

## História da Física e Ciências Afins

# Herch Moysés Nussenzveig e a ótica quântica: consolidando disciplinas através de escolas de verão e livros-texto

(Herch Moysés Nussenzveig and the quantum optics: Consolidating disciplines through summer schools and textbooks)

Climério Paulo da Silva Neto<sup>1,2</sup>, Olival Freire Junior<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil*

<sup>2</sup>*Programa de Pós-Graduação de Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil*

Recebido em 6/7/2012; Aceito em 19/1/2013; Publicado em 24/4/2013

A ótica passou por uma profunda reconfiguração devido à invenção do laser e a outros desenvolvimentos técnicos e teóricos que ocorreram ao longo da década de 1960, com uma descontinuidade no campo e a consequente criação de uma nova disciplina, a ótica quântica. Nesse artigo discutiremos o papel de escolas de verão e livros-texto na consolidação da ótica quântica através de um estudo de caso focando em dois cursos ministrados pelo físico Herch Moysés Nussenzveig que deram origem a dois dos primeiros livros de ótica quântica. Os cursos foram ministrados na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em 1968, e na Escola Latino-Americana de Física, em 1970. Aqueles foram os primeiros cursos de ótica quântica na América Latina. Veremos como Nussenzveig, seus livros e cursos ajudaram a consolidar e espalhar a ótica quântica pelas Américas.

**Palavras-chave:** história da ótica quântica, Moysés Nussenzveig, Escolas de Verão.

The field of optics was shaken by the invention of the laser and by the new technical and theoretical developments that took place during the 1960s, resulting in a discontinuity in the field and the creation of a new discipline, the quantum optics. In this paper we discuss the role of textbooks and summer schools in the consolidation of quantum optics, with a focus on two courses by the Brazilian physicist Herch Moysés Nussenzveig that originated two out of the five first textbooks on quantum optics. The lectures were presented at the Catholic University of Rio de Janeiro, in 1968, and at the Latin-American School of Physics held in La Plata, Argentina, in 1970. Those were the first lectures on quantum optics in Latin America. We discuss the important role played by Nussenzveig, his textbooks, and his courses to consolidate and spread quantum optics over the Americas.

**Keywords:** history of quantum optics, Moysés Nussenzveig, Summer schools.

## 1. Introdução

A ótica passou por uma profunda transformação ao longo da década de 1960 que deu origem a novas disciplinas como a ótica quântica e a ótica não linear que estão entre os principais campos da física contemporânea. Parte dessa transformação deveu-se a avanços tecnológicos como o laser e os fotodetectores de alto poder de resolução e a desenvolvimentos teóricos como a teoria quântica da coerência. Entretanto, a constituição de disciplinas científicas, como historiadores da ciência têm mostrado, é melhor compreendida de uma perspectiva que envolve, junto com os fatores técnicos e teóricos, fatores e estratégias socioprofissionais como a criação de instituições acadêmicas, a organização e disseminação de treinamento técnico, sociedades profissionais e a organização de comunicações científicas [1,

p. 5]. Nesse trabalho discutiremos essas transformações na comunidade de ótica trazendo a tona o papel da disseminação de treinamento técnico em ótica quântica, focando no papel das escolas de verão (cursos intensivos de curta duração que se popularizaram na física na segunda metade do século XX) e dos livros-texto produzidos a partir de notas de aula dessas escolas no processo de consolidação da ótica quântica na década de 1960. Para tanto, centraremos nossa narrativa em cursos de introdução à ótica quântica proferidos no Brasil e na Argentina pelo físico brasileiro Herch Moysés Nussenzveig e nos livros publicados com base nas notas de aula desses cursos [2, 3].

Ao leitor familiarizado com a história da física no século XX pode soar estranho a nossa afirmação de que *ótica quântica* foi criada na década de 1960. Uma vez que o rótulo “ótica quântica” é associado à ideia de que

<sup>1</sup>E-mail: cpsneto@gmail.com.

a luz é composta de pacotes mínimos de energia chamados fótons, poder-se-ia pensar que esse campo teve origem no começo do século XX, já que é muito difundido em livros didáticos e de divulgação científica que o conceito de fóton foi estabelecido ainda nas primeiras décadas do século XX por experimentos como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton, que são apresentados como evidências do caráter quântico da luz e, portanto, dos limites do eletromagnetismo clássico, que atribui à luz um caráter ondulatório. Entretanto, a ótica quântica enquanto disciplina científica, com físicos identificando-se como praticantes dessa disciplina, passou a existir apenas na década de 1960. Até então, os físicos que trabalhavam em ótica, desde que não estivessem trabalhando com interação entre radiação e matéria, poderiam tocar seu trabalho sem se preocupar com o conceito de fótons, uma vez que a teoria ondulatória de Maxwell era (como ainda é) uma ferramenta poderosa para a resolução dos problemas com os quais eles lidavam, a exemplo de difração, interferência e flutuações na intensidade do campo.

Além disso, desde que foi resgatada no início do século XX, a concepção corpuscular da luz enfrentou muita resistência entre os físicos [4]. Alguns até mesmo desenvolveram abordagens semiclássicas para explicar fenômenos que em algum momento foram vistos como evidências do caráter corpuscular da luz. Essas explicações semiclássicas consideram a matéria quantizada, descrita pela mecânica quântica, e a radiação como uma onda eletromagnética descrita pelo eletromagnetismo clássico, descartando assim o conceito de fóton. Segundo o físico Basílio Baseia, em um artigo onde discute “a real necessidade de uma teoria quântica para a luz”, a quantização da luz só se tornou necessária em 1977 com a detecção do efeito anti-agrupamento de fótons, o qual foi o primeiro efeito que não pode ser explicado no âmbito da teoria clássica [5].<sup>2</sup>

Um dos motivos pelo qual os físicos que trabalhavam em ótica não precisavam se preocupar com o conceito de fótons, de acordo com o prêmio Nobel Roy Glauber, encontra-se “no fato que os experimentos de ótica até então têm prestado muito pouca atenção a fótons individuais. Até onde as observações em ótica são confinadas à medição de luz à intensidades ordinárias, não é surpreendente que a teoria clássica tenha oferecido *insights* simples e corretos”<sup>3</sup> [9, p. 2]. Mas o que acontece se diminuirmos a intensidade da radiação eletromagnética a um ponto onde se poderia pensar que apenas poucos fótons estariam no aparato experimental? Na década de 1950 os fotodetetores tinham evoluído a tal ponto que adquiriram sensibilidade suficiente para detecção de um único fóton, sendo em grande parte li-

mitada pelas flutuações na fonte da radiação captada. Dessa forma, a validade do eletromagnetismo clássico já não era tão indubitável. Essa dúvida fez-se presente em uma série de debates na comunidade de ótica sobre a natureza da luz ao longo da década de 1950 e que se arrastou pelas décadas seguintes [4, 10].

A invenção do laser na década 1960 veio fomentar ainda mais esses debates tanto por atrair atenção, financiamento e jovens talentos para a ótica, quanto por permitir a realização de experimentos mais sofisticados. Esse último ponto deve-se à características da luz gerada pelo laser, que possui graus de estabilidade, monocromaticidade e coerência muito maior do que qualquer fonte de luz conhecida até então. A coerência do laser, isso é, a capacidade de manter correlações de fase definidas para dois pontos diferentes da onda, condição necessária para que ocorra o fenômeno de interferência, permitiu que se detectasse correlações entre as variáveis do campo ainda não previstas pelas teorias da coerência existentes. A fim de explicar essas correlações, alguns físicos como os da Universidade de Rochester Emil Wolf e Leonard Mandel fizeram uma reformulação da teoria clássica da coerência, enquanto o físico da Universidade de Harvard Roy Glauber tomou para si a tarefa de construir uma teoria da coerência baseada na eletrodinâmica quântica (EDQ), uma teoria quântica da coerência. Ambos chegaram a uma teoria satisfatória para explicar as novas correlações, o que resultou em uma batalha pelo domínio de jurisdição dessas duas teorias [10]. Essa disputa se desenvolveu majoritariamente em termos de argumentos como o tipo de teorias que físicos devem favorecer, sem questionamentos às bases dessas teorias. Entretanto, na década de 1960 alguns físicos questionavam a própria validade da eletrodinâmica quântica. Um dos críticos estadunidenses mais ferrenhos, Edwin Thompson Jaynes desenvolveu sua própria teoria semiclássica, batizada de teoria neoclássica, que se tornou bem conhecida entre os físicos e também foi pivô de muitos debates.<sup>4</sup>

Diretamente relacionados à criação da ótica quântica, esses debates compõem o pano de fundo sobre o qual Moysés Nussenzveig, então radicado na Universidade de Rochester nos Estados Unidos, ministra seus cursos de introdução a ótica quântica. Nussenzveig havia feito graduação em física na Universidade de São Paulo (USP) na primeira metade da década de 1950 e o doutorado na mesma instituição sob orientação do físico austríaco Guido Beck. Trabalhando em um problema de ótica - campo incomum para a física brasileira, que até então concentrava-se em física de partículas e física nuclear - Nussenzveig obteve resultados importantes em

<sup>2</sup>Embora sejam uma pequena minoria, ainda hoje existem físicos contrários à quantização da luz, defendendo uma abordagem semiclássica fundamentada em processos estocásticos que leva em conta a presença de ruído quântico ou radiação de ponto-zero [6]. Além desses, o Prêmio Nobel Willis Lamb, apesar de subscrever a teoria quântica da radiação, defende que o conceito de fóton deve ser abandonado por não ser nem útil nem apropriado na resolução de problemas de ótica [7]

<sup>3</sup>Experimentos com fontes bem atenuadas não eram, entretanto, inexistentes [8, p. 121].

<sup>4</sup>Para uma discussão mais detalhadas sobre esse ponto, ver Refs. [11, p. 45-65] e [12].

sua tese, como pode ser evidenciado pela publicação desses resultados na revista *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, um dos periódicos mais tradicionais e internacionalmente prestigiados [13, 14]. Em 1956, pouco antes de concluir seu doutorado, Nussenzveig, acompanhando Guido Beck, mudou-se para o Rio de Janeiro onde passou a trabalhar como professor do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), que na época disputava com a USP a liderança da física brasileira.<sup>5</sup>

Entretanto, no início da década de 1960 uma grave crise no CBPF levou boa parte de seus pesquisadores a se afastar da instituição, incluindo Nussenzveig. Diante da crise financeira que o Brasil atravessa naquele período, o CBPF, que embora fosse uma instituição privada tinha a maior parte de seu orçamento anual dependente de uma votação do congresso, passou por sérias dificuldades. Os salários dos professores, em consequência, passaram a ser insuficientes para manter um padrão de vida razoável [15, p. 166]. Nussenzveig relembra que quando deixou o Centro, seu salário junto com o da esposa, Micheline Claire Levy, na época também professora do CBPF, depois de pagar o aluguel mal dava para garantir a alimentação do mês [16]. Diante disso, em 1963, Nussenzveig migrou para os Estados Unidos em busca de melhores condições de trabalho. O que deveria ser uma estada curta, de um ou dois anos, acabou se estendendo por 12 anos, dos quais os dois primeiros foram na Universidade de Nova Iorque e no Instituto de Estudos Avançados da Universidade de Princeton e o restante na Universidade de Rochester onde Nussenzveig se radicou por 10 anos. Em Rochester ele pode acompanhar de perto os debates que culminaram na criação e, a despeito das controvérsias, rápida ascensão da ótica quântica, o que lhe permitiu fazer no Brasil uma apresentação dessa disciplina.

Olhar para as estratégias utilizadas na defesa e divulgação da ótica quântica nos ajuda a compreender melhor a rápida ascensão dessa nova disciplina. Por exemplo, terminologia foi uma das estratégias empregadas por Glauber para promover a teoria quântica da coerência. Foi ele quem sugeriu o título “ótica quântica” para a escola de verão sobre lasers planejada por Cecile DeWitt-Morette em 1964 na universidade de Grenoble em Les Houches, França. “Um nome que pegou e que traz a ótica firmemente para o domínio da teoria quântica de campos”, argumenta a historiadora Joan Bromberg [10]. A própria escola de verão foi parte de uma estratégia eficiente de promoção da nova teoria, que envolveu também a publicação das notas de aulas e seminários em formato de livro-texto. É justamente essa a origem do primeiro livro-texto de ótica quântica [17].

Na próxima seção apresentaremos as escolas de verão e os primeiros livros-texto dedicadas à ótica

quântica que foram publicados com base em notas de aula dessas escolas, o que também servirá para situarmos os cursos e os livros de Nussenzveig entre os primeiros cursos e livros de ótica quântica. Na sequência, focando nos livros de introdução à ótica quântica de Nussenzveig, faremos uma breve apresentação desses livros, discutindo a forma como eles apresentam a ótica quântica e o que podemos inferir sobre essa disciplina a partir do seu conteúdo e sua estrutura. Na seção 3 abordaremos a recepção e repercussão do livro publicado em 1973 [3] a partir de resenhas publicadas nas revistas *Nature* e *Physics Today* e da sua presença em catálogos de livrarias em diversos países. A seção 4 é dedicada ao curso realizado na PUC-RJ em 1968 e ao curso da Escola Latino Americana de Física. Discutiremos o surgimento do Simpósio Brasileiro de Física Teórica (SBFT) e da Escola Latino Americana de Física (ELAF), eventos de formato semelhante às escolas de verão nos quais os cursos de Nussenzveig foram ministrados, e a importância desses eventos para a formação da comunidade brasileira e latino-americana de físicos. Na seção 5 faremos uma reflexão sobre a influência de Nussenzveig e seus cursos na formação da comunidade brasileira de ótica quântica discutindo a influência desses cursos nas carreiras dos físicos Sérgio Machado Rezende e Nicim Zagury, além das trajetórias de Luiz Davidovich e Basílio Baseia, físicos que Nussenzveig formou nessa área. Na seção 6 apresentamos as principais conclusões do artigo.

## 2. Escolas de Verão e os primeiros livros-texto de ótica quântica

A Escola de Verão de Les Houches foi a primeira de uma série de escolas de verão dedicadas à ótica quântica. Para a física como um todo, esses cursos de curta duração, que ocorriam geralmente durante as férias de verão do hemisfério norte como a Escola de Les Houches e a Escola Internacional de Física Enrico Fermi, tornaram-se cada vez mais frequentes. Eles eram ministrados por expoentes de uma determinada disciplina e visavam um treinamento intensivo de estudantes de pós-graduação e recém doutores. Uma pesquisa sobre os primeiros livros de ótica quântica revela ainda outra característica das escolas de verão: os cinco primeiros livros-texto de ótica quântica foram publicados com base em notas de aulas desse tipo de curso. A Tabela 1 mostra os primeiros livros de ótica quântica e quais os cursos que lhes deram origem. Tais eventos e seus livros subsequentes sugerem que essa nova forma de treinamento e produção de livros pode ter desempenhado um papel central na divulgação da ótica quântica, familiarizando os jovens físicos e estudantes de pós graduação com essa nova teoria em um período em que físicos mais experientes ainda ofereciam resistência.

<sup>5</sup>Para a trajetória biográfica de Nussenzveig ver Ref. [11, p. 15-43].

Tabela 1 - Primeiros livros de ótica quântica e os cursos que os originaram.

Livro	Curso
DeWitt-Morette <i>et al.</i> [17]	Escola de Física de Les Houches, 1964
Nussenzveig, H.M. [2]	Curso na PUC-RJ, Brasil, 1968
Klauder e Sudarshan [18]	Curso na Universidade de Berna, Suíça, 1963
Glauber, R.J. [19]	Escola Internacional de Física Enrico Fermi, Itália, 1967
Nussenzveig, H.M. [3]	ELAF, Argentina 1970

A Tabela 1 traz à tona também o papel de Moysés Nussenzveig na consolidação desta disciplina. Ele é autor de dois dos cinco primeiros livros-texto de ótica quântica, os quais serão objeto de nossa atenção nas páginas seguintes. O seu primeiro livro, publicado em 1968 sob o título *Introdução à Ótica Quântica*, é baseado em notas de aula do curso ministrado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), que ocorreu junto com o SBFT, em janeiro de 1968. O segundo, publicado em 1973 sob o título *Introduction to Quantum Optics*, é baseado nas notas da ELAF realizada na Argentina em agosto de 1970. Aquelas foram as primeiras aulas de ótica quântica na América Latina e os cursos foram direcionados para físicos teóricos e estudantes de pós-graduação “como introdução a um novo assunto com o qual nenhuma familiaridade prévia foi assumida” [3]. O livro de 1968 foi publicado pela editora da PUC em colaboração com o instituto de pesquisas da Marinha, o Departamento de Física da USP e o Instituto de Física da UFRJ. O livro de 1973 foi publicado pela editora científica Gordon & Breach Science Publishers como parte da coleção Documents on Modern Physics, dedicada à publicação de livros sobre tópicos contemporâneos de física. A Gordon & Breach, que também publicou o livro editado por Cecile DeWitt-Morette e colaboradores supracitado, possuía uma longa tradição em publicação de livros e periódicos científicos.

### 3. Definindo disciplinas

Uma vez que o objetivo dos cursos e livros era apresentar um novo campo de pesquisa como o qual nenhuma familiaridade prévia foi assumida, nada mais natural do que começar com uma discussão sobre o que era esse novo campo de pesquisa e suas ferramentas básicas. Para Nussenzveig, em 1968, os desenvolvimentos tecnológicos como o laser e os avanços na técnica de detecção “permitiram acesso a um campo inteiramente fora do alcance da ótica tradicional. Mediram-se propriedades extremamente finas do campo eletromagnético e detectaram-se efeitos novos”. O que levou à criação de novos campos de pesquisa como a ótica quântica e ótica não linear. “Dá-se a denominação de ‘Ótica Quântica’ ao estudo de correlações espaço-temporais do campo eletromagnético. Pode-se dizer que é resultado

da combinação da eletrodinâmica quântica e mecânica estatística quântica” [2, p. 1]. Apesar de afirmar a “eletrodinâmica quântica” e a “mecânica estatística quântica” como ferramentas básicas para o campo, a definição apresentada é bastante ampla, podendo abrigar tanto a teoria quântica da coerência, desenvolvida por Glauber, quanto a teoria clássica da coerência, desenvolvida por Wolf e Mandel. É justamente isso que ficará evidente mais adiante, uma vez que ambas as teorias são apresentadas e aplicadas ao longo do livro.

No livro de 1973 essa introdução mantém o mesmo conteúdo, mas é ligeiramente reformulada. Dessa vez o papel da abordagem semiclássica aparece mais claramente: “[a]s ferramentas básicas para lidar com esses problemas são a eletrodinâmica quântica (aproximações semiclássicas são frequentemente úteis) e mecânica estatística. O campo como um todo é geralmente referido como *ótica quântica*” [3, p. 1, grifo do autor]. Sob esse ponto de vista, o rótulo ótica quântica representava todo o campo voltado para o estudo dos novos fenômeno e das “propriedades extremamente finas” do campo eletromagnético que vieram à tona com a aplicação do laser a experimentos como o interferômetro de intensidade desenvolvido por Robert Hanbury Brown e Richard Twiss, incluindo as abordagens semiclássicas. A passagem deixa claro a superioridade das abordagens quantizadas, mas não descarta as aproximações semiclássicas.

O livro não faz nenhuma referência explícita a debates ou controvérsias, mas a partir de seu conteúdo e estrutura tentaremos balizar a opinião de Nussenzveig com relação aos debates sobre os domínios das teorias quântica e semiclássica da coerência. A forma como o livro é organizado e apresenta o conteúdo revela uma estratégia de ênfase na importância da nova teoria quântica da coerência, mas ao mesmo tempo mostra que a teoria clássica da coerência é uma ferramenta heurística valiosa para o campo rotulado por “ótica quântica”, de forma que o real significado desse rótulo vai além do que a sua interpretação literal sugere.

Os cursos foram divididos em duas partes: a primeira apresenta as teorias da coerência, estados coerentes e suas aplicações e a segunda apresenta a teoria do laser. Enquanto o livro publicado em 1968 apresenta estritamente as notas de aula e foi publicado ainda em janeiro daquele ano, o livro de 1973 passou por um amplo processo de edição. Nesse último, além do conteúdo do livro anterior, que teve sua apresentação reformulada, Nussenzveig incluiu um novo capítulo, um apêndice com desenvolvimentos mais recentes do campo e adicionou novas seções a capítulos anteriores. Seções com resultados inéditos foram incluídas nos capítulos sobre a teoria quântica da coerência e suas aplicações. Nelas Nussenzveig discute as propriedades dos estados coerentes, mostrando que “embora a definição de estados coerentes pareça estar ligada ao fato de que os detectores comuns operam por absorção, eles possuem um signifi-

cado mais fundamental: eles contêm toda a informação estatística sobre o campo” [3]. Depois de apresentar as teorias clássica e quântica da coerência Nussenzveig discute o teorema da equivalência entre essas duas teorias formulado por George Sudarshan. Para Nussenzveig, “o teorema da equivalência deve geralmente ser entendido em um sentido puramente formal e deve-se estar ciente de suas limitações” O conteúdo físico da teoria quântica é vastamente diferente da teoria clássica. Entretanto, “o teorema ótico da equivalência, empregado com cuidado, fornece *insights* valiosos sobre a conexão entre as descrições clássica e quântica e nos permite fazer uso dos resultados clássicos, via princípio da correspondência, a fim de estendê-los ao domínio quântico” [3, p. 68]. Dessa forma, a teoria clássica da coerência é apresentada como mais do que uma introdução à teoria quântica da coerência, ela é encarada como uma ferramenta heurística importante, que pode ser convenientemente utilizada em seu domínio de validade. Esse ponto é retomado na segunda parte do livro, onde Nussenzveig, após apresentar os princípios de funcionamento do laser, dedica um capítulo à teoria semiclássica do laser. O capítulo começa com uma breve justificativa para a utilização da teoria semiclássica:

Devido à alta intensidade que pode ser concentrada em poucos modos, o número médio de fótons por modo no campo de um laser é extremamente alto. Dessa forma, para muitos propósitos, é bem adequado tratar o problema pela teoria semiclássica da radiação, na qual os átomos são tratados pela mecânica quântica, mas o campo eletromagnético é tratado em termos clássicos, *i.e.*, não quantizado [3, p. 99].

Nussenzveig fundamenta-se então no princípio da correspondência para justificar a utilização da teoria semiclássica. A segunda parte do livro foi composta de três capítulos. O primeiro é dedicado à teoria semiclássica do laser, o segundo à teoria quântica do laser e o último, que foi adicionado posteriormente, trata de “fenômenos coletivos”, como a superradiância, de um ponto de vista semiclássico. Esses fenômenos envolvem a absorção e emissão de radiação por conjuntos de átomos que se comportam coerentemente, como se fossem um único sistema quântico. No caso da superradiância, “essa coerência entre os átomos significa que a taxa de radiação de um sistema de  $N$  átomos torna-se proporcional a  $N^2$ , ao invés de  $N$ , como ocorreria para uma emissão incoerente” [3, p. 171]. Levando em conta que a superradiância é tratada por uma abordagem semiclássica, nessa segunda parte do livro a teoria clássica da coerência recebe uma atenção maior do que a sua contrapartida quântica.

Entretanto, se por um lado Nussenzveig valoriza a utilização da teoria semiclássica no seu domínio de validade, por outro ele começa o capítulo sobre a teoria

quântica do laser explicitando claramente os limites daquela teoria:

O principal limite da teoria semiclássica é que ela não inclui o efeito de emissão espontânea. Como consequência disso, os seguintes efeitos não podem ser adequadamente tratados com base em na teoria semiclássica: (1) Largura espectral intrínseca [...] (2) Acumulo transiente a partir do vácuo[...] (3) Estatística de fótons [...] [3, p. 137]

Enunciando essas limitações para teorias semiclássicas, Nussenzveig estava se posicionando em relação aos debates sobre o domínio de jurisdição das teorias quântica e clássica da coerência. A estatística de fótons, que se refere ao tratamento estatístico dos “cliques” ocorridos nos fotodetectores, teve sua explicação semiclássica apresentada por Emil Wolf e Leonard Mandel em 1966, no artigo *Photon Statistics and Classical Fields*, onde os autores mostram que a abordagem semiclássica descreve as características estatísticas das detecções fotoelétricas para o modelo de um laser “ideal”, argumentando que ela leva aos mesmo resultados que a abordagem quântica de forma mais simples e direta [20]. Assim, apesar de Nussenzveig concordar com Mandel e Wolf em defender a utilização heurística da teoria semiclássica da coerência em seu domínio, ele parece discordar quanto a esse domínio, ao menos segundo a opinião sustentada por Mandel e Wolf no artigo de 1966. Possivelmente Nussenzveig não se satisfaz com o tratamento desenvolvido por Mandel e Wolf para a estatística de fótons, o que o fez optar pelo tratamento quantizado, o que mostra uma independência intelectual em relação a seus colegas de Rochester, incluindo Emil Wolf, quem o havia convidado para aquela universidade.

Com relação à emissão espontânea, havia uma solução semiclássica baseada na teoria neoclássica desenvolvida por Edwin Jaynes. A solução encontrada por Jaynes diferia da previsão da eletrodinâmica quântica pela evolução temporal, mas até a época em que o livro foi publicado nenhum experimento tinha sido capaz de favorecer a opção entre as duas previsões. Em seus livros Nussenzveig não faz nenhuma referência à teoria neoclássica. Entretanto vale lembrar que a teoria neoclássica era uma alternativa à eletrodinâmica quântica, teoria bem aceita pela maioria dos físicos, e que portanto não era a teoria consolidada na comunidade de física.

#### 4. Recepção e repercussão

O livro *Introduction to Quantum Optics* recebeu duas resenhas positivas em revistas científicas de prestígio. A primeira foi publicada na revista *Physics Today* pelo

físico norte americano Marlan O. Scully da Universidade do Arizona, Estados Unidos, em agosto de 1975. A segunda foi publicada na revista *Nature* pelo físico britânico Geoff H.C. New do *Imperial College London*, em setembro de 1975. A revista *Physics Today* foi criada em 1948 para os afiliados do *American Institute of Physics* e possui ampla circulação na comunidade internacional de físicos com a proposta de fornecer aos leitores um balanço atualizado dos diversos ramos da física, bem como uma discussão das relações entre física, sociedade e estado. A revista *Nature*, por sua vez, foi criada em 1869 e é uma revista de caráter interdisciplinar que está entre as mais prestigiadas e de maior impacto na comunidade científica, o que confere grande visibilidade a seus artigos e autores. As resenhas publicadas nessas revistas são por si só um forte indício de que o livro merecia a atenção da comunidade de físicos.

Além disso, ambos os autores eram físicos teóricos reconhecidos por seus trabalhos em ótica quântica e física de Lasers e apresentaram opiniões positivas sobre o livro. Quando os primeiros lasers foram postos em funcionamento, Marlan Scully, nos Estados Unidos, e Geoff New, no Reino Unido, estavam concluindo suas graduações e acabaram sendo atraídos para problemas relacionados a esse novo dispositivo. Scully fez seu doutorado sob a orientação do prêmio Nobel Willis Lamb, que lhe propôs o desafio de formular uma teoria quântica do laser. Quando publicou a resenha, dez anos depois de concluído seu doutorado, além do cargo de *full professor* da Universidade do Arizona, Scully era também membro do *Optical Sciences Center* e teórico do *Air Force Laser Laboratory* [12]. Geoff New, por sua vez, havia feito seu doutorado no, então, novo campo de ótica não-linear. Quando publicou sua resenha, New era professor do *Imperial College London* e membro do *Laser Optics Group*, do qual ele se tornou o chefe em 1980.

Marlan Scully começa sua resenha com uma breve contextualização da ótica na época em que o livro foi escrito. Nessa introdução, ele compartilha da opinião de Nussenzveig quanto à utilização de teorias semiclássicas e aos limites dessas teorias. Depois de falar sobre novos fenômenos resultantes do laser, Scully declara que:

a maior parte desse fenômenos são descritos mais apropriadamente pelas equações clássicas de Maxwell. Entretanto, em muitos dos problemas baseados no laser, a natureza quântica do campo eletromagnético é aparente. [...] Por exemplo, o entendimento fundamental da largura espectral e da estatística de fótons da radiação do laser requer a teoria quântica da radiação [21, p. 73].

Notemos, porém, que Scully é mais cauteloso que Nussenzveig ao enunciar os limites da teoria clássica.

Scully declara que o “entendimento fundamental” desses fenômenos requer a teoria quântica da radiação, o que deixa margens à interpretação de que embora esses fenômenos possam ser explicados por abordagem semiclássica, sua essência é compreendida apenas com a teoria quântica da radiação. De fato, enquanto Scully escrevia a resenha, ele estava diretamente envolvido na disputa entre a teoria neoclássica e a EDQ. Desde 1972 Scully vinha tentando elaborar um experimento que permitisse optar entre essas duas teorias. Foi justamente em 1975 que ele publicou a primeira proposta de um experimento viável para testar a EDQ contra a teoria neoclássica [12].

Geoff New, por sua vez, vai diretamente à apresentação do livro. Segundo ele, “em *Introduction to Quantum Optics*, os fundamentos do assunto são tratados de forma relativamente padrão.” Além disso, “o livro não é de maneira alguma único em sua cobertura, com exceção da, talvez, bem vinda inclusão de super-radiância” [22].

Tanto New quanto Scully destacam características positivas do livro. Simplicidade é uma característica que é destacada por ambas as resenhas. Para Marlan Scully: “Em sua apresentação, Nussenzveig visou consistentemente o máximo de física para o mínimo de matemática. Naturalmente, o maquinário completo da teoria quântica da radiação é necessário em grande parte do livro, mas mesmo nos casos mais técnicos ele apresentou o material de forma clara, concisa e pedagogicamente atraente” [21].

Para Geoff New, “uma feliz consequência é que o nível da apresentação não é tão alto a ponto de os experimentalistas ficarem imediatamente intimidados. Nisso, possivelmente, está o mérito particular do livro” [22]. Os autores concluem as resenhas com fortes recomendações. Segundo Scully, o “livro é de interesse ao aluno iniciante e deve ter apelo para o pesquisador que deseje revisar certos aspectos da ótica quântica. Esse livro oportuno promete ter importância ao longo dos próximos anos e merece totalmente a recepção calorosa que eu acredito que lhe será concedida”. Para New, o livro “representa uma adição bem vinda à literatura sobre ótica quântica” e “pode ser calorosamente recomendado”.

A recepção e repercussão do livro podem ser também avaliadas pelo número de bibliotecas que atualmente o possuem. Uma estimativa razoável desse número pode ser obtida utilizando a WorldCat,<sup>6</sup> ferramenta de busca em que integra catálogos de bibliotecas espalhadas ao redor do mundo. O resultado da busca para o livro *Introduction to Quantum Optics* está sistematizado na Tabela 2, que apresenta o número de bibliotecas por país, limitando-se aos números mais expressivos, mas mantendo o Brasil que nos servirá como um parâmetro de avaliação do alcance da WorldCat.

<sup>6</sup>[www.worldcat.org](http://www.worldcat.org)

Tabela 2 - Número de bibliotecas que possuem o livro em diferentes países. Fonte: WorldCat, agosto de 2011.

País	Número de Bibliotecas
EUA	179
Canadá	19
Reino Unido	11
Austrália	11
Alemanha	10
França	8
Brasil	2
Outros	62
Total	302

De acordo com os resultados da pesquisa, como podemos ver pela Tabela 2, 302 bibliotecas possuem o livro em todo o mundo. Apesar dessa ferramenta possuir limitações, ela fornece uma primeira aproximação dos países onde o livro foi mais utilizado e onde a ótica quântica ganhou mais espaço. O grande destaque é para os Estados Unidos, país onde o livro foi publicado e que, entre os países listados, seguramente possuía a maior comunidade de físicos. As 179 bibliotecas que possuem o livro naquele país é uma evidência de que o livro foi muito bem aceito e que foi um livro importante naquele contexto. A maior parte dessas bibliotecas encontra-se em países de língua inglesa e que possuíam uma comunidade de física desenvolvida, seguidos da Alemanha e da França.<sup>7</sup> O número total de bibliotecas também sugere que o livro teve boa repercussão. Para efeito de comparação, a repercussão do livro de Nussenzveig é comparável à repercussão do livro editado por Cecile DeWitt-Morette e colaboradores, que pode ser encontrado em 319 bibliotecas. Apesar disso, o livro ficou limitado a uma única edição e na sequência perdeu espaço para livros que foram atualizados e reeditados, como o *The Quantum Theory of Light* de Rodney Loudon que já está em sua terceira edição [23].

Os números apresentados nos fornecem uma boa estimativa da repercussão do livro para os países desenvolvidos. Entretanto, temos que ter em conta as limitações desses dados para países da América Latina. Isso pode ser visto tomando o Brasil como referência. Os registros da WorldCat acusam que no Brasil o livro pode ser encontrado em apenas duas bibliotecas, mas uma busca individual em catálogos das principais universidades brasileiras revela que o livro pode ser encontrado em ao menos dez bibliotecas.<sup>8</sup> Dessa forma, o impacto do livro nos países latino-americanos é bastante subestimado por esses dados. Para compreendermos melhor o impacto do livro na América do Sul vamos agora olhá-lo sob uma outra perspectiva, através do processo que lhe deu origem, nesse caso, os cursos que aconteceram no Brasil e na Argentina.

<sup>7</sup>Uma ausência notável nessa relação é a da Rússia, que também ocupava posição de vanguarda na física internacional, no entanto, a WorldCat não oferece boa cobertura para as bibliotecas russas.

<sup>8</sup>Entre as instituições brasileiras que possuem o livro estão: CBPF, Universidade Estadual de São Paulo, Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de Brasília, Unicamp e USP.

## 5. Os cursos de introdução à ótica quântica

### 5.1. I Simpósio Brasileiro de Física Teórica e o curso de 1968

No final da década de 1960 o departamento de física da PUC do Rio de Janeiro passou a figurar entres os melhores departamentos de física do país. Com o CBPF sob o efeito da crise financeira e das perseguições políticas relizadas pelo regime militar implantado em 1964 que afastou boa parte de seus melhores pesquisadores, a PUC passou a ser o principal centro da física carioca. Financiada por recursos do Fundo Tecnológico (Fundtec) desde 1965 [24, p. 62], além de melhores salários e condições de trabalho, a PUC também oferecia a seus professores mais liberdade do que o CBPF, que estava sob a presidência do Almirante Otacílio Cunha. Diante desse cenário alguns físicos do CBPF acabaram migrando para a PUC. Entre eles estavam Nicim Zagury e Erasmo Madureira Ferreira, que foram contratados pelo departamento de física da PUC em 1967. Pouco depois juntaram-se a eles os físicos Antônio Luciano Videira, Sérgio Machado Rezende e Jorge André Swieca [25]. Todos eram físicos que tinham acabado de retornar da pós-graduação no exterior. Com essa equipe jovem e promissora, a PUC passou a disputar também a preferência dos estudantes de física que saíam de outras regiões do país para fazer pós-graduação, tornando-se também um centro importante na formação da jovem comunidade brasileira de físicos. Nessa direção, Erasmo Madureira Ferreira tomou uma iniciativa que nos anos seguintes daria ainda mais destaque à PUC: a criação do Simpósio Brasileiro de Física Teórica (SBFT).

Organizado pela primeira vez em 1968, o SBFT rapidamente ganhou relevância na formação dos físicos brasileiros. O evento foi inicialmente pensado como uma “conferência de cinco dias para reunir as pessoas que queriam falar sobre problemas de física teórica”, mas foi bem divulgado e foi muito maior do que se esperava, relembra Erasmo Ferreira [26]. Segundo relatório da Comissão Internacional de Energia Atômica, em suas duas primeiras edições o simpósio recebeu entre 100-150 participantes [27, p. 4], um número expressivo para a comunidade brasileira de físicos da época. Para Ferreira ficou claro desde o início “que [o evento] era politicamente importante”. O que era para ser uma simples conferência, passou a ser, na visão retrospectiva de Ferreira, “um impulso oportuno na nossa formação, para a nossa institucionalização também, para a nossa definição de valores, de metas, da evolução científica” [26].

Na primeira edição do Simpósio, segundo Ferreira, as coisas aconteceram de improviso, mas seu sucesso

garantiu que as edições seguintes fossem mais bem planejadas. A duração do evento aumentou e foram oferecidos cursos de curta duração. Os textos dos cursos e seminários foram sistematicamente publicados nos registros dos simpósios que eram dividido em vários fascículos. A ideia era formar uma escola nacional que complementasse a formação dos estudantes de pós-graduação brasileiros, permitindo que eles interagissem com os grandes nomes da física nacional e com alguns da física internacional [26].

A PUC sediou as quatro primeiras edições do evento, que aconteceram em 1968, 1969, 1970 e 1972. Segundo o relatório da quarta edição do simpósio, “como as edições anteriores, o IV Simpósio Brasileiro de Física Teórica contou com a participação e colaboração da maioria dos físicos teóricos em atividade no país, e de físicos estrangeiros especialmente convidados.[...] O programa de cursos da conferência cobriu os principais campos de pesquisa em física no momento” [28]. Ainda sediado na PUC, o evento teria continuidade até a década de 1980.

Nussenzveig foi um participante ativo do SBFT. Apesar de morar nos Estados Unidos ele veio várias vezes ao Brasil para participar dos Simpósios. Por ocasião do primeiro simpósio, ele foi convidado para passar um mês na PUC, onde ele deu seu primeiro curso de introdução à ótica quântica. Como já dissemos, as notas de aula desse curso deram origem ao primeiro livro de ótica quântica em língua portuguesa [2]. O curso não era parte do simpósio, mas aconteceu concomitantemente e, possivelmente, compartilhou de seu clima, público e estrutura. É possível também que a experiência do curso tenha estimulado os organizadores do segundo Simpósio a incluir na programação os cursos de curta duração, mas a consequência mais notável do curso foi um trabalho feito por dois jovens professores da PUC, Sérgio Machado Rezende e Nicim Zagury [29, p. 88], que será discutido na seção seguinte.

## 5.2. A Escola Latino Americana de Física

La Plata, julho de 1970. Físicos de vários países da América Latina se reuniram na Universidade Nacional de La Plata para a retomada da Escola Latino-Americana de Física. No ano anterior a ELAF tivera seu circuito de uma década interrompido pela máquina de repressão do governo militar brasileiro. José Leite Lopes, um dos fundadores da escola, e o principal organizador da edição que aconteceria no Rio de Janeiro, havia sido aposentado compulsoriamente poucos meses antes de sua realização. Porém, no ano seguinte a realização da ELAF foi retomada pelos outros dois fundadores, o argentino Juan Jose Giambiagi e o mexicano Marcos Moshinsky. Entre os temas escolhidos para a edição de 1970 estava ótica quântica. O convidado para apresentá-lo foi Moysés Nussenzveig. O curso que ele tinha apresentado no Brasil em 1968 foi então reapre-

sentado para uma audiência mais ampla, para a qual a escola era um momento importante para o aprendizado em primeira mão de temas que estavam em evidência na física [30].

A ELAF foi fundada com o objetivo de promover a interação entre físicos latino-americanos e físicos estrangeiros através de cursos intensivos como as escolas de verão. A proposta dos idealizadores é bem enunciada no programa da primeira edição da escola que aconteceu no México em 1959:

Há tempos os físicos latino-americanos têm sentido a necessidade de aumentar o contato com físicos de outras partes do mundo. Uma maneira de aumentar esse contato é realizando periodicamente cursos sobre os temas da atualidade em física. Parece interessante, portanto, criar uma Escola Latino-Americana de Física cujo propósito seja promover esses cursos em diferentes partes da América Latina durante seis semanas, geralmente nos meses de julho e agosto. (A escola não se chamará escola de verão, já que a palavra verão não é invariante com respeito a reflexões no plano equatorial). A Escola Latino-Americana de Física terá início em 1959 na Universidade do México [30].

Inicialmente a escola se alternaria entre Cidade do México, Rio de Janeiro e Buenos Aires (as cidades dos fundadores), mas com o crescimento da comunidade de físicos em outros países o circuito foi ampliado. Em 1966 a escola foi realizada em Caracas, na Universidade Central da Venezuela, sob a coordenação de Manoel Bemporad. Em 1967 foi a vez de Santiago do Chile onde a escola foi coordenada por Igor Saavedra. Entre 1959 e 1968 a ELAF reuniu todos os anos físicos e estudantes de pós-graduação que tinham a oportunidade de aprender através de cursos com físicos experientes os desenvolvimentos recentes de campos da física que estavam em evidência. Segundo o relatório da Comissão Internacional de Energia Atômica, a ELAF era uma escola de alto nível que ocorria todos os anos com a participação de aproximadamente 150 participantes da América Latina, Estados Unidos e Europa [27]. Entre os físicos que deram cursos na ELAF encontramos os nomes de Eugene Wigner (1959), Chen Ning Yang (1960) e Richard Feynman (1963), entre outros [30]. A ELAF tornou-se uma referência para jovens pesquisadores e estudantes da América Latina, que tinham a oportunidade de definir suas agendas de pesquisa a partir da interação direta com físicos proeminentes que trabalhavam em tópicos que estavam em destaque na agenda da física internacional. De maneira geral a ELAF, assim como o Simpósio Brasileiro de Física teórica, foi um estímulo importante para a formação da comunidade brasileira de físicos. Mas o que podemos falar



especificamente sobre os efeitos dos cursos de Nussenzveig? Afim de responder a essa questão devemos analisar agora o efeito desses cursos na carreira de Nicim Zagury e Sérgio Rezende, dois físicos brasileiros que tiveram suas trajetórias influenciadas por esses cursos.

## 6. Influências e alunos

Enquanto Nicim Zagury obteve seu doutorado em física de partículas pela Universidade da Califórnia em 1965, Sérgio Rezende obteve o dele em propriedades magnéticas dos materiais pelo *Massachusetts Institute of Technology* em 1967. Ambos tiveram suas carreiras influenciadas pelo curso de introdução à ótica quântica. No ano seguinte ao curso eles publicaram dois artigos onde aplicavam a teoria quântica da coerência, que havia sido apresentada por Nussenzveig, para descrever os estados de mágnons [31,32]. Mágnons são os quantas das ondas de spin. Em um material ferromagnético os spins de elétrons vizinhos estão em constante interação, de forma que o arranjo dos spins em uma rede cristalina resulta em um efeito coletivo que segue um padrão ondulatório, que por isso é chamado ondas de spins. Apesar de serem de natureza distintas, pode-se dizer, por analogia, que o mágnon é para a onda de spin o que o fóton é para a onda eletromagnética. Dessa forma, Zagury e Rezende utilizaram uma ferramenta desenvolvida para descrever a correlação entre fótons para descrever a correlação entre mágnons.

As entrevistas de Nicim Zagury e Sérgio Rezende sugerem que esse trabalho surgiu a partir do curso de introdução à ótica quântica. Sérgio Rezende diz ter sido profundamente influenciado pelo curso de 1968. Ele mesmo foi quem revisou as notas de aulas em que teve seu primeiro contato com a teoria quântica da coerência, que ele passou a aplicar em sua área [33]. Quando questionado sobre as motivações para a realização desses trabalhos Zagury lembrou:

Na PUC [havia] alguns colóquios e tudo mais, então a gente sabia um pouco o que estava acontecendo em outras áreas [...] Quando o Sérgio chega eu começo a me interessar pelo que ele estava fazendo, eu vejo que ele estava fazendo o que ele fazia usando técnica semiclássica, e digo: 'bom, eu acho que a gente pode ver isso aqui do ponto de vista da teoria quântica'. E proponho discutir essa parte. E a gente faz alguns trabalhos. [25]

Os colóquios aos quais Nicim Zagury está se referindo incluíam o Simpósio Brasileiro de Física Teórica e o curso que Nussenzveig havia ministrado em 1968. Analisando o currículo desses dois físicos, vemos que esses trabalhos foram os primeiros passos para uma diversificação na carreira de ambos. Rezende passou a apli-

car a teoria quântica da coerência no estudo das propriedades magnéticas dos materiais, trabalhando também na interface entre a ótica e o magnetismo, campo chamado de magneto-ótica. Além disso, Rezende também treinou estudantes para utilizar as novas ferramentas que ele havia adquirido no curso.

Para Zagury aquele foi o início de sua conversão para a ótica quântica. Ele continuou trabalhando em física de partículas, mas foi na ótica quântica que Zagury ganhou renome internacional. Zagury foi um dos pesquisadores chave em um acordo de cooperação científica entre o CNPq e órgão francês CNRS (Centro Nacional da Pesquisa Científica) em física atômica, lasers e ótica quântica. Essa cooperação contou também com a participação de Luiz Davidovich, de quem falaremos mais adiante.

Os cursos dados por Nussenzveig contribuíram para que Zagury e Rezende alterassem o curso de suas carreiras, relacionando-as com a ótica quântica, pouco depois do doutorado. Porém, Nussenzveig contribuiu para a ótica quântica também através da formação doutoral de físicos. Dentre os seus estudantes de doutorado destacamos Luiz Davidovich e Basílio Baseia por estarem entre os primeiros a receber o título de doutor sob a sua orientação. Ambos fizeram seus doutorados e desenvolveram carreiras frutíferas em ótica quântica.

Passemos agora aos casos de Basílio Baseia e Luiz Davidovich, os quais estão entre os primeiros alunos de doutorado de Nussenzveig. Basílio Baseia foi o primeiro estudante de doutorado de Nussenzveig no Brasil e teve a escolha de seu problema de tese diretamente influenciada pelo livro *Introduction to Quantum Optics*. Depois de ter feito mestrado entre 1974 e 1975 na Universidade Federal da Paraíba, onde ele era professor, Baseia seguiu para o doutorado na USP. Chegando lá à procura de orientador, Henrique Fleming recomendou que ele procurasse Nussenzveig, que chegara dos Estados Unidos no ano anterior [34]. Em entrevista Baseia relembra como surgiu o problema da tese:

[...]falando depois com Nussenzveig, ele mencionou 3 problemas eventuais em que eu poderia trabalhar com ele: um deles sobre arco-íris, aureola, etc.” coisas de um grande trabalho de fôlego que ele tinha feito; outro sobre “Regras de Soma e Aplicações”, e um terceiro: “Uma Teoria sobre Dissipação no Laser”, assunto que me cativou, em razão do livro que ele publicara em 73, nos USA, sobre teoria do laser e afins, com o título *Introduction to Quantum Optics*. Ele me emprestou o seu livro, que me maravilhou na época. [34]

A simplicidade do livro, característica que foi destacada por Scully e New em suas resenhas, foi também uma das características que atraiu Baseia. Seu doutorado foi sobre a teoria das perdas da radiação no laser,

onde ele utilizou tanto a abordagem semiclássica quanto a quântica. Baseia continuou sua carreira em ótica quântica e utilizou o livro de Nussenzveig na formação de quase todos os seus orientandos, dos quais 26 mestres e 4 doutores [34]. Atualmente Baseia é professor da Universidade Federal de Goiás, pesquisador do CNPq e está entre os principais físicos trabalhando em ótica quântica no país, com mais de 150 artigos publicados, que receberam ao todo 1025 citações.

Luiz Davidovich fez seu mestrado e doutorado sob a orientação de Nussenzveig ainda na Universidade de Rochester. Ele havia sido expulso da PUC do Rio de Janeiro em 1969 pelo decreto 477. Esse decreto, entre outras coisas, determinava a expulsão de estudantes considerados subversivos de qualquer instituição brasileira de ensino, suspendendo seu direito de matrícula por três anos. Não restava outra opção senão ir estudar no exterior. Davidovich, o Agente 477, como ficou conhecido em Rochester, deixou o mestrado em física na PUC e foi admitido na Universidade de Rochester - sem seleção e fora da época de admissão. Tudo que ele precisou foi uma boa carta de recomendação escrita por Erasmo Ferreira e da colaboração de Nussenzveig, que convenceu a coordenação da universidade a aceitá-lo [29]. Atualmente Davidovich destaca-se internacionalmente entre os principais teóricos em ótica quântica e é um dos físicos brasileiros de maior projeção internacional, com 90 artigos publicados, que ao todo receberam mais de 4340 citações. Ao longo de sua carreira tem acumulado reconhecimentos como as eleições para membro da Academia Brasileira de Ciências (1996), da National Academy of Science, USA, (2006) e da American Optical Society (2009).

Zagury e Davidovich foram figuras centrais para a realização de acordo CNPq/CNRS com o grupo de ótica quântica da *Ecole Normale Supérieure*, acordo fundamental para o desenvolvimento da ótica quântica no Brasil. No prefácio do livro *Exploring the Quantum*, Serge Haroche e Jean Michel Raimond se referem à colaboração resultante do Convênio CNPq/CNRS nos seguintes termos: “Agradecemos especialmente a Luiz Davidovich e Nicim Zagury, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, cujas ideias e contribuições teóricas foram preciosas nos projetos de novos experimentos” [35]. Os trabalhos de Davidovich e Zagury foram fundamentais para primeira realização experimental do “gato de Schrodinger”, uma das mais famosas experiências de pensamento da física que buscava detectar o desaparecimento de superposições de estados quânticos que foi realizada pelo grupo de Serge Haroche na França [36]. Referência análoga a esta colaboração com os físicos brasileiros foi feita por Serge Haroche quando da recepção do Prêmio Nobel em 2012 [37]. Devido a esse trabalho Davidovich recebeu o prêmio da Academia de Ciências do Mundo em Desenvolvimento, que é concedido a cientistas de países em desenvolvimento que fizeram contribuições de destaque para a ciência.

## 7. Conclusão

As escolas de verão e os livros-texto publicados com base em notas de aulas dessas escolas foram estratégias centrais para a divulgação da ótica quântica em seus primeiros anos. Esses cursos funcionaram como formas de atrair estudantes de pós-graduação e jovens físicos que estavam se formando ou trabalhavam em disciplinas já estabelecidas, que faziam parte das linhas de pesquisa dos cursos de pós-graduação.

A análise dos livros de Nussenzveig nos revela algumas características da ótica quântica na época em que os livros foram escritos. A estratégia de apresentação do conteúdo e a descrição da ótica quântica revelam que esse campo é muito mais amplo do que o nome sugere. A julgar pelos exemplos presentes no livro, o termo ótica quântica era usado para designar um campo voltado para a descrição estatística de fenômenos tipicamente associados com a radiação do laser, independentemente do tratamento que é dado ao campo eletromagnético. Levando em conta que o livro apresenta o conteúdo de forma padrão, como declarou um dos resenhistas, essa visão devia ser compartilhada por outros autores. Ou seja, mesmo físicos que continuaram utilizando heurísticamente os tratamentos semiclássicos passaram a se identificar como praticantes da ótica quântica.

Os livros e os cursos de introdução à ótica quântica de Nussenzveig foram formas eficazes de difusão desse novo campo. Como vimos, o livro teve boa repercussão, principalmente em países de língua inglesa. Para os países da América Latina, nossos dados não foram suficientes para avaliar a repercussão do livro. No entanto, para essa região os cursos de introdução à ótica quântica tiveram uma repercussão importante, como mostram os trabalhos e as trajetórias de Nicim Zagury e Sérgio Rezende. Esses foram os casos que conseguimos documentar, mas é perfeitamente possível que outros físicos também tenham sido influenciados pelos cursos. Ademais, a formação de Luiz Davidovich e Basílio Baseia foi também uma contribuição significativa para a formação da comunidade de ótica no Brasil.

Refletindo sobre a mudança de paradigma no livro *Estrutura das Revoluções Científicas*, Thomas Kuhn parafraseia Max Planck ao comentar o debate quântico para ilustrar o efeito de geração na transição de paradigmas: “poder-se-ia dizer que um novo sistema não convence nunca por ele mesmo, mas que uma geração morre e a outra a substitui, para quem as novas regras são familiares” [38, p. 191]. É exatamente isso que dá a impressão de que o consenso se espalha como uma nuvem de poeira. No caso da ótica quântica, Moysés Nussenzveig, por meio de seus livros, cursos e estudantes, deu uma grande contribuição para familiarizar as novas gerações com esse novo campo.

## Agradecimentos

Agradecemos à CAPES e ao CNPQ pelos apoios que permitiram o desenvolvimento desta pesquisa e a Antônio Augusto Passos Videira pelos comentários a uma versão preliminar do artigo.

## Referências

- [1] Timothy Lenoir, *Instituindo a Ciência: A Produção Cultural das Disciplinas Científicas* (Editora Unisinos, São Leopoldo, 2003).
- [2] H.M. Nussenzveig. *Introdução à Ótica Quântica* (Editora PUC, Rio de Janeiro, 1968).
- [3] H.M. Nussenzveig. *Introduction to Quantum Optics* (Gordon & Breach Science Publishers, London, 1973).
- [4] I.L. Silva and O. Freire Jr., *Historical Studies in the Natural Science no prelo*, (2013).
- [5] B. Baseia, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **17**, 1 (1995).
- [6] S. Sulcs, *Foundations of Science* **8**, 365 (2003).
- [7] W.E. Lamb, *Applied Physics B Laser and Optics* **60**, 77 (1995).
- [8] A. Aspect, P. Grangier and G. Roger, *J. Optics (Paris)* **20**, 119 (1989).
- [9] R.J. Glauber, in: *Quantum Theory of Optical Coherence: Selected Papers and Lectures* (Wiley-VCH, Weinheim, 2007).
- [10] J.L. Bromberg, trabalho apresentado na Third International Conference on the History of Quantum Physics, Berlim, (2010). Disponível em [http://quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3\\_talks/22\\_bromberg.pdf](http://quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3_talks/22_bromberg.pdf).
- [11] C.P. Silva Neto, *Herch Moysés Nussenzveig e a Consolidação da Ótica Quântica: Consolidando Disciplinas Através de Livros-Texto e Escola de Verão*. Dissertação de Mestrado, UFBA—UEFS, 2011.
- [12] J.L. Bromberg, *ISIS*, **97**, 237 (2006).
- [13] H.M. Nussenzveig, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences* **252**, 1 (1959a).
- [14] H.M. Nussenzveig, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences* **252**, 31 (1959b).
- [15] A.A.P. Videira, in: *Encontro de História da Ciência*, editado por A.A.P. Videira and A.G. Babiloni (CBPF, Rio de Janeiro, 2001), p. 146-181.
- [16] R. Zorzetto, *Herch Moysés Nussenzveig: Além do Arco-Íris*. Disponível em <http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=4172&bd=1&pg=1&lg=>, acessado em 16/11/2010.
- [17] C. DeWitt-Morette, A. Blandi and C. Cohen-Tannoudji, *Quantum Optics and Electronics* (Gordon & Breach Science Publishers, New York, 1964).
- [18] J.R. Klauder and E.C.G. Sudarshan, *Fundamentals of Quantum Optics. The Mathematical Physics Monograph Series* (W. A. Benjamin, New York, 1968).
- [19] R.J. Glauber, *Quantum Optics. International School of Physics Enrico Fermi, Societa Italiana Di Fisica* (Academic Press, New York, 1969).
- [20] L. Mandel and E. Wolf, *Physical Review*, **149**, 1033 (1966).
- [21] M.O. Scully, *Physics Today*, **28**, 73 (1975).
- [22] G.H.C. New, *Nature* **257**, 74 (1975).
- [23] R. Loudon, *The Quantum Theory of Light* (Oxford University Press, Oxford, 2000), 3<sup>a</sup>ed.
- [24] A.F. Ferrari, *José Pelúcio Ferreira e a Pós-graduação no Brasil* (Paralelo 15 e CAPES, Brasília, 2001).
- [25] N. Zagury, Entrevista com Nicim Zagury. Entrevistadores: O. Freire Jr. e A. A. P. Videira, (nov 2007).
- [26] E. Ferreira, Entrevista com Erasmo Ferreira. Entrevistadores: O. Freire Jr. e A.A.P. Videira, (2007).
- [27] T.A. Byer, Travel report of a mission on nuclear data to Mexico, Chile, Argentina and Brazil from 23 june - 1 august 1969. Technical Report 308, (International Atomic Energy Agency - International Nuclear Data Committee, Viena, 1969). Disponível em <http://www-nds.iaea.org/reports-new/indc-reports/indc-nds/indc-nds-0013.pdf>.
- [28] E. Ferreira, G. Jacob, H. Fleming, L.C. Gomes and R. Lobo, (eds) *Registros do IV Símpósio Brasileiro de Física Teórica* (Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 1972).
- [29] H.M. Nussenzveig, in: *MAST Colloquia-Memória da Física*, editado por H.M.B. Domingues (MAST, Rio de Janeiro, 2005), v. 2, p. 83-100.
- [30] J. Leite Lopes, *As Origens da Escola Latino Americana de Física*. Disponível em [http://cbpfindex.cbpf.br/publication\\_pdfs/cs00698.2010\\_08\\_17\\_12\\_54\\_59.pdf](http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/cs00698.2010_08_17_12_54_59.pdf), acessado em 4/7/2012.
- [31] S. Rezende and N. Zagury, *Physics Letters A*, **29**, 47 (1969).
- [32] N. Zagury and S. Rezende, *Physics Letters A* **29**, 616 (1969).
- [33] S.M. Rezende, Entrevista com Sérgio Rezende. Entrevistadores: O. Freire Jr. e A.A.P. Videira, 2011.
- [34] B. Baseia. Entrevista. Entrevistadores: O. Freire Jr., I.L. Silva e C.P. Silva Neto, 2011.
- [35] S. Haroche and J.M. Raimond, *Exploring the Quantum: Atoms, Cavities and Photons* (Oxford University Press, Oxford, 2006).
- [36] M. Brune, S. Haroche, J.M. Raimond, L. Davidovich, and N. Zagury, *Phys. Rev. A*, **45**, 5193 (1992).
- [37] S. Haroche. Nobel Lecture: Controlling photons in a box and exploring the quantum to classical boundary. Disponível em [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2012/haroche-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2012/haroche-lecture.html), acesso em 1/2013.
- [38] T. Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Editora Perspectiva S.A., São Paulo, 1998), 5<sup>a</sup>ed.