

Ensino de óptica e fotônica utilizando instrumentação: a experiência do curso de Engenharia Física da Universidade Federal de Lavras

Flavio A. M. Marques, Jonas H. Osório, Alexandre A. C. Cotta, Jefferson E. Tsuchida, Julio C. Ugucioni,
Diego C. Fuzatto
Laboratório Multiusuário de Óptica e Fotônica (LaMOF), Instituto de Ciências Naturais, Departamento de Física,
Universidade Federal de Lavras

Ao se considerar o contexto científico e tecnológico atual, nota-se que as áreas de óptica e fotônica são habilitadoras para os novos desenvolvimentos em ciência fundamental e aplicada. Assim, a formação de profissionais com sólidos conhecimentos em física aplicados à engenharia e capazes de atender às demandas por inovação e tecnologia se torna imperativo. Dessa forma, a formação em engenharia física desponta como área estratégica, já que tais profissionais são especializados em elaborar, gerenciar e executar projetos avançados em diversas áreas, tanto em empresas e indústrias, quanto em institutos de pesquisa e universidades, agregando, assim, valor tecnológico à sociedade.

No curso de graduação em Engenharia Física oferecido pelo Departamento de Física (DFI) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), o foco da formação do aluno está na instrumentação, o que é essencial para o desenvolvimento tecnológico do país. Com uma base sólida em ciências básicas, os alunos são preparados para aplicar seus conhecimentos na resolução de problemas em ciência, tecnologia e inovação, abrangendo tópicos como mecânica quântica, física do estado sólido, eletrônica e optoeletrônica. A formação multidisciplinar capacita o engenheiro físico a desenvolver instrumentação de alta tecnologia e contribu-

ir para o avanço de novos materiais em áreas como engenharia e nanotecnologia, tornando-o apto a enfrentar os desafios tecnológicos do presente e do futuro [1].

No oitavo período do curso de Engenharia Física, os alunos são introduzidos à disciplina teórica obrigatória de óptica e fotônica. Durante esta disciplina, os estudantes adquirem conhecimentos fundamentais sobre óptica e fotônica, explorando uma ampla gama de tópicos, incluindo o estudo das ondas eletromagnéticas, interação da luz com a matéria, fontes de luz coerentes e incoerentes, tipos de fotodetectores, e temas avançados como holografia e displays de cristal líquido [2, 3, 4]. No semestre seguinte, os alunos se dedicam à disciplina prática de Instrumentação em Óptica e Fotônica, onde aplicam os conceitos teóricos na montagem e desenvolvimento de instrumentos ópticos completos, com aplicações práticas em diversas áreas como científica, industrial ou didática. Esta abordagem prática visa capacitar os alunos a utilizar a instrumentação óptica de forma eficaz na resolução de problemas reais. Nos parágrafos seguintes, descrevemos uma seleção de projetos desenvolvidos pelos alunos na disciplina acima mencionada de modo a ilustrar a experiência da equipe do Laboratório Multiusuário de Óptica e Fotônica (LaMOF) no ensino de óptica e fotônica por meio da instrumentação.

No primeiro semestre em que a disciplina foi oferecida (2022/2), os alunos se empenharam no desenvolvimento de um espectrômetro [5]. Partindo de uma estrutura não funcional que havia sido enviada para descarte, os alunos projetaram e construíram uma fonte de tensão simétrica para alimentar o amplificador do fotodiodo e estabeleceram o interfaceamento do Arduino para aquisição de dados via comunicação serial [6, 7]. Utilizaram ainda controladores de ponte H para regular os motores de passo responsáveis pelo movimento das fendas de entrada e saída do feixe de luz, bem como da grade de difração, e realizaram o processo de calibração.

As Figuras 1a e 1b ilustram detalhes internos e externos do aparato, destacando seus principais componentes, como a grade de difração associada a um motor de passo, o fotodiodo amplificado, as fendas, os espelhos e a eletrônica controlada pelo Arduino. A Figura 1c ilustra a calibração do sistema utilizando lâmpadas de hélio, mercúrio e hidrogênio. Na Figura 1c, são apresentados os picos de emissão da lâmpada de hélio em relação aos passos do motor, com os valores de comprimento de onda indicados em nanômetros, permitindo a realização da calibração do espectrômetro de maneira precisa. Além disso, os alunos desenvolveram uma interface gráfica utilizando o ambiente

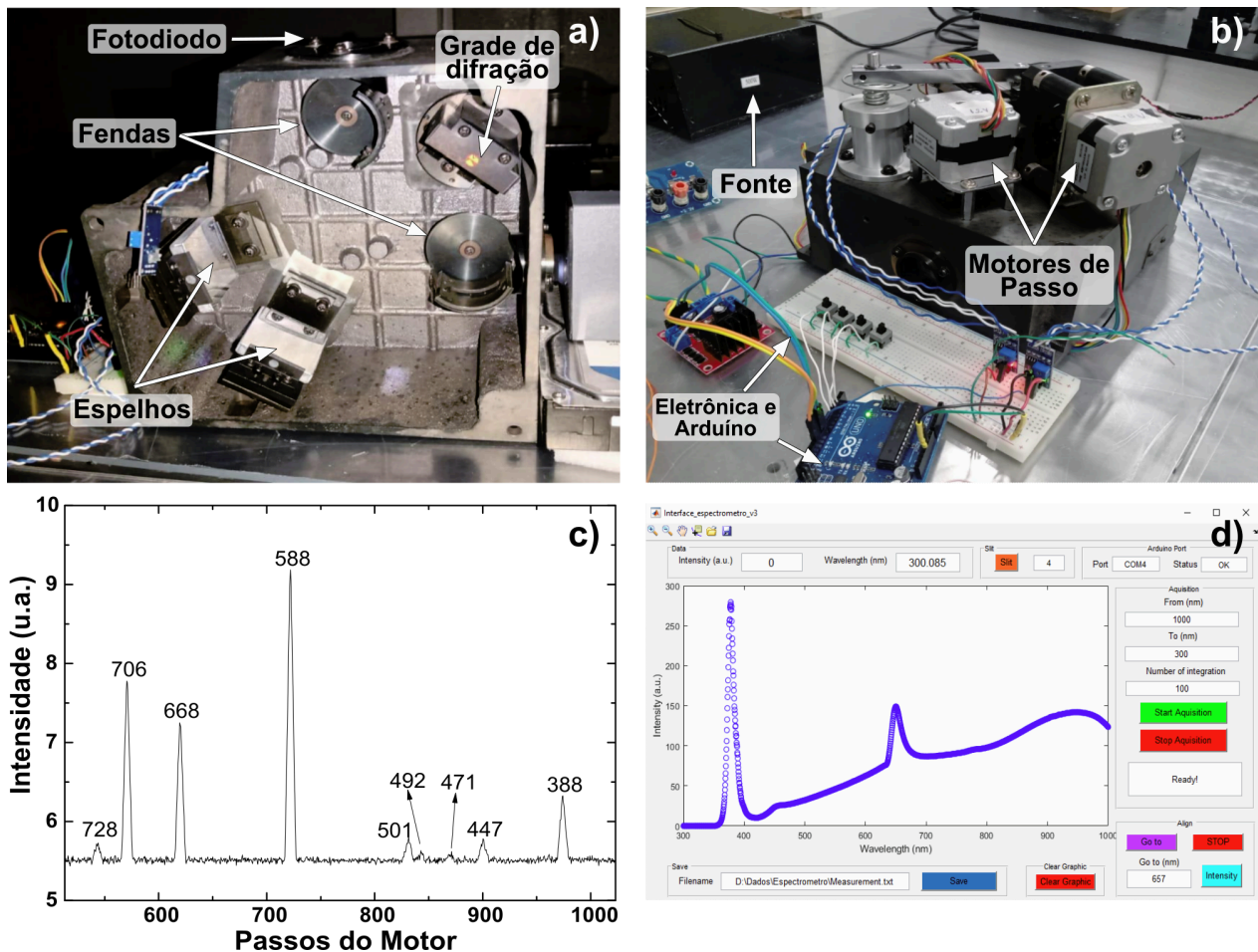


Figura 1. Montagem do espectrômetro: a) Vista interna, destacando os principais componentes; b) Vista externa mostrando a estrutura física e disposição dos elementos; c) Espectro da lâmpada de hélio em relação aos passos do motor, com valores de comprimento de onda em nanômetros; d) Interface gráfica desenvolvida no *MATLAB (GUIDE)* para operação do espectrômetro.

de desenvolvimento de interfaces gráficas do MATLAB (GUIDE, Figura 1d). Essa interface permite a visualização em tempo real dos espectros capturados e oferece diversas funcionalidades, como ajuste da grade de difração para um comprimento de onda específico, medição da intensidade da luz, seleção da fenda desejada e salvamento dos dados obtidos.

No semestre 2023/1, os alunos montaram um microscópio de objetiva invertida para implementar uma pinça óptica. Para isso, utilizaram um microscópio de campo claro convencional e um laser de diodo (635 nm, 30 mW), conforme ilustrado na Figura 2a [8]. O microscópio foi invertido de maneira improvisada, como mostrado na Figura 2a, devido à sedimentação das esferas de poliestireno no fundo da lamínula e a limitações do sistema óptico. Na Figura 2b, é apresentado um esquema da montagem da

pinça óptica, com a descrição dos principais componentes, incluindo um laser de diodo, uma objetiva, um espelho dicróico e uma câmera CMOS. A amostra foi preparada com uma solução de água contendo microesferas de poliestireno com diâmetro de 3 micrômetros e depositadas sobre uma lamínula de microscópio. A Figura 2c mostra uma imagem obtida pela câmera CMOS, ilustrando as microesferas. Ao ajustar a plataforma nos eixos x, y e z, os alunos foram capazes de aprisionar as microesferas na região acima do foco do laser, onde o somatório das forças é nulo, conforme ilustrado na Figura 2d. Os alunos puderam, neste projeto, abordar e aprender sobre o tema de pinças ópticas, que são amplamente utilizadas na pesquisa científica para realizar medidas das propriedades viscoelásticas de células e DNA [8].

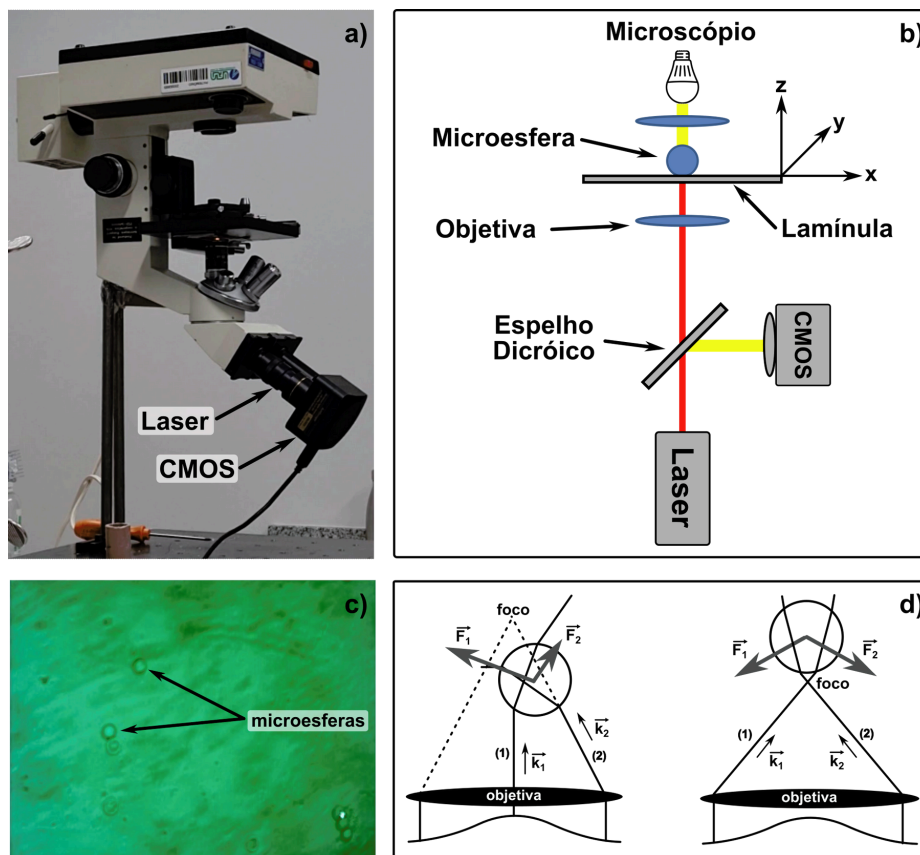


Figura 2. Montagem do microscópio de objetiva invertida para pinça óptica: a) Fotografia da montagem; b) Esquema da configuração da pinça óptica; c) Imagem capturada pela câmera CMOS das microesferas focalizadas; d) Esquema ilustrando as forças atuantes na microesfera na região do foco do laser.

No semestre 2023/2, os alunos revitalizaram um espectrofotômetro *Perkin Elmer Lambda 25 UV-Vis-NIR* que estava inoperante (Figuras 3a e 3b), automatizando-o e restaurando sua funcionalidade. Para isso, utilizaram pontes H, um módulo relé e um Arduino para o interfaceamento. O módulo relé controlou a lâmpada de filamento de tungstênio e a lâmpada de vapor de deutério. Motores de passo, também controlados por pontes H, movimentaram o espelho, a grade de difração e um filtro de densidade neutra. Os feixes da amostra e referência foram obtidos através de um *beamsplitter* 50:50 após a grade de difração (Figura 3a). O espectrofotômetro foi calibrado com lâmpadas de hélio, mercúrio e hidrogênio e os valores dos picos de emissão foram ajustados linearmente (Figura 3c). Após a calibração, os espectros das lâmpadas de va-

por de deutério e incandescente foram obtidos (Figura 3d), demonstrando a cobertura de um amplo espectro nas regiões ultravioleta, visível e infravermelho próximo. Uma interface gráfica similar à anteriormente desenvolvida facilitou a utilização pelo usuário.

Por fim, no semestre de 2024/1, os alunos se concentraram no desenvolvimento de um setup de Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS, *dynamic light scattering*), utilizando uma câmera CMOS e um laser de diodo (Figura 4a) [9, 10]. A Figura 4b apresenta o esquema do setup montado, descrevendo os principais componentes ópticos. A calibração do sistema ocorreu com uma amostra de microesferas de poliestireno, com 3 micrômetros de diâmetro, suspensas em uma mistura de glicerina e água. Uma sequência de imagens da intensidade da luz

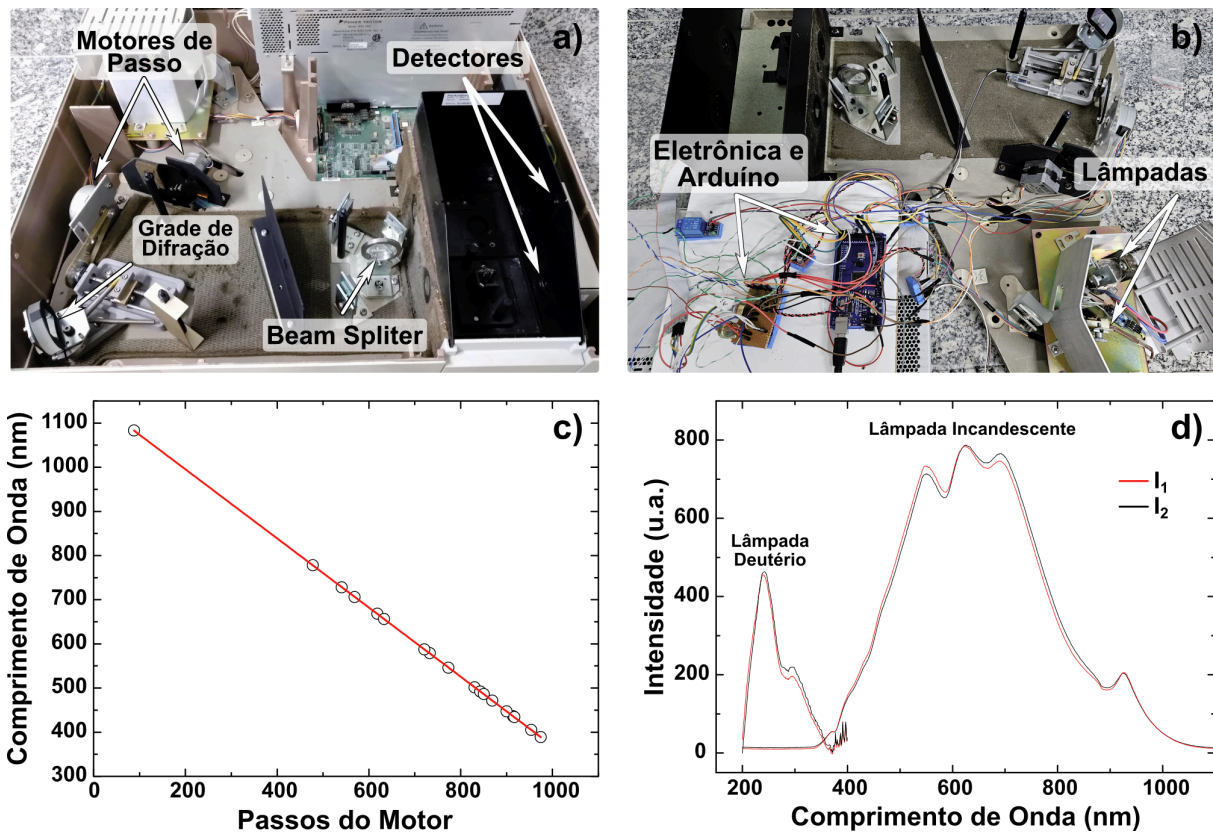


Figura 3. Montagem do espectrofotômetro: a) Fotografia da parte interna; b) Fotografia da parte interna com eletrônica e Arduino integrados; c) Ajuste linear para a calibração do comprimento de onda dos picos de emissão das lâmpadas; d) Espectro das lâmpadas de vapor de deutério e incandescente após a calibração.

espalhada, conhecida como *Speckle*, é registrada pela câmera CMOS (Figura 4c), e posteriormente processada para obter a curva da autocorrelação temporal da intensidade da luz espalhada (Figura 4d). Essa curva, ajustada com uma função exponencial simples, fornece o tempo médio de oscilação da intensidade, refletindo a velocidade das partículas em movimento Browniano na suspensão coloidal. Utilizando a expressão de Stokes-Einstein e parâmetros físicos da solução, como viscosidade, índice de refração e temperatura, é possível calcular o raio hidrodinâmico das partículas em suspensão e, assim, medir as dimensões das partículas suspensas, variando desde poucos nanômetros até micrômetros de diâmetro [9, 10].

Conclusão

Dessa forma, analisamos que durante a montagem desses experimentos os alunos se

depararam com uma série de desafios, tanto de natureza técnica, como ajustes na montagem mecânica das partes móveis e eletrônicas, quanto de natureza científica, como a realização da calibração do sistema, a obtenção de dados e a análise sistemática para testar a validade e a reprodutibilidade do aparato montado. Acreditamos, portanto, que a abordagem da instrumentação proporciona aos alunos um aprendizado sólido que integra conhecimentos teóricos com o mundo real, onde as limitações técnicas e os desafios da engenharia estão sempre presentes. Neste contexto, o curso de Engenharia Física da UFLA destaca-se como um curso altamente versátil, capacitando os alunos com habilidades diversas em múltiplas áreas de conhecimento dentro da física, incluindo eletrônica analógica e digital, microprocessadores, sistemas embarcados, óptica e fotônica, entre outros.

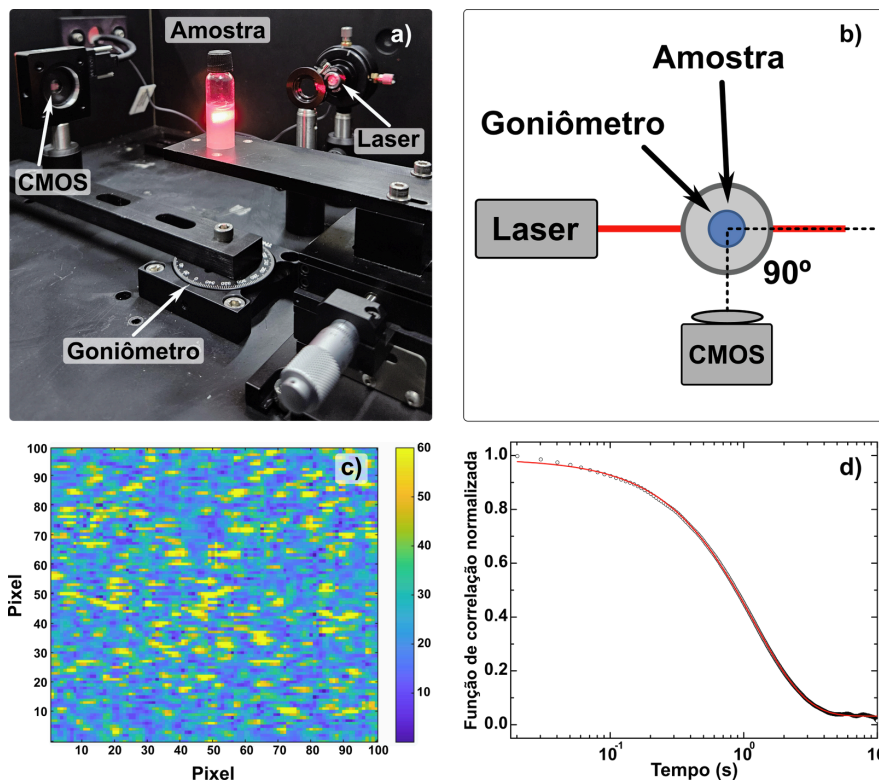


Figura 4. Montagem do espalhamento de luz dinâmico (DLS): a) Fotografia do setup óptico montado dentro de uma caixa para evitar interferência de luz externa; b) Esquema ilustrativo da montagem do setup óptico; c) Exemplo de uma imagem de espalhamento *Speckle* obtida pela câmera CMOS; d) Curva de autocorrelação temporal normalizada da intensidade da luz espalhada ajustada com uma função exponencial simples.

Contatos

Coordenador do Laboratório Multiusuário de Óptica e Fotônica (LaMOF):

jonas.osorio@ufla.br

Coordenador Adjunto do LaMOF:

flavio.marques@ufla.br

Coordenador do curso de Engenharia Física:

jefferson.tsuchida@ufla.br

Coordenador adjunto do curso de Engenharia Física:

julio.ugucioni@dfi.ufla.br

Chefe adjunto do Departamento de Física:

alexandre.cotta@ufla.br

Técnico em Mecatrônica:

diego.fuzatto@ufla.br

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (APQ-01401-22, RED-00046-23), ao CNPq (305024/2023-0) e à UFLA pelo apoio financeiro.

Referências

[1] Instituto de Ciências Naturais (ICN), Universidade Federal de Lavras (UFLA). "Engenharia Física - Bacharelado." [Online]. Disponível em:

<https://icn.ufla.br/graduacao/engenharia-fisica-bacharelado>. Acesso em: 04/05/2024.

[2] B.E.A. Saleh *et al.*, "Fundamentals of photonics". 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2007. 1177 p. (Wiley series in pure and applied optics). ISBN 9780471358329.

[3] S.M. Rezende, "Materiais e dispositivos eletrônicos". 4. ed. São Paulo, SP: Liv. da Física, 2015. 440 p. ISBN 9788578613594.

[4] S.O. Kasap, "Optoelectronics and photonics: principles and practices". New York: Prentice Hall, c2001. 339 p. ISBN 0201610876.

[5] G.A Vanasse, (Ed.). "Spectrometric Techniques. Academic Press", 1977. ISBN 978-0-12-710401-0.

[6] C. Platt, Make: "Electronics: Learning Through Discovery". Maker Media, Inc., 2015. ISBN: 978-1680456875.

[7] M. Banzi *et al.*, "Getting Started with Arduino". Maker Media, Inc., 2014. ISBN: 978-1449363338.

[8] P.H. Jones, *et al.*, "Optical Tweezers: Principles and Applications". Cambridge University Press, 2015. ISBN: 978-1107051164.

[9] B.J Berne, *et al.*, "Dynamic light scattering: with applications to chemistry, biology, and physics". Dover ed. Mineola, N.Y: Dover Publications, 2000. 376 pp. ISBN: 978-0-486-41155-2.

[10] G.L Squires, "Introduction to the theory of thermal neutron scattering". Mineola, N.Y: Dover Publications, 1996. ISBN: 978-0-486-69447-4.