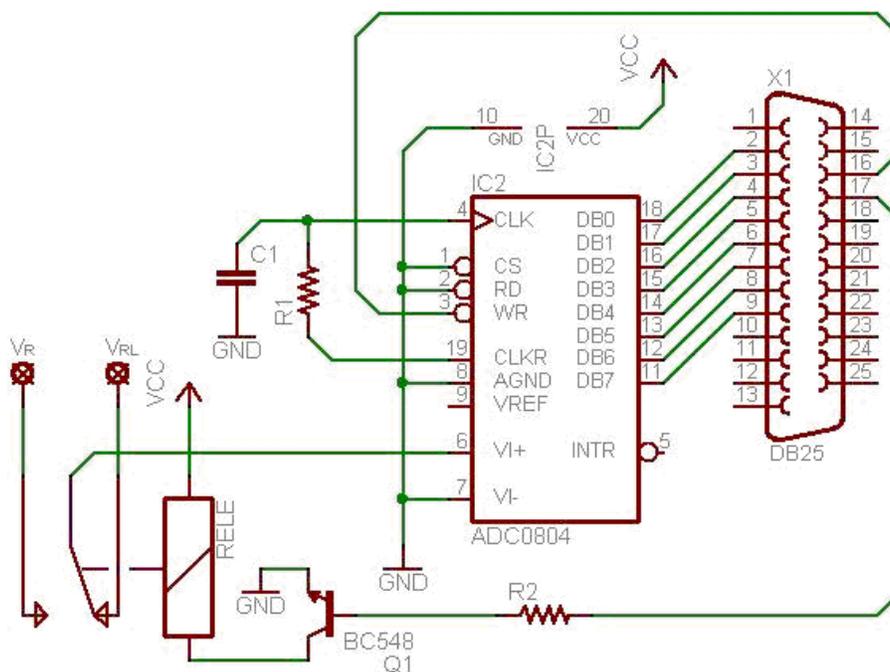


Figura 6 – Esquema elétrico do conversor ADC0804.

Com o sinal lógico zero, ele recebe a tensão sobre o laser e o resistor que estão em série e envia ao conversor A/D este valor. Já se o valor lógico recebido for igual a um, será medida a tensão somente sobre o resistor que novamente é enviado ao conversor. Através da leitura destas duas tensões é possível determinar a tensão sobre o laser a partir de um cálculo simples: $V_L = V_{LR} - V_R$, em que:

- V_L indica a tensão sobre o laser;
- V_{LR} é a tensão sobre o laser e o resistor em série;

- V_R é a queda de tensão sobre o resistor.

Como o circuito eletrônico mede unicamente os valores de tensão, para saber os valores de corrente, que fluem no laser de semicondutor, basta calculá-los através da Lei de Ohm. Deste modo, tem-se que: a corrente (I) que flui num circuito elétrico é diretamente proporcional à tensão (V) aplicada e inversamente proporcional à resistência (R) oferecida pelos elementos do circuito à passagem da corrente ($I = V/R$).

Com esses dados em mãos, é possível construir o gráfico da tensão x corrente ($V \times I$) do laser. Quando as variações da tensão e da corrente se tornam contínuas, é feita a leitura de seus valores e através do cálculo da Regressão Linear é obtida a tangente à curva do gráfico que determinará a tensão limiar para o cálculo da constante de Planck.

O circuito eletrônico, desenvolvido neste trabalho, responsável pela automatização da maquete experimental, e todos os seus componentes podem ser visto na Figura 7. O circuito deve ser conectado a porta paralela do computador através do DB25, e suas entradas V_{LR} e V_R são conectadas ao laser de semicondutor, a tensão no circuito é fornecida por uma fonte de 5 V.

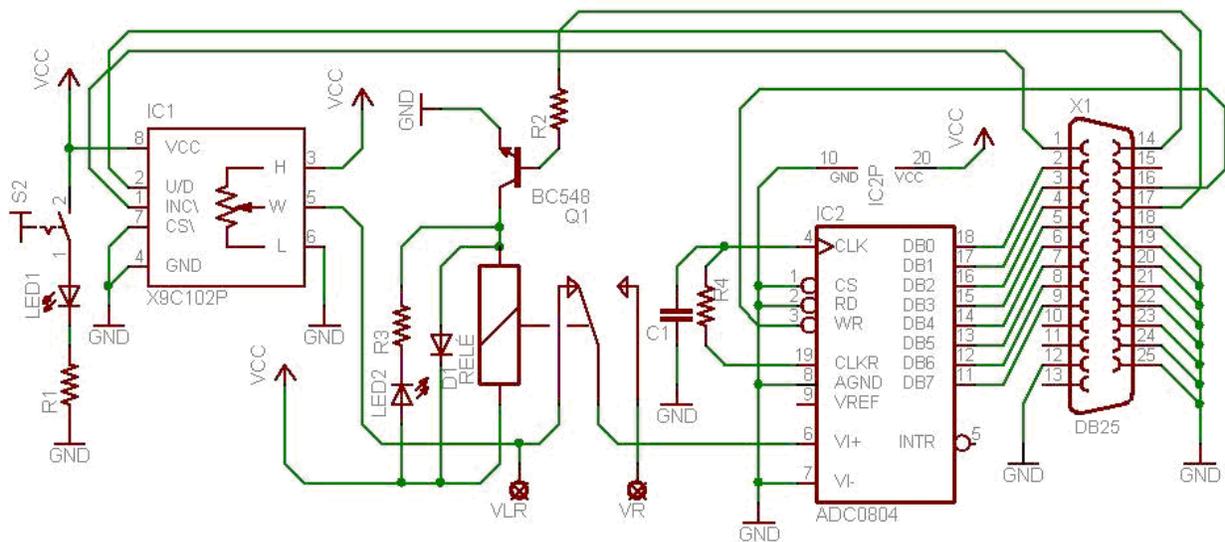


Figura 7 – Circuito eletrônico para determinação da constante de Planck.

4. A Ferramenta Web

Esta seção apresenta a forma como a ferramenta web foi desenvolvida. Primeiramente será abordada a modelagem do sistema, para então descrever a sua implementação. O sistema é baseado na arquitetura cliente servidor, sendo detalhadas aqui cada uma das suas funções.

4.1 Modelagem do Sistema

O modelo de casos de uso exerce um papel importante na análise de sistemas. É através dele que se dá a descoberta e validação de requisitos; além disso, os casos de uso constituem elementos que estruturam todas as etapas do processo de *software*, descrevendo a funcionalidade do sistema. Esse modelo é formado por relacionamentos entre atores e casos de uso, sendo que cada caso de uso descreve uma sequência de interações entre o usuário e o sistema.

Através do levantamento de requisitos para o sistema da determinação da constante de Planck, foram identificados dois atores: o Administrador e o Aluno. A Figura 8 mostra o diagrama de casos de uso do sistema.

O ator Administrador é responsável pelo cadastro de novos usuários no sistema, assim como exclusão e pesquisa dos já existentes. Este tipo de usuário é, geralmente, constituído por funcionários do Laboratório de Óptica e professores do Curso de Licenciatura em Física da UESB. O uso das funcionalidades do sistema para este ator, exceto a visualização da teoria sobre do laser de diodo, somente é permitido através de uma prévia autenticação no sistema. Para inclusão de um novo usuário é necessário o fornecimento de um nome único e uma senha que são armazenados num banco de dados.

O ator Aluno é representado por todos os estudantes do curso de física da UESB ou de outras universidades que forem cadastrados na base de dados do sistema. Uma vez autenticada, a sessão Aluno é iniciada, sendo permitido ao usuário a realização do experimento via Internet e a alteração da senha. Para alterar a senha, o aluno deve fornecer a atual e a nova senha, sendo que sua modificação só será efetuada se a senha atual for compatível com a armazenada no banco de dados.

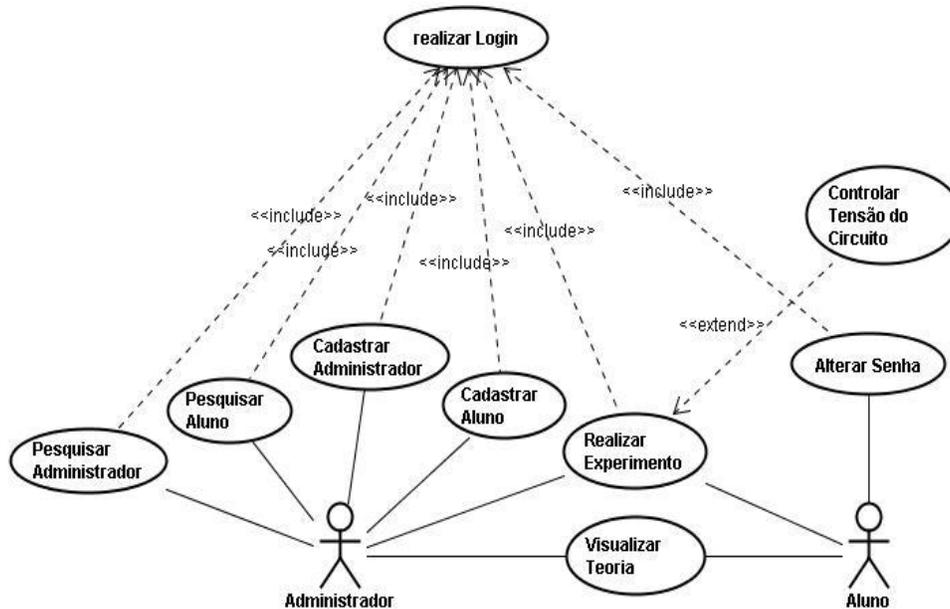


Figura 8 – Modelo de casos de uso para o sistema da determinação da constante de Planck.

Durante a realização do experimento, o aluno terá acesso aos valores medidos de tensão x corrente, ao gráfico plotado com o auxílio dos resultados obtidos, à equação da reta gerada no gráfico utilizando método de regressão linear e ao valor obtido para a constante de Planck.

4.2 Implementação do Sistema

Este sistema controla a operação do potenciômetro digital por intermédio de sinais enviados pela porta paralela do computador a fim de aumentar ou reduzir a tensão sobre o laser de semicondutor. Além desta função, o programa gerencia a transmissão dos dados digitais, transformados pelo conversor A/D, para a CPU do computador. Essas informações são processadas e apresentadas para o usuário na tela principal do programa em tempo real, via Internet.

A ferramenta é constituída por duas partes: o Servidor e o Cliente. O Servidor, desenvolvido com a linguagem Java, é diretamente responsável pelo controle do circuito eletrônico, através de instruções enviadas pela porta paralela. O sistema Cliente, desenvolvido com as linguagens *Java Script*, HTML, CSS, *Servlet* e JSP, implementa a interface para o usuário, podendo ser visualizada através de qualquer navegador com conexão à internet.

O acesso ao sistema só é permitido aos usuários cadastrados. O usuário do tipo aluno pode alterar sua senha, atualizar seus dados, manipular e visualizar o experimento. O administrador pode cadastrar novos usuários e também realizar o experimento. Após a autenticação do nome do usuário e da senha, o sistema direciona o usuário para o aplicativo correspondente as suas permissões.

Ao entrar no sistema, o usuário tem acesso uma página ilustrada que contém: a imagem da maquete experimental (Figura 2), fundamentos teóricos sobre a radiação dos lasers de diodo, descrição da maquete experimental e os dados do experimento.

4.2.1 Comunicação Cliente e Servidor

A comunicação entre Cliente e Servidor é realizada com Java Socket, que consiste numa API para a invocação de métodos remotamente de outra aplicação Java, baseada em fluxo de dados, permitindo aos aplicativos visualizar a rede como uma entrada/saída de dados.

Com sockets de fluxo um processo estabelece uma comunicação com outro processo fornecendo um *serviço orientado para conexão*, sendo o TCP (*transmission control protocol*) o protocolo utilizado para conexão. Assim, enquanto a conexão estiver ativa, os dados fluem entre os processos em fluxos contínuos. (PEREIRA, 2008).

Os sockets são compostos por um conjunto de primitivas do sistema operacional e foram originalmente desenvolvidos para o BSD Unix. Podem ser utilizados nos mais variados sistemas operacionais com recursos de comunicação em rede, sendo suportados pela maioria das linguagens de programação. Sockets são suportados em Java desde o JDK 1.0, para sua utilização deve-se fazer uso das classes contidas no pacote `java.net`(PEREIRA, 2008).

O Servidor assim que iniciado executa sem interrupções, sempre aguardando uma conexão com o Cliente. Quando o Cliente se conecta, ele solicita os métodos do sistema Servidor, o Servidor processa a solicitação e devolve a informação ao Cliente, como indicado na Figura 9. Os serviços deste sistema Servidor são oferecidos através da porta de número 5050.

O sistema Servidor é executado no computador servidor do Laboratório de Física sem interrupções. Neste sistema encontra-se praticamente toda a implementação dos métodos que o sistema Cliente irá utilizar para realizar o experimento, como os métodos de leitura e escrita na porta paralela e do cálculo da tensão sobre o laser. Como o sistema Servidor foi desenvolvido em Java, ele não possui

um acesso direto a parte física do computador. De modo que, para este acesso, é necessário que a linguagem gere um código de máquina, contudo o compilador Java não gera tal código, mas sim um código intermediário que é interpretado para a plataforma utilizada no momento da execução. Assim, para que a aplicação Java consiga comunicar-se com o hardware da porta paralela é necessário o uso da interface de comunicação JNI (*Java Native Interface*), desenvolvida pela Sun. A JNI permite que um código escrito em Java utilize a implementação de bibliotecas escritas em outras linguagens (SEMAAN, 2008).

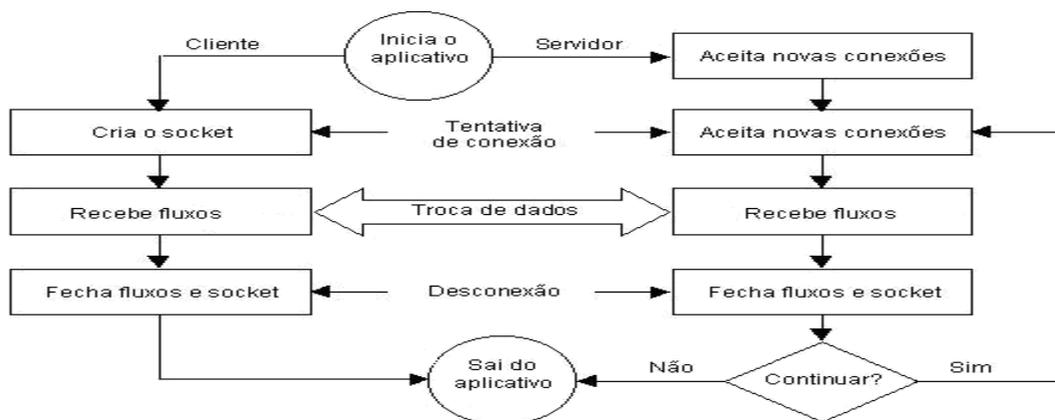


Figura 9 – Fluxo de troca de dados com sockets.

Fonte: Pereira, 2008.

A partir de então é possível reparar essa deficiência do Java, através da importação de uma biblioteca que implemente a comunicação com a porta paralela. O Servidor desenvolvido importa as rotinas do projeto *Parport*³ desenvolvidas na linguagem de programação C++ e embutidas no arquivo *parport.dll*. O *Parport* fornece uma classe chamada *Parallel Port* que permite ler e escrever bytes de e para a porta paralela do computador através dos respectivos métodos *read One Byte* e *write One Byte*, sendo necessário a especificação do endereço. Com o *Parallel Port*, a aplicação Java invoca os métodos desta classe de leitura ou escrita na porta e a ela executa o método correspondente na aplicação em C++, ficando esta operação transparente para o programador.

4.2.2 A Implementação de Controle do Circuito

Os sinais da porta paralela possuem finalidades específicas que atendem os objetivos deste experimento. Assim, determinados sinais são usados para enviar comandos em certa ordem, que permitem a manipulação do potenciômetro digital, acionam o relé e iniciam ou finalizam a conversão analógica/digital, enquanto outros sinais da porta apenas captam dados do dispositivo.

Neste experimento são usados os endereços 37Ah e o 378h da porta paralela. O endereço 378h é usado somente para leitura dos dados do conversor analógico/digital, enquanto o endereço 37A habilita o modo EPP, permitindo a entrada e saída de dados na forma de um *byte*. A Figura 10 mostra o *Byte* enviado pelo endereço 37Ah e a função de cada bit dentro dele.

³O projeto está disponível em <http://www.geocities.com/Juanga69/parport/install.html>.

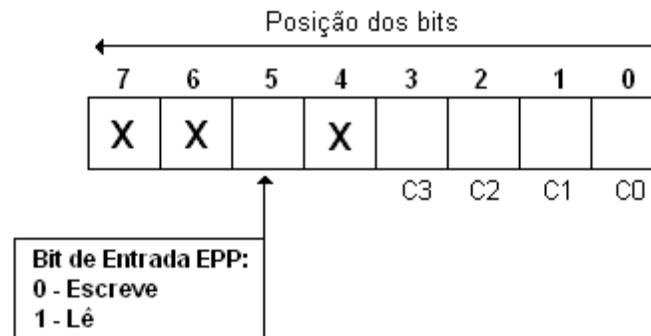


Figura 10 – Byte de controle no modo EPP.

Fonte: Messias, 2009.

Como indica a Figura 10, para controlar a direção dos dados, é necessário manipular o Bit 5 do byte do Registrador de Controle, localizado na porta LPT1 37Ah. Se este bit for colocado no estado lógico baixo 0, pode-se como já usado habitualmente, escrever no Registro de Dados; LPT1 378h. Para receber 8 bits de uma só vez, o que se precisa fazer é colocar o Bit 5 no estado lógico alto 1. Os Bits 7, 6 e 4 não são usados neste modo (Messias, 2009). Os demais bits controlam os pinos C3 à C0 que estão especificados na Tabela 1, abaixo:

Tabela 1 - Sinais de controle do projeto pela porta paralela.

Pinos	Nome	Função no Circuito
1	C0	Incrementa Potenciômetro
14	C1	Seleciona Up/Down no Potenciômetro
16	C2	Início e fim da conversão
17	C3	Aciona Relé
2 a 9	D0 a D7	Saída do conversor A/D

Como indicado na tabela, o pino 17, relativo ao Bit 3 da Figura 10, seleciona o chaveamento do relé, quando este recebe um sinal baixo passa a receber a tensão sobre a resistência e o laser, que estão em série no circuito. Mas, quando seu valor é alto, o relé lê somente o valor da tensão sobre a resistência.

O controle do conversor analógico/digital é feito pelo pino 16 (Bit 2 da Figura 10). Para iniciar a conversão este bit é colocado no estado lógico alto, já para finalizar a conversão é enviado um valor baixo para esse bit.

O potenciômetro digital é controlado pelos pinos 1 e 14. O pino 14 em nível alto seleciona o aumento na resistência do potenciômetro; mas se a entrada for um nível baixo, será selecionada a diminuição da resistência. O valor da resistência passa a ser decrementado ou incrementado através do pino 1, de acordo com a seleção feita no anteriormente no pino 14. Os pinos 2 a 9 recebem o sinal convertido um byte através de uma leitura feita no endereço 378h da porta paralela.

4.2.3 A Realização do Experimento

Tanto o módulo Administrador quanto o módulo Aluno, como dito anteriormente, tem a opção de realizar o experimento após obter a autenticação no sistema. O usuário ao optar por realizar experimento no menu de sua página será direcionado para uma nova página, mostrada na Figura 11.

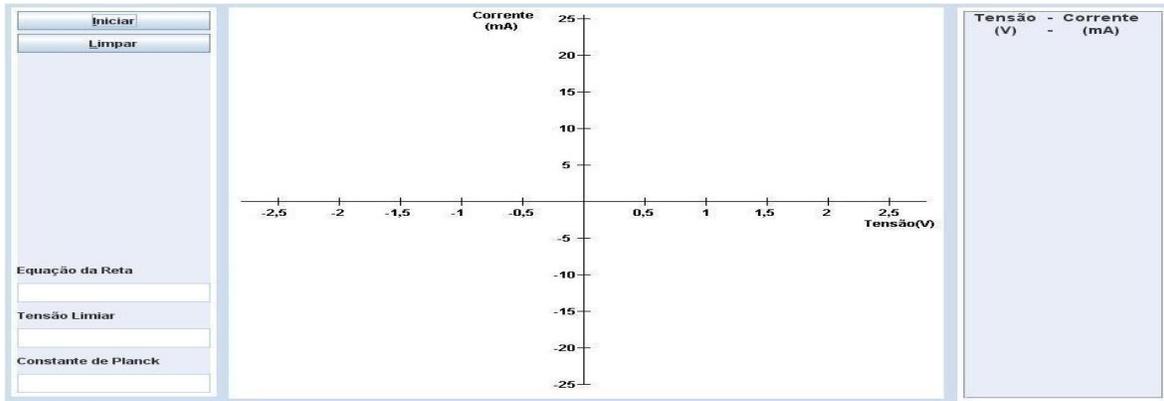


Figura 11 – Tela inicial do experimento.

O usuário poderá controlar o experimento através dos botões “Iniciar” e “Limpar”. Ao clicar em “Iniciar” o programa Cliente estabelece uma comunicação com o Servidor por meio de sockets. O Servidor contém todos os métodos responsáveis pelo envio e recebimento de dados através da porta paralela. Então, o Servidor recebe do Cliente uma solicitação para iniciar o experimento e invoca o método “automático”, mostrado na Figura 12.

```

184     public void automatico(){
185
186         for(int i= 0; i < TAMANHO; i++){
187
188             gravar37A(40);
189             gravar37A(41);
190             gravar37A(40);
191
192             tensaoR = captura2();
193             tensaoL = captura1()-tensaoR;
194             corrente = tensaoR/rlaser;
195
196             voltampere[0][i] = (int) Math.round(tensaoL*100);
197             voltampere[1][i] = (int) Math.round(corrente*10000);
198
199         }
200     }
201

```

Figura 12 – Trecho do código do sistema Servidor com o método que inicia o experimento.

O método “automático” chama outro método, o “gravar37A”, que recebe o byte e o envia para a porta paralela. Ao enviar o valor 40, o modo EPP é selecionado e aciona-se o contador do potenciômetro para ser decrementado. Ao enviar o valor 41, passa-se a mover o contador do potenciômetro, esse processo é repetido até que o potenciômetro atinja seu número máximo de passos, que corresponde a 100. Os métodos captura2 e captura1 leem, respectivamente, os valores da tensão sobre o resistor e o valor sobre o resistor em série com o laser. O sistema, então, calcula a tensão e a corrente sobre o laser e armazena em uma matriz que finalmente é passada ao Cliente.

O sistema Cliente é encarregado do cálculo dos demais resultados apresentados ao usuário. Ao receber a matriz, ele exibe os valores da corrente e da tensão sobre o laser em uma área de texto. A partir de então, o aplicativo constrói o gráfico da corrente que atravessa o laser de semiconductor em função da tensão aplicada sobre o mesmo, formando assim a curva característica do laser de semiconductor (ver

Figura 13). A seguir o sistema obtém a equação da reta, tangente à curva característica do laser, através do cálculo da Regressão Linear (REIS, 1994). O valor dessa reta ao cruzar o eixo x é o que determina a tensão limiar do laser, cujo valor é uma estimativa da tensão na qual o laser começa a emitir luz.

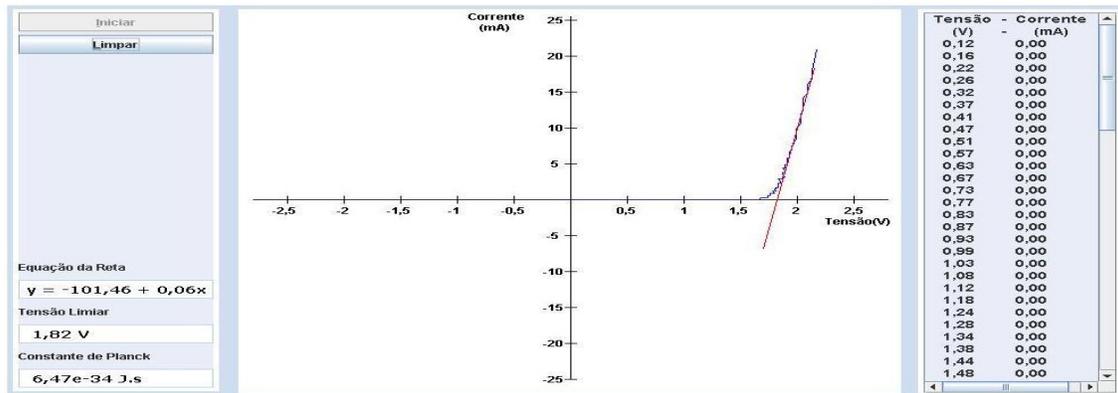


Figura 13 – Tela indicando os resultados do experimento.

O sistema Cliente armazena as demais grandezas físicas necessários a este cálculo, como o período e a ordem da rede de difração, a carga do elétron e a velocidade da luz. Assim, com esses valores e com a tensão limiar obtida é possível calcular a constante de Planck. A equação da reta, a tensão limiar e a constante de Planck são então exibidas ao Cliente, nos respectivos campos mostrados na Figura 13. O botão “Iniciar” passa a ser desabilitado e só poderá ser pressionado novamente se usuário selecionar o botão “Limpar”.

O botão “Limpar” ao ser pressionado solicita ao Servidor que cesse a corrente sobre o laser de semiconductor, zerando assim a matriz que contém os valores de tensão e corrente sobre o mesmo. A Figura 14 mostra o método “zerar” presente no sistema Servidor.

```

202     public void zerar(){
203
204         for(int i=0; i<TAMANHO; i++){
205
206             gravar37A(42);
207             gravar37A(43);
208             gravar37A(42);
209
210         }
211     }

```

Figura 14 – Trecho do código do sistema Servidor com o método que zera o valor da tensão.

O método zerar envia um byte de valor 42 à porta paralela que aciona o contador do potenciômetro para ser incrementado. E em seguida envia um novo byte com valor 42 que incrementa a resistência do potenciômetro digital. Essas instruções são repetidas até que a corrente sobre o laser tenha seu valor nulo. Todos os dados presentes no aplicativo Cliente são então reinicializados.

Ao finalizar o experimento, o aluno através da análise dos resultados obtidos e do gráfico gerado pelo sistema, conhece o valor limiar de tensão do laser necessário para o cálculo da constante de Planck e que determina o início da emissão de luz coerente.

5. Considerações Finais

Para determinação da constante de Planck foi construída uma maquete experimental automatizada constituída pelos seguintes componentes: plataforma com o laser de semiconductor; rede de difração fixa em um suporte; régua; circuito eletrônico. O circuito eletrônico contém um laser de semiconductor de pequenas dimensões (laser point), cuja curva característica Ampère x Volt é obtida utilizando-se um potenciômetro digital. O circuito eletrônico comunica-se com o computador em todos os âmbitos do experimento, incluindo as medições da tensão e da corrente do laser de semiconductor, a construção do gráfico da curva característica do laser e o cálculo da constante de Planck. A escolha do laser de semiconductor é interessante pela sua importância como aparelho da optoeletrônica. Neste sentido, existe interesse na realização de outros experimentos de física moderna automatizados como, por exemplo, o estudo do espectro de radiação do laser, o estudo do diagrama direcional da sua radiação. Entretanto, existe, também a possibilidade de automatização de experimentos didáticos convencionais relacionados com os fenômenos de interferência e difração, onde o laser de semiconductor encontra aplicação.

A experiência de ensino na UESB, Universidade multicampi, mostra que a automatização dos laboratórios de física geral em desenvolvimento nesta IES desde 2005, pode ser utilizada não somente nos cursos de graduação em física, modalidade à distância, mas também nos cursos presenciais dos campi da instituição, com custo-benefício menor que a duplicação desses laboratórios.

Para a transmissão de imagens do experimento durante a sua realização, propõe-se a criação de um servidor de vídeo que transmita aos alunos os dados obtidos por meio de uma *webcam*. Para este servidor de vídeo, propõem-se o uso da tecnologia *Firewire* que é uma interface serial para computadores pessoais e aparelhos digitais de áudio e vídeo que oferece comunicações de alta velocidade e serviços de dados em tempo real. Essa tecnologia traz a vantagem de ser extremamente rápida, permitindo transferências a 400 MB/s. Com isso, o projeto tornar-se-á mais robusto, fornecendo um recurso de multimídia que aperfeiçoará o projeto para a educação à distância.

Está em desenvolvimento um sistema com um sensor móvel para registrar, automaticamente, a posição do máximo de difração secundária da emissão laser depois da passagem pela rede de difração, na régua graduada instalada na maquete.

Como sabemos, novos modelos educacionais de interação têm emergido em função da difusão e do avanço das Novas Tecnologias da Informação e Comunicação – NTIC's. Verifica-se que as tecnologias de software e hardware evoluem constantemente e é perceptível como componentes eletrônicos e aplicativos de software se tornam obsoletos em intervalos pequenos de tempo. Dessa forma, buscando manter a maquete automatizada atualizada, em relação às tecnologias citadas anteriormente, está em fase de desenvolvimento a atualização dos sistemas eletrônico e de software que controlam a maquete. A principal mudança no sistema de controle é a interface de comunicação com o computador, onde essa nova comunicação será baseada no protocolo USB. Esse novo sistema é baseado no microcontrolador ATMEL328 (Atmel, 2015) e no conversor FT232RL(FTDI, 2015) por meio da plataforma Arduino(Arduino, 2015). Essa plataforma é um projeto de circuito de código aberto, baseado em microcontrolador da indústria Atmel. Uma placa física em código aberto baseada em um circuito de entradas e saídas simples. A mesma já possui conversor analógico/digital e não será necessário o uso de um componente eletrônico específico para tal finalidade. Assim, será possível gerenciar o controle da maquete automatizada usando a interface USB do computador, por meio de um dispositivo de baixo custo.

Referências

- ANDREEV, V.V. KOROLKOV, V.I. TCHUPROV, D.V (2008). **Tecnologias National Instruments nas práticas laboratoriais da URAP**. Acesso em: 20 de janeiro. 2017 (em russo).
- ATMEL, A. (2015). **8-bit Microcontroller with 4/8/16/32 Kbytes**. In-System Programmable Flash. Datasheet:<http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf>. Acesso em: 09 de abril de 2017.
- BRAGA, N. C. **Como funcionam os potenciômetros digitais e DACs**. Disponível em: www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6026-art1322. Acessado em 22.02.2017.
- CHELLA, M. T. (2006). **Arquitetura para laboratório de acesso remoto com aplicações educacionais**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas – SP.
- CHEN, X., Song, G., & Zhang, Y. (2010). **Virtual and Remote Laboratory Development: A Review**. Earth and Space 2010: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, 368-368. Asce. doi:10.1061/41096(366)368.
- EISBERG R. RESNICK, R. (2005). **Física Quântica - Radiação térmica e o postulado de Planck**, p. 17, 23ª. Tiragem. Grupo Editorial Campus
- CAVALCANTE, M. A; HAAG, R. (2005). **Corpo negro e determinação experimental da constante de Planck**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 27, nº 3, p. 343-348.
- DATASHEET. ADC0803/0804.** October 17, 2002. Disponível em: <<http://pdf1.alldatasheet.co.kr/datasheet-pdf/view/83230/PHILIPS/ADC0804.html>>. Acesso em: 24 de mai. 2007.
- DATASHEET: Digitally Controlled Potentiometer.** December 20, 2006. Disponível em: <<http://www.intersil.com/data/fn/FN8222.pdf>>. Acesso em: 23 de abr. 2008.
- DOMÍNGUEZ, M. FUERTES, J. J. PRADA, M. A. ALONSO, S. MORÁN, A. (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.
- DUCHARME, S. (2008). **Semiconductor Diode Lasers**. University of Nebraska.
- FTDI CHIP. (United Kingdom). **FT232R USB UART IC Datasheet Block Diagram**. Version 2.13. ed. [S.l.]: Future Technology Devices International Limited, 2015. 47 p.

GRAVIER, C. FAYOLLE, J. BAYARD, B. ATES, M. LARDON, J. (2008). **State of the art about remote laboratories paradigms** - foundations of ongoing mutations. *International Journal of Online Engineering*, 1, 1-9.

GOMES, L. BOGOSYAN, S. (2009). **Current Trends in Remote Laboratories**. *IEEE Transactionson Industrial Electronics*, 56(12), 4744-4756

JAVA: Linguagem de Programação. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Java_\(linguagem_de_programação\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Java_(linguagem_de_programação))>. Acesso em: 20 de ago. 2007.

JUNIOR, S. L. S. SILVA, R. A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos**. 1 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2015. 296 p.

MA, J. NICKERSON, J. V. (2006). **Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories**: A Comparative Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 7-es. doi:10.1145/1132960.1132961.

MESSIAS, A.R. (2009). **Introdução à porta paralela**. <http://www.rogercom.com/pparalela/introducao.htm>>. Acesso em 28/02/2017.

MOREIRA, K. P. (2008). **A determinação da constante de Planck com auxílio de uma maquete experimental automatizada**. Monografia (Bacharel em Ciência da Computação). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 71 p.

Laser-portal.ru **Lasers de semicondutor**. Aplicação dos lasers de semicondutores (em russo). Acesso em 16 de fevereiro de 2017.

PEREIRA, P. **Sockets com Java**: Parte I. Disponível em: <http://www.devmedia.com.br/articles/viewcomp_forprint.asp?comp=9465>. Acesso em: 10 de jul. 2008.

SANTOS, E. BEZERRA, A. PEREIRA, R. DIAS, M. LOPEZ-RICHARD, V. (2009). **Experimento para a Determinação da Constante de Planck para o Ensino Médio**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF – Vitória, ES.

Regressão linear. In: **Wikipédia**: a enciclopédia livre. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Regressão_linear>. Acesso em: 20 de jun. 2008.

REIS, E. (1994). **Estatística descritiva**. 2.ed. Lisboa: Edições Sílabo.

SEMAAN, G. S. JNI: **Interação Java e Delphi**. In: Javafree. Disponível em: <<http://www.javafree.org/content/view.jf?idContent=40>>. Acesso em 16 de jul. 2008.

STRAKOVISKY, G. M. USPENSK, A. B. (1973). **Fundamentos de eletrônica quântica**. Rússia: Escola Superior.

SOUSA, D. F. *et al.* (1998). **Aquisição de dados e aplicações simples usando a porta paralela do Micro PC**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 20, nº 4, p. 413-421, dez.

YARIV, A. “**Quantum electronics**”. John Wiley & Sons, NY, 3rd Edition (1989)