

## APONTAMENTOS DAS PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES SOBRE FÍSICA QUÂNTICA NA RBEF (1989-2014)

Rita de Cássia Paulo dos Santos, IFRN/ *Campus* Santa Cruz

email:ritinhahesed@hotmail.com

Nelson Cosme de Almeida

nelson.almeida2503@gmail.com

Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela UFRN (Orientador)

### RESUMO

O presente trabalho resulta de um microprojeto de pesquisa que procurou transformar informações em conhecimentos, com base na Revista Brasileira de Ensino de Física - RBEF- voltada à melhoria do ensino de Física em todos os níveis de escolarização. A pesquisa foi desenvolvida no Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) *Campus* Santa Cruz. A Física Quântica, embora muito presente no cotidiano, geralmente não é perceptível, sua fundamentação teórica é pouco acessível. No entanto, seus princípios possibilitam o desenvolvimento das tecnologias mais avançadas da atualidade, que vão desde os raios lasers à nanotecnologia, tendo também fundamental relevância nos procedimentos e equipamentos utilizados na área da saúde, tais como a ressonância magnética e tomografia computadorizada, dentre outras. A Física Quântica é um ramo que estuda os eventos que transcorrem nas camadas atômicas e subatômicas, possuindo amplas teorias que revolucionam o mundo desde o século XX. Esse campo da física é pouco abordado na educação como um todo. Sendo assim, essa pesquisa tem, também, como objetivo promover uma leitura atenta da Física Quântica a partir da análise da coerência entre os objetivos propostos e os conteúdos dispostos em artigos publicados sobre este tema na Revista Brasileira de Ensino de Física desde 1989 a 2014. Também visa adequar e utilizar estes trabalhos na formação docente de professores de Física. Considerando a importância deste tema, é possível afirmar que a quantidade de publicações encontradas é pouca para um assunto tão complexo. No entanto, os artigos são bem fundamentados, sendo, portanto, considerados um profícuo acervo de apoio e pesquisa ao estudo do ensino de Física.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Física Quântica; Revista Brasileira de Ensino de Física.

## 1 INTRODUÇÃO

Você já parou para pensar de que é feito o mundo em que vivemos? Se sua resposta foi não, saiba que ele é feito de átomos. Existem várias partículas do átomo, como os **nêutrons** (que não possuem carga elétrica e são formados por três quarks) e **prótons** (carga positiva, também formada por três quarks); juntos eles formam o núcleo atômico.

Os átomos são feitos de quarks e elétrons. Os quarks são feitos de “coisas” pequenas. Sobre os átomos, elétrons, quarks e o fóton, nunca podemos saber exatamente onde estão. E não é por falta de instrumentos adequados. Há, porém, uma lei da física, chamada Princípio da Incerteza de Heisenberg, que diz não ser possível ter certeza sobre a exata posição e a intensidade velocidade de um único elétron no mesmo instante. Nunca saberemos onde os elétrons de um átomo estão exatamente. Impossível. Diferentemente do mundo macroscópico, a Física Quântica lida com um universo extremamente pequeno.

Com base nessas informações, este artigo tem como finalidade promover uma discussão sobre a Física Quântica através da análise entre os objetivos propostos e conteúdos disponíveis, em artigos publicados sobre o tema na Revista Brasileira de Ensino de Física de 1989 a 2014 visando a utilização desses no ensino de Física.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na tarde de 14 de dezembro de 1900, na sede da Sociedade Alemã de Física, o físico alemão Max Planck revelava ao mundo que havia chegado a resultados tão importantes para a ciência quanto aqueles alcançados por Newton, dois séculos antes. Nascia ali uma nova Física, a Física Quântica. Essa teoria estabeleceu uma linha divisória na Física. Tudo o que existiu antes dela é denominado Física Clássica. Tudo que se fez depois dela, aplicando as ideias de Planck, é chamado de Física Moderna.

A teoria de Planck, também conhecida como Teoria dos Quanta, era, ao mesmo tempo, simples e revolucionária: na Natureza, a energia é emitida ou absorvida em quantidades mínimas e discretas denominadas quanta (plural de quantum).

De acordo com Torres e Ferraro:

“Essa hipótese, hoje já plenamente confirmada, rompia definitivamente com a concepção secular segundo a qual a energia “escoava” de um sistema para outro, sem qualquer limitação em relação à quantidade, isto é, continuamente. Entre 1900 e 1930, entretanto, uma versão moderna da mecânica, denominada Mecânica Quântica, mostrou-se plenamente apta a explicar o comportamento dos átomos, moléculas e núcleos atômicos em inúmeras situações. A teoria quântica se reduz às leis da Física Clássica quando aplicada a esses sistemas macroscópicos, assim como a teoria da relatividade se reduz às leis clássicas do movimento em baixas velocidades. Tal como a da relatividade, a teoria quântica requer modificações de ideias, de conceitos e do modo como percebemos o mundo físico real” (TORRES; FERRARO, 2010).

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa utilizou o procedimento metodológico de análise de conteúdo, para fazer um levantamento acerca da produção do conhecimento em Física Quântica. No desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica no intuito de verificar a veracidade dos conteúdos desenvolvidos pelos autores na publicação dos artigos encontrados no referido periódico.

“A Revista Brasileira de Ensino de Física - RBEF- é uma publicação de acesso livre da Sociedade Brasileira de Física (SBF) voltada à melhoria do ensino de Física em todos os níveis de escolarização. Através da publicação de artigos de alta qualidade. Buscando promover e divulgar a Física e ciências correlatas, contribui para a educação científica da sociedade como um todo. Ela publica artigos sobre aspectos teóricos e experimentais de Física, materiais e métodos instrucionais, e outros temas pertinentes e de interesse da comunidade engajada no ensino e pesquisa em Física. Sendo assim este é um dos melhores espaços acadêmico-científico para se buscar instrumentos que aliem a teoria e prática do ensino da Física.” (REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA)

A busca aconteceu utilizando o descritor “Quântica”, onde foram encontrados cinquenta artigos publicados de 1989 a 2014. Foram analisados com as respectivas publicações sobre a física quântica por edição e ano de publicação de acordo com o quadro 01 apresentado a seguir. Os dados foram sistematizados em quadros por edição e ano de publicação conforme são apresentados nos resultados.

ANO	EDIÇÃO	Nº DE ARTIGOS
1989	4 <sup>a</sup>	01
1995	1 <sup>a</sup>	01
1997	1 <sup>a</sup>	11
1998	2 <sup>a</sup>	01
1999	2 <sup>a</sup>	03
2001	2 <sup>a</sup>	03
2002	4 <sup>a</sup>	03
2003	3 <sup>a</sup>	02
2004	4 <sup>a</sup>	03
2005	1 <sup>a</sup>	09
2006	4 <sup>a</sup>	01
2007	1 <sup>a</sup>	02
2008	2 <sup>a</sup>	02
2010	4 <sup>a</sup>	01
2011	3 <sup>a</sup>	02
2013	1 <sup>a</sup>	03
2014	1 <sup>a</sup>	02

**Quadro 01: Publicações de física por edição e ano. Fonte: Revista Brasileira de Ensino de Física.**

<http://rbef.sbfisica.org.br/index.php/rbef>

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo de 25 anos (período 1989-2014) foram publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física cinquenta artigos abordando dados científicos no que se refere à Física quântica. Esses artigos estão relacionados com outras teorias da área da física e o posicionamento de filósofos idealistas a respeito do assunto. Deste modo, a partir da análise e leitura dos artigos passamos à sistematização desses em quadros que expõem as referências e os objetivos para a discussão dos mesmos. Porém, este trabalho aborda apenas cinco artigos, visto que, apresentou em seus conteúdos uma maior relevância para os objetivos deste trabalho.

REFERÊNCIAS	OBJETIVO
<p><i>Marcelo Archanjo José, José Roberto Castilho Piqueira, Roseli de Deus Lopes,</i></p> <p><a href="#">Introdução à programação quântica.</a></p> <p><b>Revista Brasileira de Ensino de Física.</b></p> <p>Março, 2013. Vol.35, n°1, p.1-9</p>	<p>Este trabalho apresenta uma visão geral sobre a programação quântica, de maneira acessível a alunos de graduação em Física.</p>

QUADRO 2 – artigo publicado pela revista de ensino de física. FONTE: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/351306.pdf>

Em “[Introdução à programação quântica](#)” os autores iniciam com um breve histórico sobre a computação quântica. Abordando os modelos que servem de base para a programação quântica, seguidos de resumida descrição sobre as principais linguagens de programação quântica. Completando a apresentação o funcionamento de um programa quântico é discutido, contextualizando-se a importância da programação no âmbito da computação quântica.

Ressaltando a importância desse estudo para os autores que idealizaram o computador quântico, um programador também não precisa compreender os fenômenos da física quântica para poder obter máxima eficiência, precisa tão somente compreender a lógica desse novo paradigma da computação. Esta nova lógica possui três etapas fundamentais: preparação dos

estados iniciais; realização das transformações unitárias e execução das medições. Essas três etapas são a base para a concepção dos computadores quânticos.

Apesar dos computadores quânticos não estarem disponíveis para o público em geral, devido às dificuldades na sua implementação, avança-se no estudo de sua programação. Para isso, são necessários modelos que representem seu funcionamento, servindo de base para a concepção das linguagens de programação, que visam explorar as potencialidades do computador quântico.

REFERÊNCIAS	OBJETIVO
<p><i>Climério Paulo da Silva Neto, Olival Freire Junior</i></p> <p><a href="#">Herch Moysés Nussenzveig e a ótica quântica: consolidando disciplinas através de escolas de verão e livros-texto.</a></p> <p><b>Revista Brasileira de Ensino de Física.</b></p> <p>Junho, 2013. Vol.35, n°2, p.1-11</p>	<p>Nesse artigo discute 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.</p>

QUADRO 3 – artigo publicado pela revista de ensino de física. FONTE: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/352601.pdf>

Nesse artigo será discutido o papel das 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, Herch em seus livros e cursos ajudaram a consolidar e difundir a ótica quântica pelas Américas.

REFERÊNCIAS	OBJETIVO
<p><i>C.A.M. de Melo, B.M. Pimentel, J.A. Ramirez,</i></p> <p><a href="#">Princípio de ação quântica de Schwinger.</a></p>	<p>Este trabalho é uma continuação do artigo Teoria algébrica de processos de medida em sistemas quânticos, onde foi explicada de uma maneira pedagógica a formulação da cinemática da mecânica</p>

<p><b>Revista Brasileira de Ensino de Física.</b> Dezembro, 2013. Vol.35, n°4, p.1-16</p>	<p>quântica proposta por Julian S. Schwinger.</p>
---	---

QUADRO 4 – artigo publicado pela revista de ensino de física. FONTE: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/354302.pdf>

O princípio de ação quântica de Schwinger é uma caracterização dinâmica das funções de transformação e está fundamentado na estrutura algébrica derivada da análise cinemática dos processos de medida em nível quântico. Como tal, este princípio variacional permite derivar as relações de comutação canônicas numa forma totalmente consistente. Além disso, proporciona as descrições dinâmicas de Schrödinger, Heisenberg e uma equação de Hamilton-Jacobi em nível quântico.

O princípio de ação quântica de Schwinger foi proposto em 1951, inspirado por trabalhos anteriores de Dirac sobre o papel que o princípio de Hamilton da mecânica clássica deveria desempenhar no contexto da teoria quântica. Esse trabalho seminal de Dirac serviu ainda de inspiração para que Feynmann desenvolvesse a sua formulação de integrais de trajetória para a mecânica quântica, considerada por muitos como a contraparte integral da formulação proposta por Schwinger.

REFERÊNCIAS	OBJETIVO
<p><i>Indianara Silva, Olival Freire Jr.</i> A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica <b>Revista Brasileira de Ensino de Física.</b> Março, 2014. Vol.36, n°1, p.1-14</p>	<p>Apresenta a evolução histórica do programa de pesquisa de Holly (1892-1962) dedicado ao estudo do espalhamento dos raios X pela matéria, programa que levaria ao estabelecimento do efeito Compton e à atribuição do Prêmio Nobel de Física de 1927 ao físico norte-americano.</p>

QUADRO 5 – artigo publicado pela revista de ensino de física. FONTE: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/361601.pdf>

O físico norte-americano Arthur Holly Compton (1892- 1962) foi laureado em 1927 com o mais prestigioso reconhecimento científico em física, o Prêmio Nobel, devido a sua explicação quântica para o processo de espalhamento dos raios X pela matéria. Tal resultado tornou-se fundamental para os desenvolvimentos posteriores da teoria quântica. A grande

síntese da mecânica quântica e da eletrodinâmica quântica, por exemplo, foi imposta à física pelos experimentos cruciais do efeito Compton. “Todavia, ainda segundo o historiador Robert S. Shankland foi o físico teórico Paul Dirac (1902-1984) quem desenvolveu uma explicação quantitativa completa daquele efeito baseada na mecânica quântica relativística.” [SILVA; FREIRE, 2014].

Além da sua importância para a teoria quântica, o efeito Compton inverso – um elétron de alta energia transfere grande energia a um fóton – também desempenha um papel de destaque nos problemas relativos a astrofísica e a física dos aceleradores. Nos últimos anos, o efeito Compton tem sido aplicado em várias áreas do conhecimento, a saber, na radiologia médica, nos detectores de raios cósmicos, e no espalhamento de outras entidades, incluindo nêutrons e partículas subatômicas.

REFERÊNCIAS	OBJETIVO
<p><i>Michel E. M. Betz</i></p> <p><i>Elementos da mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto</i></p> <p><b>Revista Brasileira de Ensino de Física.</b></p> <p>Dezembro, 2014. Vol.36, nº4, p.1-14</p>	<p>Neste artigo é apresentada uma introdução elementar a interpretação da mecânica quântica conhecida como “interpretação da onda piloto”, inicialmente proposta por Louis de Broglie e posteriormente elaborada por David Bohm.</p>

QUADRO 6 – artigo publicado pela revista de ensino de física. FONTE: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/364310.pdf>

Michael E.M. Betz, apresenta uma introdução elementar à interpretação da mecânica quântica conhecida como “interpretação da onda piloto”, inicialmente proposta por Louis de Broglie e posteriormente elaborada por David Bohm. Com o objetivo de adequar o nível do tratamento a um primeiro curso de mecânica quântica, considera-se apenas o caso de uma única partícula, ignorando aspectos associados ao spin. Os assuntos tradicionalmente abordados em tal curso, quais sejam, a partícula livre, a partícula ligada, a reflexão e a transmissão por uma barreira de potencial, o átomo de hidrogênio e o experimento de duas fendas, são discutidos do ponto de vista dessa interpretação, focando em especial a visualização das trajetórias da partícula.



## 5 CONCLUSÕES

Ao longo da leitura desses artigos, é notável que os conteúdos encontrados na Revista Brasileira de Ensino de Física apresentam propostas debatidas não apenas pelos autores destes, mas por outros autores e pesquisadores como relatado nos artigos. Os artigos mencionados são qualificados para serem utilizados como fonte de estudo e ferramenta de apoio ao se abordar a “Física Quântica” no ensino da Física, faz referência a temáticas bem fundamentadas e trazem em seus conteúdos um pouco de história para entendermos sua teorização. O leitor é guiado a uma compreensão mais teórica; descrição do desenvolvimento matemático dentro da “Física Quântica”, e abordagens de projetos desenvolvidos no ensino Médio.

Através da Física Quântica, o aluno que pouco tem interesse em física pode perceber gradualmente que o conteúdo acima mencionado pode ter uma relação mais estreita com a sua área de conhecimento do que ele poderia supor. A Física Quântica é sem dúvida uma nova leitura de fenômenos outrora parcialmente ou totalmente incompreendidos.

## 6 REFERÊNCIAS

RODRIGUES, Rafael. **O que é essa tal Física Quântica?** 2013. Disponível em: <<http://www.astropt.org/2013/08/05/o-que-e-essa-tal-fisica-quantica/>>. Acesso em: 22 set. 2015.

CALDEIRA, Almir. **A Física Quântica: o que é, e para que serve.** Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/fisica/fisica02.htm>>. Acesso em: 22 set. 2015.

TORRES, Carlos M. A.; FERRARO, Nicolau G.; SOARES, Paulo A. de T.. **Física: Ciência e Tecnologia.** v.3. 1a ed. São Paulo: Moderna, 2010.

Revista Brasileira de Ensino de Física. 2015. Disponível em: <<http://rbef.sbfisica.org.br/index.php/rbef>> Acesso em: 21 set. 2015.

MELO, C.a.m. de; PIMENTEL, B.m.; RAMIREZ, J.a. **Princípio de ação quântica de Schwinger.** 2013. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/354302.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

BELTZ Michael, **Elementos de mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto**. 2014. Disponível em: < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/364310.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

SILVA Indianara, FREIRE Olival, **A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica**. 2014. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/361601.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

NETO, Climério, FREIRE Olival, Herch Moysés Nussenzveig e a **ótica quântica: consolidando disciplinas através de escolas de verão e livros-texto**. 2013. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/352601.pdf>>. Acesso em: 20. nov. 2015.

JOSÉ Marcelo, PIQUEIRA José, LOPES Roseli, **Introdução à programação quântica**. 2013. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/351306.pdf>>. Acesso em: 20. nov. 2015.