

A FÍSICA QUÂNTICA COMO CONHECIMENTO EM REDE NO ENSINO DE FÍSICA

QUANTUM PHYSICS AS KNOWLEDGE NETWORK IN PHYSICS TEACHING

Oswaldo Canato Júnior¹, Luis Carlos de Menezes²

¹Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo, canatojr@ifsp.edu.br

²Universidade de São Paulo, Instituto de Física, menezes@if.usp.br

Resumo

Práticas simultâneas a distância, interações assíncronas e navegação por hipertextos são aspectos característicos da atual organização da sociedade em redes globais, condicionadas pelo advento da digitalização da informação promovida pelo desenvolvimento da microeletrônica. Refletido no campo educacional, esse contexto social indica a necessidade da representação do saber como uma estrutura horizontal, não hierárquica e em fluxo, tornando sem eficácia as tentativas de se definirem pré-requisitos de aprendizagem. Em consequência, a concepção do conhecimento como feixe de relações entre os nós de uma rede de significados torna-se importante referência no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem. É com base nesses pressupostos que o presente trabalho analisa o potencial da física quântica enquanto elemento essencial da tecitura de redes conceituais no ensino de física. Além do enredamento inerente à própria física quântica, sua fenomenologia, teorias e tecnologias tornaram-se elementos indissociáveis da vivência moderna, potencializando sua atuação como elo interno à física ou como interligação entre a física e as demais ciências, ou mesmo entre as ciências e outras áreas de conhecimento. A questão aqui defendida não é, pois, a de inserir ou não a física quântica no currículo da escola média, ou mesmo a de inseri-la de forma contextualizada e interdisciplinar ou de maneira abstrata e densa ao final do 3º volume dos manuais didáticos. O que este trabalho pretende realçar é, enfim, que a física quântica não deve ser percebida como um conteúdo a mais, mas, sim, como um conteúdo privilegiado a ser ensinado e aprendido ao longo de todo o ensino médio.

Palavras-chave: conhecimento em rede, física quântica, física moderna e contemporânea, ensino de física, aprendizado em rede.

Abstract

Practice simultaneous at distance, asynchronous interactions and navigation by hypertexts are characteristic of the present organization of society in global networks, conditioned by the advent of digitization of information promoted by the development of microelectronics. Reflected in the educational field, the social context indicates a need for representation of knowledge as a horizontal structure, non-hierarchical and in flow, making ineffectual attempts to define prerequisites for

learning. Consequently, the conception of knowledge as a beam of relations between the nodes of a network of meanings becomes an important reference in the development of teaching-learning process. It is based on these premises, that the present study examines the potential of quantum physics as an essential element of the weaving of conceptual networks in physics teaching. In addition to the network characteristics inherent to quantum physics, its phenomenology, theories and technologies have become inseparable elements of modern living, enhancing its role as a internal link between physics topics or as a interconnection between physics and other sciences, or even between the sciences and other areas of knowledge. The question put forward here is not, therefore, to insert or not quantum physics in the curriculum of middle school, or even inserting it in a contextualized and interdisciplinary way or in the abstract and dense way at the end of the 3rd volume of textbooks. What this paper seeks to highlight is, after all, that quantum physics should not be perceived as one more content to be added, but rather as a privileged content to be taught and learned throughout high school.

Keywords: networked knowledge, quantum physics, modern and contemporary physics, physics teaching, learning network.

Redes globais na vida contemporânea

A presença de redes na organização social não é invenção da chamada Era da Informação, podendo-se dizer que a intensa troca de produtos e conhecimentos que caracterizou o século XVI, já formava ali a primeira rede global. A novidade inerente à contemporaneidade é a consolidação de redes globais como estrutura de toda a sociedade:

As atividades básicas que configuram e controlam a vida humana em cada rincão do planeta estão organizadas em redes globais: os mercados financeiros; a produção, gestão e distribuição transnacional de bens e serviços; o trabalho muito qualificado; a ciência e a tecnologia, incluída a educação universitária; os meios de comunicação; as redes de internet de comunicação interativa multiobjeto; a arte, a cultura, os espetáculos, o esporte; as instituições internacionais que fazem a gestão da economia global e das relações intergovernamentais; a religião; a economia criminal; as ONGs transnacionais e os movimentos sociais que fazem valer os direitos e valores de uma nova sociedade civil global [Castells, 2009].

Como condicionante dessa estruturação social em rede, está o desenvolvimento da microeletrônica que configura uma nova relação com o espaço e o tempo, possibilitando a emergência de práticas simultâneas a distância e interações assíncronas. Opera-se em tempo real em um mercado de ações local desde qualquer computador conectado à internet. Mesmo operações cirúrgicas a distância têm sido possibilitadas pelo uso da biorrobótica. Correios eletrônicos, torpedos, twits, fóruns e *blogs* permitem flexibilidade quanto a local e horário para prosseguir com uma determinada interação interpessoal.

Neste contexto ganha importância a compreensão do termo virtual em oposição à presença física imediata e não em oposição ao real. Uma operação de compra ou venda de ações por meio de um ambiente virtual é tão real quanto essa mesma operação feita presencialmente por um corretor. A noção de virtualidade nem mesmo está restrita ao advento das modernas tecnologias, com um quadro que

retrata o rosto de uma pessoa podendo ser entendido como uma presença virtual tanto dessa pessoa como do próprio pintor.

O que os chips e outros circuitos microeletrônicos tornaram, sim, possível é a digitalização da informação e, em decorrência, sua presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida. Se, então, considerar-se a interconexão mundial dos computadores, cunha-se o termo ciberespaço referente não só à *“infraestrutura material de comunicação digital, mas também o universo oceânico de informações que ela abriga, assim como os seres humanos que navegam e alimentam esse universo”* (Lévy, 1999).

É como fruto do ciberespaço que surge o hipertexto, caracterizado pela relação dialética entre autor e leitor. A navegação pela internet envolve a tomada de conhecimento de textos, imagens e sons previamente registrados por seus autores, ação ressoante com a tecnologia intelectual da escrita, forma de comunicação que possibilita o afastamento temporal entre o transmissor e o receptor de uma mensagem. No entanto, através dos múltiplos links, o leitor lê, vê e escuta o que de fato lhe interessa dos registros de cada autor, ação que se aproxima da contextualização intrínseca à tecnologia intelectual da oralidade.

O hipertexto, já virtual enquanto informação digitalizada, é também virtual no sentido de potencializar a construção de múltiplos textos sendo papel dos navegantes *“realizar alguns desses textos colocando em jogo, cada qual à sua maneira, a combinatória entre os nós”* (Lévy, 1999).

O ensino-aprendizado em rede

Refletida no campo educacional, essa percepção da relação dinâmica entre texto e contexto, entre autor e leitor, que caracteriza o hipertexto e as tecnologias intelectuais da informática, indica a necessidade de uma construção do saber em fluxo, tornando ineficazes as tentativas de se definirem pré-requisitos de aprendizagem:

No lugar de uma representação em escalas lineares e paralelas, em pirâmides estruturadas em “níveis”, organizadas pela noção de pré-requisitos e convergindo para saberes “superiores”, a partir de agora devemos preferir a imagem de espaços de conhecimento emergentes, abertos, contínuos, em fluxo, não lineares, se reorganizando de acordo com os objetivos ou os contextos, nos quais cada um ocupa uma posição singular e evolutiva (Lévy, 1999).

Ressonante a essa concepção está a compreensão do conhecimento como feixes de relações entre os nós de uma rede de significados:

A ideia de rede constitui uma imagem emergente para a representação do conhecimento, inspirada, em grande parte, nas tecnologias informacionais. Nesta perspectiva, conhecer é como enredar, tecer significações, partilhar significados. Os significados, por sua vez, são construídos por meio de relações estabelecidas entre os objetos, as noções, os conceitos. Um significado é como um feixe de relações. O significado de algo é construído falando-se sobre o tema, estabelecendo conexões pertinentes, às vezes insuspeitadas, entre diversos temas. Os feixes de relações, por sua vez, articulam-se em uma grande teia de significações e o conhecimento é uma teia desse tipo (Machado, 2001).

Compreender, por exemplo, o que é carga elétrica envolve apreender todo um feixe de relações que se articulam na grande teia da eletrostática, sendo esta última um componente de uma rede ainda maior, o eletromagnetismo. Tal apreensão, porém, não se dá de uma só vez e tão pouco por uma única via. A

preparação de uma sequência didática envolve a escolha de um recorte, trilhando-se um dos muitos possíveis caminhos existentes. Não obstante, os campos de conhecimento historicamente construídos pela física costumam ser ensinados na Escola Média por uma fragmentação linear estanque regida pela lógica da necessidade de pré-requisitos e da transmissão de abstratos conceitos.

Não se trata aqui de negar a necessidade de um sólido aprendizado de conceitos físicos ou uma defesa exacerbada do pragmatismo de somente se ater ao aprendizado daquilo que tenha alguma utilidade em nosso cotidiano. Trata-se, isso sim, de não absolutizar aquela necessidade e não sectarizar esse pragmatismo. Afinal, a própria ciência não se desenvolve de forma linear, primeiramente forjando os conceitos para, então, aplicá-los na explicação fenomenológica ou no desenvolvimento de tecnologias. O desenvolvimento da física quântica, por exemplo, seguiu caminho justamente oposto, com diversas fenomenologias (corpo negro, efeito fotoelétrico, raios espectrais, raios-X, radioatividade) atuando como um turbilhão impulsionador da elaboração das primeiras modelagens que, anos mais tarde, levariam ao surgimento de uma verdadeira teoria quântica.

Ainda sobre a importância da contextualização e da visão global, não linear, mas já resvalando para o campo da teoria da complexidade, vale citar a seguinte observação acerca da psicologia cognitiva:

O conhecimento progride principalmente, não por sofisticação na formalização e na abstração, mas através da capacidade em contextualizar e em globalizar. Essa capacidade necessita de uma cultura geral e diversificada e, estimulada por essa cultura, o pleno emprego da inteligência geral, isto é, o espírito vivo (Morin, 1997).

Complexidade, pois esta afirmação faz-se contextualizada pela concepção de que *“a missão primordial do ensino supõe muito mais aprender a religar do que aprender a separar, o que, aliás, vem sendo feito até o presente. Simultaneamente, é preciso aprender a problematizar”* (Morin, 2007). Religar e problematizar são conceitos relacionados, segundo Morin (2007) à entrada em ação dos princípios da recursividade, da dialógica e do holograma, princípios componentes da teoria da complexidade.

A interligação de campos da física

A opacidade à luz visível e a condutância elétrica de um metal, contrapondo-se ao comportamento transparente e isolante do vidro, são fenômenos associados à extensão dos intervalos entre as bandas de valência e condução do material, pequena no caso do metal e maior no caso do vidro. Quantidade de movimento e comprimento de onda são conceitos intimamente relacionados pelo comportamento dual da matéria, haja vista o fenômeno da difração de elétrons e o efeito Compton. Cor e temperatura são características da matéria associadas pela emissão de fótons por elétrons que transitam desde níveis quânticos mais energéticos para aqueles de menor energia. A cor dos semicondutores é determinada pelo gap energético entre a banda de valência e a banda de condução.

Características ópticas, elétricas, mecânicas, ondulatórias e térmicas dos materiais, são, assim, conectadas umas às outras por meio da intimidade quântica da matéria. Quando se mergulha na estrutura da matéria, há pouco espaço para a identificação de fenômenos que genuinamente pertençam a este ou aquele campo da física. A razão, claro, está em que a física quântica ampliou a já incrível

unificação teórica do eletromagnetismo formulada por Maxwell no final do século XIX.

Na Figura 01 se representa um mapeamento de conexões potencializadas pela física quântica entre os diferentes campos conceituais da física. Além dos exemplos há pouco citados, as seguintes associações são apresentadas: eletromagnetismo e física térmica, a partir da propriedade de alguns materiais em se tornarem supercondutores a partir de seu resfriamento; óptica e ondulatória, devido aos espectros ópticos dos elementos químicos formados pela interferência das radiações difratadas por múltiplas fendas; eletromagnetismo e mecânica, em consequência da conservação do momento e da carga elétrica na criação e aniquilação de pares de partículas e anti-partículas; física térmica e mecânica, em razão da interpretação quântica da entropia e do desenvolvimento da mecânica estatística quântica de Bose-Einstein, aplicada aos fótons e outros bósons e Fermi-Dirac, aplicada aos elétrons e outros férmions; física térmica e ondulatória, motivada pela interpretação quântica da radiação do corpo negro e do calor específico dos materiais a partir da caracterização de átomos como osciladores harmônicos.

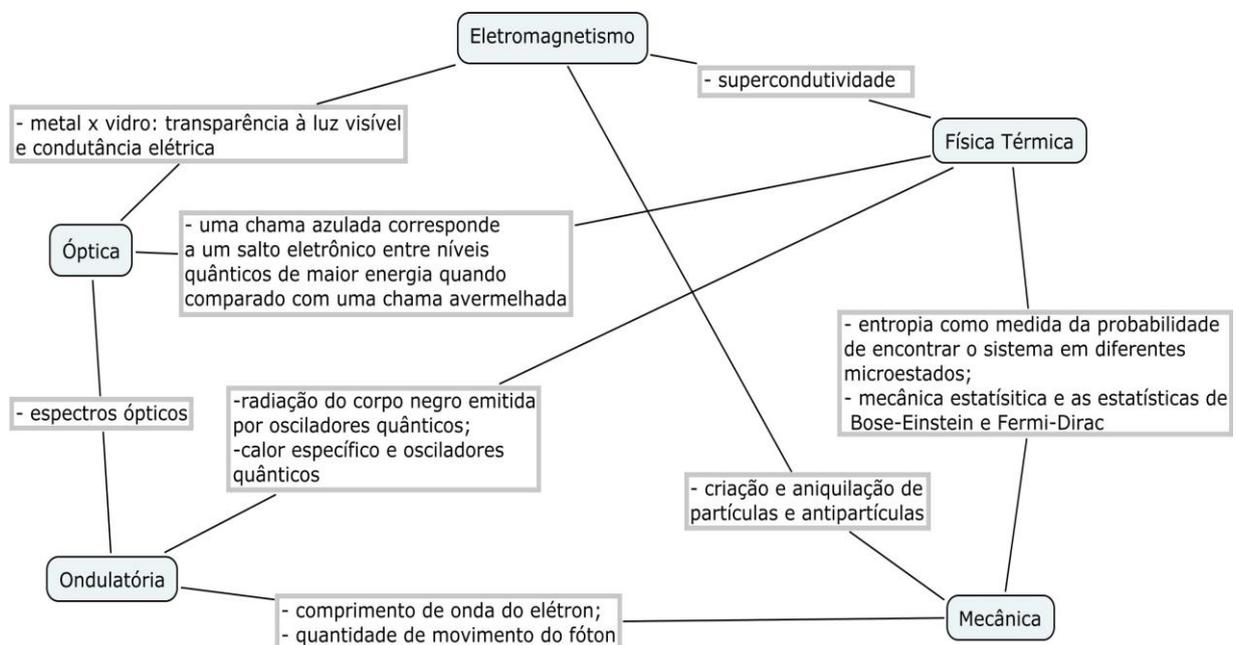


Figura 01
A interligação de campos da Física

A física quântica na interligação entre as ciências

Mas as conexões estabelecidas pela física quântica perpassam o campo conceitual da física e se estendem pelo conjunto das Ciências da Natureza. O estudo da composição química de uma estrela, identificada pela luz por ela emitida, assim como o estudo da síntese estelar dos elementos químicos estabelecem, por exemplo, um elo entre a física, a química e a astronomia. Conexão ainda mais abrangente é promovida pela análise das interações entre luz e matéria na atmosfera terrestre e sua extrapolação para outros astros. A ação dos filtros naturais terrestres e de outros astros sobre os raios infravermelhos emergentes e

ultravioletas incidentes, bem como sobre outras radiações ionizantes e partículas cósmicas é assunto que interliga física, química, biologia e astronomia.

No LNLS, em Campinas, assim como em outros aceleradores de partículas espalhados pelo mundo, físicos, químicos e biólogos cooperam entre si no estudo da estrutura de proteínas e demais demandas inseridas no contexto da biologia molecular, campo de conhecimento que se desenvolveu a partir da descoberta da estrutura do DNA, protagonizada em 1953 por Watson e Crick a partir da técnica da difração de raios-X. E se o assunto é vida, é claro que a investigação das características físicas e químicas do carbono é também exemplo do papel da física quântica na articulação dos conhecimentos internos às Ciências da Natureza. Também relacionada a questões vitais, a incidência da luz solar na superfície de plantas, ativando a fotossíntese, e na pele humana, provocando seu bronzeamento ou queimadura, são fenômenos vinculados ao estudo da estrutura da matéria.

A Figura 02 representa um mapeamento das conexões acima identificadas, além de também apresentar conexões mais estreitas entre a física e a química, tais como a questão da estrutura eletrônica dos elementos químicos, das sínteses e descobertas de novos materiais e da radioatividade e outros processos nucleares.

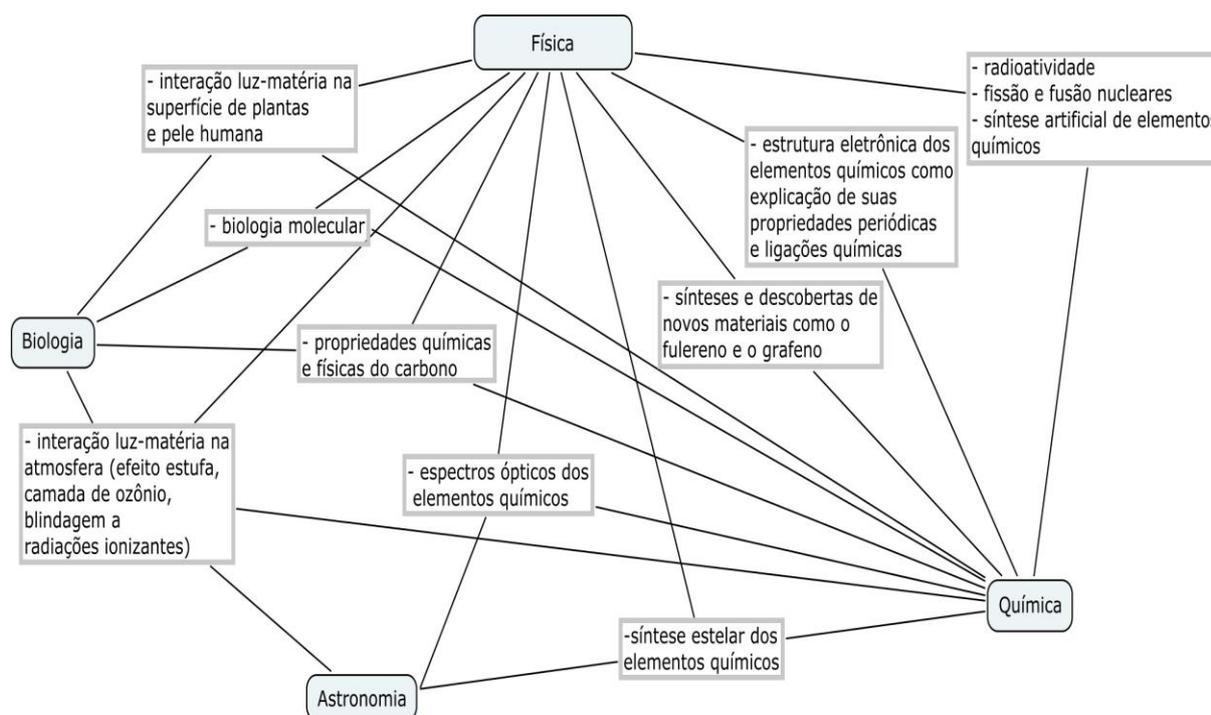


Figura 02

A física quântica na interligação entre as ciências

A interligação das ciências com outras áreas

A partir das tecnologias essencialmente associadas à física quântica é também possível abranger outras áreas de estudo nesta busca por uma visão em rede do conhecimento (Figura 03). Exemplo disso são as conexões potencializadas pelas tecnologias que se utilizam de decaimentos radiativos. Com particular interesse à antropologia e arqueologia, o método de datação por carbono 14 é utilizado na identificação da idade de múmias e antigos artefatos, ao passo que isótopos de meia vida mais longa são utilizados na paleontologia, geocronologia e

geofísica. Datações radiativas são também eficazes quando se necessita comprovar a autenticidade de quadros e esculturas artísticas. Na medicina são diversas as técnicas diagnósticas e terapêuticas baseadas na monitoração de substâncias radiativas injetadas no paciente. A ruptura da estrutura celular de bactérias em alimentos expostos a decaimentos radiativos vem sendo crescentemente explorada na engenharia de alimentos como técnica de melhor conservá-los. Na indústria química utilizam-se traçadores radiativos na identificação de vazamentos, ao passo que na indústria de papel medições da atenuação na penetração das emissões radiativas são utilizadas como controle de qualidade na determinação de espessuras.

As radiações eletromagnéticas emitidas por processos não nucleares também podem ser pensadas como um nó de redes conceituais e materiais tecidas pela física quântica. Radiografia, termografia, terapias com exposição a raios infravermelhos e ultravioletas, tomografia e ressonância nuclear magnética são alguns exemplos do amplo uso das radiações na medicina. Além de identificar anomalias em tecidos humanos, os raios-X podem ser úteis em diversas outras aplicações técnicas, como na comprovação da autenticidade de uma obra de arte, na identificação de porte de armas em aeroportos, na caracterização da coloração das penas de fósseis de aves extintas pela paleontologia e na percepção de fraturas em peças na indústria. Os raios ultravioletas também têm larga aplicação tecnológica para além da medicina, como na ativação de certos tipos de cola, na secagem de tintas e vernizes, na esterilização de alimentos e bebidas e no tratamento de água de piscina ou mesmo água potável.

De especial interesse é o caso das radiações eletromagnéticas emitidas como feixes laser. Após pouco mais de 50 anos de sua invenção, o laser tem uma presença tão significativa no conjunto dos campos de conhecimento que merece destaque especial no mapeamento aqui explorado. Alguns exemplos do uso do laser: cortes precisos em peças industriais, cirurgias de correção de defeitos de visão, precisão na mira de armamentos militares, shows de projeção, maior precisão em gravuras sobre joias, produção de holografias, desenvolvimento de pinças ópticas e, até especialmente, lasers modulados levando informações no interior de fibras ópticas.

A manipulação genética, inserida no contexto da biologia molecular e, assim, já identificada no item anterior como uma ponte entre as Ciências da Natureza, abrange também uma dimensão filosófica e ética, com as questões da técnica da clonagem e da produção de alimentos transgênicos sendo alvos de grande polêmica social. Polêmicas à parte, fato é que o cultivo mundial de transgênicos já atingiu 160 milhões de hectares em 2011 e a cada ano são anunciados diversos novos investimentos em pesquisas de clonagens de embriões, células tronco e modificações genéticas de animais, um caminho sem volta e com influência cada vez maior na economia mundial, sendo, pois, um marco na história humana.

Como destacado pela destruição nuclear de Hiroshima e Nagasaki, há outros marcos históricos associados a tecnologias vinculadas ao desenvolvimento da física quântica. A manipulação dos semicondutores e a conseqüente construção de transistores e chips, base de toda a microeletrônica, transformaram para sempre e de forma radical as técnicas de comunicação, inaugurando as práticas simultâneas a distância e as interações assíncronas e provocando uma estruturação da sociedade baseada na constituição de redes globais. A ascensão do Vale do Silício,

jovem estudante da escola média, ou mesmo nem sequer estabelecê-lo, as fenomenologias, teorias e tecnologias modernas precisam ocupar lugar de destaque nas sequências didáticas elaboradas pelos seus professores.

Decerto há inquietudes relacionadas à proposição aqui exposta. Uma delas se refere à conhecida fragilidade com que é marcada a formação inicial e em serviço de professores, muitos dos quais têm pouca ou nenhuma familiaridade com a física quântica, quanto mais em utilizá-la como pontes de ligação entre os diversos campos de conhecimento. Pode-se, também, argumentar quanto à fragilidade conceitual do próprio estudante manifestada por sua dificuldade em compreender até mesmo os mais simples conceitos clássicos, quanto mais aqueles inerentes à física quântica.

Não há, no entanto, perspectivas de que tais fragilidades sejam sanadas em curto ou médio prazo, implicando que a elas ater-se é qualificar a física quântica como conteúdo quase exclusivo de pós-graduados. Além disso, há que se ter o cuidado de não resvalar para a armadilha da suposta necessidade dos pré-requisitos que, levada a extremo, forja abordagens didáticas restritas a conteúdos abstratos e de abrangências desprezíveis, como é o caso dos conhecidos movimento retilíneo uniforme (MRU) e movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), tomados, algumas vezes, como único assunto de todo o 1º ano do ensino médio.

Tão pouco há uma via de mão única, uma receita pré-definida, para o ensino de física quântica no sentido da abordagem aqui defendida. A problemática energética e os custos e riscos envolvidos na alternativa nuclear, chapas radiográficas e outros registros médicos relacionados ao uso de radiações, o funcionamento de aparelhos celulares e outros dispositivos sem fio, a luz emitida por lasers e outros objetos, a questão da vida na Terra e sua possibilidade de existência em outros planetas, são apenas algumas das múltiplas portas conectivas que podem ser utilizadas a partir da primeira aula do 1º ano do ensino médio. A questão central que aqui se coloca é, pois, apreender a concepção do conhecimento como um feixe de relações entre os nós de uma rede de significados e, com base a essa premissa, apostar no papel da física quântica como elemento destacado na tecitura da rede conceitual a ser construída junto ao estudante.

Referências

CASTELLS, M. **Comunicación y poder**. Madri: Alianza Editorial, 2009.

LÉVY, P. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

MACHADO, N. J. **A Universidade e a organização do conhecimento: a rede, o tácito, a dádiva**. Estudos avançados, São Paulo, Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, n.42, p. 333-352. 2001

MORIN, E. **Imaginários da Educação: por uma reforma da universidade e do pensamento**. Revista Famescos, nº 06. Porto Alegre: EdiPUCRS, 1997.

_____. **Educação e Complexidade: os sete saberes e outros ensaios**. São Paulo: Cortez, 2007.