UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**FACULDADE DE EDUCAÇÃO, INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS,
INSTITUTO DE FÍSICA, INSTITUTO DE QUÍMICA**

OSVALDO CANATO JÚNIOR

**FÍSICA QUÂNTICA E FORMAÇÃO DOCENTE:
CONFLUÊNCIA DE VÁRIAS REDES**

**São Paulo
2014**

OSVALDO CANATO JÚNIOR

FÍSICA QUÂNTICA E FORMAÇÃO DOCENTE: CONFLUÊNCIA DE VÁRIAS REDES

Tese apresentada à Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos necessários à obtenção
do título de doutor em Ensino de Ciências
Área de concentração: Ensino de Física.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Ivã Gurgel (IFUSP)

Prof. Dr. Luís Carlos de Menezes (IFUSP)

Prof. Dr. Osvaldo Frota Pessoa Jr (FFLCH)

Prof. Dr. Nilson José Machado (FEUSP)

Prof. Dr. Pedro Demo (UNB)

Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos de Menezes

**São Paulo
2014**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

-
-
-

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Canato Júnior, Osvaldo

Física quântica e formação docente: confluência de várias redes. São Paulo, 2014.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Luís Carlos de Menezes

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física (Estudo e ensino); 2. Física quântica; 3. Redes complexas; 4. Formação de professores; 5. Complexidade e aprendizagem.

USP/IF/SBI-006/2014

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luís Carlos de Menezes, pela orientação e parceria, sempre voltadas ao desenvolvimento da autonomia e ao convite a novas e desafiantes perspectivas.

Aos professores Nilson José Machado e Manoel Roberto Robilotta, pelas contribuições feitas no exame de qualificação.

À professora Yassuko Hosoume, pela colaboração na reescrita do projeto de doutoramento, bem como por suas valiosas dicas quanto a possibilidades de novos trajetos acadêmicos e profissionais que acabaram por me levar ao IFSP, inaugurando perspectivas muito mais abrangentes para o próprio doutoramento, bem como para o desenvolvimento profissional.

Aos colegas do IFSP, pela acolhida quando da entrada na instituição e no apoio e sugestões referentes ao desenvolvimento das disciplinas por mim ministradas, incluindo-se nisso a própria escolha/atribuição de disciplinas que dialogassem com esta pesquisa de doutoramento.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), pela concessão de afastamento remunerado durante o último ano de doutoramento, que tornou possível apostar em pesquisa de maior abrangência, bem como reelhar minhas práticas na formação docente sem estar em meio ao processamento de novas práticas e afazeres profissionais.

À Direção Geral do Campus São Paulo do IFSP, pelo convite e parceria quanto ao trabalho na coordenação EaD que possibilitou maior experiência na gestão de ambientes virtuais, bem como a toda a equipe de professores e servidores do IFSP (Campus SP e Reitoria) envolvidos de uma forma ou outra na gestão das práticas em tais ambientes, com especial menção ao colega Márcio Corrallo pelo aceite em assumir a referida coordenação quando de meu afastamento para qualificação.

Aos licenciandos do IFSP, especialmente àqueles que participaram de versões por mim ministradas das disciplinas Oficinas de Projetos de Ensino e Estrutura da Matéria, pela parceria na evolução das aulas e na realização das atividades.

À Veranice, pelo companheirismo, apoio, paciência, e inúmeras outras qualidades e ações, incluindo-se as leituras de diversas versões deste texto e das constantes conversas sobre o desenvolvimento da pesquisa, fonte de valiosas sugestões.

RESUMO

CANATO JR., O. **Física Quântica e Formação Docente: Confluência de Várias Redes.** 2014. 210 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Física, Instituto de Biociências, Instituto de Química, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2014.

Tendo reformulado a mecânica surgida da termoestatística das radiações eletromagnéticas, a física quântica abriu o caminho nas baixas energias para a complexidade dos materiais e da vida, e nas altas energias para as partículas elementares e conexões cosmológicas. Entre as demais ciências, ela fundamenta a química fina, a biologia molecular e inúmeras aplicações práticas. No cotidiano tecnológico, através dos semicondutores e *lasers* da microeletrônica, a quântica é a alma conceitual das telecomunicações e das redes informáticas, instrumentando todas as atividades humanas, das relações pessoais às práticas médicas, e condicionando a emergência de uma sociedade em rede. Em associação com as tecnologias que promove, o domínio quântico tem sido central na investigação das redes complexas que transforma a compreensão de processos naturais, tecnológicos e sociais. Das redes neurais às sociais, qualquer campo de atividade e de conhecimento está sendo modificado ou desequilibrado pela percepção de seu caráter complexo. Impactada pelo novo ambiente, a educação já se desenvolve com recursos em rede amplamente difundidos e revê a conceituação do aprender como algo complexo e em rede em lugar da velha sequência linear de conteúdos. Sendo convergência e fonte de várias redes, a quântica pode cumprir importante papel na trama de redes de significados no processo de ensino e aprendizagem. Formar os professores com e para tais práticas pode dar mais significado a esse domínio científico já presente em nossa escola básica, mas cujo sentido real frequentemente escapa para quem aprende tanto quanto para quem ensina. Esta tese busca apresentar uma visão em rede do conjunto das redes entretecidas com a física quântica, tendo como contexto prático a formação inicial de professores.

Palavras-chave: Física (estudo e ensino). Física quântica. Redes complexas. Formação de professores. Complexidade e aprendizagem

ABSTRACT

CANATO JR., O. **Quantum Physics and Teacher Training: Confluence of Several Networks.** 2014. 210 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Física, Instituto de Biociências, Instituto de Química, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2014.

Quantum Physics, a reconceptualization of Mechanics that emerged from the thermodynamics of electromagnetic radiation, has paved the way to the complexity of materials and life, at low energies, and to elementary particles and its cosmological connections, at high energies. Among the other sciences, quantum physics is the foundation to the new fine chemistry, as well as to the molecular biology and to their numerous practical applications. In everyday technology, through semiconductors and lasers of the microelectronics, quantum physics is the conceptual soul of telecommunications and informatics networks, giving tools to all sort of activities, from social relationships to the medical practices, and conditioning the emergence of a network society. In relation with technologies, the quantum domain has been central to the research of complex networks that changes the understanding of natural, technological and social processes. From neural to social networks, every field of activity and knowledge is nowadays modified or unbalanced by the perception of its complex character. Impacted by this new environment, education already develops with highly available network resources and reevaluates the concept of learning, as something complex instead of the old linear sequence of subjects. As convergence and source of many networks, quantum physics can play important role in the network of meanings of teaching and learning process. The training of teachers with and for these practices can give broader meaning to this scientific field already present in our basic school, but whose real meaning frequently is missed both by who learns as well as by who teaches. This thesis wants to presents a network vision of the ensemble of the networks weaved together with quantum physics, in the practical context of training future teachers.

Keywords: Physics (study and teaching). Quantum physics. Complex networks. Teacher training. Complexity and learning.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Percurso.....	11
1.2	Apresentação.....	14
2	Física quântica – tecido de várias redes.....	19
2.1	Na construção histórica e interligação conceitual da física.....	20
2.2	Na interligação entre as ciências e outras áreas.....	32
2.3	Na vivência contemporânea.....	37
2.4	Na catálise da evolução social e tecnológica.....	43
3	O mundo das redes.....	49
3.1	Nós, <i>links</i> e suas propriedades.....	50
3.2	Redes biológicas.....	57
3.3	Redes cerebrais.....	61
3.4	<i>Internet</i> e <i>web</i>	64
3.5	Empresas em rede.....	67
3.6	Coautorias.....	69
3.7	Coocorrência de citações.....	71
3.8	Mineração de textos e redes conceituais.....	75
3.9	O enredo como rede.....	83
3.10	Histórias contrafactuais e redes de influências entre avanços.....	87
3.11	Conexões.....	90
4	Uma educação científica em rede.....	91
4.1	Hipertextos, rizomas e complexidade.....	92
4.2	Mapa, narrativa, avaliação e formação docente.....	102
4.2.1	Ideias fundamentais e mapas de relevâncias.....	102
4.2.2	Construção dos significados e narrativas.....	107
4.2.3	Avaliação qualitativa e formação docente.....	114
4.3	Virtual e real.....	118
4.4	Ensino, aprendizagem e física quântica.....	129
5	Práticas na formação de professores.....	141
5.1	Oficinas de Projetos de Ensino.....	142
5.1.1	OFICINAS – Fase I.....	144
5.1.2	OFICINAS – Fase II.....	149
5.1.2.1	Respirando quântica.....	152
5.1.2.1.1	Nuvens de palavras como filtros de relevâncias.....	155
5.1.2.1.2	Redes de palavras como realce ao individual dentro do coletivo.....	159
5.1.2.2	Redes conceituais.....	164
5.1.3	Novas percepções sobre a quântica e seu ensino.....	171
5.2	A disciplina Estrutura da Matéria.....	177
5.2.1	As radiações como teia quântica.....	178
5.2.2	Perguntas quânticas.....	182
5.2.3	Um feixe de atividades.....	185
5.3	Um ambiente virtual.....	190
6	(IN)Conclusão: redes abertas.....	201
	Referências Bibliográficas.....	205
	APÊNDICE A - Exemplos de inserções da quântica como rede.....	213
	APÊNDICE B – Textos reflexivos de licenciandos - OFICINAS_V4.....	229
	APÊNDICE C – Avaliação diagnóstica – OFICINAS_V5 - 2012_01.....	231
	APÊNDICE D - Macros desenvolvidas no <i>Word</i>	235
	APÊNDICE E - Classificação dos nós da rede conceitual - OFICINAS_V7.....	237
	APÊNDICE F – Respostas da avaliação diagnóstica aplicada na OFICINAS V_7.....	241
	APÊNDICE G - Exemplo de texto utilizado em ESM.....	247
	APÊNDICE H – Perguntas quânticas.....	251
	APÊNDICE I – Cruzadas e outros passatempos <i>online</i> utilizados em ESM.....	259
	APÊNDICE J – Roteiros referente ao experimento de Millikan.....	263
	ÍNDICE DOS AUTORES CITADOS.....	271

1 INTRODUÇÃO

1.1 PERCURSO

O início das atividades que resultaram na elaboração desta tese deu-se no mesmo período de minha posse no cargo de Professor de Ensino Básico Técnico e Tecnológico no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Campus São Paulo (IFSP-SP), determinando diversas experiências que condicionaram nova perspectiva para a pesquisa.

Após uma carreira já consolidada de 23 anos de atuação como professor de física no ensino básico, me vi diante do desafio de atuar no ensino superior e preparar cursos para licenciandos em física. Ainda que a experiência anterior me desse certa confiança quanto à atuação em sala de aula e, devido à atuação concomitante nas esferas pública e privada, estivesse acostumado a um intenso ritmo de trabalho, tratava-se quase de um recomeço, exigindo uma dedicação efetivamente exclusiva ao novo cargo. Digo isso porque não se tratou apenas de optar pelo afastamento dos empregos nas escolas de ensino básico para aceitar o *Regime de Dedicação Exclusiva* (RDE) do IFSP-SP e, com isso, ter mais condições para iniciar de forma simultânea minha pesquisa de doutoramento. Tratou-se, isso sim, de mergulhar em um novo universo de conteúdos a serem (re)aprendidos, burocracias a serem incorporadas, novas funções e responsabilidades a serem exercidas.

Vale dizer que o IFSP-SP, parte do projeto do Governo Federal de rápida extensão da Rede Federal de Ensino, carece de um número adequado de professores, acarretando intensa jornada de trabalho docente. Acrescente-se a isso as características da Licenciatura em Física do IFSP-SP, com a prática de laboratório e os estágios orientados tendo importante relevância na grade curricular, além do fato da área de física fazer parte do chamado núcleo comum, atendendo a diversos outros cursos. O resultado, especialmente para um professor iniciante na instituição, é uma jornada de trabalho com muita diversificação e variação a cada novo semestre. Assim, em cinco semestres no IFSP-SP já havia lecionado em 10 diferentes disciplinas ou cursos: *Mecânica dos Sólidos e Fluidos* (teoria e laboratório), *Fenômenos Ondulatórios* (teoria e laboratório), *Óptica* (laboratório), *Estrutura da Matéria* (teoria e laboratório), *Oficina de Projetos de Ensino 1, 2, 3 e 4* (teoria e orientações de estágios), *Interface da Física com a Matemática - 3 e 3º ano do Ensino Médio Integrado*. Além disso, em virtude de projetos institucionais, exerci por dois semestres a curadoria do Clube de

Ciências do IFSP-SP, fiz pesquisas sobre evasão no banco de dados da instituição, ofereci dois cursos de extensão sobre *Moodle*, orientei alguns licenciandos no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e, ao longo de 2012 e início de 2013 cumpri a função de coordenador dos projetos EaD do Campus São Paulo.

Se, por um lado, essa intensa atividade tomou parte do tempo que me dedicaria às leituras e estudos mais diretamente vinculados à minha pesquisa de doutoramento, por outro ela deslocou o direcionamento do projeto ao abrir uma nova perspectiva para a tomada de dados e testes de aplicação da ideia central a ser apresentada. No projeto entregue para o processo de seleção, ainda muito próximo à análise teórica apresentada no texto *A Física Moderna e Contemporânea como facilitadora do aprendizado em rede* (CANATO JR., MENEZES, 2009), elaborado para o VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (VII ENPEC), a perspectiva apontada era elaborar um material instrucional com base na premissa do papel da física moderna e contemporânea como facilitadora do aprendizado em rede e aplicá-lo junto aos meus próprios alunos de, então, ensino básico. Conforme se acumulava a experiência no IFSP-SP, fui gradativamente ganhando a percepção de que mais rico e apropriado seria deslocar o foco para a formação de professores, ambientando o universo de minha pesquisa a partir nas orientações a estágios.

É nesse contexto que foram elaborados os trabalhos *Integração de atividades presenciais e virtuais no ensino de física* (CANATO JR., 2010), *Física Moderna e Contemporânea e aprendizado em rede* (CANATO JR.; MENEZES, 2011) e *Construindo redes de conhecimento a partir da Física Moderna e Contemporânea em estágios orientados* (CANATO JR., 2011), apresentados, respectivamente, ao Moodle Moot Brasil 2010, ao VI Encontro da Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências (VI EPIEC) e ao XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (XIII EPEF). Também imerso neste percurso está o contínuo desenvolvimento de um domínio próprio (www.fisicaemrede.com) configurado como um ambiente virtual de ensino e aprendizagem *Moodle* que tem sido intensamente utilizado em meus cursos no IFSP-SP. Uma pausa e correspondente desgaste neste processo foram impostos pelo longo movimento paredista dos servidores do IFSP-SP ocorrido no 2º semestre de 2011, resultando em complexo período de reposições de aulas.

Maior consistência pôde-se, então, perceber na pesquisa quando, já ambientado ao IFSP-SP, cumpridos todos os créditos referentes a disciplinas deste Programa de Pós-Graduação e publicados alguns trabalhos sobre minha pesquisa, passei a atuar majoritariamente em disciplinas da licenciatura em física que dialogavam com minha

pesquisa (*Estrutura da Matéria e Oficinas de Projetos de Ensino*) e a coordenar a área de EaD no IFSP-SP, ação consonante com a aprendizagem no gerenciamento do *fisicaemrede.com*.

Nesse âmbito, já visando o Exame de Qualificação, intensificou-se a parceria com o orientador e melhor se definiu o objetivo, os limites e a modelação do trabalho. Como campo e objeto de pesquisa escolheu-se a própria prática do pesquisador como formador de professores junto aos licenciandos em física do IFSP-SP. Do universo de toda a física moderna e contemporânea, recortou-se a física quântica por nela reconhecer de forma mais concreta o papel de enredamento que se quer demonstrar. Além disso, percebeu-se que em vez de apresentar a física quântica como um campo de conhecimento central, tal qual sinalizada pela figura 1A, extraída do trabalho relativo ao VII ENPEC, melhor seria apostar na representação exemplificada na figura 1B, com a física quântica fazendo o papel de fio no tecer conceitual.

Figura 1 - (A) A física moderna e contemporânea com centro da rede conceitual;
(B) A física quântica como fios da teia conceitual.

O Exame de Qualificação e a participação no XIV EPEF com apresentação do trabalho *A Física Quântica como conhecimento em rede no ensino de física* (CANATO JR; MENEZES, 2012) lançaram luz sobre outros aspectos, como a importância do mapeamento de relevâncias e da narrativa na (re)construção do feixe de relações entre os nós da rede de significados próprios de cada aluno e a possibilidade de contextualizar o trabalho com as redes conceituais tecidas pela quântica no campo das pesquisas sobre as chamadas redes complexas. Tais contribuições demandaram um conjunto de novas leituras, assim como a introdução ao uso de *softwares* comumente utilizados na análise dos nós e *links* de uma rede, com a proximidade do final do prazo para o depósito da tese parecendo determinar a necessidade de uma escolha quanto a necessários recortes dos diversos caminhos abertos pela pesquisa. Felizmente, já na “reta final”, a ampliação do Programa de Qualificação e Capacitação oferecido pelo IFSP-SP possibilitou meu afastamento remunerado e permitiu apostar na perspectiva de um texto que tanto pudesse representar um percurso síntese dos caminhos já trilhados, como apontar possíveis continuidades de pesquisa.

1.2 APRESENTAÇÃO

Que a física quântica esteja presente em boa parte dos materiais didáticos elaborados para a escola média é fato consumado. Por genuína convicção na importância dessa inclusão ou por atender a recomendações educacionais oficiais, assuntos como efeito fotoelétrico, espectros ópticos, átomo de Bohr, dualidade onda-partícula, princípio da incerteza, fissão e fusão nucleares, partículas elementares e modelo padrão lá estão apresentados. Outra conversa é a forma com que tais temas estão inseridos: se distribuídos ao longo da coleção ou concentrados ao final do último volume; se contextualizados na vivência contemporânea ou apresentados como objetos teóricos quase que restritos à área científica; se tratados em sua fenomenologia e modelagem ou como objetos matemáticos para resolução de exercícios.

Por observação própria e pelo acompanhamento a estágios de licenciandos do IFSP-SP em escolas de ensino básico percebo, no entanto, a permanência de significativas resistências do professorado para a inserção da física quântica em suas aulas. Quantidade já excessiva de conteúdos referentes à física clássica, qualificação dos fenômenos e teorias quânticas como entidades por demais abstratas, falta de pré-requisitos do alunado e reconhecimento de sua má formação ou de carência em sua atualização, são algumas das considerações comumente anunciadas como justificativas para tal resistência.

Ainda que a má formação de alunos e professores, associadas às péssimas condições de trabalho, relativas tanto a excessivas jornadas e baixos salários como à inadequada estrutura de muitas escolas, sejam, de fato, um dos principais, senão o principal problema do sistema educacional brasileiro, a dificuldade para com o trato da quântica nas aulas praticadas na escola média parece ter muito mais a ver com a enraizada absolutização do método cartesiano de dar-se sequência a um encadeamento linear de pré-requisitos. E nesse sentido, a discussão extrapola o ensino básico, com o ensino da quântica sendo normalmente previsto nas grades curriculares apenas na segunda metade dos cursos de licenciatura e bacharelado em física.

Independentemente das condições de trabalho e do nível de escolaridade, no ensino de física há predomínio, em larga escala, da sequência que, iniciada pelas mecânicas de Galileu e Newton, segue internamente à física clássica até o eletromagnetismo de Maxwell, quando, então, se apresenta a chamada física moderna, quase sempre com a discussão da relatividade de Einstein antecedente à apresentação dos fenômenos quânticos.

De fato, são necessários alguns pré-requisitos para se explicar o porquê dos coeficientes angular e linear da reta traçada no gráfico do potencial de corte em função da frequência da luz incidente sobre um material sujeito ao efeito fotoelétrico corresponderem, respectivamente, ao *quantum de ação*, h , e à *função trabalho*, ϕ , do material. Não há, porém, qualquer lacuna quanto a algum conhecimento prévio formal que impeça uma apresentação fenomenológica do efeito fotoelétrico logo na primeira aula do primeiro ano do ensino médio. Pelo contrário, discussões sobre a segurança das portas de elevadores que não fecham enquanto entre elas estiverem posicionados objetos ou pessoas, a abertura automática de portas de lojas e aeroportos, o funcionamento de um controle remoto, o acionamento da iluminação pública ao anoitecer e a conversão de energia solar em elétrica por telhados contendo placas fotovoltaicas, são muito mais pertinentes a uma aula inaugural de física do que a apresentação de definições como as de ponto material e corpo extenso.

Com isso, já se anuncia um dos motes desta tese: a compreensão da física quântica como conhecimento em rede. Todas as partes em que a física é tradicionalmente compartimentada estão presentes nesse conjunto de exemplos relacionados ao efeito fotoelétrico: ótica, mecânica e eletromagnetismo no mecanismo de abertura de portas ao se interromper o fluxo de luz sobre uma célula ou sensor fotoelétrico acoplado a um motor elétrico que fornece a energia mecânica para o movimento da porta; ondulatória, óptica e eletromagnetismo na transmissão de informações pelo controle remoto que a cada tecla ou botão apertado envia luz infravermelha de comprimento de onda precisamente necessário para

acionar determinado circuito elétrico no aparelho remotamente localizado; óptica e eletromagnetismo nos dispositivos presentes nos postes de iluminação pública que tem sua resistência elétrica variada de acordo com a luminosidade; física térmica e eletromagnetismo na conversão de energia solar em elétrica pelos ou nos telhados com células fotovoltaicas. A quântica, manifestada neste caso pelas tecnologias associadas ao uso do efeito fotoelétrico, atua como fio que tece a rede de conhecimentos constituída pelos diferentes campos da física.

É na perspectiva de estender e aprofundar esta discussão que no Capítulo 2, de título *Física Quântica: tecido de várias redes*, será analisado o papel desempenhado pela quântica no enredamento de diversos domínios: interno à própria física, em seu desenvolvimento histórico e conceitual; na interligação das ciências e destas com outras áreas; no cotidiano contemporâneo; como catalisadora da atual evolução social.

Na sequência, *O mundo das redes*, Capítulo 3, abordará o campo das redes complexas que tem seu desenvolvimento intimamente vinculado à emergência da microeletrônica e das tecnologias da informação e comunicação. O processamento de bases de dados cada vez mais extensas tem motivado inúmeras pesquisas sobre as características das mais diversas redes, tais como as interações proteicas no campo da biologia, as conexões neuronais mapeadas no estudo do cérebro, as empresas-rede na área econômica, os hipertextos da *web*, as interconexões entre roteadores e outros dispositivos via *internet* e os mapeamentos de coautorias e cocitações em trabalhos acadêmicos.

A distribuição dos nós e a verificação da importância de suas relativas centralidades para aspectos como a vitalidade da rede ou a transmissão de informações por meio dos *links* que os conectam são elementos centrais da teoria de redes que têm possibilitado caracterizar como topologicamente semelhantes redes de natureza muito diferentes. Como parte desse processo, a frequência e disposição das palavras presentes em um texto, ou em um conjunto de textos, têm sido investigadas como forma de caracterizar, dentre outros estudos, aspectos culturais refletidos na língua escrita, estilos e qualidades autorais, a relativa importância entre os personagens de um enredo, mapeamentos de redes de conceitos e de redes de influências entre avanços científicos.

De potencial interesse para o campo educacional, as investigações em neurociência vêm crescentemente vinculando processos de aprendizagem com alterações cerebrais. Não parece, no entanto, estar no horizonte próximo a descoberta de uma relação direta entre anatomia cerebral e cognição. De qualquer forma, pelo próprio desenvolvimento da linguagem, entende-se que o conhecimento se desenvolve por meio de redes de significados. Esta é, aliás, uma premissa do Capítulo 4, intitulado *Uma educação científica em rede* que se

apoia na validade das metáforas do hipertexto e do rizoma na esfera educacional, qualifica a aprendizagem como fenômeno complexo, argumenta quanto à necessidade de não apenas tecer redes de significados, mas também de mapear relevâncias e desenvolver narrativas, explora a necessidade de se avaliar de forma qualitativa e processual, além de defender o uso de simulações computacionais e dos ambientes virtuais de ensino e aprendizagem.

Ainda neste mesmo capítulo, se estabelece uma ponte com a discussão apresentada no Capítulo 2, já projetando as práticas de ensino a serem analisadas no Capítulo 5: se o conhecimento se constrói como uma rede de significados e se a física quântica cumpre destacado papel na interligação entre os mais diversos campos de conhecimento, então é possível nela apostar como veículo privilegiado para se tecerem redes conceituais no processo de ensino-aprendizagem. Nesse sentido se apresentam algumas sequências didáticas praticadas junto aos licenciandos do IFSP-SP que visam concretizar essa ideia e se argumenta quanto à maior facilidade em se aprender física quando os fenômenos quânticos são abordados ao longo do processo de ensino e aprendizagem. É também neste capítulo que se problematizam algumas dificuldades e resistências do professorado para com a inserção da física quântica na escola média e se defende a necessidade do professor perceber-se como um pesquisador, devendo-se apostar muito mais em mudanças emergentes da própria escola média do que esperar-se por reformas universitárias promotoras de uma formação inicial caracterizada por uma concepção mais integradora do conhecimento.

O conjunto das premissas apresentadas nos capítulos anteriores balizam as práticas educacionais descritas e analisadas no Capítulo 5, denominado como *Práticas na formação de professores*. Procede-se aqui à descrição e análise de minhas práticas junto aos licenciandos do IFSP-SP, com a orientação a estágios pautados na investigação da quântica como promotora de conexões entre diferentes campos de conhecimento cumprindo papel de destaque. Também realçadas são as práticas relativas a um curso sobre a estrutura da matéria e ao uso do *fisicaemrede.com*.

Fechando o trabalho, em *(IN)Conclusão: redes abertas*, Capítulo 6, identificam-se perspectivas para a continuidade da pesquisa, seja quanto a lacunas nela percebidas, seja quanto a novos caminhos por ela abertos. Trata-se, nesse caso, de entender que eventuais trilhas abertas por uma pesquisa, como a aqui apresentada, possam ser pensadas tanto como lacunas ainda a cumprir, como perspectivas de novos percursos, ou seja, conclusão que não se resume a fecho.

Em tempo, vale ponderar de que algum “didatismo descritivo” que eventualmente se perceba nos capítulos iniciais pode ser compreendido (ou desculpado) no sentido de adiantar

elementos e roteiros essenciais para a formação em rede defendida, especificamente, nos capítulos 4 e 5. Afinal, quanto maior a compreensão que se tenha do papel desempenhado pela quântica no desenvolvimento científico e social, mais facilidade se tem em visualizar caminhos alternativos em seu uso como teia no processo de ensino e aprendizagem. Por sua vez, uma visão global dos emergentes estudos sobre a teoria de redes lança luz sobre possíveis maneiras de se visualizar produções discentes em seu conjunto e nelas caracterizar tendências e discrepâncias.

Também há interação na via inversa, com a prática no ensino da quântica e a orientação a projetos envolvendo redes de conceitos por ela tecidas proporcionando constantes aprofundamentos e extensões quanto à percepção daquele papel de conexão atribuído à quântica. Papel ainda mais claramente caracterizado quando se aplica ao desenvolvimento histórico e conceitual da física algumas das metáforas atribuídas ao conhecimento: tal como uma árvore, a física se enraíza na mecânica e na termodinâmica; entrelaçada pela quântica lembra o rizoma.

Este texto pode ser, enfim, percebido como a confluência de várias redes: as conexões estabelecidas pela quântica (Capítulo 2); a visão global dos estudos emergentes sobre a teoria de redes (Capítulo 3); o conhecimento como rede (Capítulo 4); práticas na formação docente articuladas por essas redes (Capítulo 5). É justamente na exploração dessas redes em um só texto que reside uma das contribuições desta tese.

2 FÍSICA QUÂNTICA – TECIDO DE VÁRIAS REDES

Sociedade em Rede, Era da Informação, Sociedade Pós Industrial e Terceira Onda são alguns dentre muitos termos cunhados para exprimir grande diversidade de caracterizações da sociedade contemporânea. Por mais discrepantes que elas sejam, é difícil escapar da percepção de que a microeletrônica e demais tecnologias da informação e comunicação, bem como tecnologias mais recentes como a nanotecnologia e a biotecnologia, figuram como um dos fatores chave das transformações sociais, econômicas e culturais.

Se a microeletrônica e demais tecnologias dela emergentes tem tal importância para a sociedade contemporânea, pode-se assegurar que a física quântica também a tem como sua base tecnológica. Isso vale desde o desenvolvimento dos circuitos integrados das décadas de 50 e 60, decorrente da invenção dos transistores, dispositivos em que materiais semicondutores fazem amplificação de corrente, análoga à amplificação de tensão por válvulas termoiônicas clássicas.

Unificações conceituais e experimentais como essas não são, aliás, exceção na história da quântica, fazendo mesmo parte de sua própria emergência, haja vista alguns dos famosos problemas teóricos do início do século XX, como a questão da luz emitida por fornos e gases incandescentes, a dualidade onda-partícula e a condutância elétrica pela incidência de luz nos semicondutores.

Assim, seja pela promoção de vínculos históricos e conceituais internos à física, pelos estreitos laços que se estabelecem com conteúdos das demais ciências da natureza, bem como pela sua íntima relação com as tecnologias hoje impregnadas na vivência contemporânea e na estrutura social, a física quântica cumpre destacado papel na interligação entre os mais diversos campos de conhecimento. É a partir da explicitação de algumas destas conexões que este capítulo busca apresentar a física quântica enquanto tecido de várias redes, cujos entrelaçamentos conformam a primeira grande rede abordada neste trabalho.

Grande, vale esclarecer, por sua composição como interconexão entre vários enredamentos e não como qualificação de sua amplitude. Além de apontar possibilidades de extensões para cada um dos enredamentos trabalhados, neste capítulo também se reconhecem possíveis limites da abrangência da física quântica, deixando aberto o caminho para a incorporação de novas investigações, tal qual a referente aos sistemas complexos e evolutivos.

2.1 NA CONSTRUÇÃO HISTÓRICA E INTERLIGAÇÃO CONCEITUAL DA FÍSICA

Segundo Menezes (2005), o conjunto de conhecimentos que conformam a física pode ser representado por uma combinação de mapa conceitual e roteiro histórico (figura 2), uma espécie de arquitetura da física:

O conhecimento do mundo material [...] tem caráter histórico e se desenvolve por meio de contradições. Novas visões hegemônicas incorporam elementos das visões superadas, novas ideias são frequentemente construídas com formas antigas, assim como uma nova cultura não é independente das suas precedentes. Isso se reflete na estrutura do conhecimento, atribuindo-lhe uma curiosa arquitetura, que lembra templos que passaram por sucessivas civilizações, onde os pavimentos erguidos pelos conquistadores usam blocos tirados da demolição daqueles construídos pelos conquistados sobre as mesmas fundações. (MENEZES, 2005, p. 29).

Figura 2 - Uma arquitetura para a física (MENEZES, 2005, p. 32)

São várias as leituras que podem ser elaboradas dessa arquitetura. De baixo para cima, faz-se um percurso histórico de séculos, do mais antigo ao mais novo no desenvolvimento da física. Da esquerda para a direita, um percurso energético, das altas às baixas energias. Não por acaso, esse percurso energético é também o percurso de bilhões de anos do simples ao complexo. Das quebras de simetria nos primeiros instantes do conhecido universo precedente à “bola de fogo”, o Universo foi se resfriando e da nucleossíntese inicial à síntese das estrelas

foi se tornando mais e mais complexo até originar a vida na Terra e eventualmente em outras partes.

Traçados simultaneamente, estes dois percursos nos levam (não exatamente por uma linha diagonal sem desvios laterais ou verticais) da física clássica à física dos sistemas complexos e evolutivos. Do todo, “cartesianamente decomponível” em partes, à totalidade quântica, em que um único próton ou elétron a mais ou a menos faz toda a diferença entre um gás nobre e um elemento altamente interagente, ao mesmo tempo em que esse próton ou elétron é exatamente sempre o mesmo, indistinguível, seja lá onde esteja. Menezes (2005) faz interessante exploração a esse respeito:

Os objetos clássicos, martelos, ou penhascos, podem ser distinguidos de seus semelhantes e guardam marcas de sua história. Em contrapartida, seus processos são relativamente controláveis, como a trajetória de um martelo ou a queda de um penhasco. Talvez exatamente isso é que permite a infinita e contínua variedade clássica com que nos habituamos em nosso cotidiano no qual os pães, por exemplo, podem ter diferentes tamanhos, texturas e sabores, em oposição aos prótons, todos tão tediosamente idênticos.

Pães são feitos de coisas vivas, como o fermento e o trigo, mais complicados, por exemplo, do que os cristais de sal, também presentes no pão. O fermento e o trigo, assim como o sal, são feitos de átomos quânticos, mas sendo vivos, são ordens emergentes de processos complexos adaptativos, através dos quais a precisa ordem quântica se traduz na imprecisa e criativa variedade clássica. Cada ser vivo se funda na ordem infinitesimal da mensagem físico-química de seu DNA, assim como o cristal, herda sua transparência e cor da ordem quântica de suas células moleculares, mas entre a vida e o cristal, há um abismo de complexidade. (MENEZES, 2005, p. 247).

Atuando em todos esses percursos como se fosse um nó decisivo para a fluidez de informação através de uma rede, está o *quantum de ação*, h , gestado com certa aflição por Planck, um “físico clássico” por excelência. Constituinte conceitual fundamental dos processos naturais descontínuos, o *quantum de ação* provocou uma descontinuidade no próprio desenvolvimento da física que abriu as portas para reinterpretações de fenômenos há muito conhecidos, explicações de outros considerados enigmáticos e inaugurações de novos campos de conhecimento.

Como retrato desse processo vale resgatar o registro de Segrè (1980) acerca da desconfiança depositada pela comunidade científica na hipótese atômica às vésperas de sua consagração:

Em 1905 [...] o ceticismo ainda imperava, com alguns cientistas rejeitando incontinenti a teoria corpuscular da matéria e outros reconhecendo a utilidade da teoria atômica na química, mas considerando-a longe da realidade. Esses céticos não eram loucos nem incompetentes. Por exemplo, pouco tempo antes Sir Benjamim Collins Brodie (1817-1880), professor de química em Oxford, elaborava relatórios e escrevera livros para mostrar que os átomos não eram necessários à química. Com

toda seriedade, desenvolvera um sistema de onde os átomos foram excluídos, e ao qual deu o nome de “química ideal”. Sentiu-se ofendido quando usaram arames e bolas para construir modelos de moléculas em química orgânica: considerou essas construções como “obra de carpinteiro e de natureza inteiramente materialista”, um ultraje, algo absolutamente abaixo da dignidade da química.

Em 1887, o estandarte do antiatomismo foi erguido por Wilhelm Ostwald (1853-1932), um proeminente químico alemão e um dos primeiros cientistas a serem laureados com o Premio Nobel (1901). Naquele ano, na qualidade de professor de química em Leipzig, Ostwald pronunciou uma aula inaugural na qual apresentou uma doutrina “energética”, em que afirmava que todos os fenômenos podiam ser explicados através da ação recíproca da energia, sem a necessidade de átomos. Mais tarde, publicou um manual de química que não usava a teoria atômica e em 1909 esse livro foi traduzido para o inglês com o título de *Fundamental Principles of Chemistry*. Ostwald manteve-se arraigado em sua posição até que J.J.Thomson e S. A. Arrhenius conseguiram abalar-lhe as convicções e ele se retratou na edição de 1912 de sua *Allgemeine Chemie*. (SEGRÈ, 1980, p. 7).

Ainda segundo Segrè (1980, p. 7-8), mesmo Planck “receava manifestar sua crença no átomo”, somente a aceitando “quando ela se tornou necessária para a fundamentação teórica de sua lei da radiação”, tendo inclusive escrito em sua autobiografia que chegou a ser “não apenas indiferente, mas, em certa medida, até mesmo hostil à teoria atômica”.

Na raiz dessa questão situa-se o prestígio ganho pela termodinâmica, impulsionada pela ascensão das máquinas a vapor inglesas e suas conversões de calor em trabalho, associadas a processos irreversíveis, assim como a ulterior interpretação estatística por Boltzman. Diferentemente da simples transmissão de movimento que caracteriza um moinho ou roda d’água, uma máquina a vapor produz movimento em ciclos: aquecido e pressionado pelo ganho de calor de uma fornalha, o vapor expande e empurra o pistão que, então, retorna à posição original após a liberação do vapor e resfriamento do sistema. Não fosse necessário o resfriamento, todo o calor fornecido pela fornalha seria transformado em movimento, equivalendo a um rendimento de 100% e a uma máquina perfeita!

A ciência termodinâmica não tardou a notar a impossibilidade de tal rendimento e à percepção de que a energia é algo que sempre se conserva, se acrescentou o reconhecimento de sua tendência à degradação associada às transformações irreversíveis, processo contextualizado por Prigogine e Stengers (1984) como uma das marcas da era industrial:

Quando comparamos aparelhos mecânicos aos motores térmicos, como as caldeiras em brasa das locomotivas, percebemos com um golpe de vista o degrau entre a idade clássica e a tecnologia do século dezenove. De início os físicos pensaram que esse degrau podia ser ignorado, que os motores térmicos podiam ser descritos como os mecânicos, negligenciando o fato crucial de que o combustível usado pelo motor a vapor desaparece para sempre. Mas tal complacência tornou-se logo impossível. Para a mecânica clássica o símbolo da natureza era o relógio; para a era industrial, ele se tornou um reservatório de energia sempre ameaçado por sua extinção. O mundo queima como uma fornalha; energia, embora conservada, também está sendo dissipada. (PRIGOGINE e STENGERS, 1984, p. 111, tradução nossa).

As transformações irreversíveis apontavam para uma evolução espontânea do sistema desde um estado de maior organização, portanto com maior quantidade de energia disponível para a realização de trabalho, para um estado de maior desordem. Tal preferência da natureza por estados de maior entropia, como veio a ser chamada a grandeza física formulada para se quantificar o grau de desordem de um sistema, apresentava-se como um sério problema para a mecânica newtoniana. Ainda que em nosso cotidiano possa parecer absurdo ver cacos de vidro se juntar e reverter a queda de um copo de água, o legado newtoniano não apresentava obstáculo teórico a essa possibilidade: conhecidas as condições iniciais e todas as forças envolvidas, poderíamos “rodar o filme” tanto para o futuro como para o passado; efeitos energéticos dissipativos, como o atrito, apenas imporiam maior dificuldade para se conhecer em detalhe a realidade, nada que um cuidadoso estudo ou um aprimoramento das técnicas de observação e medida não pudessem resgatar com precisão cada vez mais acurada.

Mas o que os motores a vapor indicavam não era uma questão restrita à maior ou menor precisão nas medidas efetuadas e, sim, a existência de uma tendência universal de degradação da energia mecânica, inviabilizando o caminho para o passado: tendo chego ao chão com grande velocidade (passado), aquele copo de vidro se espatifou (futuro); o contato de dois objetos a diferentes temperaturas (passado) resultará em seu equilíbrio térmico (futuro). À lei da degradação da energia associava-se, assim, uma flecha do tempo, um vetor, apontando do passado para o futuro. Em seu conjunto, a termodinâmica se mostrava, assim, como uma nova ciência, muito mais comprometida com uma visão global do sistema amparada nas medidas de grandezas macroscópicas, como pressão, volume e temperatura, do que com a descrição da dinâmica de cada partícula componente do sistema.

Na tentativa de reconciliar a mecânica com a termodinâmica, floresceu a mecânica estatística e a hipótese de Boltzmann de que a entropia relativa a determinado estado macroscópico de um sistema estaria associada à probabilidade do conjunto de suas partículas se organizarem daquela forma: calculadas todas as combinações possíveis de um sistema isolado de muitas partículas, é muito maior a probabilidade de encontrá-lo na situação de equilíbrio, com as partículas tendendo à mesma distribuição de velocidade e se movimentando em direções aleatórias. Portanto, a tendência ao estado de maior entropia se explicaria pela maior probabilidade de assim estar organizado um sistema isolado, hipótese que, como bem analisado por Prigogine e Stengers (1984), se afastava dos pressupostos newtonianos:

O resultado de Boltzmann significa que a transformação termodinâmica irreversível é uma transformação para estados de maior probabilidade e que o estado atrator é o estado macroscópico que corresponde à máxima probabilidade. Isto nos leva bem longe de Newton. Pela primeira vez um conceito físico era explicado em termos de

probabilidade. Sua utilidade se faz presente de imediato. Probabilidade pode adequadamente explicar o esquecimento do sistema de todas as assimetrias iniciais, de todas as distribuições especiais (por exemplo, o conjunto de partículas concentradas em uma sub-região do sistema, ou a distribuição de velocidades que é criada quando dois gases de diferentes temperaturas são misturados). Este esquecimento é possível porque seja qual for a evolução peculiar para o sistema, cedo ou tarde ele será levado a um dos estados microscópicos correspondente ao estado macroscópico de máxima desordem e simetria, haja vista que este estado macroscópico corresponde à esmagadora maioria dos possíveis estados microscópicos. Uma vez atingido esse estado, o sistema dele se afastará somente por pequenas distâncias e por curto período de tempo. Em outras palavras, o sistema meramente flutuará ao redor do estado atrator. (PRIGOGINE e STENGERS, 1984, p. 124, tradução nossa).

Segundo Baggott (2011) foi com o intuito de rebater a análise de Boltzmann e encontrar uma comprovação definitiva da termodinâmica enquanto uma ciência independente da hipótese atômica que Planck se dedicou ao, na época, intrigante problema da radiação de corpo negro emitida por cavidades de fornos aquecidos:

Parecia uma escolha perfeita. A física teórica da radiação da cavidade parecia não ter conexão com átomos ou moléculas. Era um problema das ondas contínuas de radiação eletromagnética, tal qual descrito pela teoria de Maxwell, e da termodinâmica, cuja segunda lei dirigiria a radiação ao equilíbrio. Planck raciocinou que se ele pudesse demonstrar como o equilíbrio era estabelecido sem recorrer ao modelo mecânico estatístico dos atomistas, ele poderia minar a própria base da descrição mecânica. (BAGGOTT, 2011, p. 9).

Como modelo para a reflexão da radiação nas paredes da cavidade, Planck a imaginou constituída de osciladores hertzianos que, vibrando em movimento harmônico simples, garantiriam o necessário equilíbrio entre absorção e reemissão da radiação. Planck esperava, então, encontrar uma distribuição contínua para a energia destes osciladores. No entanto, o resultado a que chegou foi que a energia, E , dos osciladores harmônicos não se distribuía continuamente, mas sim, em pacotes múltiplos inteiros de uma quantidade mínima correspondente a cada frequência, f , ou seja, $E = nhf$, com n inteiro e h , por ele chamado de *quantum de ação*, valendo aproximados $6,6 \cdot 10^{-34}$ Js. Em vez de rebater a abordagem da mecânica estatística para interações na matéria, Planck a estendeu para interações entre matéria e radiação, estabelecendo importante conexão entre a mecânica, a termodinâmica e o eletromagnetismo. Tal conexão foi logo aprofundada pelo próprio Planck que com auxílio de seu *quantum de ação* derivou a carga do elétron e o número de Avogadro com uma precisão somente ultrapassada 20 anos depois (SEGRÈ, 1980, p. 75-76).

Apesar da exatidão com que resolveram o enigmático problema do corpo negro, os pacotes energéticos de Planck careciam de uma interpretação física mais consistente, papel cumprido por Einstein alguns anos depois em sua explicação para o efeito fotoelétrico. Para

Einstein, não apenas os osciladores, mas a própria radiação emitida pela cavidade, bem como a luz em geral se caracterizaria por sua granulação energética determinada pelos *quanta* hf . A ejeção de elétrons pela incidência de luz seria resultado da absorção por parte destes elétrons de pacotes hf de energia. Os *quanta* de luz comportavam-se, assim, como partículas, mais tarde apelidadas de fótons¹. Tal manifestação corpuscular não negava, no entanto, o comportamento ondulatório apresentado pela luz nos fenômenos de difração e interferência. Florescia aí o reconhecimento do caráter dual da luz, nova conexão entre a mecânica e o eletromagnetismo possibilitado pelo *quantum de ação*.

Apostando na granulação da energia como uma regra fundamental da natureza, Einstein desenvolveu também uma satisfatória explicação para a dependência do calor específico para com a temperatura observada em sólidos submetidos a baixas temperaturas. Para tanto, Einstein tratou os átomos da substância como osciladores vibrando com valores discretos de energia, múltiplos inteiros de uma energia fundamental de vibração, $E = hf$, característica de cada material: em altas temperaturas, os osciladores vibram com grande energia e a absorção de um *quantum* de energia a mais ou a menos tem efeito desprezível, levando-os ao comportamento clássico de terem suas energias mudando continuamente e com o sólido não sofrendo variações em seu calor específico; mas conforme a temperatura do sólido é diminuída, um *quantum* de energia deixa de ser desprezível e a energia dos osciladores revela seu caráter descontínuo, comportamento que tem como consequência a diminuição do calor específico do material que tende a zero próximo ao zero absoluto.

As interpretações quânticas de Einstein para o efeito fotoelétrico e para o calor específico dos sólidos tiveram influência direta ou indireta na formulação de diversas descobertas teóricas ou experimentais, inspirando-nos a reolhar aquela arquitetura da física proposta por Menezes (2005) de forma a considerar a evolução do *quantum de ação* como uma flecha do tempo no desenvolvimento histórico e conceitual da física ao longo do século XX: os *quanta* de luz mostraram-se fundamentais na elaboração do modelo atômico de Bohr e, por extensão, no desenvolvimento da física atômica e nuclear, intimamente vinculada ao estudo de partículas e campos e, portanto, às teorias cosmológicas de como tudo começou

¹ De acordo com Kragh (2014), o termo fóton foi cunhado de forma independente e em sentido diferente do que hoje conhecemos em (a) 1916, por Leonard Thompson Troland, como uma unidade para a iluminação da retina, (b) 1921, por John Joly, como unidade de estímulo ou sensação visual e (c) 1926, por Gilbert N. Lewis como um novo tipo de átomo que, associado a uma completa simetria entre os processos de emissão e absorção de luz, teria sua quantidade sempre conservada em sistemas isolados. Foi somente a partir da Conferência de Solvay de 1927, que o termo começou a ganhar maior presença e equivalência com os *quanta* de luz de Einstein, tendo sido utilizado nas apresentações de H. A. Lorentz, Louis de Broglie, Paul Dirac, Léon Brillouin, Paul Ehrenfest e Arthur Compton.

(figura 3, seta azul); por sua vez, a percepção do comportamento quântico dos sólidos a baixa temperatura foi o ponto de partida para a impulsão da física da matéria condensada que veio reconhecer as propriedades semicondutoras e supercondutoras que caracterizam alguns materiais, bem como a existência das transições de fase e dos pontos críticos, termos que já dialogam com o estudo da evolução dos sistemas complexos (figura 3, seta vermelha).

Figura 3 - Dois percursos históricos que podem ser percebidos como decorrentes da teoria dos quanta: (seta azul) rumo às teorias cosmológicas de como tudo começou, passando pela física atômica e nuclear, intimamente vinculada ao estudo de partículas e campos; (seta vermelha) rumo à evolução dos sistemas complexos, passando pelo desenvolvimento da física da matéria condensada que veio reconhecer as propriedades semicondutoras e supercondutoras que caracterizam alguns materiais, bem como a existência das transições de fase e dos pontos críticos.

É recomendável ponderar alguns limites da argumentação aqui apresentada. Longe da fidelidade ao uso de consagrados termos teóricos e a precisas análises históricas, intenciona-se destacar o papel desempenhado pela física quântica, essencialmente por sua interpretação descontínua da matéria e da radiação, na conexão conceitual e histórica da física desenvolvida desde a virada do século XIX ao XX. Nos dois percursos históricos acima identificados, decerto há uma infinidade de ramificações, além de algumas pontes que os identifiquem como

parte de processos conjuntos, ou mesmo que possibilitem a descrição de caminhos alternativos.

A fim de realçar o enredamento conceitual desempenhado na física pelo *quantum de ação*, pode-se também pensar em representações menos históricas e mais conceituais, como a representada na figura 4, abrindo espaços próprios para campos de conhecimento como a ótica e ondulatória, absorvidas em visões mais globais pelo eletromagnetismo ou pela mecânica.

Figura 4 – Uma interligação de campos da física com exemplos de “pontes quânticas”.

Vale a pena descrever as conexões apresentadas nesta figura que ainda não foram objeto de análise ao longo do texto. 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. 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. Eletromagnetismo e

física térmica conectam-se a partir da propriedade de alguns materiais em se tornarem supercondutores a partir de seu resfriamento. Os espectros ópticos dos elementos químicos formados pela interferência das radiações difratadas por múltiplas fendas fornecem uma ponte entre a óptica e a ondulatória. Eletromagnetismo e mecânica vinculam-se pela conservação do momento e da carga elétrica na criação e aniquilação de pares de partículas e anti-partículas. Mecânica e física térmica ligam-se, por exemplo, em razão da interpretação quântica da entropia e do desenvolvimento da mecânica estatística quântica de Bose-Einstein, aplicada aos fótons e outros bósons, e a de Fermi-Dirac, aplicada aos elétrons e outros férmions.

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 e ainda que possamos imaginar diferentes maneiras pela qual a física quântica poderia ter surgido, é difícil defender uma via de desenvolvimento histórico na qual ela não tivesse exercido um papel protagonista ou, ao menos, de importante ator sempre presente.

Aliás, a última afirmação abre o caminho para um eventual estudo complementar ao presente texto rumo ao terreno das histórias contrafactuais definidas por Pessoa Jr (2000) como “*histórias possíveis que não se realizaram*” e que mapeadas poderiam “*explicar melhor por que os diferentes episódios da história da ciência ocorreram*”. A partir da análise da correlação de assuntos e citações presentes em centenas de artigos publicados na transição da física clássica à quântica, Pessoa Jr identifica na rede de influências entre artigos (figura 5) quatro grandes vias que poderiam ter levado ao surgimento da física quântica: a própria via factual da radiação térmica que poderia ter trilhado caminhos alternativos e as vias da espectroscopia, dos efeitos ópticos e do calor específico. A investigação de Pessoa Jr sugere possíveis caminhos alternativos para o desenvolvimento da física quântica ao longo do século XX, estudo que poderia melhor caracterizar o enredamento construído pela quântica, objeto de análise nesta tese.

Figura 5 - Rede de influências entre artigos publicados na transição da física clássica à quântica com destaque a quatro vias que poderiam ter levado ao surgimento da física quântica: radiação térmica, espectroscopia, efeitos ópticos, calores específicos (PESSOA JR, 2000).

Antes de se avançar para a investigação de outros enredamentos tecidos pela física quântica, vale explicitar que não se trata aqui de meramente enaltecer este campo de conhecimento, mas de enfatizar seu papel como pivô na formação científica. Apesar do grande êxito alcançado pela física quântica na explicação de diversos fenômenos e da versatilidade de sua aplicação tecnológica, há, por exemplo, todo um debate que segue aberto acerca da interpretação quanto a aspectos que lhe são essenciais, tal como a dualidade onda-partícula: o que “realmente” acontece com fótons e elétrons para tornar possível a projeção de padrões de interferência em um anteparo após suas passagens por um dispositivo de dupla fenda?

Segundo Pessoa Jr. (2003, p. 5) as dezenas de interpretações existentes podem ser agrupadas nos seguintes blocos: (a) interpretação ondulatória, que supõe a propagação do objeto como onda redutível a um pacote de onda bem estreito no momento da detecção; (b) interpretação corpuscular, que considera o objeto como partícula sem existir qualquer onda a ele associada e com o padrão de interferências sendo formado devido à natureza das leis quânticas; (c) interpretação dualista-realista, que associa uma onda à partícula, com a probabilidade da partícula se propagar em certa direção dependendo da amplitude da onda que lhe está associada, não havendo partícula nas regiões em que as ondas se cancelam; (d) interpretação da complementaridade, que nega dar sentido à definição da real natureza de um objeto quântico, que tanto pode se comportar como onda ou como partícula, comportamentos, aliás, mutuamente excludentes, sendo o fenômeno ondulatório quando ocorre ou possa ocorrer franjas de interferência e corpuscular quando se pode inferir a trajetória passada do *quantum* detectado, detecção essa explicada pelo postulado de Planck que considera a existência de uma descontinuidade essencial em qualquer processo atômico².

À problemática da identificação da real natureza dos objetos quânticos e respectivo questionamento se tal identificação é até mesmo provida de algum sentido, soma-se a questão das abordagens subjetivista e objetivista da medição, com a primeira atribuindo ao observador um papel de destaque e a segunda buscando excluir qualquer essencial influência do observador nos resultados. Na base do problema está a contradição entre a evolução temporal determinista que caracteriza o estado quântico antes da medição e o indeterminismo inerente ao processo da medição:

A mecânica quântica (MQ) pode ser estruturada da seguinte maneira. Um sistema fechado é descrito por um "estado" que evolui no tempo de maneira determinista (de

² Mais recentemente o autor considerou importante destacar um quinto grupo associado às interpretações instrumentalistas dos físicos matemáticos.

acordo com a equação de Schrödinger). Ao contrário da mecânica clássica, este estado em geral fornece apenas as "probabilidades" de se obterem diferentes resultados de uma medição. Após a medição, o sistema passa a se encontrar em um novo estado, estado este que depende do resultado obtido. Assim, pode-se dizer que no decorrer da medição o sistema evoluiu de maneira indeterminista. Esta transição tem sido chamada de "colapso do pacote de onda" ou "redução de estado", sendo descrita pelo postulado da projeção de Von Neumann. (PESSOA JR, 1992, p.177-178).

Além das polêmicas envolvendo suas diversas interpretações, a teoria quântica não tem conseguido abranger tudo o que hoje se conhece de física. Uma teoria que dê conta da unificação entre quântica e relatividade geral ainda está, por exemplo, a ser formulada. Ainda que fortalecido com a detecção do *bóson de Higgs*, a famosa “partícula de Deus”, o modelo padrão ainda não esclarece todos os mistérios, a exemplo das chamadas matéria e energia escuras.

Assim também, as questões da entropia, da irreversibilidade e da flecha do tempo que a quântica procurou responder em seu nascimento, talvez precisem da formulação de uma teoria que transcenda tanto a física clássica como a quântica. Esta última ideia já é, claro, um resgate aos estudos de Prigogine sobre a instabilidade dos sistemas distantes da condição de equilíbrio e sujeitos a diversas possibilidades evolutivas irreversíveis.

Diferentemente da estabilidade de um pêndulo que oscila em torno de sua posição de equilíbrio após a ação de uma pequena perturbação, grupos de pêndulos acoplados apresentam comportamento caótico a cada ínfima perturbação que lhes seja aplicada. A problemática da previsão do tempo, a evolução da fumaça de uma chaminé, a ocorrência de arritmias do coração e de ataques epiléticos e a dinâmica do crescimento populacional são também exemplos que se enquadram no estudo dos sistemas caóticos, assim denominados devido à imprevisibilidade da ordem a ser instaurada após determinada perturbação e não por serem desordenados.

Também emergentes de situações distantes do equilíbrio, transições de fase como as que ocorrem na imantação e no congelamento da água, são fenômenos de particular interesse para o estabelecimento de uma primeira ponte com *O mundo das redes*, título do próximo capítulo desta tese. Resgato, então, a explicação sobre o assunto dada por Duncan Watts, um dos pioneiros nos estudos das chamadas redes complexas:

É bem estranho, mas, no ponto crítico de transição, todas as partes do sistema agem como se pudessem se comunicar entre si, apesar de suas interações serem puramente locais. A distância através da qual os *spins* individuais parecem se comunicar é geralmente chamada de distância de correlação do sistema, e uma forma de pensar no ponto crítico é o estado no qual a *distância de correlação* cobre o sistema inteiro. Nessa condição, conhecida como *criticalidade*, minúsculas perturbações, que em qualquer outro estado só seriam sentidas localmente, podem se propagar sem limites

até mesmo por um sistema infinitamente grande. O sistema, portanto, parece exibir uma espécie de coordenação global, mas o faz na ausência de uma autoridade central. Nenhum centro é necessário quando se está em criticalidade, porque qualquer ponto, não apenas um centro, é capaz de afetar qualquer outro ponto. De fato, como cada ponto é, por definição, idêntico, e todos estão identicamente conectados, não há base para que um esteja encarregado de outros, e, assim, para que haja um centro. Em consequência, nenhuma medida de centralidade teria utilidade para se descobrir a causa inicial do comportamento observado. Em vez disso, [...] uma série de eventos randômicos – eventos que passariam despercebidos em condições normais – pode, no ponto crítico, empurrar o sistema para um estado organizado universal, dando a ele a aparência de ter sido dirigido para isso estrategicamente. (WATTS, 2009, p.38).

O que cada vez mais se acentua nas investigações científicas é que fenômenos emergentes de situações de não equilíbrio são muito mais comuns do que se pensava, sendo este o contexto no qual vem se desenvolvendo os estudos dos já citados sistemas complexos e evolutivos, identificados por Prigogine (1996) muito mais com o começo da aventura científica do que com seu fim:

Neste fim de século, a questão do futuro da ciência é muitas vezes colocada. Para alguns, como Stephen Hawking em sua *Breve história do tempo*, estamos próximos do fim, do momento em que seremos capazes de decifrar o “pensamento de Deus”. Creio, pelo contrário, que estamos apenas no começo da aventura. Assistimos ao surgimento de uma ciência que não mais se limita a situações simplificadas, idealizadas, mas nos põe diante da complexidade do mundo real, uma ciência que nos permite que se viva a criatividade humana como a expressão singular de um traço fundamental comum a todos os níveis da natureza. (PRIGOGINE, 1996, p. 14).

2.2 NA INTERLIGAÇÃO ENTRE AS CIÊNCIAS E OUTRAS ÁREAS

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. Estes quatro campos de conhecimento também se interligam através das propriedades radiativas de alguns isótopos de elementos químicos, como o carbono-14 e o urânio-238, cujas taxas de meia-vida respectivamente de aproximados 5,7 milhares de anos e 4,5 bilhões de anos, associam-se às datações de múmias e telas de linho, no caso do carbono e da Terra e outros astros, no caso do urânio.

No Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (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 do 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, bem como da incidência da luz solar na superfície de plantas, ativando a fotossíntese, e na pele humana, provocando bronzeamento ou queimadura, são também exemplos do papel da física quântica na articulação dos conhecimentos físicos, químicos e biológicos.

Por sua vez, a extrema coerência associada à luz *laser* é feixe de importantes conexões entre a física e a biologia, haja vista o uso de pinças ópticas na manipulação de células e da holografia na investigação dos efeitos ambientais na germinação de sementes. No primeiro caso, faz-se uso de um feixe de luz que, embora de baixa potência, apresenta intensidade grande o suficiente para exercer forças sobre uma célula viva, sem danificá-la. No segundo caso, sequenciais hologramas da semente submetida às condições ambientais a serem experimentadas são comparadas a fim de se perceber eventuais perdas de foco, caso em que se infere a movimentação da semente, na faixa de *angstroms*, causada pela ocorrência de reações químicas em seu interior, típicas do processo de germinação.

A figura 6 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 elementos químicos e dos processos nucleares de fissão e fusão.

Figura 6 - A física quântica na interligação entre as ciências.

Vale observar que o mapeamento aqui identificado é apenas um conjunto de exemplos de diversas possibilidades alternativas. A abrangência dos assuntos envolvidos com a biologia molecular, por exemplo, justificaria identificá-la como um quinto campo de conhecimento, juntamente à física, à química e à astronomia. Similarmente, a astrobiologia e a astroquímica poderiam ser também explicitadas neste mapa.

Além da ampliação desse mapa focado nas ciências naturais, pode-se também explorar as conexões destas ciências para com outras áreas de conhecimento. É o que se faz no enredamento apresentado na figura 7, essencialmente tecido pelas técnicas e tecnologias direta ou indiretamente associadas à física quântica.

Como protagonistas de todo um feixe de conexões interno a esse mapeamento estão as tecnologias que se utilizam de decaimentos radiativos. De particular interesse à antropologia e arqueologia, o método de datação por carbono 14, por exemplo, 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 em muitos casos em que 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 engenharia e na indústria em geral são inúmeros os usos de elementos radiativos, tais como traçadores radiativos na identificação de vazamentos na indústria química, medições da atenuação na penetração das emissões radiativas como controle de qualidade na determinação de espessuras na indústria de papel e esterilização não apenas de alimentos, mas também de materiais cirúrgicos, remédios e materiais de valor histórico.

As radiações eletromagnéticas emitidas por processos não nucleares também se constituem como importante feixe de conexões neste mapeamento. 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 na 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.

Figura 7 - A interligação das ciências com outras áreas.

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 de suas aplicações: 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, transmissão e armazenamento de informações via CDs, DVDs ou fibras ópticas, além das já citadas holografias e pinças ópticas com usos que em muito extrapola os limites das ciências da natureza.

A manipulação genética, inserida no contexto da biologia molecular e, portanto também já identificada no mapa anterior como uma ponte entre as ciências da natureza, abrange uma dimensão filosófica e ética, com as questões da técnica da clonagem e da produção de alimentos transgênicos sendo alvos de enorme impacto econômico assim como 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 referentes a clonagens de embriões, células tronco e modificações genéticas de animais, um caminho que não parece ter volta e cuja influência é cada vez maior na economia mundial, sendo, pois, um marco na história humana.

As destruições de Hiroshima e Nagasaki e acidentes nucleares como o de Fukushima, também se constituem como marcos históricos associados a tecnologias possibilitadas pelo desenvolvimento da física quântica. Longe de uma questão já esquecida na história humana, a energia nuclear continua, ainda que controversa, sendo uma das alternativas concretas à futura extinção do petróleo e do carvão, permanecendo com amplo uso em diversos países como França, Bélgica, Japão, Alemanha e Estados Unidos e representando cerca de 17% da geração mundial de energia elétrica.

A manipulação dos semicondutores e a consequente 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, nos Estados Unidos, bem como de toda a indústria de *hardwares* e *softwares* na economia mundial, são também destacados aspectos da história humana.

Além das técnicas e tecnologias direta ou indiretamente associadas à física quântica, há também desenvolvimentos teóricos e conceituais a ela vinculados que interligam as ciências da natureza com outros campos de conhecimento. Exemplo disso é a enorme margem para a emergência de questões filosóficas relacionadas à sua própria interpretação, fonte de

alimentação para “misticismos quânticos” e imaginação de novos super-heróis, como o enigmático *Dr. Manhattan*, de *Watchmen*, com poderes para controlar os átomos do seu próprio corpo, mudar de tamanho, se teleportar, ocupar simultaneamente vários lugares e viajar no tempo.³

Da mesma forma que apontado para o caso das ciências da natureza, aqui também vale indicar a possibilidade de expansão do mapeamento apresentado com a incorporação de áreas recentemente acopladas ao conhecimento humano, tais como a nanobiotecnologia e a nanomedicina, indicando, aliás, que a própria nanotecnologia poderia ter modificado seu *status* neste mapa, passando a nele figurar como um novo nó e não apenas uma conexão entre dois nós.

2.3 NA VIVÊNCIA CONTEMPORÂNEA

É notável como a evolução tecnológica tem provocado intensa aceleração na modificação dos utensílios e materiais que utilizamos no cotidiano, algo muito bem representado pela seguinte análise feita pela NASA (1960 apud BUCHANAN, 2010) em meados do século XX:

800 ciclos de vida podem durar mais de 50000 anos. Mas destas 800 pessoas, 650 passaram suas vidas em cavernas ou em um local pior, e apenas 70 delas conseguiram algum meio real e efetivo de se comunicar com as outras. Destas 70, apenas as últimas 6 chegaram a ver a mídia impressa ou conseguiram algum meio para medir a temperatura, das quais apenas 4 conseguiram calcular o tempo com alguma precisão. Destas, apenas as 2 últimas usaram um motor elétrico, e a grande maioria dos artigos que compõem nosso mundo material foram desenvolvidos no ciclo da vida da 800ª pessoa. (NASA, 1960 apud BUCHANAN, 2010, p. 88).

Uma atualização dessa análise decerto revelaria que nem mesmo uma geração inteira é mais necessária para perceber uma renovação de boa parte, senão da maioria, dos artigos que compõem nosso mundo material. Como diria minha finada avó, “*alcancei um tempo*” em que era comum o uso de uma tela de faixas coloridas na frente dos televisores preto e branco constituídos de canhão e válvula eletrônicos. Hoje, assisto minha *LED-TV* de imagem incrivelmente nítida e colorida e que de tão fina, pode ser pendurada na parede como um quadro. Infelizmente, tendo sido comprada já há três anos, ela não veio acoplada com a tecnologia que permite assistir “canais” de *internet*, como a *NetFlix*, me obrigando a nela conectar via cabo *HDMI* um *notebook* que, sintonizado em minha rede *Wi-Fi*, roda o filme

³ Interessante artigo de Pessoa Jr. a esse respeito encontra-se disponível em <http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica_quadrinhos.htm> (Acesso em 31 Mar. 2014).

desejado. A próxima TV a ser comprada não apenas contará com essa e outras funcionalidades, como também deverá ter imagem em três dimensões. Aliás, já adiantando assunto a ser mais à frente explorado no contexto da discussão do processo de ensino-aprendizagem, faz-se curiosa e preocupante a popularização de termos como *LED (Light-Emitting Diode)*, *HDMI (High-Definition Multimedia Interface)* e *Wi-Fi* (marca registrada comumente utilizada como sinônimo de redes *wireless*), sem que alunos e mesmo boa parte dos próprios professores da escola média tenham noção de seus significados.

E quanto à produção de textos? Guardo até hoje meu certificado de datilografia conquistado em 1979 após 6 meses de curso. A sensação, de então, eram as máquinas de escrever elétricas e portáteis, leves e bem mais sensíveis ao toque. As fitas de duas cores, preta e vermelha, já eram comuns e apagava-se o texto letra a letra, trocando a fita de escrever por uma fita branca. Após a máquina de escrever veio o computador acoplado a telas pretas com letras verdes, disquetes magnéticos de 3,5 ou 5,25 polegadas, impressora matricial e ... nada raras dores de cabeça associadas à perda de horas de digitação devido ao esquecimento da necessária ação não automatizada de salvar o texto. Hoje digito este texto em meu *notebook* conectado via rede *Wi-Fi* à impressora jato de tinta multifuncional e com os dados não apenas sendo salvos automaticamente no disco rígido do aparelho, como também em meu disco virtual do *Google Drive*. A próxima aquisição talvez seja um *ultrabook* “2 em 1”, *notebook* mais fino, leve e de maior velocidade de processamento, cuja tela sensível ao toque pode ser desacoplada do teclado e funcionar como *tablet*.

A essa percepção da rapidez com que a tecnologia tem mudado nossas vidas, pode-se acoplar o exercício de investigar a extensão de sua presença em nosso cotidiano. O retrato do início de um dia de trabalho de uma secretária de telemarketing é assim apresentado no texto *Toda a Física: hoje e através de sua história* (MENEZES et al., 2003, p. 5-7):

Ela acorda com um relógio despertador, que mede o tempo pela contagem de pulsações de um cristal de quartzo, feita por um chip eletrônico, que é um microcircuito integrado a um cristal semicondutor. Vai direto ao banheiro, onde ralos, pia e vaso sanitário são providos de sifões hidráulicos, para reter odores. Toma um banho, com água que vem de um reservatório dotado de bóia e registro e que passa por um chuveiro elétrico, um resistor sob uma tensão de 220 V, mas que, no apartamento vizinho, circula por um aquecedor de passagem, um tubo metálico sobre um queimador a gás.

Em dúvida sobre que roupa vestir, procura se informar da previsão do tempo, no noticiário das 7 horas. Se fosse assinante de TV a cabo, poderia ver um canal especializado, cujo sinal lhe chegaria por uma rede de fibras ópticas; como não é, a antena coletiva do prédio leva até seu receptor o sinal, em frequência modulada, transmitido pelas ondas eletromagnéticas a partir da emissora de TV aberta. Ela aciona e desliga o aparelho usando um controle remoto de raio infravermelho.

Prepara então seu café, fervendo a água em fogão a gás, com botijão de GLP (gás liquefeito de petróleo) protegido por válvula de segurança, sensível a variações

abruptas de pressão. Tira o pacote de leite UHT (tratado em ultra-alta temperatura) do refrigerador, cujo ciclo térmico usa motor-compressor elétrico e tem controle automático de degelo. Põe uma fatia de pão na torradeira, outro simples resistor como o do chuveiro, mas com tensão de 110 V e provido com termostato de par metálico. Esquenta um pouco de leite na própria xícara, colocando-a em um forno que só esquenta alimentos úmidos, pois faz uso de um feixe de microondas, com frequência de oscilação igual à das moléculas de água. No visor, de cristal líquido, registra o tempo de somente 40 segundos, para evitar a ebulição e o derramamento do leite.

Pronta para sair, pega seus óculos, com lentes que combinam correção esférica para miopia e cilíndrica para astigmatismo; abre e fecha a porta do apartamento com sua chave, uma alavanca de latão temperado, que se encaixa e faz girar o fecho mecânico, cujo segredo está registrado em um pequeno tambor de cobre. Chama o elevador acionando um botão, que fecha o circuito de um relê, o qual liga um potente motor elétrico, que ergue até seu andar a grande caixa de estrutura metálica; outro motor, menor, também acionado por relê automático, abre a porta do elevador. Prepara-se então para sair à rua, para o incrível desafio do trânsito urbano, com seus automóveis e caminhões, movidos pelos ciclos Otto e Diesel de seus motores a combustão interna, e com os semáforos automáticos orientando o fluxo do trânsito a partir de informações computadas por um sistema central de processamento de dados. Sirenes ensurdecadoras anunciam a emergência das ambulâncias. Lembra-se de ter visto o interior de uma delas, uma verdadeira UTI móvel, onde medidores de pressão arterial, de pulsação cardíaca e de outros dados vitais do paciente estão ligados a um radiotransmissor, que informa o hospital de destino, o qual dá retorno, por teleprocessamento, com instruções sobre os procedimentos médicos durante o trajeto.

Por sorte, nossa personagem não está na ambulância, mas fora dela, e, por mais sorte ainda, pode encurtar parte de seu trajeto usando o metrô. Seu bilhete magnético de trechos múltiplos permite-lhe passar pela catraca eletrônica. Diferentes motores elétricos movem a escada rolante, as portas automáticas dos vagões e o próprio trem, com suas dezenas de toneladas. Para cada motor e cada porta há relês, acionados por sensores mecânicos ou por fotocélulas. Algo ou alguém obstrui o fechamento de uma porta e, automaticamente, o condutor recebe um sinal para que impeça a partida da composição. Os alto-falantes anunciam o problema, e encontra-se uma sacola no vão de uma das portas.

Enfim, ela chega a seu destino, um moderno prédio comercial; câmaras de vídeo controlam o acesso, monitoradas desde a sala de segurança – “Sorria, você está sendo filmado”. Um detector magnético de metais evita que se entre armado. Tem havido protestos, pois até molhos de chave travam a porta giratória, mas já há proposta de instalar raios X para controlar pastas e pacotes, como nos aeroportos. A luz azulada, de vapor de mercúrio, domina os corredores, enquanto a luz mais amarelada, de vapor de sódio, ilumina os escritórios. Senta-se, enfim, em seu posto de trabalho; com uma alavanca controla o mecanismo de altura e inclinação de sua cadeira, adapta fone de ouvido e microfone e cumprimenta, por mensagem de voz, as demais operadoras da central de telemarketing: “Meninas, cheguei!”.

Liga seu computador, conectado a uma rede local e a uma fonte no break, que substituiu os antigos estabilizadores de tensão, protegendo a continuidade do trabalho e evitando interrupções no fornecimento de eletricidade. Antes de tudo, é preciso abrir o e-mail e responder às mensagens da noite anterior, no correio eletrônico. Não importa a distância, as respostas chegam em segundos, à velocidade da luz, a mesma com que chegam, pela Internet, as notícias dos jornais diários ou as conversas nos espaços de chat. Logo tem de atender a duas chamadas ao mesmo tempo, uma no telefone fixo e outra no celular, seu minúsculo transmissor-receptor pessoal de rádio. No celular é uma colega, que a viu chegar pelo circuito fechado de TV, pedindo emprestado o DVD daquele filme de que falaram na véspera; no outro, é o primeiro cliente do dia, querendo saber quanto custaria instalar, em seu sistema, um gravador de CDs. As duas ligações, no mesmo instante, têm a ver com o mesmo assunto: o registro e a reprodução de informações de imagem e som usando feixes

de laser. Mais outra ligação, de outro cliente: seu notebook, comprado pela Internet, acaba de chegar, mas está faltando o transformador-retificador para ligá-lo na rede elétrica. Ela lhe explica que não falta nada, pois, no modelo que comprou, a fonte de corrente contínua já está embutida no aparelho.

Com foco nos campos e conceitos da Física, a sequência de atividades narradas neste texto fictício vai ao encontro do real cotidiano de nossa época, marcada pelo uso de inúmeras tecnologias e utensílios tecnológicos que tecem uma rede entre as mais diversas áreas de conhecimento. Parte dessa rede, centrada nas conexões direta ou indiretamente associadas à física quântica, é realçada na figura 8.

Figura 8 - Física quântica e vivência moderna.

De volta à vida real, tomo como estudo de caso problema já enfrentado de perto: diagnóstico e terapia de neoplasia maligna de ureter. Ao longo do processo, foram três os tipos de exames diretamente relacionados com a física quântica: *Ressonância Magnética Nuclear (RNM)*, *Tomografia Computadorizada (TC)* e *Cintilografia Óssea* pelo processo da *Tomografia Computadorizada com Emissão de Fótons (SPECT, do inglês Single-Photon Emission Computed Tomography)*. Diretamente, pois uma investigação de maior extensão certamente detectará a presença indireta de processos quânticos em boa parte, senão em todos os demais exames realizados, haja vista a ultrassonografia com suas ondas sonoras clássicas sendo emitidas e captadas por instrumentos essencialmente quânticos. De qualquer forma, restrinjo o estudo aos exames que se utilizam das interações entre radiação e matéria.

De início, note-se uma semelhança entre *RNM*, *TC* e *SPECT*: fornecem imagens a partir do escaneamento de fatia a fatia do corpo sendo, portanto, tomografias, palavra derivada dos termos gregos *tomé* (cortar) ou *tomos* (parte, seção) e *graphein* (escrita). Como essencial diferença destacam-se as radiações empregadas: radiofrequência na *RNM*, raios X na *TC* e raios gama na *SPECT*.

Na *RNM*, o paciente é inicialmente submetido a um campo magnético de alta intensidade que alinha a orientação magnética dos prótons dos átomos de hidrogênio presentes nas moléculas de água do organismo. Em seguida, um pulso eletromagnético na faixa de radiofrequência é aplicado apenas na região a ser escaneada. Sendo a frequência desse pulso ressonante à frequência natural de vibração dos prótons, estes oscilam e passam a emitir seus próprios pulsos eletromagnéticos que, detectados pelo equipamento, formam a imagem. A *RNM* é, assim, mais comumente utilizada na investigação de anomalias dos tecidos moles, de maior concentração de moléculas de água. A fim de melhor controlar o ritmo de vibração dos prótons e dar melhor contraste à imagem produzida, é comum aplicar no paciente uma substância intravenosa à base de gadolínio, elemento paramagnético.

Tal qual na radiografia, a *TC* utiliza feixes de raios X que incidem sobre o paciente e são parcialmente absorvidos por seus tecidos. Porém, em vez de uma única imagem formada pela incidência dos raios não absorvidos sobre uma chapa radiográfica, na *TC* feixes de raios X emitidos em diferentes direções atravessam o paciente e projetam múltiplas imagens em detectores que, combinadas, geram a imagem final. Tecidos mais grossos, de maior densidade e compostos por elementos químicos de maior número atômico apresentam maior capacidade de absorção, com a *TC* sendo mais indicada para regiões do organismo que apresentem tecidos com variações nestas características. Na imagem final, as diferentes capacidades de absorção são inferidas pelas diversas tonalidades de cinza, as mais escuras correspondendo aos tecidos mais moles.

A utilização de meios de contraste tem estendido o uso da *TC* mesmo a situações como a análise da circulação da corrente sanguínea ou da urina. Substâncias de boa solubilidade em água e formada com base a elementos químicos de alto número atômico, geralmente iodo ou bário, são introduzidas no paciente a fim de “tingir” o fluido, tornando-o opaco aos raios X. Várias imagens tiradas rápida e sequencialmente permitem detectar o traçado e velocidade do fluído pelo corpo, detectando eventuais pontos de bloqueio, como tumores e cálculos presentes no trato urinário.

A cintilografia, seja em sua forma mais simples ou com base à técnica *SPECT*, consiste na administração ao paciente de uma substância emissora de radiação gama. Maior a

absorção da substância por determinada região do organismo, mais raios gama são emitidos desde ali, emissão detectada por câmaras posicionadas ao redor do paciente e que funcionam por cintilação, isto é, por emissão de luz visível ou infravermelha a partir da colisão dos raios gama com elétrons do cristal que reveste a câmara. A *SPECT* corresponde à aplicação desta mesma técnica com uso de um par de “câmaras-gama” que girando ao redor da pessoa formam múltiplas imagens posteriormente combinadas por computadores.

Para maior precisão na detecção de anomalias no organismo, é comum combinar *SPECT* e *TC* em um mesmo exame, pois assim podem ser analisadas de uma só vez tanto a função dos órgãos, associada à sua dinâmica funcional, como sua anatomia, associada à constituição de seus tecidos. No caso da cintilografia óssea realizada com *SPECT/TC*, um radiofármaco normalmente utilizado é o $^{99m}\text{Tc-MDP}$, composto por metileno difosfonato e pelo isótopo metaestável 99 de tecnécio, com tempo de meia vida de 6 h e fótons de 140 keV. Enquanto o tecnécio garante a emissão dos raios gama, o metileno difosfanato tem boa absorção pela matriz óssea.

Realizados todos os exames e identificado com boa aproximação a localização e o volume do tumor, o diagnóstico indicava necessidade de uma nefroureterectomia, ou seja, extração de rim e do ureter direito. Algo que há algum tempo atrás se fazia a partir de grandes incisões abdominais e que hoje pode ser realizado por videolaparoscopia, procedimento pelo qual um dispositivo *charge-coupled device (CCD)* e um cabo de fibra óptica são acoplados à extremidade de um laparoscópio, tubo de milímetros de espessura, exigindo apenas incisões de centímetros de espessura. A imagem gerada pelo *CCD* é transmitida por cabo ou rede sem fio a um monitor de tela plana e alta resolução, permitindo a visualização ampliada do contato entre o laparoscópio, pinças e outros dispositivos que se façam necessários com os órgãos do paciente. Por fim, a patologia da peça extraída não indicava a necessidade de complemento quimioterápico, restando apenas necessidade de controle periódico.

A evolução na medicina associada ao desenvolvimento e uso de modernos equipamentos diagnósticos e terapêuticos como os acima descritos é um dos fatores que explicam a emergência de novas profissões como a de físico-médico, biotecnólogo, bioinformata, nanotecnólogo e farmacoeconomista. Claro que essa percepção não é restrita a campos direta ou indiretamente ligados à medicina. Em todos os ramos do mercado, inovações tecnológicas têm fomentado o surgimento de novas profissões, de profundas modificações naquelas já existentes ou mesmo de extinção de antigas ocupações.

Com isso já se estabelece um diálogo com o próximo tópico em que se apresentarão algumas análises sociais que apontam a microeletrônica como fator condicionante das

recentes transformações sociais. Antes disso, um último exemplo do enredamento tecido pela física quântica, desta vez soando como seu efeito colateral. Refiro-me às pseudociências associadas ao misticismo quântico, tais como a propalada cura quântica que tem até mesmo proporcionado o oferecimento de cursos com direito a diploma de terapeuta ou médico quântico. Há também no mercado promessas de emagrecimento quântico que, baseado na alteração de um suposto padrão de entrelaçamento das ondas cerebrais, poderia levar à rápida perda de peso. É bem verdade que a coerência teórica de algumas interpretações subjetivistas da física quântica dá sustentabilidade ao desenvolvimento do *naturalismo espiritualista quântico*, termo cunhado por Pessoa Jr (2010) como referência a visões de mundo como a de Roger Penrose e sua teoria da consciência como fenômeno essencialmente quântico. Mas daí a justificar práticas de uma medicina ou terapias “quânticas”, “conscientes” e “holísticas” há uma grande distância. Mas ainda que um professor possa ser avesso a tais deturpações teóricas, é bom que ele não fique surpreso caso venha a se deparar com alunos já formados em “medicina quântica”.

2.4 NA CATÁLISE DA EVOLUÇÃO SOCIAL E TECNOLÓGICA

Em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn (1998) analisa que em tempos normais, a comunidade científica exerce suas atividades em base a paradigmas, princípios que consistentemente aplicados com sucesso na solução dos principais problemas contemporâneos, são por ela aceitos como verdades universalmente estabelecidas. Nesse contexto, a tendência da prática científica é aplicar tais princípios com o máximo detalhamento e abrangência, desencorajando eventuais elaborações de teorias alternativas na explicação de fenômenos que pareçam fugir ao paradigma vigente. Eis que, ao longo desse processo, alguns enigmas que teimam em não se encaixar na explicação padrão, originam o desenvolvimento de um novo conjunto de ideias que desestrutura a prática vigente e provocam uma revolução científica com a adoção de um paradigma alternativo, em torno do qual se desenvolverá novo período de normalidade nas atividades científicas.

De forma análoga, Pérez (2004) analisa os longos ciclos de desenvolvimento capitalista como sucessivas revoluções tecnológicas, cada qual associada ao surgimento de um novo paradigma técnico-econômico caracterizado por uma constelação de inovações tecnológicas e princípios organizativos indutores de um “salto quântico da produtividade potencial para a imensa maioria das atividades econômicas”. Nessa perspectiva, identificam-se as cinco revoluções tecnológicas descritas no quadro 1.

Quadro 1 – Características centrais das 5 revoluções tecnológicas

Revolução tecnológica	Nome popular	Núcleo	“Big-Bang” da revolução	Ano
Primeira	Revolução Industrial	Inglaterra	Abertura da fábrica de fiação de Arkwright em Cromford.	1771
Segunda	Era do vapor e das estradas de ferro	Inglaterra (difundindo-se para a Europa e EUA)	Prova da locomotiva Rocket para a estrada de ferro Liverpool-Manchester.	1829
Terceira	Era do aço, da eletricidade e da engenharia pesada	EUA e Alemanha ultrapassando a Inglaterra	Inauguração da fábrica de aço Bessener de Carnegie em Pittsburg, Pensilvânia.	1875
Quarta	Era do petróleo, do automóvel e da produção em massa	EUA e Alemanha (rivalizando no início a liderança mundial e com difusão para a Europa)	Saída do primeiro modelo T da planta Ford em Detroit, Michigan.	1908
Quinta	Era da informática e das telecomunicações	EUA (difundindo-se para a Europa e Ásia)	Anúncio do microprocessador Intel em Santa Clara, Califórnia.	1971

FONTE: PÉREZ, 2004, p.35, tradução nossa.

Alternativamente, os quatro primeiros períodos apresentados no quadro podem ser agrupados dois a dois de forma a melhor dialogarem com a comum categorização das duas primeiras revoluções industriais, a inglesa e a alemã, ficando o 5º período associado a uma *Terceira Revolução Industrial* ou, como sugere Castells (1999), à *Primeira Revolução Tecnológica*, cujo paradigma tecnológico teria, segundo esse mesmo autor, os aspectos centrais apresentados no quadro 2.

A *Revolução da Tecnologia da Informação* teria, então, fornecido a base material para a reestruturação capitalista desde o industrialismo (produtividade essencialmente vinculada à introdução de novas fontes de energia e na capacidade de descentralização do uso de energia ao longo dos processos produtivos e de circulação) para o informacionalismo (produtividade centrada na tecnologia de geração de conhecimentos, de processamento da informação e de comunicação de símbolos). Tal é a análise que leva Castells (2009) a identificar o surgimento de uma nova economia informacional, global e em rede ou, sinteticamente, *Sociedade em Rede*, marcada pelo estabelecimento de imenso número de conexões entre os mais diferentes domínios, elementos e agentes das atividades humanas:

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, p. 25, tradução nossa).

Quadro 2 – Características centrais arroladas por Castells (1999) para a *Revolução Tecnológica da Informação* (1).

Características	Descrição
A informação como matéria prima	Pela primeira vez na história, a mente humana é uma força direta de produção, não apenas um elemento decisivo no processo produtivo; computadores, sistemas de comunicação, codificação e programação genética são todos amplificadores e extensões da mente humana; são tecnologias para agir sobre a informação, não apenas informações para agir sobre as tecnologias; a tecnologia da informação é para esta revolução o que as fontes de energia foram para as Revoluções Industriais.
Penetrabilidade dos efeitos das novas tecnológicas	Como a informação é parte integral de toda atividade humana, todos os processos de nossa existência individual e coletiva são diretamente moldados pelo novo meio tecnológico.
Lógica de redes	A lógica de redes de qualquer sistema ou conjunto de relações utilizando essas novas tecnologias da informação.
Flexibilidade e capacidade de reconfiguração	Organizações e instituições podem ser modificadas e mesmo fundamentalmente alteradas pela reorganização de seus componentes.
Crescente convergência de tecnologias específicas para um sistema altamente integrado	<ul style="list-style-type: none"> • Integração da microeletrônica optoeletrônica, telecomunicações e computadores em um único sistema de informação. • Distinção cada vez mais tênue entre fabricantes de <i>chips</i> e programadores de <i>softwares</i>, haja vista que muitos programas são inscritos no próprio <i>chip</i>. • O desempenho dos computadores depende em grande parte do poder do <i>chip</i> nele utilizado, mas tanto o projeto como o processamento paralelo dos microprocessadores dependem da arquitetura do computador. • As telecomunicações são agora apenas uma forma de processar informação; as tecnologias de transmissão e conexão estão, simultaneamente, cada vez mais diversificadas e integradas na mesma rede operada pelos computadores. • O desenvolvimento da internet está fazendo com que nas tecnologias da comunicação a transmissão de dados se torne a forma predominante e universal. • As revoluções em biologia e microeletrônica tornam-se crescentemente interdependentes tanto em materiais como métodos com as pesquisas sobre o seguimento do DNA humano e identificação de genes humanos só avançando por causa do grande poder da informática. • A nanotecnologia pode vir a permitir inserção de minúsculos microprocessadores em órgãos de organismos vivos, ao passo que o uso de materiais biológicos na microeletrônica é uma realidade cada vez mais presente com moléculas sintéticas de DNA podendo ser utilizadas como material básico da computação. • A teoria da rede neural artificial aplicada no desenvolvimento de interfaces cerebrais adaptáveis tem alcançado êxito em experimentos em que pessoas se comunicam por meio do controle consciente do pensamento. • O desenvolvimento da teoria das redes complexas com ênfase na dinâmica não linear como método para entender o comportamento de sistemas vivos, tem permitido um elo teórico entre diversos campos das ciências, tais como economia, neurociência e estudos da origem da vida.

(1) Dados sistematizados no formato de quadro pelo próprio autor com base no texto de Castells (1999, p. 108-113).

Como condicionante dessa estruturação social em rede, Castells (1999, 2009) identifica o desenvolvimento da microeletrônica que, tornando possível a digitalização da informação e respectiva presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida, configura uma nova relação com o espaço e o tempo, possibilitando a emergência de práticas simultâneas à 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.

Há controvérsias, seja quanto às características da sociedade contemporânea, seja quanto à identificação das revoluções tecnológicas ou industriais. Wonglimpiyarat (2005), por exemplo, caracteriza que desde a virada do século XXI já vivemos sob uma sexta onda de desenvolvimento capitalista marcada pelo paradigma tecnológico da nanotecnologia, uma área de pesquisa interdisciplinar, com grande penetração em muitas aplicações e vista por diversos países como elemento chave para revigorar ou mesmo reconstruir suas economias. Concordando quanto à ocorrência de uma sexta onda capitalista, mas discordando tanto de sua periodização como de seu fator tecnológico chave, Adams (2010) entende que desde o início da década de 90 vivemos sob o paradigma do “*acesso ubíquo à Internet como uma superestrada da informação e canal para a inovação social e tecnológica*”. Mais cautelosa, a equipe da Allianz (2010) sugere que essa nova onda de ascensão econômica estaria apenas em seu início, sendo diversas as tecnologias com potencial para cumprir papel de destaque em seu desenvolvimento (figura 9).

Figura 9 – Os ciclos de desenvolvimento capitalista identificados, em referência ao papel pioneiro do economista soviético Nikolai Dimitrievich Kondratieff, como “ondas de Kondratieff”, com a 6^a onda ainda em ascensão e sem definição quanto às tecnologias que lhe serão preponderantes (ALLIANZ, 2010).

Entendendo as transformações presentes na sociedade contemporânea como algo muito mais profundo do que uma revolução tecnológica associada a um ciclo de desenvolvimento capitalista, Toffler (1980, p.24) indica que após o impacto das revoluções agrícola e industrial, a “*humanidade enfrenta um salto de um quantum para a frente*”, a terceira onda. Caracterizando a década de 50 nos EUA como ponto de inflexão, Toffler (1980) aponta que essa nova de onda de transformações sociais teria como uma de suas principais marcas o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao uso de fontes de energia diversificadas e renováveis, com provável destaque de quatro ramos industriais interconectados: eletrônica e computadores; indústria espacial; exploração oceânica; engenharia genética.

Outra análise abrangendo toda a evolução das sociedades humanas é apresentada por Beniger (1986) que defende que os microprocessadores e demais tecnologias da comunicação e informação devem ser percebidos como fruto da *Revolução de Controle*, um processo que estaria em curso desde o final do século XIX em resposta à crise de controle provocada pela *Revolução Industrial*. Com as locomotivas, barcos a vapor e outras máquinas térmicas, mercadorias podiam, pela primeira vez na história, ser transportadas à plena velocidade da produção industrial através de todo o continente e mesmo ao redor do mundo. Para controlar a crise que esse fluxo acelerado produzia, requeriam-se inovações tecnológicas em crescente complexidade, processo pelo qual a coleta, armazenamento, processamento e comunicação de informação ganhou progressiva importância. Reflexo disso seria o contínuo deslocamento da força de trabalho para o setor de informação, fenômeno social percebido desde o final do século XIX. A convergência das mais diversas tecnologias de informação para sistemas integrados seria, portanto, o nível de controle mais alto até então conseguido desde o início da *Revolução de Controle*. Mais que isso, Beniger (1986) caracteriza esta revolução como o máximo nível de controle conseguido pela própria vida que pode ter sua evolução associada a 4 níveis de controle: (a) surgimento da programação molecular no processo de origem da vida, presente em todos os seres vivos; (b) surgimento da cultura no processo de aprendizagem por imitação, presente nos vertebrados superiores (pássaros e mamíferos); (c) surgimento da burocracia no processo de organização das sociedades da Mesopotâmia e Egito Antigo; (d) surgimento das tecnologias mecânicas, elétricas e eletrônicas na *Revolução de Controle* e origem da *Sociedade da Informação*. Em caso desse processo não sofrer retrocesso a partir do contínuo desenvolvimento e proliferação de armas nucleares, Beniger (1986) sugere que a engenharia genética poderá promover uma nova descontinuidade, gerando vida sintética e, talvez, sua evolução por aqueles mesmos quatro níveis de controle.

A caracterização da sociedade contemporânea é, pois, palco de intensos debates nos círculos acadêmicos e um panorama mais completo da literatura referente ao assunto exigiria razoável extensão da bibliografia até o momento analisada. O recorte aqui apresentado parece, no entanto, suficiente para o resgate do discutido no início desse capítulo acerca do papel desempenhado pela microeletrônica e, portanto pela física quântica, na catálise da evolução social e tecnológica.

3 O MUNDO DAS REDES

“O átomo é o passado. O símbolo da ciência para o próximo século é a rede dinâmica” (KELLY, 1994, p.25, tradução nossa). “Quando no futuro se fizer o elenco das abstrações que marcaram mais profundamente o espírito humano no decorrer desta segunda metade do século [XX], ter-se-á, certamente, a «cifra lógica» [...], mas, também, quase tão importante como aquela, ter-se-á o objecto «rede»” (ROSENSTIEHL, 1988, p.229).

Exageradas ou não, estas previsões dialogam com o contexto exposto no capítulo anterior e com a explosão de publicações verificada a partir da última década do século XX sobre a teoria de redes e suas aplicações.

Nesse contexto, importantes semelhanças topológicas têm sido reveladas em redes de natureza tão diferentes como as conexões neuronais, as amizades entre usuários do *facebook*, as interligações entre dispositivos de um circuito elétrico, os hipertextos da *web* e os mapeamentos de atuações conjuntas em filmes de cinema ou de coautorias de artigos científicos.

Assim também, textos têm sido investigados enquanto redes de palavras e expressões que, em suas frequências de uso ou articulações, revelam características linguísticas, culturais e autorais.

Como em qualquer campo específico de conhecimento, há toda uma linguagem própria associada aos estudos dessas redes, sendo exemplo disso termos como *redes de pequeno mundo*, *redes livres de escala*, *centralidades de grau*, *de intermediação e de proximidade*, *hubs*, *clusters*, *mineração e lematização de textos*.

É com o objetivo de descrever esses e outros conceitos, bem como apresentar uma visão panorâmica das pesquisas sobre as chamadas redes complexas que se apresenta este capítulo. Diferentemente de uma extensa revisão bibliográfica, optou-se por destacar alguns exemplos que ao mesmo tempo em que pudessem ser articulados entre si, conformando a segunda grande rede abordada neste trabalho, também fossem capazes de estabelecer conexões com os demais capítulos desta tese.

3.1 NÓS, *LINKS* E SUAS PROPRIEDADES

Grosso modo uma rede é um conjunto de objetos (vértices ou nós) conectados (por arestas ou *links*) de alguma maneira. A partir dessa generalização, uma série de definições específicas pode ser utilizada para analisar e distinguir os mais diversos tipos de redes. A mais básica delas talvez seja o grau de um nó, definido pelo número de *links* a ele conectado. No *facebook*, por exemplo, o grau de cada pessoa corresponde ao número de amigos que ela possui. Algumas pessoas se destacam, tendo um número de amigos em escala muito superior ao da maioria dos usuários; são os *hubs* da rede.

Por vezes o que mais chama a atenção não é o número de amigos que uma pessoa tenha, mas a alta conectividade entre seus amigos, caracterizando uma região de alta aglomeração. Se todos os meus amigos forem amigos uns dos outros, diz-se que meu coeficiente de aglomeração ou *cluster* vale 1. Na situação oposta, quando meus amigos não se conhecem em absoluto, meu *cluster* vale 0.

Medida de grande importância é a distância entre dois nós de uma rede. Por distância, entenda-se um conceito topológico e não algo que se possa medir com fita métrica. Assim, no *facebook* a distância entre dois usuários é definida como o caminho mais curto entre eles, ou seja, o menor número de *links* que se deve percorrer para sair de um e chegar ao outro. Desse modo a distância entre dois amigos vale 1 e a minha distância para o amigo de meu amigo vale 2. O caminho mais curto, ou *caminho geodésico*, é também utilizado na definição do diâmetro de uma rede que corresponde ao maior *caminho geodésico* nela existente.

Quanto maior a rede, maior a importância de se realizem medidas comparativas entre seus nós. Claro que a forma mais elementar dessa comparação é por meio dos cálculos dos valores médios de graus, *clusters* e *caminhos geodésicos*. No entanto, da mesma forma que a simples média das notas de uma turma de alunos não nos traz informação lá muito relevante, no estudo de grandes redes, é padrão averiguar a distribuição daquelas medidas ao longo de toda a rede.

A distribuição de grau, por exemplo, é definida como uma fração do total de nós, n , da rede que têm determinado grau, k : $P(k) = n_k/n$. Se em uma festa com 100 pessoas ($n = 100$), verifica-se que 5 ($n_k = 5$) delas têm 10 amigos ($k = 10$), ao passo que outras 10 ($n_k = 10$) tem apenas 5 amigos ($k = 5$), então as distribuições de grau 10 e 5 valem, respectivamente, $P(10) = 0,05$ e $P(5) = 0,1$. A tabela 1 apresenta mais alguns valores correspondentes a este exemplo.

Tabela 1 – Eventual distribuição estatística do número de pessoas com k amigos em uma festa com 100 participantes ($n = 100$).

Nº de amigos/grau (k)	Nº de pessoas com k amigos (n_k)	Distribuição $P(k) = n_k/n$
10	5	0,05
5	10	0,1
3	15	0,15
2	20	0,2
1	50	0,5
Total	100	1

FONTE: Próprio autor

A realização de cálculos como esses dão hoje suporte para explicações de algumas propriedades comuns a muitas redes, tal qual o popular fenômeno do mundo pequeno ou dos seis graus de separação. Em fins da década de 60, Milgram (1967) fez um experimento que ganhou notoriedade a esse respeito. Se alguém quisesse enviar um recado para uma pessoa desconhecida escolhida ao acaso, quantos contatos deveriam ser feitos até que esse recado, passado de pessoa a pessoa, chegasse ao alvo? Contextualizada em uma região dos Estados Unidos, a pesquisa de Milgram mostrou que bastaria um máximo de seis contatos.

Sem qualquer proeminência mágica do número seis, de lá para cá, diversas pesquisas reconheceram que as redes sociais são, de fato, caracterizadas por valores relativamente baixos para a distância média entre seus nós. Fosse essa a única característica relevante, se poderia imaginar que as amizades formassem laços aleatórios ao longo da rede, encurtando a distância média entre as pessoas. Mas aferições das relações entre os amigos de cada pessoa pertencente à rede revelam alto valor para seu coeficiente de aglomeração médio.

A combinação dessas duas propriedades, alta aglomeração e pequena distância média entre os nós, é o que se convencionou como fatores de identificação das *redes de pequeno mundo*, ou *redes de Watts e Strogatz*, em referência aos pesquisadores que anunciaram a descoberta em artigo publicado na Nature em 1998 (WATTS; STROGATZ, 1998). Tal revelação, aliás, já se fez extrapolando os limites das redes sociais, com a apresentação naquele artigo dos dados expostos na tabela 2 relativos a três redes de diferentes naturezas: atores de cinema ligados por sua atuação conjunta; subestações, geradores e transformadores conectados por linhas de transmissão de alta voltagem; neurônios do verme *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) com *links* estabelecidos por sinapses ou *junções gaps*.

Tabela 2 – As três redes de “pequeno mundo” identificadas por Watts e Strogatz em trabalho pioneiro publicado em 1998.

Rede	Nº de nós	Grau médio	Distância média entre nós	Aglomeración média (<i>cluster</i>)
Atores de cinema (1)	225.226	61	3,65	0,79
Rede elétrica (2)	4.941	2,67	18,7	0,08
<i>C. elegans</i>	282	14	2,65	0,28

FONTE: WATTS; STROGATZ, 1998.

(1) Dados armazenados na *Internet Movie Database* (IMDB) em abril de 1997;

(2) Dados disponibilizados em 1996 por departamento de engenharia elétrica do oeste norte-americano.

É importante salientar que caracterizar uma rede como de pequeno mundo, não implica em necessária proximidade absoluta entre seus componentes. Quando comparada à rede de atores de cinema, a rede elétrica exposta na tabela 2 apresenta grande distância média entre seus nós e baixo coeficiente médio de aglomeração. Trata-se, todavia, de uma rede com nós de poucos *links*, naturalmente menos densa. A comparação correta a ser feita é com o modelo de redes construídas aleatoriamente que prevê coeficientes de aglomeração bem mais baixos.⁴ Além disso, identificar que seja pequena a distância média entre os nós de uma rede, não é indicativo de facilidade quanto à transmissão de informações entre dois de seus nós. Voltando ao *facebook*, estar a dois graus de separação de outro usuário somente resultará na transmissão de uma mensagem por esse caminho mais curto se eu souber de antemão que ele é amigo de meu amigo. Caso contrário, há milhares de outros caminhos possíveis pelos quais a mensagem pode ficar navegando na rede, sendo o gerúndio aqui proposital.

Outro exemplo, agora relativo à rede de atores de Hollywood. Um ator novato que faça uma ponta em um filme estrelado por Kevin Bacon certamente estará a dois graus de separação de Tom Hanks pela atuação conjunta destas estrelas em *Apollo 13*. Mas isso para nada quer dizer que ele terá grande chance de atuar alguma vez com Hanks. A referência a Kevin Bacon não é fortuita e, sim, motivada pela existência do *Oráculo de Bacon*⁵, página eletrônica que fornece o *número de Bacon* de cada ator presente na base de dados do Internet Movie Database (IMDB). O *número de Bacon* de Penélope Cruz é, por exemplo, 2, haja vista

⁴ *Redes aleatórias*, ou *redes de Erdős e Rényi*, são construídas mediante algoritmo em que todos os nós têm a mesma probabilidade de serem conectados entre si. Como consequência espera-se que as conexões sejam distribuídas “democraticamente” (*distribuição de Poisson*), com a prevalência de baixos valores de aglomeração. Caso as três redes citadas se configurassem como aleatórias, seus coeficientes de aglomeração teriam os seguintes valores: 0,00027 para a rede de atores de cinema, 0,005 para a rede elétrica e 0,05 para os neurônios da *C. elegans*.

⁵ Funcionalidade disponível em <http://oracleofbacon.org/> (Acesso em 31 Mar. 2014)

que ela atuou em *Sahara* com Willian H. Macy que participou de *Murder in the First* com Kevin Bacon.

A American Mathematical Society⁶ e a Microsoft⁷ disponibilizam funcionalidades semelhantes para se descobrir o *número de Erdős*, isto é, o grau de separação para com publicações realizadas pelo destacado matemático Paul Erdős, falecido em 1996. Na figura 10 se identifica como 5 o *número de Erdős* de César Lattes.

Figura 10 - *Número de Erdős* de César Lattes

Pouco tempo depois de publicado o trabalho de Watts e Strogatz, seria a vez de Barabási e Albert (BARABÁSI; ALBERT, 1999) anunciarem a percepção de nova propriedade presente em diversas redes: enquanto alguns poucos nós possuem muitos *links*, caracterizando-se como *hubs*, a grande maioria tem poucas conexões. Mais que isso, a distribuição de graus parecia seguir uma lei de potência, com Barabási e Albert cunhando o termo *redes livres de escala* e propondo um modelo matemático para sua formação com base ao processo indicado na figura 11 (BARABÁSI, 2002, p.87), em que nós com mais conexões têm maior probabilidade de cooptarem novos nós acrescidos à rede, algo como a regra de que “os ricos ficam mais ricos”.

⁶ Funcionalidade disponível em <<http://www.ams.org/mathscinet/freeTools.html>> (Acesso em 31 Mar. 2014)

⁷ Funcionalidade disponível em <<http://academic.research.microsoft.com/VisualExplorer#2019273&1112639>> (Acesso em 31 Mar. 2014)

Figura 11 - Formação de uma rede sem escala: a partir da conexão entre dois nós inaugurais (quadro superior esquerdo), cada novo nó (círculo vazio) acrescido à rede tem favorecida sua conexão com os nós que já possuem mais *links*, resultado na formação de *hubs*.

Colocando o algoritmo em ação, este modelo resulta em uma distribuição de graus regida por uma lei de potência, $N(k) \sim k^{-\gamma}$, com γ determinando a dimensão da desigualdade presente na rede. Em uma rede com $\gamma = 2$, por exemplo, se 400 nós tiverem um único *link*, existirão outros 100 nós com 2 *links*, 25 nós com 4 *links*, 16 nós com 5 *links*, 4 nós com 10 *links* e um único nó com 20 *links*. Como em qualquer fenômeno regido por leis de potência não há, portanto, um valor médio esperado para o grau de um nó, sendo esta a motivação para a atribuição do título de *redes livres de escala*. A figura 12 representa graficamente tal desigualdade nas escalas decimal e logarítmica.

Figura 12 - Em uma *rede livre de escala* com $\gamma = 2$ ($N(k) \sim k^{-2}$), se 400 nós tiverem apenas um “amigo”, é porque existe um nó que concentra 20 “amizades”. A gradual queda do número de nós conforme aumento do número de *links* é representada por uma curva na escala decimal (à esquerda) e por uma reta na escala logarítmica (à direita). Vale observar que o coeficiente angular desta reta é dado pelo valor do expoente que caracteriza a lei de potência ($-\gamma$), sendo prática comum o uso desta escala nos estudos comparativos entre redes reais e o modelo da *rede livre de escala*.

Apesar de sua popularidade acadêmica, refletida na publicação de inúmeras pesquisas voltadas à medição do expoente γ das mais diversas redes, o modelo das redes livres de escala tem sofrido aperfeiçoamentos e contestações. Há redes, como a *internet*, em que alguns nós mais antigos desaparecem (páginas eletrônicas tiradas do ar pelo próprio autor), ao passo que outros mais jovens ganham repentinamente destaque de *super hubs* (como o Google), fazendo-se necessário ajustar parâmetros ao modelo. Mas também há redes em que a desigualdade entre *hubs* e demais nós não seguem leis de potência.

Além disso, na análise das características de uma rede não basta reconhecer como se distribuem os graus de seus nós, mas também qual a relativa importância de cada um deles. Tal qual ilustrado na figura 13, a depender das conexões entre os nós, pode ocorrer que um nó com poucos *links* seja mais decisivo para a coesão da rede do que um grande *hub*.

Figura 13 - Apesar de ter apenas dois *links*, o nó cinza claro apresenta vital importância para a coesão da rede.

São várias as grandezas, geralmente chamadas de centralidades, encontradas na literatura da teoria de redes, tais como (a) a *centralidade de grau*, vinculada ao número de *links* de um nó, (b) a *centralidade de intermediação*, determinada pelo número de vezes que um nó se apresenta ao longo do caminho mais curto entre dois outros nós e (c) a *centralidade de proximidade*, associada à distância total de um nó a todos os demais nós. Voltando ao *facebook*, quanto mais amigos uma pessoa tiver, quanto mais sua página for realizada para transmitir informações entre dois desconhecidos e quanto menos intermediários ela precisar para se conectar ao conjunto dos usuários da rede, serão respectivamente maiores suas centralidades de grau, intermediação e proximidade. A título de exemplo, a figura 14

apresenta uma mesma rede sob a perspectiva de cada uma dessas três centralidades, com os nós C e D se destacando como os únicos a possuírem simultaneamente os maiores valores dessas três medidas.

Figura 14 - Uma mesma rede representada com o diâmetro dos nós proporcionais aos valores das centralidades de grau (figura superior), intermediação (figura central) e proximidade (figura inferior). Apesar de terem os mesmos 5 *links* que os nós E, F, G e H, os nós A, B, C e D possuem maior centralidade de intermediação, com C e D também se apresentando entre os nós de maior centralidade de proximidade.

A importância relativa de cada nó depende, portanto, de sua capacidade para contribuir à eficácia da rede, com nós que absorvem e processam mais informações relevantes podendo ser considerados como centros. Tais centros, no entanto, em nada se assemelham com o nó central de uma teia de aranha. Não só não há um único centro, como também os centros não são fixos, tratando-se de uma estrutura dinâmica em permanente processo de reestruturação com criação e eliminação de nós, transformação de nós em centros, de centros em nós e redes internas que competem ou cooperam entre si. O todo é mais do que a soma das partes. É por investigar sistemas com tais características que o campo de estudo aqui panoramicamente apresentado é comumente chamado de *Teoria das Redes Complexas*.

Comento, por fim, algumas representações visuais comumente utilizadas para as conexões entre os nós de uma rede. A figura 14 mostra três representações, dentre diversas possíveis, de uma mesma rede constituída por 15 nós e 34 *links*, com a primeira delas (figura 15A) posicionando os nós de forma hierárquica a partir daquele de maior grau, a segunda (figura 15B) de acordo com a simetria circular e a terceira (figura 15C) utilizando como modelo um sistema de massas (nós) e molas (*links*) configurado no estado de menor energia possível.

Figura 15 – Diferentes representações de uma mesma rede com 15 nós e 34 *links*, com (A) nós posicionados hierarquicamente a partir do nó H de maior grau, (B) distribuídos por simetria circular e (C) com uso de algoritmo baseado na modelagem de massas (nós) e molas (*links*) configuradas no estado de menor energia possível.

3.2 REDES BIOLÓGICAS

A interação entre proteínas que compõem um complexo proteico é um dos vários sistemas biológicos que têm sido investigados no contexto da teoria de redes. Com a teia construída a partir das proteínas como nós e suas interações como *links*, tais redes têm sido mapeadas em organismos tal qual a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*)⁸, resultando em representações como a exposta na figura 16. Análises destes mapeamentos têm apontado para a existência de uma distribuição desigual dos graus de cada nó, com algumas proteínas cumprindo a função de *hubs* e tendo maior probabilidade de serem essenciais ao organismo e de levá-lo à morte em caso de suas exclusões. Segundo Barabási et al. (2001), tal percepção infere a importância de propriedades topológicas na reconhecida robustez contra mutações apresentada pelas leveduras:

⁸ Fungo unicelular comumente utilizado como fermento biológico na produção do pão e da cerveja.

A correlação entre a conectividade e a indispensabilidade de uma determinada proteína confirma que, apesar da importância da função bioquímica individual e redundância genética, a robustez contra mutações em levedura também é derivada da organização das interações e posições topológicas das proteínas. (BARABÁSI et al., 2001, tradução nossa).

Figura 16 - Mapeamento das interações entre proteínas na levedura *S. cerevisiae* com coloração indicativa da importância para com a sobrevivência do organismo: vermelho para proteínas essenciais, cuja remoção levará à morte; laranja para proteínas de certa importância, cuja remoção irá retardar o crescimento; verde e amarelo para proteínas de menor importância ou de significado desconhecido.

Interações entre proteínas também têm contribuído para estudos de evolução das espécies. No mapeamento representado na figura 17, referente à rede proteica do verme *C. elegans*, Li et al. (2004) classificam as proteínas em três classes filogenéticas: (a) proteínas antigas, presentes em organismos unicelulares⁹, (b) proteínas mais novas, encontradas apenas em organismos multicelulares e (c) proteínas exclusivas do *C. elegans*. Longe de uma simples supremacia das proteínas novas em detrimento das mais antigas, as interações entre essas três classes filogenéticas ressoam um processo evolutivo complexo em que novas estruturas se constroem a partir das pré-existentes, formando com elas laços de interdependência:

⁹ Mais especificamente trata-se de identificação de proteínas ortólogas, isto é proteínas presentes em diferentes espécies que embora não idênticas apresentam as mesmas funções.

Estes três grupos parecem ligar-se igualmente bem uns com os outros, sugerindo que as novas funções celulares dependem de uma combinação de elementos evolutivamente novos e antigos, em consonância com a clássica proposta da evolução atuando como um funileiro que para criar novas estruturas, modifica e faz acréscimos àquelas pré-existentes. (LI et al., 2004, tradução nossa).

Figura 17 - Mapeamento das interações entre proteínas no *C. elegans* com as cores dos nós indicando sua classe filogenética (vermelho para as mais antigas, amarelo para as mais novas e azul para proteínas exclusivas do *C. elegans*) e cores de links indicando diferentes bases de dados.

As redes metabólicas constituem outro tipo de rede biológica em que a presença de *hubs* tem sido identificada. Neste caso, as reações químicas são tomadas como *links* entre as moléculas de reagentes e produtos que representam os nós da rede. De acordo com a investigação de Ma e Zeng (2003), o mapeamento de vias metabólicas como a da glicose (figura 18A) revela em diversos tipos de organismos uma distribuição de grau correspondente ao modelo da rede livre de escala (figura 18B). Além disso, verifica-se grande correspondência entre os principais *hubs* presentes em cada organismo, indicando que algumas poucas moléculas dominam a estrutura do conjunto das redes metabólicas (figura 18C).

Figura 18 - (A) via metabólica da glicose; (B) distribuição de grau dos nós das redes metabólicas de vários organismos (hsa: *Homo sapiens* (eucarionte), eco: *Escherichia coli* (bactéria gram-negativa), bsu: *Bacillus subtilis* (bactéria gram-positiva), ape: *Aeropyrum pernix* (archaea); (C) lista dos 10 metabolitos de maior grau.

Redes de transcrição genética com genes tomados como nós e suas ativações ou inibições por proteínas como *links*, redes de interação entre domínios proteicos, redes tróficas com nós constituídos por espécies e *links* pelas relações de predação e redes de relacionamentos entre animais de uma mesma espécie, como vespas e golfinhos, são outros exemplos de aplicação da teoria de redes na biologia.

3.3 REDES CEREBRAIS

O verme *C. elegans* tem cerca de 1 milímetro de comprimento e 70 micrômetros de espessura. Sem possuir visão ou audição, realiza o sensoriamento do ambiente através de receptores que respondem a estímulos táteis, químicos e térmicos. Possui apenas 302 neurônios, conectados e posicionados de maneira praticamente constante em todos os indivíduos da espécie. É em seu cérebro que se concentram a maioria destes neurônios, 279, responsáveis por 6393 *sinapses químicas*, 890 *sinapses elétricas* e 1410 *sinapses neuromusculares*¹⁰. A posição de cada neurônio e o comprimento de todas essas conexões de sinapses são bem conhecidas. Sabe-se, inclusive, que o conjunto das conexões entre tais neurônios apresenta características das chamadas redes de pequeno mundo e que alguns neurônios atuam como *hubs*.

Apesar de toda a precisão com que se conhece o mapa das células e conexões do sistema nervoso do *C. elegans*, ainda há um longo aprendizado a ser feito quanto às funções fisiológicas de cada neurônio. Modelagens computacionais como a desenvolvida pelo *Open Source Brain*¹¹ (figura 19) que procuram simular a transmissão de informações entre os neurônios desse animal ainda estão em seu estágio inicial de desenvolvimento.

Figura 19 - Modelo elaborado pelo projeto *Open Source Brain* da anatomia celular tridimensional do *C. elegans* com destaque à sua rede de neurônios.

Se assim ocorre com este simples organismo, não é difícil imaginar as dificuldades presentes com relação ao estudo do cérebro humano que contém dez bilhões de células

¹⁰ A sinapse, conexão de um neurônio (célula nervosa) com outra célula, pode ocorrer por intermédio da ação de substâncias químicas neurotransmissoras que funcionam como uma ponte por sobre a fenda existente entre as duas células (sinapse química) ou diretamente através de canais que unem as duas células que se apresentam quase justapostas (sinapse elétrica). Quando a conexão se dá entre um neurônio motor e uma célula muscular, a sinapse (química) é denominada de neuromuscular.

¹¹ Modelagem computacional acessível em <<http://www.opensourcebrain.org/projects/celegans#>> (Acesso em 31 Mar. 2014)

nervosas. A esta dificuldade estrutural soma-se a impossibilidade de realização de investigações anatômicas invasivas *in vivo* tal como acompanhar o traço deixado por substâncias injetadas no cérebro, técnica comumente realizada em ratos, gatos e macacos. Em vista da rápida deterioração do tecido nervoso após a morte, tal procedimento torna-se inútil para o estudo do cérebro humano.

De acordo com o texto de Sporns (2011), no qual em muito se baseia a exposição aqui feita sobre as redes cerebrais, há duas grandes vertentes técnicas para se mapear o cérebro humano: (a) investigação das conexões estruturais, anatômicas, entre neurônios fisicamente relacionados ou (b) investigação das conexões funcionais entre neurônios remotamente localizados. Estudos histológicos ou análises de imagens do tecido cerebral são técnicas comuns à identificação das conexões estruturais. Por sua vez, as conexões funcionais são inferidas por meio do acompanhamento da correlação entre séries temporais de dados, capturando padrões de desvios para com os dados estatísticos referentes ao funcionamento independente dos neurônios.

Seja qual for a vertente de investigação seguida, há ainda o problema prévio da definição dos nós e *links* a serem considerados. Além da construção da rede a partir das sinapses como *links* entre os neurônios, há várias outras possibilidades, tal como feito em experimentos eletrofisiológicos que consideram eletrodos e sensores como nós da rede. Como cada procedimento fornece pistas específicas e não excludentes, é comum o uso conjunto dos diversos tipos de mapeamento, tal qual indicado na figura 20.

Figura 20 - Quatro principais passos no estudo das conexões estruturais e funcionais do cérebro humano: (1) definição dos nós por particionamento anatômico (à esquerda) ou por regiões funcionais (à direita); (2) identificação das conexões a partir da tomada de dados por imagens do tecido cerebral (à esquerda) ou por medidas da atividade cerebral (à direita); (3) geração da rede (estrutural à esquerda e funcional à direita) composta pelos nós e *links* identificados; (4) análise teórica e comparativa das duas redes obtidas. (SPORNS, 2011, p. 39, tradução nossa).

Fato é que apesar de hoje se conhecer muito mais do cérebro que há décadas atrás, sabe-se ainda muito pouco sobre tudo o que nele acontece. Segundo Sporns (2011), particular lacuna ocorre no terreno da relação entre a anatomia cerebral e a cognição:

Apesar de seu grande progresso a neurociência ainda não pôde responder às "grandes perguntas" sobre mente e inteligência. Consequentemente, a maioria dos cientistas da cognição continua a manter a posição de que a inteligência é fundamentalmente o trabalho de processamento simbólico realizado em arquiteturas baseadas em regras computacionais cuja função pode ser formalmente descrita de maneira totalmente independente de sua realização física. Se a cognição é majoritariamente simbólica na natureza, então seu substrato neural é pouco mais que um detalhe sem importância, nada revelando de essencial sobre a mente. Naturalmente, há muita controvérsia sobre o assunto. (SPORNS, 2011, p. 179, tradução nossa).

Entre o extremo do desprezo à rede neuronal ao reducionismo de que tudo a ela se resume, diversos experimentos têm utilizado técnicas computacionais integradas à teoria de redes para mapear alterações cerebrais em momentos de aprendizagem. Um exemplo é a pesquisa de Basset et al. (2011) acerca da reconfiguração dinâmica das redes cerebrais durante o aprendizado. Nessa investigação 18 pessoas, inseridas em uma máquina de ressonância nuclear magnética, responderam em 3 sessões diárias e ao longo de 5 dias a um teste referente a sequências de notas musicais.

As imagens relativas a cada indivíduo, escaneadas em regulares intervalos de tempo, foram particionadas nas 112 estruturas do córtex reconhecidas por atlas cerebral de referência. Tais estruturas foram, então, mapeadas como nós de uma rede conectados funcionalmente de acordo com o contraste entre a susceptibilidade magnética de hemoglobina oxigenada e desoxigenada dentro de cada elemento de volume das imagens de ressonância magnética. A figura 21 ilustra estas etapas do mapeamento de nós e *links* cujas propriedades permitiram aos pesquisadores constatar evidências de um aumento da organização funcional do cérebro durante o aprendizado.

Figura 21 – Para gerar a rede funcional mapeada pelo experimento (*Funcional Network*), cada imagem de ressonância nuclear magnética (*fMRI Imaging*) foi particionada em conhecidas regiões do córtex (*Functional Parcellation*), consideradas, então como nós da rede correlacionados por uma matriz (*Functional Connectivity*) construída de acordo com a identificação dos sinais de contraste (BASSET et al, 2011).

3.4 INTERNET E WEB

Navegar pela *internet* não é sinônimo de navegar pela *world wide web* (*web*). A primeira é uma rede física de computadores e roteadores ligados por cabos elétricos, fibras ópticas e conexões sem fio. A segunda, constituída por documentos interconectados por *hiperlinks*, é apenas uma das diversas maneiras de trocar informações através da *internet*. Comunicação por *email*, *sms*, *tweets* e compartilhamento de arquivos são exemplos de outras redes de informações disponibilizadas pela *internet*, não necessariamente vinculadas à *web*.

A onipresença dos *microchips* tem inclusive possibilitado uma abrangência muito maior das conexões entre computadores, dando origem ao conceito de *internet de todas as coisas* (IoE, do inglês *internet of everything*). Segundo a CISCO (2013), hoje já seriam mais de 10 bilhões de pessoas, processos, dados e coisas (dispositivos móveis, parquímetros, termostatos, monitores cardíacos, pneus, estradas, carros, supermercados, etc.) conectadas via *internet*, com perspectiva de que esse número chegue a 50 bilhões em 2020.

Com tamanha heterogeneidade, abrangência e taxa de crescimento, já seria pertinente inferir a dificuldade inerente à tarefa de mapear a *internet*. Mas esse problema se amplia ainda mais quando se considera que a incorporação de novos nós e *links* (bem como a supressão de alguns mais antigos) é feita sem qualquer plano diretor geral e não raramente sujeita à emergência de tecnologias não previstas até mesmo por seus elaboradores. Nesse sentido, é ilustrativo o caso da invenção do *email* conforme relatada por Barabási (2002):

De fato, muitos usos atuais da internet seriam inimagináveis por aqueles que desenharam sua infraestrutura básica, a qual ainda está em vigor. Por exemplo, o email nasceu quando um aventureiro hacker, Rag Tomlinson, então trabalhando na BBN, uma pequena firma de consultoria em Cambridge, Massachusetts, descobriu como modificar o protocolo de transferência de arquivos para transportar mensagens de correio. Por um longo tempo, Tomlinson ficou quieto sobre seu avanço. Quando ele o expôs pela primeira vez a um de seus colegas, este o advertiu, “Não conte a ninguém! Não é sobre isto que nós deveríamos estar trabalhando”. O email vazou, no entanto, e tornou-se uma das aplicações dominantes do início da internet. (BARABÁSI, 2002, p. 149, tradução nossa).

Sendo da *internet* um recorte, se poderia supor maior facilidade nos estudos de mapeamento da *web*. A realidade, entretanto, não é essa, com cada um de seus usuários tendo acesso apenas a uma pequena parte de toda a rede. A razão, explica Barabási (2002), reside em que os *links* da *web* são direcionados:

Em outras palavras, ao longo de uma dada URL somente podemos viajar em uma direção. Se não houver link direto entre dois nós de uma rede direcionada, você pode conectá-los a partir de outros nós: por exemplo, se você quiser ir de A para D, você pode começar pelo nó A, então ir para o nó B, que tem um link para o nó C, que aponta para D. Mas você não pode fazer uma viagem de volta. Em uma rede não direcionada, em que você pode seguir um link em ambas as direções, um caminho $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ implica que o caminho mais curto de D para A, é o caminho reverso $D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$. Em uma rede direcionada, no entanto, não há garantia de que exista o caminho inverso. O mais provável é que você terá que seguir uma rota diferente em seu caminho de volta: partindo de D, talvez você precise visitar dúzias de nós intermediários antes de voltar para A. A web é repleta de tais caminhos desarticulados. Eles fundamentalmente determinam a navegabilidade da web. (BARABÁSI, 2002, p. 167, tradução nossa).

De acordo com o estudo de Andrei Broder et al. (2000) este direcionamento dos *links* da *web* a tornam fragmentada em quatro principais continentes: (a) núcleo central, em que todas as páginas podem alcançar umas às outras por um *link* direto entre elas ou por uma sucessão de *links* direcionados; (b) páginas de acesso, contendo páginas que podem chegar ao núcleo central, mas não podem ser alcançadas a partir dele, como sites recentemente inaugurados e ainda não descobertos pelos usuários; (c) páginas de saída, com páginas acessíveis a partir do núcleo central, mas sem ligação de volta a ele, como sites corporativos que contêm apenas ligações internas; (d) tentáculos, que contêm páginas que não podem

chegar ao núcleo central e nem serem alcançadas a partir dele. Há, ainda, páginas de acesso que podem se conectar diretamente a páginas de saída (tubos) e conjuntos de páginas completamente desconectadas de todo o resto (ilhas). A figura 22, apresentada por Barabási (2002), ilustra bem essa visão da *web*.

Figura 22 – A fragmentação da *web* contendo núcleo central (*Central Core*), páginas de acesso (*IN Continent*), páginas de saída (*OUT Continent*), tentáculos (*Tendrils*), tubos (*Tubes*) e ilhas (*Islands*). (BARABÁSI, 2002, p. 166).

Tão relevante quanto a estrutura fragmentada, é o equilíbrio existente na distribuição dos nós entre estas regiões. Dos cerca de 203 milhões de nós mapeados pelo *software* de rastreamento utilizado por Broder, apenas 56 milhões pertencem ao núcleo central, com as páginas de acesso e de saída contendo cerca de 43 milhões cada e os 61 milhões restantes sendo internos às ilhas e tentáculos. Isso significa que mesmo que determinado *website* seja um robusto *hub* do núcleo central, metade da *web* é para ele invisível.

Importante notar que tal fracionamento é independente de regras regulatórias, poder econômico, *marketing* ou técnicas computacionais mais eficientes. Trata-se de uma propriedade topológica da *web* e de todas as redes formadas por *links* direcionados, haja vista as redes tróficas em que predadores se alimentam de suas presas, sem validade para o caminho inverso.

3.5 EMPRESAS EM REDE

Um dos aspectos marcantes da sociedade contemporânea, conforme caracterizada por Castells (2009), é a emergência das empresas em rede, nova forma de organização dos negócios em que diferentes firmas, segmentos de firmas ou as próprias firmas em sua constituição interna se estruturam em redes ao mesmo tempo competitivas e colaborativas:

Assim, grandes empresas são internamente descentralizadas como redes. Pequenas e médias empresas são conectadas em redes, garantindo a massa crítica de suas contribuições como subempreiteiras, mantendo seu principal ativo: a flexibilidade. Redes de pequenas e médias empresas são muitas vezes complementares para grandes empresas; na maioria das vezes para várias delas. Grandes corporações, e suas redes subsidiárias, costumam formar redes de cooperação, denominada, na prática de negócios, alianças estratégicas ou parcerias.

Mas essas alianças são estruturas cooperativas raramente permanentes. Este não é um processo de cartelização oligopolista. Essas redes complexas se articulam em projetos de negócios específicos e reconfiguram sua cooperação em diferentes redes a cada novo projeto. A prática comercial habitual nesta economia em rede é a das alianças, parcerias e colaborações específicas para determinado produto, processo, tempo e espaço. A fim de ganhar maior participação no mercado, estas colaborações são baseadas em partilha de capital, trabalho e fundamentalmente, de informação e conhecimento. Então, elas são principalmente redes de informação, que ligam os fornecedores e clientes através da empresa em rede. A unidade do processo de produção não é a empresa, mas o projeto do negócio, promulgado por uma rede, a empresa em rede. A empresa continua a ser a unidade legal de acumulação de capital. Mas, desde que o valor da empresa em última análise, depende da avaliação financeira no mercado de ações, a unidade de acumulação de capital, a empresa, torna-se um nó da rede global de fluxos financeiros. (CASTELLS, 2009, p.32, tradução nossa).

Boa percepção desse enredamento empresarial pode ser obtida pela análise da rede das corporações em multimídia, composta por um núcleo central de empresas gigantes conectadas tanto entre si (*Time Warner, Disney, News Corporation, Bertelsmann, NBC Universal, Viacom e CBS*), como com empresas gigantes da *internet* (*Google, Yahoo, Apple, Microsoft*) e com diversas firmas de menor porte.

A figura 23 ilustra bem a rede dos negócios de multimídia. Enquanto a francesa *Vivendi* tem uma participação de 20% da *NBC* norte-americana, esta detém 25% da também norte-americana *A&E Networks*, cujos demais 75% apresentam-se distribuídos entre as igualmente norte-americanas *Hearst* e *Walt Disney*, com esta última também detendo 20% da *TVA* brasileira e tendo 1% de seu capital sob domínio da empresa árabe *Kingdom Holdings* que detém também 1% da norte-americana *Time Warner*, proprietária de 24% da indiana *Zee Turner Limited*, cujos restantes 74% estão em mãos da indiana *Zee Telefilms*.

Figura 23 – Mapeamento de rede entre empresas de multimídia (CASTELLS, 2009, p. 85).

Segundo Castells (2009) nesse emaranhado intercontinental, tanto o global influencia o local como o local influencia o global. Exemplo do primeiro fenômeno é a exibição em todo o mundo de canais de TV como HBO, ESPN, FOX, e CNN, bem como de programas como *The Voice*, *Pop Idol*, *Survivor* e *Who Wants to be a Millionaire*. No entanto, ao mesmo tempo em que corporações globais introduzem seus produtos em rede ao redor do mundo, empresas locais utilizam essa mesma rede para inserir seus produtos em outras regiões, produtos esses que por vezes tornam-se globais: a história e personagens de *Rei Leão* baseiam-se no mangá japonês, ao passo que o *Big Brother* tem origem alemã. Conforme analisado por Castells (2009), a globalização da produção e do capital e as identidades locais ou nacionais são, enfim, inter-relacionadas:

Um pequeno número de megacorporações constituem a espinha dorsal da rede global das redes de mídia. O seu domínio se baseia em sua capacidade de influenciar

e se conectar, em todos os lugares, às organizações de mídia centradas local e nacionalmente.

Por outro lado, a fim de facilitar sua própria expansão, organizações de mídia com centro nacional e regional dependem cada vez mais das parcerias com essas megacorporações. Embora o capital e a produção sejam globalizados, o conteúdo da mídia é personalizado para as culturas locais e para a diversidade de públicos segmentados. Assim, tal como é típico de outras indústrias, a globalização e a diversificação trabalham lado a lado. Na verdade, os dois processos estão interligados: apenas redes globais podem dominar os recursos de produção da mídia global, mas sua capacidade para conquistar participação no mercado depende da adaptação do seu conteúdo ao gosto do público local. O capital é global; identidades são locais ou nacionais. (Castells, 2009, p.72, tradução nossa).

3.6 COAUTORIAS

De que maneira pesquisas realizadas ao redor do mundo acerca de determinado ramo científico, como a nanotecnologia, se entrelaçam? Quais países apresentam maior número de trabalhos publicados sobre esse assunto e como colaboram entre si os pesquisadores de diferentes países? Se tais pesquisadores forem agrupados pelas instituições a que pertencem, como se apresenta o mapa da rede de colaborações institucionais sobre nanotecnologia?

Perguntas como essa podem agora ser respondidas com relativa facilidade através de pesquisas em extensas bases de dados de índices de artigos científicos como as disponibilizadas pelo projeto *Web of Science* (WoS)¹². Assim procedeu o Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OBSERVATORIO CTS, 2011) que a partir da identificação de cerca de 300 mil publicações entre 2000 e 2007 relativas à nanotecnologia, realizou diversas análises sobre a produção científica neste campo.

A figura 24 representa um destes estudos, em que os coautores dos artigos científicos publicados em 2007 foram agrupados pelos países de suas instituições. Trabalhos publicados em conjunto por pesquisadores de uma instituição brasileira e outra norte-americana, por exemplo, configuram nesta rede um *link* entre Brasil e Estados Unidos. Dada a grande quantidade de nós e *links*, na elaboração desta representação visual em rede, o Observatorio CTS (2011) promoveu alguns cortes, de forma a eliminar os *links* menos importantes, deixando tão somente a quantidade mínima necessária para que nenhum nó aparecesse desconectado. Além disso, foram considerados apenas os países com pelo menos 10 publicações naquele ano.

¹² Base de dados acessível mediante acesso institucional (USP) em <<http://wokinfo.com/>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

Figura 24 - Rede de países com produção científica em nanotecnologia. Mapeamento elaborado pelo Observatório CTS (2011) a partir de dados da WoS, incluindo-se somente publicações de 2007 de países com mais de 10 artigos, sendo os *links* mais espessos indicativos de maior quantidade de trabalhos elaborados em conjunto, o maior diâmetro do nó correspondendo à maior quantidade de artigos publicados pelo conjunto dos pesquisadores do país e a cor cinza representando os países ibero-americanos.

Comparando com as redes relativas a cada ano no período de 2000 a 2007, o Observatório CTS (2011) conclui que a trama de relações entre os países cresceu em complexidade, sempre mantendo os Estados Unidos como nó principal, tanto pela quantidade de publicações, como por ser o nó ao redor do qual se articulam os demais países, mas com notável fortalecimento do poder aglutinador de outros países, como Alemanha e França de onde se expandem ramos secundários da rede.

Reagrupando os artigos a partir das instituições de origem dos coautores e focando apenas nas relações entre as vinte e cinco instituições ibero-americanas de maior produção científica em nanotecnologia, nova representação foi elaborada (figura 25), na qual se percebe a preponderância do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), espanhol, não apenas para a própria Espanha, como também para a integridade de toda a rede regional. Quanto às instituições brasileiras se percebe que estão fortemente conectadas tanto entre si como internacionalmente, destacando-se a Universidade de São Paulo (USP) pela quantidade de publicações e a Universidade de Campinas (UNICAMP) com sua relação direta com mais da metade das entidades representadas na rede. São, aliás, estes vínculos internacionais que conferem à UNICAMP posicionamento mais ao centro da figura do que a própria USP ou do que a Universidad Autónoma de México (UNAM) e a Universidad de Barcelona, todas com

maior volume de publicação do que ela. Tal efeito se deve ao uso do *Kamada-Kawai*, um dos algoritmos que utiliza o já comentado modelo de massas (nós) e molas (*links*) configurado no estado de menor energia possível (ver página 57), promovendo que o centro da figura tenda a ser ocupado por nós que além de apresentarem muitas conexões, sejam fortemente conectados entre si: a USP ocupa região central na rede estabelecida entre as universidades brasileiras, mas ao ter menos trabalhos sobre nanotecnologia em coautoria com instituições de outros países ibero-americanos, tem posição mais periférica do que a UNICAMP nessa rede internacional.

Figura 25 - Rede de instituições ibero-americanas. Mapeamento elaborado pelo Observatorio CTS (2011) a partir de dados da WoS, incluindo-se somente as 25 instituições ibero-americanas de maior produção científica em nanotecnologia em 2007, sendo os *links* mais espessos indicativos de maior quantidade de trabalhos elaborados em conjunto, o maior diâmetro do nó correspondendo à maior quantidade de artigos publicados pelo conjunto dos pesquisadores da instituição e com as cores dos nós representando os diferentes países (laranja mais forte para Espanha, preto para Brasil, cinza para Portugal, laranja muito claro para México e laranja claro para Argentina).

3.7 COOCORRÊNCIA DE CITACÕES

Além da análise de coautorias, os dados disponibilizados pela *WoS* também permitem mapear redes de citações como a representada na figura 26 em que se identificam os dezoito trabalhos indicados como referências bibliográficas no famoso artigo em que César Lattes e demais autores descrevem o *méson pi* e os cento e vinte e quatro artigos que o utilizam como referência.

Contando com a mesma técnica de simplificação (eliminação dos *links* menos importantes sem deixar nenhum nó desconectado), esta rede conta com cento e seis disciplinas com destaque à química, ciência dos materiais, física, ciência dos polímeros, engenharia, bioquímica e biologia molecular, com o forte vínculo entre as duas últimas resultando em acoplamento de nó único. Três blocos temáticos são evidenciados na análise Observatorio CTS (2011): (a) a química e suas densas conexões com a ciência dos materiais, com a ciência dos polímeros e com a bioquímica e biologia celular; (b) a ciência dos materiais e suas ligações com a física e a engenharia; (c) a bioquímica e a biologia molecular contendo ramificações que abrangem grande número de disciplinas.

Recortes por nacionalidades permitiram ao Observatorio CTS (2011) tecer comparações entre a rede geral internacional com as redes de disciplinas relativas a cada país ibero-americano, bem como ao conjunto dos países da Ibero-América. O que se percebe é que embora o quadro ibero-americano não apresente significativas diferenças para com o conjunto internacional, a análise em detalhe, país a país, permite identificar algumas importantes particularidades. Um exemplo é o surgimento na rede de nanotecnologia brasileira, composta por 71 disciplinas, de uma ramificação a partir da oncologia para a medicina, radiologia e otorrinolaringologia (figura 28). O Observatorio CTS (2011) infere que tal especificidade deva-se a uma maior preocupação dos pesquisadores brasileiros para com investigações em nanotecnologia vinculadas às ciências da saúde.

Figura 28 - Rede de áreas científicas citadas em trabalhos brasileiros de nanotecnologia.

Procurando contribuir com o mapeamento das pesquisas e publicações realizadas no Brasil em *Ciência, Tecnologia e Sociedade* (CTS), Chrispino et al. (2013) procuraram em 22 periódicos científicos brasileiros da área de ensino, no período entre 1996 e 2010, por artigos que continham as palavras-chave ciência, tecnologia e sociedade, separadas ou juntas, tendo encontrado após filtragem de atenta leitura 88 artigos efetivamente relativos à área e que lhes forneceram 394 fontes bibliográficas. Com esses dados em mãos, construiu-se uma rede direcionada composta pelas fontes bibliográficas como nós que se interligavam pelas suas correspondências: se uma fonte bibliográfica A citava outra B, ficava estabelecido um *link* de A para B. Após refinamento dos dados obtidos, eliminando-se os nós não conectados ao principal componente, chegou-se à rede apresentada pela figura 29, organizada através das partições de nós de mesmo grau e com a identificação dos 13 trabalhos mais citados.

Figura 29 - Mapeamento das pesquisas e publicações realizadas no Brasil em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), conforme conexões identificadas a partir de artigos publicados em 22 periódicos, com destaque aos 13 trabalhos mais citados e com vértices de cores iguais possuindo o mesmo grau de entrada.

Em vista dos resultados, os autores sugerem que estes 13 trabalhos “*podem ser encarados como leitura obrigatória para entendimento do que seja e o que produz a área. É o ponto comum, é o consenso, se não construído intencionalmente, certamente estabelecido pela tradição*” (CHRISPINO et al., 2013). Além dessa afirmação, são tecidas diversas inferências possibilitadas por essa visão em rede dos trabalhos em educação CTS no Brasil, tais como a predominância de autores nacionais como fonte de pesquisa, a ausência de citações a autores tidos por historiadores como fundadores da área e a constatação de

tendências endógenas que contrastam com a interdisciplinaridade e a contextualização características da área CTS.

3.8 MINERAÇÃO DE TEXTOS E REDES CONCEITUAIS

Nas elaborações das redes de citações apresentadas no item anterior, o primeiro passo foi a coleta dos documentos referentes à temática em foco, esforço realizado através do “garimpo” de termos relevantes em textos contidos em uma determinada base de dados. De maneira semelhante, tornou-se comum a realização de pesquisas na *web*, uma imensa base de dados que junto com suas facilidades traz crescentes preocupações quanto à originalidade de textos apresentados para efeito de trabalhos escolares ou mesmo científicos. A mesma *web* apresenta, no entanto, antídotos contra tais fraudes, com alguns professores e orientadores adotando a prática de “perguntarem ao Google” se essa ou aquela frase já não se encontra presente em algum hipertexto.

Google, aliás, que disponibiliza o *Google Books Ngram Viewer*¹³, uma base de dados construída com a digitalização de milhões de livros, em sua maioria na língua inglesa, que possibilita pesquisas sobre a evolução de palavras e expressões ao longo do tempo. Mais que isso, de acordo com Michel et al. (2010), os dados fornecidos pelo projeto permitem o estudo de diversos fenômenos culturais refletidos no uso da linguagem, motivando o reconhecimento de um novo campo de pesquisa denominado pelos autores de “*culturomics*” cujos resultados constituem “*um novo tipo de evidências em ciências humanas*” e, “*tal como acontece com fósseis de criaturas antigas, o desafio de culturomics reside na interpretação dessa evidência*”(tradução nossa).

Como exemplo de tais evidências, a figura 30 apresenta alguns dos vários gráficos elaborados pelos autores referentes a evoluções históricas e culturais: (a) oscilação do uso da palavra “*influenza*”, com picos correspondentes às conhecidas pandemias na Rússia, Espanha e Ásia; (b) supressão de Trostky, Zinoviev e Kamenev nos textos russos durante a ascensão e desenvolvimento do *stalinismo*; (c) trajetória histórica das expressões “*the North*”, “*the South*” e “*the enemy*”, indicativa da polarização entre estados durante a guerra civil norte-americana; (d) a ascensão do feminismo primeiramente na França e depois, com mais vigor nos Estados Unidos; (e) crescente ganho de espaço da mulher frente ao homem na “batalha dos sexos” (f) a maior popularidade de Freud frente a Galileu, Darwin e Einstein.

¹³ Base de dados disponível em <<https://books.google.com/ngrams/>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

Figura 30 – Alguns fenômenos culturais refletidos no uso da língua escrita: (A) picos de “influenza” correspondentes a conhecidas pandemias, (B) supressão de Trostky, Zinoviev e Kamenev nos textos russos após os expurgos stalinistas, (C) polarização entre estados durante a guerra civil norte-americana refletida no uso das palavras “the North”, “the South” e “the enemy”, (D) progressiva ascensão do feminismo, (E) crescente ganho de espaço da mulher frente ao homem, (F) popularidade de Freud frente a Galileu, Darwin e Einstein.

A investigação das frequências com que as palavras são utilizadas em textos podem também revelar características de seus autores. Ao expor um método de extração automática de termos e conceitos de textos que caracterizem a ontologia de campos de conhecimento específicos, Ahmad e Gillam (2005) argumentam que os especialistas de cada área tendem a repetir selecionadas palavras-chave a fim de consolidar ou rejeitar determinados conceitos, desenvolvendo, assim, linguagem própria da área. No caso da física nuclear, os autores relatam que a palavra *partícula* é, por exemplo, cerca de seiscentas vezes mais frequente nos textos de Rutherford do que na coletânea disponibilizada pelo *British Nacional Corpus* (BNC)¹⁴, banco de dados contendo mais de 100 milhões de palavras extraídas de diversas fontes e que busca representar mostra significativa do inglês britânico atualmente falado e escrito. Estendendo a análise para outras palavras frequentemente utilizadas pelo próprio

¹⁴ Base de dados disponível em <<http://www.natcorp.ox.ac.uk/>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

Rutherford, Bohr ou modernos físicos nucleares, Ahmad e Gilliam (2005) analisam que a desproporcionalidade no uso de determinadas palavras fornece uma pista do compromisso do especialista para com uma determinada concepção ou modelo teórico:

As mais frequentes palavras em Rutherford incluem *partícula(s)*, *átomos* e *núcleo*. Estas palavras são “desproporcionalmente” usadas por Rutherford quando comparadas com um texto típico em inglês – ele usa *partícula* 629 vezes mais frequentemente do que usado no British National Corpus, *átomo* 896 vezes mais frequentemente e *núcleo* 841 vezes mais frequentemente. Aqui há indícios dos famosos experimentos de espalhamento – onde Rutherford mediu o *alcance* (22 vezes mais frequente) das partículas *alfa* (485 vezes mais frequente) emitidas por uma fonte radioativa (em *centímetros* ou *cm*). A ênfase em Bohr é sobre os *elétrons* (1652 vezes mais frequente) e suas *órbitas* (1204 vezes mais frequente); *núcleo* é usado com menor desproporção em Bohr (652 vezes) do que em Rutherford (841 vezes). O uso mais frequente dos *elétrons* em uma *órbita* não minimiza o fato de que a órbita era ao redor do *núcleo*. A palavra *núcleon* (um hipônimo para *próton* e *nêutron*) está entre as mais desproporcionalmente utilizadas [na seleção de textos de modernos físicos nucleares] – 36410 vezes mais frequente em nossos textos do que no BNC; *energia* (e sua unidade *mev* – milhões de eletron-volts) está entre as mais frequentemente utilizadas. A frequência de [uso das palavras] *transversal*, *seção*, e *espalhamento*, reflete o uso do termo *seção-transversal* em física nuclear onde é usado para se referir à medida da probabilidade de uma reação *nuclear*; *seção transversal de espalhamento* é [um termo] usado na determinação da estrutura do núcleo. (Ahmad e Gillam, 2005, tradução nossa preservando o uso original do estilo itálico como indicação de palavra frequentemente usada em cada um dos três conjuntos analisados e acrescentando o estilo sublinhado como indicativo do início da análise de cada um desses conjuntos).

Se a intenção não for a investigação da frequência com que uma palavra apareça em diversos textos, mas como se distribuem as palavras em determinado texto, há diversos softwares que automatizam a tarefa. Um deles é o *Wordle*¹⁵ que após realizar a contagem das diferentes palavras dispostas no texto, valorar cada uma delas proporcionalmente à sua frequência e eliminar palavras de ligação como artigos e preposições, desenha uma nuvem de palavras disposta horizontal e verticalmente. A figura 31 ilustra a nuvem de palavras construída pelo *Wordle* para os dois primeiros parágrafos daquele texto fictício do início do dia de uma secretária apresentado na página 38 deste trabalho. Ótima para permitir rápida percepção do assunto tratado no texto, a automatização do processo não permite a interferência na lista das palavras a serem eliminadas, implicando em equivalente destaque para conceitos, como “cristal”, “tempo”, “sinal” e “TV”, e palavras comuns, tal qual a preposição “sobre”. Se, por um lado, a fim de melhor identificar o tema tratado no texto, essa equivalência pode ser indesejada, por outro lado, ela pode denunciar a presença de vícios de linguagem e inferir possíveis usos didático-pedagógicos da ferramenta no aprendizado da redação de textos.

¹⁵ Ferramenta disponível em <<http://www.wordle.net/>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

Também utilizando a técnica de *lematização* e eliminação das palavras de ligação, Antiqueira et al. (2005) representaram textos como redes de ligação entre palavras adjacentes, com o diferencial de associarem pesos a cada *link*, de maneira que quanto maior o número de vezes que as mesmas duas palavras se apresentassem adjacentes, maior o valor atribuído ao respectivo *link*. A figura 34 ilustra um exemplo do processamento realizado pelos autores referente a um poema de Carlos Drummond de Andrade.

Figura 34 – Rede de ligação entre palavras adjacentes componentes de poema de Carlos Drummond de Andrade conforme análise de Antiqueira et al. (2005).

Os autores relatam três experimentos em que foram analisados diversos textos dos cadernos Dinheiro e Esporte do jornal Folha de São Paulo, redações da FUVEST e textos informativos produzidos por alunos do curso de letras da Universidade Mackenzie, SP. Processados os textos, efetuaram-se algumas medidas estatísticas a serem confrontadas com as notas atribuídas por um corpo de jurados a quatro critérios em cada texto: legibilidade, clareza, complexidade e qualidade. A conclusão a que se chegou é que, embora para textos julgados de boa qualidade as medidas estatísticas não representem indícios significativos, para os textos de pior valoração a “*qualidade diminui quando os caminhos mínimos aumentam, o que elucida a dificuldade dos escritores inexperientes em estabelecer conexões entre numerosos conceitos*”.

Objetivando o uso de redes conceituais na qualificação de práticas pedagógicas, Macedo (2010) relata uma técnica de mineração de texto em que após a etapa da eliminação das palavras de ligação, pode-se escolher a quantidade máxima de nós a serem considerados, bem como a frequência mínima de ocorrência de um termo para sua validação como um dos nós da rede: para um limite de 50 termos de frequência mínima igual a três, a rede será montada com os 50 termos mais frequentes ou algo menor que isso em caso de que dentre

estes termos mais utilizados constem alguns que tenham ocorrido apenas uma ou duas vezes ao longo do texto. Outra funcionalidade permitida pela técnica empregada é a possibilidade do trabalho com termos compostos por mais de uma palavra.

Com todos estes recursos em mãos, podem-se criar diversas versões de enredamentos representativos de um texto a fim de melhor investigar sua qualidade. Se, por exemplo, a construção da rede a partir dos 50 termos mais frequentes resultar em um mapeamento por demais fragmentado, pode-se ampliar para 75 o número máximo de nós a fim de verificar a existência de palavras que embora menos frequentes tenham alto impacto na conexão dos fragmentos.

Tendo aplicado todo esse processo a textos construídos coletivamente por alunos de cursos de extensão, graduação e pós-graduação, Macedo (2010) aponta sua eficiência na identificação da centralidade do texto para com o tema proposto. A imagem da rede permite, enfim, entender do que trata o texto, mesmo sem tê-lo lido ou, pelo contrário, inferir a perda de foco da produção textual nos casos em que a rede não indique um tema central. Outra percepção relatada pela autora é a correspondência entre a estrutura de redes e textos. Redes fragmentadas correspondem a textos também fragmentados, indicando a necessidade de uma ação pedagógica que possibilite o aprimoramento dos textos. Redes em que as conexões prevalecem indicam boa fluidez textual e a necessidade de uma prática pedagógica que aposte em maior autonomia do educando. As figuras 35 e 36 ilustram redes representativas de cada uma destas situações.

Figura 35 – Representação das conexões entre os 100 termos mais frequentes (com um mínimo de 2 ocorrências) componentes de um texto analisado por Macedo (2010) que, pela acentuada fragmentação da rede, apresenta falta de coesão, indicando a necessidade de uma ação pedagógica que possibilite seu aprimoramento.

Figura 37 – Mapa conceitual relativo ao conceito, estrutura e objetivo de um mapa conceitual (CAÑAS et al, 2003).

3.9 O ENREDO COMO REDE

Enredos também podem ser visualizados como rede. É o que fez Moreti (2011) em sua investigação de *Hamlet*, interpretada como uma rede com nós atribuídos a seus personagens e *links* às interações explicitadas por meio dos diálogos existentes entre tais personagens ao longo de toda a peça. Segundo o autor, são vários os ganhos que a visualização dessa rede permite, com a espacialização do tempo sendo uma delas: quando se assiste ou se lê a peça viaja-se pela sequência cronológica dos acontecimentos; por sua vez, na visão em rede todos os personagens aparecem juntos, com o passado ficando tão visível quanto o presente, permitindo uma visão global dos espaços de cada personagem na tragédia. Segundo Moreti (2011), como consequência dessa espacialização, visualizam-se subsistemas como a região de todas as tramas de assassinatos presentes na peça (ver figura 38):

Fazendo o passado tão visível como o presente, esta é uma grande mudança introduzida pela utilização de redes. Assim, elas fazem visíveis "regiões" específicas dentro do enredo como um todo: subsistemas que compartilham alguma propriedade significativa. Considere os personagens ligados tanto a Cláudio [Claudius, no original] como a Hamlet na figura [38]: exceto para Osric e Horácio [Horatio, no original], cujo link para Cláudio é, todavia, extremamente tênue, eles estão todos mortos. Morto por quem, nem sempre é fácil dizer: Polônio [Polonius, no original] é morto por Hamlet, por exemplo - mas Hamlet não tem ideia de que é Polônio quem ele está apunhalando atrás da cortina, Gertrudes [rainha e mãe de Hamlet] é morta

por Cláudio [rei e padraсто do príncipe Hamlet] - mas com veneno preparado para Hamlet, não para ela; Hamlet é morto por Laertes, com a ajuda de Cláudio, enquanto o próprio Laertes, tal qual Rosencrantz e Guildenstern antes dele, são todos mortos por Hamlet, mas com as armas de Cláudio. A ação individual é confusa; o que é verdadeiramente mortal é a posição dos personagens na rede, acorrentados aos polos rivais do rei e do príncipe. Fora da região vermelha, ninguém morre em Hamlet. A tragédia está toda lá. (MORETI, 2011, tradução nossa).

Moreti (2011) destaca que a visão em rede permite uma percepção não usual do protagonista, que passa a ser o personagem que minimiza a soma das distâncias para todos os outros vértices. Na figura 38 se percebe que Hamlet está a um grau de separação de 16 personagens e a dois graus de todos os outros.

Figura 38 - “Espaço das mortes” em *Hamlet*

Além disso, um histograma (figura 39) indicando a quantidade de *links* associado a cada personagem, revela a lei de potência característica de muitas redes: poucos nós com muitos *links* e muitos nós com poucos *links*. Nesse sentido, o autor argumenta quanto à incoerência de se procurar definir um típico personagem no enredo: “*então, falar dos personagens de Shakespeare “em geral” é errado, ao menos nas tragédias, porque estes “personagens em geral” não existem: tudo o que há é uma curva [no histograma] levando de um extremo a outro sem qualquer evidente solução de continuidade*” (MORETI, 2011, tradução nossa).

Figura 39 - Centralidade de cada personagem em *Hamlet*; na vertical vê-se o número de conexões de cada personagem ao longo do enredo.

Moreti (2011) observa também que a diferença entre os graus de cada personagem pode ser realçada por experimentos de intervenção no enredo, como se ele fosse um modelo. É possível, por exemplo, pensar em *Hamlet* sem Hamlet. Tal experimento é ilustrado na figura 40, resultando na nítida fragmentação da rede em dois setores ligados por apenas três links.

Figura 40 - O “Espaço das mortes” em *Hamlet* sem Hamlet.

No entanto, quando o mesmo experimento é feito com Cláudio, tal qual ilustrado na figura 41, a fragmentação resultante é muito pequena, em que pese ser Cláudio o personagem de maior grau após Hamlet.

Figura 41 - O “Espaço das mortes” em *Hamlet* sem Cláudio.

A explicação reside na localização dos dois personagens na rede: enquanto Cláudio está dentro da corte, com cerca de 50% das palavras por ele dita ao longo da peça restringindo-se ao sexteto formado em conjunto com a Rainha, Laertes, Ofélia, Polônio e Hamlet (figura 42), este último compartilha com tais personagens apenas 28% de sua fala, tendo papel ativo tanto dentro como fora da corte. Em termos técnicos, tal sexteto é uma região de alta aglomeração ou *cluster*, com todos os personagens relacionando-se diretamente entre si e assim permanecendo mesmo após a retirada de Cláudio da rede. Hamlet, por sua vez, ocupa papel proeminente na estrutura da rede como um todo.

Figura 42 - O sexteto interno à corte em *Hamlet*.

3.10 HISTÓRIAS CONTRAFCTUAIS E REDES DE INFLUÊNCIAS ENTRE AVANÇOS

Embora sem neles constar menção explícita às pesquisas sobre as redes complexas, os trabalhos desenvolvidos por Pessoa Jr acerca dos mapeamentos de histórias contrafactuais podem também ser resgatados neste capítulo. Afinal, similar ao mapeamento de coocorrências de citações, a pesquisa por histórias contrafactuais envolve a análise da correlação de assuntos e citações presentes em centenas de artigos de forma a construir imagens como a figura 5, apresentada no item 2.1 (página 29). Esclarece Pessoa Jr (2000), no entanto, que o aspecto fundamental do método é o mapeamento da rede de influências entre avanços, isto é, entre as unidades passadas de cientista para cientista:

[] Um “avanço” não é necessariamente um passo positivo, na direção correta, conforme sugerido pelo significado usual do termo. Para nós, os avanços são as unidades que são passadas de cientista para cientista, são os elementos que são adicionados ao conjunto de ideias, dados, leis, informações, conhecimentos tácitos etc., disponíveis para um certo cientista em uma época específica. Cada cientista assimila um conjunto de avanços, seleciona alguns, rejeita temporariamente outros, combina dois ou mais avanços etc. Segundo nossa visão, a ciência evolui a partir desses avanços disponíveis e dos novos avanços imaginados ou descobertos pelos cientistas teóricos e experimentais. Tal concepção é próxima a de algumas correntes da chamada Epistemologia Evolucionária [...].

No entanto, salientamos que os avanços são também as unidades que se conservariam na passagem de uma história possível para outra. Após determinar um conjunto de avanços concatenados em uma rede de influência para a história factual,

passamos a postular histórias contrafactuais imaginando ordenamentos diferentes para os mesmos avanços. Naturalmente, novos avanços também deverão ser postulados para diferentes histórias. (PESSOA JR, 2000).

Não se trata, portanto, de um “simples” mapeamento das coocorrências de citações, mas na “dissecação” de cada texto de forma a identificar o tipo de artigo (se experimental ou teórico, resenha, carta, coleta de dados, etc), seus antecedentes (trabalhos que o influenciaram diretamente) e os avanços nele obtidos (cálculo de constante, ampliação de domínio, anomalia teórica, distinção teórica, lei empírica, método experimental, etc). De posse de todos esses dados, desenha-se uma rede com os avanços como nós conectados por suas influências diretas, sem referência a artigos ou cientistas. Nesta rede de influências, esclarece Pessoa Jr (2000), os avanços “*devem ser pensados como um conjunto de dados disponíveis na literatura (independente de quem os obteve), dados estes que são concatenados (pelos cientistas) com outros avanços, tendo em vista a geração de novos avanços*”.

A figura 43 ilustra a rede de influências entre avanços para o caso da radiação térmica. As linhas tracejadas que nela aparecem indicam uma relação de influência fraca entre dois avanços, correspondente às situações em que o avanço decorrente poderia ter ocorrido de forma independente do avanço antecedente. Pelo contrário, linhas cheias indicam uma relação de influência forte, com a identificação de que o avanço antecedente foi necessário para a ocorrência de seu decorrente. Por sua vez, linhas que intercalam traços e pontos (---) indicam a conexão entre uma lei empírica e dados experimentais que confirmam ou negam esta lei, inferindo a plausibilidade de histórias contrafactuais em que os dados experimentais pudessem ter sido obtidos sem a existência prévia da lei empírica.

Segundo Pessoa Jr (2000), é o levantamento de redes de influências entre avanços que possibilita aplicar quatro estratégias intuitivas simples para visualizar diferentes histórias possíveis: (a) suposição de que um avanço aparentemente “improvável” não tivesse ocorrido; (b) suposição de que um avanço retrospectivamente “provável” tivesse ocorrido antes do tempo; (c) identificação de descobertas independentes, isto é, avanços iguais ou semelhantes que se deram de maneira independente um do outro; (d) suposição de que a consequência de uma descoberta fundamental (na história factual) tenha sido (numa história contrafactual) a causa desta descoberta.

Além da radiação térmica, o autor relata que outras três áreas foram alvo de sua pesquisa e consequente construção das respectivas redes de influências entre avanços: espectroscopia, efeitos ópticos e calores específicos. São justamente estas quatro redes que

sustentam a identificação daquelas quatro vias que poderiam ter levado ao surgimento da física quântica (figura 5, página 29).

Figura 43: Rede de influências entre avanços na área da radiação térmica.

3.11 CONEXÕES

Ainda que existam muitas outras redes com investigações já publicadas¹⁷, o recorte apresentado nesse capítulo fornece boa percepção das produções de um campo de pesquisa que tem se construído por interações com e entre diversas áreas científicas. Nesse sentido, vale realçar conexão com a exposição realizada no capítulo anterior: a quântica não só é base tecnológica da microeletrônica, como também de diversos equipamentos utilizados e fenômenos estudados por algumas das pesquisas de mapeamento de redes, haja vista as técnicas utilizadas na medicina para obtenção de imagem de atividades cerebrais.

Mas a discussão aqui apresentada, especialmente no que se refere às técnicas de mineração de texto e construção de redes de conceitos, também se conecta, em combinação com a exposição do próximo capítulo acerca da concepção do conhecimento como rede de significados, com algumas das práticas na formação de professores apresentadas no Capítulo 5. Em síntese, a ideia que será vista na formação de professores fará uso explícito daquelas técnicas na obtenção de uma visão global dos textos e redes conceituais construídos pelo conjunto de licenciandos participantes de uma disciplina focada na física quântica enquanto conhecimento em rede, bem como na análise do texto *Radiações, materiais, átomos e núcleos* expressivamente utilizado ao longo de um curso sobre estrutura da matéria.

Conforme citado na introdução, a percepção de tal conexão não estava dada, no entanto, no início deste doutoramento, com a aquisição da visão geral sobre a teoria de redes e suas aplicações tendo sido essencial para sua obtenção. Esse é, aliás, o motivo pelo qual se preferiu apresentar a visão panorâmica de todo um conjunto de pesquisas do que apostar em caminho mais direto rumo ao componente efetivamente aplicado. Em suma, por homologia, procede-se em rede para explicitar as redes...

¹⁷ Algumas delas: relacionamentos pessoais (como o sexual), esportivas (como a de jogadores de futebol conectados por atuação simultânea em um mesmo clube), musicais (como a de compositores brasileiros conectados por terem suas canções interpretadas por um mesmo cantor), transportes (como a de aeroportos conectados pelos voos entre eles), eletrônicas (como as conexões entre chips, transistores, resistores e outros dispositivos pertencentes a um circuito eletrônico), fenômenos naturais (como a de duas regiões da superfície terrestre conectadas pela ação subsequente de terremotos), matemáticas (como a de números naturais conectados por ao menos um fator primo em comum) e epidêmicas (sejam elas espalhadas por vírus biológicos ou computacionais).

4 UMA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA EM REDE

Em vista dos enredamentos analisados no Capítulo 2, a quântica pode cumprir papel privilegiado no processo de ensino e aprendizagem, sendo, por exemplo, mais significativo iniciar a 1ª aula do 1º ano da escola básica com discussões sobre o efeito fotoelétrico e outras fenomenologias do mundo quântico, do que através da tradicional apresentação da cinemática do ponto material. Esta é a premissa que contextualiza as discussões realizadas neste capítulo acerca da concepção do conhecimento como rede de significados e suas implicações educacionais.

Sendo rede, o conhecimento se assemelha muito mais com a multiplicidade de caminhos dos hipertextos e rizomas do que com a linearidade dos textos ou o crescimento verticalizado e enraizado das árvores. A complexidade da aprendizagem indica, assim, a necessidade de que o professor atue mais no sentido de permitir o traçado de percursos alternativos por seus alunos do que em absolutizar o encadeamento de pré-requisitos. Nesse sentido, tem mais eficácia a ação docente que procura mediar relações, tecer a rede de significados, mapear os significados relevantes, narrar o conteúdo a ser trabalhado e avaliar qualitativa e processualmente. Vale também lembrar que em todo esse processo, as tecnologias da informação e comunicação compõem importante ferramenta didático-pedagógica, com o uso de simuladores de experimentos ou modelos científicos e as atividades interativas potencializadas por ambientes virtuais promovendo novas possibilidades de aprendizagem.

Em meio aos argumentos em defesa deste conjunto de pressupostos teóricos, nas páginas desse capítulo já se anunciarão algumas das práticas na formação docente a serem mais bem descritas e analisadas no Capítulo 5, com especial destaque para alguns exemplos de sequências didáticas que promovem conexões entre diferentes campos da física ou áreas. Longe de exemplos de excelência didática, a ideia é viabilizar possibilidades concretas no “tecer quântico” da rede de conhecimentos, de forma a fortalecer a argumentação de que se faz hoje necessário não apenas inserir a quântica no currículo da escola média, conclusão que, embora não efetivamente refletida em sala de aula, já se encontra relativamente consensuada no meio acadêmico: é necessário nela apostar, tanto no ensino básico como no superior, como veículo facilitador da tecedura da rede conceitual.

4.1 HIPERTEXTOS, RIZOMAS E COMPLEXIDADE

O que é carga elétrica? É certo que existam múltiplas respostas a esta pergunta, cada uma delas contextualizada pela rede de significados própria de cada pessoa. No mapeamento apresentado na figura 44 (SALÉM, 1986), por exemplo, vê-se uma visão multifacetada da eletrostática, ficando explícitas diversas relações da carga elétrica com outros conceitos, tais como potencial, energia potencial, força e campo elétricos.

Figura 44 - Mapa conceitual da eletrostática (SALÉM, 1986, p.66).

Mesmo com base nessa única imagem, uma série de narrativas pode ser elaborada, cada qual retratando a escolha de um percurso: do escalar para o vetorial e vice-versa (vertical), da carga isolada para a interação entre cargas e vice-versa (horizontal), da carga elétrica e suas propriedades para as relações entre as demais grandezas físicas e vice-versa (radial). As possibilidades se ampliam ainda mais se imaginarmos um mapa conceitual de todo o eletromagnetismo, com a eletrostática constituindo apenas um de seus possíveis recortes.

Longe de um aspecto restrito a mapas conceituais estruturados por pesquisas acadêmicas, o estabelecimento de feixes de relações é um processo intrínseco ao conhecimento e aprendizado em todos os níveis de maturidade e idade. Independentemente do

professor e do aluno terem ou não consciência disso, ao aprenderem-se conceitos como o de carga elétrica, realizam-se conexões com uma diversidade de outros conceitos, com o conhecimento podendo, assim, ser concebido enquanto feixe de relações entre os nós de uma rede de significados:

- compreender é aprender o significado;
- aprender o significado de um objeto ou de um acontecimento é vê-lo em suas relações com outros objetos ou acontecimentos;
- os significados constituem, pois, feixes de relações;
- as relações entrecruzam-se, articulam-se em teias, em redes, construídas social e individualmente, e em permanente estado de atualização;
- em ambos os níveis - individual e social - a ideia de conhecer assemelha-se à de enredar.

(MACHADO, 1995, p.138).

Rede, aliás, que já existe, com maior ou menor densidade de nós e conexões, antes do aprendizado, com o aluno não sendo uma mente vazia ao início de uma aula. É mesmo provável que nela já existam prévias confusões conceituais, associações equivocadas entre nós que poderão se constituir como um obstáculo para o aprendizado.

Ainda que avaliações diagnósticas possam dar importantes pistas a esse respeito, não há, porém, meios de reconhecer a rede de significados pré-existente em cada aluno, sendo este um primeiro problema para o professor. Mas há outro problema ainda maior associado ao fato de que não se pode ensinar tudo ao mesmo tempo. Assim como a linguagem se constitui como um encadeamento lógico de palavras, uma aula, um curso e mesmo um currículo precisam seguir algum encadeamento lógico pré-programado. Mesmo que se permitam ajustes ao longo do processo, o professor estará sempre fazendo a opção de seguir uma dentre muitas sequências possíveis.

Uma dentre muitas possíveis. Não obstante, os campos de conhecimento historicamente construídos pela física costumam ser ensinados na escola média através de uma única sequência: mecânica, no 1º ano, óptica, física térmica e ondas, no 2º ano e eletromagnetismo, no 3º ano. Cada um desses campos tem, por sua vez, suas subdivisões: cinemática e dinâmica, óptica geométrica e óptica física, termologia e termodinâmica, oscilações e ondas mecânicas, eletrostática, eletrodinâmica e eletromagnetismo. Quando abordada, a física moderna e contemporânea não se exime dessa lógica, com a teoria da relatividade geralmente precedendo a exposição da física quântica.

Não raro, argumentos quanto ao excesso de conteúdo, ao pequeno número de aulas e à dificuldade de aprendizagem do aluno são utilizados para justificar que a abordagem se restrinja aos primeiros itens destas subdivisões ou mesmo a um de seus fragmentos, 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.

Se assim é na escola média, no ensino superior a fragmentação costuma ser ainda maior, com disciplinas semestrais (Física 1, 2, 3, 4, etc.) consolidando a ideia do “etapismo” para a escalada de uma pirâmide do saber e com cada departamento se especializando em um ou outro campo de conhecimentos da física.

Em nosso cotidiano, no entanto, essa fragmentação não ocorre. Tomemos como exemplo o primeiro parágrafo do texto apresentado no item 2.3 (página 38) que retrata o início de um dia de trabalho de uma pessoa, desde seu despertar:

Ela acorda com um relógio despertador, que mede o tempo pela contagem de pulsações de um cristal de quartzo, feita por um chip eletrônico, que é um microcircuito integrado a um cristal semiconductor. Vai direto ao banheiro, onde ralos, pia e vaso sanitário são providos de sifões hidráulicos, para reter odores. Toma um banho, com água que vem de um reservatório dotado de boia e registro e que passa por um chuveiro elétrico, um resistor sob uma tensão de 220 V, mas que, no apartamento vizinho, circula por um aquecedor de passagem, um tubo metálico sobre um queimador a gás. (MENEZES et al., 2003, p. 5).

A qual parte da física este parágrafo pode ser identificado? Praticamente a todos eles, ou, a depender do tratamento dado, a nenhum, pois a cinemática do ponto material em MRU ou MRUV ou o estudo das forças trocadas entre cargas elétricas estrategicamente posicionadas em lugares geométricos bem escolhidos têm muito pouco a ver com o contexto cotidiano.

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, radiatividade) atuando como um turbilhão impulsionador da elaboração das primeiras modelagens que, anos mais tarde, levariam ao surgimento de uma verdadeira teoria quântica.

A multiplicidade de caminhos que podem ser trilhados ao longo de um processo de ensino e aprendizagem, ressoa com a flexibilidade inerente a um hipertexto, tal qual caracterizado por Lévy (1993, 1999) em sua identificação dos três polos das tecnologias da

comunicação: a oralidade, a escrita e a informática. Ao “navegar” pela *web*, o leitor toma conhecimento de textos e imagens previamente registrados pelo respectivo autor, uma ação que se aproxima do polo 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 escolhe as partes que lerá de cada texto de acordo com seu próprio interesse, se aproximando, assim, da inerente contextualização que caracterizava as sociedades orais.

Portanto, ao percorrer um hipertexto, o leitor visualiza uma combinação de textos elaborada de acordo com seu contexto e acaba por construir um novo texto, pois tudo ocorre como se “*o autor de um hipertexto constituísse uma matriz de textos potenciais, o papel dos navegantes sendo o de realizar alguns desses textos colocando em jogo, cada qual à sua maneira, a combinatória entre os nós*” (LÉVY, 1999, p.57).

Inferindo que o hipertexto talvez seja “*uma metáfora válida para todas as esferas da realidade em que significações estejam em jogo*”, Lévy (1993) reconhece seis características a ele inerentes: *metamorfose, heterogeneidade, multiplicidade e encaixe das escalas, exterioridade, topologia e mobilidade dos centros* (ver quadro 3).

Significados como os de onda e partícula constituem-se nítidos exemplos da permanente *metamorfose* presente no hipertexto da física. Classicamente independentes, tais conceitos se associam de forma inseparável na intimidade quântica da matéria. Não se trata de extinguir os nós “onda” e “partícula” da rede: no efeito fotoelétrico a luz se comporta, de fato, como partícula; ao passar por entre átomos de quartzo, o elétron se comporta, de fato, como onda. A dualidade onda-partícula inaugura, isto sim, novas pontes entre aqueles dois conceitos, além de acrescentar novos nós à rede tal qual o próprio significado dessa dualidade.

Ao permitir a emergência de técnicas como a microscopia eletrônica, ou do sensoramento fotoelétrico, o comportamento dual da matéria também se manifesta como exemplo de *heterogeneidade* hipertextual, ultrapassando os limites da física para se entrelaçar com áreas como a biologia, a química e a engenharia de materiais. Em vez da rede mais global, pode-se ater a apenas um de seus elementos para se perceber a *multiplicidade* e o *encaixe de escalas*: diretamente vinculado aos nós “partícula” e “onda” pode-se imaginar o nó “átomo” que encerra dentro de si vasta rede de significados tais como elétrons, núcleo, prótons, nêutrons e níveis quânticos de energia. O reconhecimento da dualidade onda-partícula não emergiu por ordem de um motor interno à própria física, mas sim, como fruto de evidências de início desconexas e por vezes a ela *exteriores*: antecedente à interpretação de Einstein para o efeito fotoelétrico, a dedicação de Planck ao problema do corpo negro não se

deu por mero acaso, haja vista o profundo interesse da metalurgia daquela época no controle da temperatura de fornos.

Pelo exposto nos dois parágrafos anteriores, já se infere a relação entre os princípios de *topologia* e de *mobilidade dos centros* e o recorte do conhecimento físico aqui explorado. Qual a distância entre os nós “onda” e “partícula”? Infinita se não se fizerem presentes *links* entre estes dois comportamentos da matéria. Distância nula quando considerados unidos por meio do conceito onda-partícula. E seriam centrais ou periféricas as posições ocupadas por estes dois nós no hipertexto da física? A depender do foco de observação ou do momento histórico pode ser tanto uma coisa como a outra.

Quadro 3 - Características centrais de um hipertexto de acordo com Lévy (1993).

Características	Descrição
Princípio de metamorfose	A rede hipertextual está em constante construção e renegociação. Ela pode permanecer estável durante um certo tempo, mas esta estabilidade é em si mesma fruto de um trabalho. Sua extensão, sua composição e seu desenho estão permanentemente em jogo para os atores envolvidos, sejam eles humanos, palavras, imagens, traços de imagens ou de contexto, objetos técnicos, componentes destes objetos, etc.
Princípio de heterogeneidade	Os nós e as conexões de uma rede hipertextual são heterogêneos. Na memória serão encontradas imagens, sons, palavras, diversas sensações, modelos, etc., e as conexões serão lógicas, afetivas, etc. Na comunicação, as mensagens serão multimídias, multimodais; analógicas, digitais, etc. O processo sociotécnico colocará em jogo pessoas, grupos, artefatos, forças naturais de todos os tamanhos, com todos os tipos de associações que pudermos imaginar entre estes elementos.
Princípio de multiplicidade e de encaixe das escalas	O hipertexto se organiza em um modo "fractal", ou seja, qualquer nó ou conexão, quando analisado, pode revelar-se como sendo composto por toda uma rede, e assim por diante, indefinidamente, ao longo da escala dos graus de precisão. Em algumas circunstâncias críticas, há efeitos que podem propagar-se de uma escala a outra: a interpretação de uma vírgula em um texto (elemento de uma microrrede de documentos), caso se trate de um tratado internacional, pode repercutir na vida de milhões de pessoas (na escala da macrorrede social).
Princípio de exterioridade	A rede não possui unidade orgânica, nem motor interno. Seu crescimento e sua diminuição, sua composição e sua recomposição permanente dependem de um exterior indeterminado: adição de novos elementos, conexões com outras redes, excitação de elementos terminais (captadores), etc. Por exemplo, para a rede semântica de uma pessoa escutando um discurso, a dinâmica dos estados de ativação resulta de uma fonte externa de palavras e imagens. Na constituição da rede sociotécnica intervêm o tempo todo elementos novos que não lhe pertenciam no instante anterior: elétrons, micróbios, raios X, macromoléculas, etc.
Princípio de topologia	Nos hipertextos, tudo funciona por proximidade, por vizinhança. Neles, o curso dos acontecimentos é uma questão de topologia, de caminhos. Não há espaço universal homogêneo onde haja forças de ligação e separação, onde as mensagens poderiam circular livremente. Tudo que se desloca deve utilizar-se da rede hipertextual tal como ela se encontra, ou então será obrigado a modificá-la. A rede não está no espaço, ela é o espaço.
Princípio de mobilidade dos centros	A rede não tem centro, ou melhor, possui permanentemente diversos centros que são como pontas luminosas perpetuamente móveis, saltando de um nó a outro, trazendo ao redor de si uma ramificação infinita de pequenas raízes, de rizomas, finas linhas brancas esboçando por um instante um mapa qualquer com detalhes delicados, e depois correndo para desenhar mais à frente outras paisagens do sentido.

FONTE: LÉVY, 1993, p. 15-16.

Este breve ensaio de aplicação dos princípios enunciados por Lévy na análise da física enquanto um hipertexto, tomando-se como protagonista o comportamento dual da matéria, pode ser estendido não apenas para outros percursos internos à física ou a outras áreas de conhecimento, como também ao contexto dos processos de ensino e aprendizagem. Aprender um novo significado é incorporá-lo a uma rede de significados pré-existente, que modificada topologicamente por tal incremento, permite ressignificar conceitos anteriormente desconexos ou previamente conectados de forma equivocada. Como em toda rede, o estabelecimento de uma única nova conexão ou a ruptura de outra pré-existente, bem como a inclusão ou exclusão de um determinado nó, pode provocar alterações significativas no fluxo de informações permitido pela rede de significados própria de cada aluno.

Consciente dessa possibilidade, cabe ao professor refletir acerca dos diversos caminhos que podem ser trilhados para vencer eventuais dificuldades de aprendizagem. Em um discurso ou uma aula não é possível seguir simultaneamente inúmeros caminhos, mas é possível preparar-se para desvios de rotas em caso de se perceberem nós decisivos sem conexão direta. Além disso, em uma escala de tempo maior, como ao longo de uma sequência de aulas ou de um curso ou ano letivo, é também possível apostar em diferentes caminhos trilhados por cada aprendiz, com o professor planejando muito mais orientações de possíveis percursos do que aulas baseadas unicamente em sua própria rede de significados.

Outra metáfora que tem se difundido como representação do conhecimento é a do rizoma, espécie de caule superficial ou subterrâneo que cresce paralelamente ao solo e de cujas gemas, distribuídas ao longo de sua extensão, surgem os brotos de plantas como a grama e a cana de açúcar, que se desenvolvem como tufos alimentados pelo trânsito de nutrientes possibilitado pelas interconexões do rizoma. Cortado, o rizoma continua a se reproduzir originando novas gemas e brotos que se espalham pelo solo e conferem resistência ao vegetal. Diferentemente de uma árvore, não há uma raiz a ser cortada a fim de dar cabo ao rizoma.

É justamente explorando diferenças entre árvores e rizomas que Deleuze e Guattari (2008) cunharam a metáfora do conhecimento como um rizoma caracterizado pelos princípios da *conexão*, *heterogeneidade*, *multiplicidade*, *ruptura a-significante*, *cartografia* e *decalcomania*, cuja síntese, conforme elaboração de Gallo (2000), é exposta no quadro 4.

Quadro 4 - Características centrais atribuídas ao rizoma por Deleuze e Guatarri (2008), conforme síntese elaborada por Gallo (2000).

Características	Descrição
Princípio de conexão	Qualquer ponto de um rizoma pode ser/estar conectado a qualquer outro; no paradigma arbóreo, as relações entre pontos precisam ser sempre mediatizadas obedecendo a uma determinada hierarquia e seguindo uma ordem intrínseca.
Princípio de heterogeneidade	Dado que qualquer conexão é possível, o rizoma rege-se pela heterogeneidade; enquanto que na árvore a hierarquia das relações leva a uma homogeneização das mesmas, no rizoma isso não acontece.
Princípio de multiplicidade	O rizoma é sempre multiplicidade que não pode ser reduzida à unidade; uma árvore é uma multiplicidade de elementos que pode ser "reduzida" ao ser completo e único da árvore. O mesmo não acontece com o rizoma, que não possui uma unidade que sirva de pivô para uma objetivação/subjetivação: o rizoma não é sujeito nem objeto, mas múltiplo.
Princípio de ruptura a-significante	O rizoma não pressupõe qualquer processo de significação, de hierarquização. Embora seja estratificado por linhas, sendo, assim, territorializado, organizado etc., está sempre sujeito às linhas de fuga que apontam para novas e insuspeitas direções. Embora constitua-se num mapa, como veremos a seguir, o rizoma é sempre um rascunho, um devir, uma cartografia a ser traçada sempre e novamente, a cada instante.
Princípio de cartografia	O rizoma pode ser mapeado, cartografado e tal cartografia nos mostra que ele possui entradas múltiplas; isto é, o rizoma pode ser acessado de infinitos pontos e pode daí remeter a quaisquer outros em seu território.
Princípio de decalcomania	Os mapas podem, no entanto, ser copiados, reproduzidos; colocar uma cópia sobre o mapa nem sempre garante, porém, uma sobreposição perfeita. O inverso é a novidade: colocar o mapa sobre as cópias, os rizomas sobre as árvores, possibilitando o surgimento de novos territórios, novas multiplicidades.

FONTE: (GALLO, 2000).

Importante salientar que Deleuze e Guatarri (2008) não propõem o expurgo das características arbóreas do conhecimento, nem mesmo sua oposição ou mistura com o desenvolvimento característico dos rizomas, mas, sim, a coexistência do primeiro, enquanto modelo que continua a se erigir e se entranhar, com o segundo, enquanto processo que não deixa de se alongar, romper e retomar:

[] Existem nós de arborescência nos rizomas, empuxos rizomáticos nas raízes. Bem mais, existem formações despóticas, de imanência e de canalização, próprias aos rizomas. Há deformações anárquicas no sistema transcendente das árvores; raízes aéreas e hastes subterrâneas. O que conta é que a árvore-raiz e o rizoma-canal não se opõem como dois modelos: um age como modelo e como decalque transcendentais, mesmo que engendre suas próprias fugas; o outro age como processo imanente que reverte o modelo e esboça um mapa, mesmo que constitua suas próprias hierarquias, e inclusive ele suscite um canal despótico. Não se trata de tal ou qual lugar sobre a terra, nem de tal momento na história, ainda menos de tal ou qual categoria no espírito. Trata-se do modelo que não para de se erigir e de se entranhar, e do processo que não para de se alongar, de romper-se e de retomar. Nem outro nem novo dualismo. (DELEUZE; GUATARRI, 2008, p. 30-31).

Tal qual há pouco desenvolvido para os princípios hipertextuais de Lévy, é possível explorar a aplicação dos aportes filosóficos de Deleuze e Guatari à Física, seja focando em fenômenos específicos como a dualidade onda-partícula, seja abrangendo a física como um todo. Escolhendo este último percurso, aquela combinação de mapa conceitual e roteiro histórico apresentada no item 2.1 (figura 2, página 20) constitui-se em apropriado material de trabalho.

Enraizada na mecânica e na termodinâmica, a física se assemelha a uma árvore; entrelaçada pela quântica lembra o rizoma. É difícil imaginar evolução histórica alternativa que levasse a física diretamente ao estudo das partículas e fenômenos nucleares sem antes passar pelo desenvolvimento da mecânica e da termodinâmica. Mas é exequível imaginar diferentes percursos pelos quais a teoria quântica poderia ter brotado.

Não há pretensão aqui de explorar em maior profundidade as metáforas do hipertexto e do rizoma. Muito menos em confrontá-las, haja vista a ponderada análise de Oliveira (2012) quanto aos diferentes contextos com que foram formuladas:

A relação entre Deleuze e Lévy não pode ser levada às últimas consequências, na medida em que Deleuze não tem como grande referência em seu pensamento o problema da informática e mesmo quando trata dela, o faz de um ponto de vista crítico, considerando-a ainda como uma atividade modelada sob a estrutura arbórea, não rizomática, onde o computador atua em conformidade com um centro de controle, com um ponto de convergência, com uma placa-mãe geradora. De outro lado, Lévy, apesar de crer nas possibilidades de um tipo de conhecimento rizomático, invoca, em sua obra *Cibercultura*, o modelo da árvore como uma imagem cartográfica adequada ao novo espaço do saber que propõe – embora as determinações dessa imagem sejam ambíguas, ora convergindo para a imagem clássica do pensamento, ora oscilando para a multiplicidade do rizoma. (OLIVEIRA, 2012).

De qualquer maneira, tal qual analisado por este mesmo autor, entendo que a associação entre tais metáforas é permitida na medida em que “*confluem para uma perspectiva do conhecimento que não ignore a multiplicidade, a descentralização, a conexão direta de saberes e a criatividade*” (OLIVEIRA, 2012).

Todavia, a fim de caminhar superficialmente pelas trilhas da teoria da complexidade, vale também registrar a crítica de Demo (2002) à associação direta, lado a lado, entre estas duas metáforas, cabendo somente ao rizoma a incorporação da dinâmica não linear dos sistemas complexos:

Na coluna do rizoma, a complexidade não linear parece clarividente. Pode-se perceber a unidade de contrários de algo, ao mesmo tempo, conectado e heterogêneo, que lembra a formação da consciência: sentido de unidade em meio a componentes altamente diversificados. Não há dono, centro, ponto obrigatório de referência, mas dinâmica processual contínua e reconstrutiva, que permite, ademais,

capacidade de regeneração, ao lado da entropia inevitável. Nada é definitivo ou acabado, dentro da dinâmica desconstrutiva e reconstrutiva própria. Embora a ideia da decalcomania seja em si linear, quer expressar aqui sua capacidade de auto-reconstrução aberta. Na coluna do hipertexto, parece-me imprópria qualquer alegação complexa não linear, a não ser no plano do usuário. Este, sim, usando a base tecnológica, pode imprimir ao hipertexto virtudes criativas, à medida que o interpreta, modifica, refaz, apaga ou recria. O hipertexto como tal, entretanto é peça linear, estruturado por algoritmos sequenciais, cuja confiabilidade de funcionamento não lhe é menos essencial. Parte dos princípios arrolados para o hipertexto, não são do hipertexto, mas do usuário que manuseia com liberdade crescente. (DEMO, 2002, p.171-172).

Com tal opinião, Demo (2002) não pretende negar a relevância do papel do hipertexto e de toda a informática no contexto educacional. Pelo contrário, declara apostar em seu potencial. Alerta, porém, quanto ao prejuízo de se acreditar que o simples fato de se lidar com tais instrumentos seja garantia de aprendizagem:

Assim, lidar com hipertexto ou hipermídia está longe de garantir aprendizagem – pode ser procedimento reprodutivo reles, como muitas vezes de fato é. Entretanto, o abuso não pode comprometer a possibilidade infinita de uso reconstrutivo político. Estou criticando apenas o mau uso da interatividade, mas aposto em sua potencialidade abertamente. (DEMO, 2002, p.185).

Tais posicionamentos são apresentados por Demo no contexto de sua proposição em definir o conceito de complexidade a partir da identificação de sete características que lhe são inerentes: (a) dinâmica, (b) não linear, (c) reconstrutiva, (d) processo dialético evolutivo, (e) irreversível, (f) intensidade, (g) ambiguidade/ambivalência.

A *dinâmica* impõe considerar a complexidade como “*campo de forças contrárias, em que eventual estabilidade é sempre rearranjo provisório*” (DEMO, 2002, p.13). A *não linearidade* implica reconhecer que nas totalidades complexas “*a decomposição das partes desconstrói o todo, de tal sorte que é impraticável, a partir das partes, refazer o mesmo todo*” (DEMO, 2002, p.16): um avião, mesmo sendo algo complicado é linear, podendo ser desmontado e remontado; o corpo humano é não linear, não podendo ser recomposto uma vez separado em partes.

Sendo *reconstrutiva*, a complexidade “*não é propriamente reprodutiva ou replicativa, ou apenas recorrente*”, mas, sim, vai se “*reconfigurando, conforme o fluxo do tempo e as circunstâncias encontradas*” (DEMO, 2002, p.17): a vida surgiu de processo reconstrutivo da matéria, não se constituindo como matéria nova, mas como reorganização da matéria pré-existente. Sendo *processo dialético evolutivo*, a complexidade admite aprendizagem, aspecto alheio ao computador que não sabe errar.

Caracterizar como *irreversível* indica que ser complexo é estar sujeito à ação temporal, sendo a volta ao passado tão impossível quanto o avanço, sem mudanças, ao futuro, com todo produto sendo também processo, sempre incompleto e contendo individualidade: apesar de suas igualdades fisiológicas, nossos cérebros diferenciam-se profundamente porque “*a evolução histórica implica experiências variadas no espaço e no tempo, ativação maior ou menor de certas rotas neuronais no plano fisiológico, seletividades preferenciais de motivação, e assim por diante*” (DEMO, 2002, p.25).

A *intensidade* dos fenômenos complexos “*introduz dimensões produtivas imprevisíveis e incontrolláveis, de tal sorte que toda previsão é apenas aproximação*” (DEMO, 2002, p.27): mais do que a complicação referente ao número incomensurável de componentes de um tufão, é a intensidade do fenômeno que o torna imprevisível. Sendo ambíguo tanto em sua estrutura (*ambiguidade*) quanto em seu processo (*ambivalência*), um fenômeno complexo questiona a perspectiva sistêmica de limites claros e tendencialmente intransponíveis: uma rede só é de fato dinâmica quando tem chance de desfazer-se, sendo necessário “*conceber nó que se desamarra, sobretudo que se destina a desamarrar-se*” (DEMO, 2002, p.29).

É com base no conjunto dessas características da complexidade que conhecimento e aprendizagem se definem como “*atividades humanas que expressam, de maneira exuberante, processos não lineares*” (DEMO, 2002, p.123), aspecto ainda distante do alcance das máquinas computacionais.

Ainda que um pouco mais à frente, já no contexto da problemática da avaliação da aprendizagem, o trabalho com esta definição será parcialmente estendido, muito se teria a pesquisar, sintetizar, associar e contrapor no terreno das definições e implicações da complexidade na área educacional. Sendo esta uma possível via de continuidade da presente pesquisa, o aporte de Demo (2002) foi aqui trazido não como fechamento de discussão e, sim, como sinalização tanto de sua abertura como de alerta quanto ao perigo de vislumbrar vida própria nas modernas tecnologias educacionais e, em decorrência, moderar-se a importância do papel do professor na construção de significados por seus alunos.

4.2 MAPA, NARRATIVA, AVALIAÇÃO E FORMAÇÃO DOCENTE

Ainda que o tópico anterior já tenha sinalizado a proposição de uma postura ativa e reflexiva por parte do professor no processo de aprendizagem de seus alunos, o foco esteve na defesa do conhecimento como um feixe de relações entre os nós de uma rede de significados. A argumentação centra-se agora nas quatro ações – mediar, tecer, mapear e fabular – identificadas por Machado (2004, p. 86) como típicas à docência, bem como na decorrente imagem da avaliação como um espectro de instrumentos facilitadores da aprendizagem.

4.2.1 Ideias fundamentais e mapas de relevâncias

Concepções do processo de ensino e aprendizagem vinculadas à ideia de um vazio a ser preenchido ou à absolutização da necessidade de encadeamentos de sequências lógicas de pré-requisitos restringem a ação docente à ideia de transmitir o conhecimento, sem necessidade da ação mediadora do professor. Admitindo-se, porém, que o aluno chega à aula já dotado de uma rede de significados construída ao longo de sua vida, que lhe atribui determinados interesses não necessariamente em sintonia com aquilo que o professor considera relevante a ser discutido, Machado (2004) indica que cabe ao professor construir com ele relação de permanente negociação:

Na construção dos significados, portanto, é perfeitamente natural que algumas das relações constitutivas dos nós/feixes sejam apresentadas aos alunos pelo professor. É fundamental, no entanto, que o professor, como um mediador, negocie com os alunos, convencendo-os da relevância delas. Não se pode pretender impor a percepção: é preciso negociar a abertura dos sentidos por parte dos alunos. Na escola a preocupação dominante tem sido a de ensinar a ler, escrever e contar: na verdade, é preciso ensinar a observar, a ver, a experimentar, a projetar, como há tanto tempo já registrou Leonardo da Vinci. (MACHADO, 2004, p. 91).

Nesse processo de mediação, é fundamental o uso de estratégias que aproximem interesses de estudante e professor. Citando o documento *Ensino Médio Inovador* (BRASIL, 2009), Machado (2012, vídeo 7/2) aponta o mundo do trabalho, da tecnologia, da cultura e da ciência como exemplo de possíveis eixos motivadores de tais estratégias. No contexto da presente tese, vale resgatar o livre trânsito apresentado nessa via por diversos conteúdos típicos da física quântica, tal como o amplo uso das radiações em atividades como a medicina, a indústria, a guerra, a ciência ou a arte.

Cativar o interesse é, assim, condição para que o professor consiga desenvolver sua habilidade de tecer junto a seus alunos uma ampla e densa rede de significados que será única para cada turma, conduzindo-o, então, ao problema de mapear relevâncias:

Para tirar proveito da multiplicidade de relações entre os diversos temas, é necessário mapear o que é e o que não é relevante, tendo em vista as intenções e os projetos em curso. É certo que tudo pode ser relacionado a quase tudo, mas discernir o que verdadeiramente importa é, cada vez mais, a grande questão. Nunca duas imagens, duas noções, estiveram tão umbilicalmente ligadas quanto as ideias de rede e de mapa: para não me perder em meio a tantas interconexões nas redes de significações, é imprescindível construir um mapa de relevâncias. (MACHADO, 2004, p. 92).

Portanto, não se trata mais de algo negociável, que envolva certa simetria entre as funções de discente e docente. É o professor quem tem condição de, frente ao seu projeto de curso, discernir aquilo que é relevante para se atingir determinado objetivo educacional ou não. Para nada isto quer dizer que a construção da rede de significados se tratou de falsa democracia. Quanto melhor desenvolvido o enredamento, mais percursos poderão ser percebidos pelo professor para, saindo de A, passar pelos nós B, C e D por ele considerados essenciais, nós que não necessariamente já estivessem todos programados. É a emergência do enredamento que combaterá a cristalização de um único e inevitável caminho, permitindo o traçado de trajetos alternativos mais significativos ao aluno. Porém, não sendo possível a discussão de tudo ao mesmo tempo e em qualquer tempo, o professor necessita utilizar de toda sua competência para mapear a rede, realçando determinados significados e relações.

Como qualquer cartógrafo, na construção deste mapa de relevâncias o professor deverá tomar decisões quanto a aspectos espaciais, tais como a questão da projeção:

Em sentido cartográfico, muitos são os sistemas de projeção que podem ser escolhidos para representar a superfície da Terra em um plano: projeções cilíndricas, estereográficas, etc. Sem entrar em técnicas relativas ao tema, podemos resumir as observações correspondentes da seguinte forma: uma vez que um mapa (plano) nunca poderia ser semelhante em sentido geométrico à superfície da Terra (esférica), a construção de um mapa sempre envolve deformações. Quem quer que tenha tentado embrulhar uma bola para presente já sentiu na pele a inevitabilidade da deformação, do amassamento do papel. O que nos compete, no entanto, é decidir onde deformar e onde manter o papel com rugas. Algo similar ocorre na construção de um mapa.

Muito poderia ser dito sobre a escolha de um sistema de projeção na confecção de um mapa em termos cognitivos, mas vamos nos limitar a registrar que toda construção de um mapa de relevâncias pressupõe a existência de um projeto em desenvolvimento, sustentado por valores acordados: nada é absolutamente relevante ou absolutamente irrelevante; tudo é relevante ou deixa de sê-lo em vista o projeto que se persegue. (MACHADO, 2004, p. 94).

Imagine-se, por exemplo, um projeto interdisciplinar com tema transversal centrado na problemática do desenvolvimento sustentável. A controvérsia em torno da energia nuclear seria, claro, assunto de grande relevância em praticamente qualquer região do planeta. Mas, em vista do desastre de Fukushima, o assunto provavelmente ganharia hoje dimensão bem maior em escolas japonesas do que em escolas brasileiras. Logo, um professor japonês, partidário da concepção de conhecimento aqui defendida, conduzirá suas aulas de forma a tecer junto a seus alunos uma rede com destaque a conceitos como fissão nuclear, radiatividade e relação massa-energia. Alternativamente, se o tema transversal tiver foco na manipulação genética, radiações ionizantes, como os feixes de raios X produzidos no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), ganharão maior destaque no diálogo do professor com seus alunos. Em sentido metafórico, poder-se-ia dizer que dada a esfera representativa de toda a física, seriam diferentes as distorções provocadas por sua projeção no plano relativo a cada um desses temas.

Outra propriedade típica dos mapeamentos a ser considerada no processo educacional é a questão da escala:

[] Todo mapa é construído segundo alguma escala, que estabelece a relação entre as distâncias representadas no papel e as correspondentes no território. A escolha da escala é decisiva para o discernimento do que vai aparecer ou não na representação: uma vez convencionalizada, define-se o limiar do que é ou não perceptível, e certos elementos simplesmente deixam de existir. A escala determina, pois, um “esquecimento coerente”.

Uma situação similar é vivenciada pelo professor diante de um tema a ser desenvolvido com seus alunos: é preciso escolher uma escala para a abordagem do tema e, dependendo da escolha, certos elementos do assunto devem ser simplesmente esquecidos. Em princípio, é possível abordar qualquer assunto em qualquer número de aulas; tudo depende da escolha de uma escala adequada. (MACHADO, 2004, p. 93).

Como primeira aproximação na interlocução com essa proposição, tal qual ilustrado na figura 45, pode-se considerar como sendo de diferentes escalas os três mapeamentos apresentados no segundo capítulo (figuras 4, 6 e 7) deste texto acerca do papel da física quântica na interligação de diferentes campos de conhecimento: em uma perspectiva de “visão macroscópica”, as ciências são vistas agrupadas como um nó da rede; sob “ampliação microscópica” este nó revela sua estrutura interna, sendo realçadas as relações da química, biologia e astronomia com a física; após nova ampliação de escala percebe-se, enfim, as conexões entre os diferentes campos internos à física.

Figura 45 – Os três mapeamentos descritos nos itens 2.1 e 2.2 (figuras 4, 6 e 7 às páginas 27, 33 e 35) percebidos como uma sequência de ampliações de escala, desde o amplo conjunto formado pelas mais diversas áreas de conhecimento aos campos específicos da física.

Contudo, conforme explicitado na citação acima, a metáfora da escala cartográfica também se refere a uma discussão mais profunda: o esquecimento coerente de determinados elementos a fim de permitir a abordagem de um assunto em qualquer número de aulas. Tal afirmação é muito forte e combate com vigor discursos não raramente encontrados em nossas escolas quanto à falta de tempo para ensinar tal e qual conteúdo: *“se não tenho tempo nem para ensinar a física clássica inteira, como é que vou conseguir ensinar quântica?”*.

Tendo como referência os aportes de Machado, evidencia-se que falta de tempo não é o problema, mas a de competência talvez. Claro que competência não é inata, necessitando ser apreendida pela experiência profissional, formação inicial ou em serviço. Mas a questão aqui colocada é que tendo tal competência, ensina-se qualquer coisa em qualquer tempo e para qualquer idade, valendo resgatar conhecida frase de Bruner (1973, p.31) a respeito do problema: *“qualquer assunto pode ser ensinado com eficiência, de alguma forma*

intelectualmente honesta, a qualquer criança, em qualquer estágio de desenvolvimento” (desde que se saiba, é claro, com que linguagem e em que aspecto concreto ou abstrato).

Não é por falta de tempo que diversos professores de física prendem-se por todo um ano letivo da escola média na cinemática ou quando muito na cinemática por um semestre e na dinâmica do ponto material no segundo semestre. É por escolha, seja ela motivada por decisão consciente vinculada a determinada visão de mundo, seja pelo despreparo existente em sua formação ou experiência profissional.

Denunciada a falsa questão do tempo, emerge a preocupação quanto a critérios para se determinar o que é fundamental em cada assunto, de forma a tê-lo como baliza para o recorte a ser realizado, tendo em vista, agora sim, o tempo disponível de um semestre, uma aula ou mesmo alguns minutos. Nesse sentido, Machado (2012, vídeo 8/1) aponta que, dada uma disciplina, lhe são fundamentais as ideias que (a) podem ser explicadas na linguagem ordinária do aluno, (b) são vinculadas a outros conceitos ou deles estruturantes e (c) transbordam os limites daquela disciplina.

No caso da Física, Machado identifica a energia como exemplo de uma de suas ideias fundamentais, haja vista que pode ser explicada como algo necessário para se produzir movimento (linguagem ordinária), vincula-se às mais diversas definições de tipos de energia (estruturante) e é discutida em praticamente todas as outras disciplinas (transbordamento). Com esse mesmo critério, proporcionalidade, mapa, rede e narrativa seriam exemplos de ideias fundamentais que transbordaram suas disciplinas de origem (respectivamente, matemática, geografia, história e linguagem) para se tornarem quase onipresentes em todas as áreas.

Embora os exemplos apresentados por Machado estejam contextualizados na identificação das ideias fundamentais de cada disciplina, creio que se pode aplicar os critérios por ele sugeridos para qualquer tema - mesmo que interno a uma única disciplina - e planejamento, de forma que a cada aula ou sequência didática a ser aplicada, o professor reflita sobre quais são as ideias fundamentais a elas associadas. De outra forma: não necessariamente toda aula precisa abordar um conceito identificado como fundamental para a disciplina; mas toda aula (ou sequência didática de algumas poucas aulas) precisa ter como foco ideias que lhe sejam fundamentais, de forma a explicá-las na linguagem ordinária do estudante, apontar conceitos por elas vinculados e permitir a extensão da discussão para outros temas ou áreas. Ao final da aula, o que se objetiva, enfim, é que a rede de significações própria de cada aluno tenha se complexificado, com a incorporação de novos nós e conexões, além de rearranjos de outros previamente existentes.

4.2.2 Construção dos significados e narrativas

Dada a rede, já mapeada na escala e projeção associadas ao seu projeto de curso, resta ao professor a tarefa mais importante, ou seja, contar a história:

E chegamos, assim, ao âmago da questão do ensino, ao cerne da ação docente, à finalidade da Educação em sentido lato: a construção do significado. [...] De fato, o significado, em qualquer tema, sempre é construído por meio de uma história, de uma narrativa bem arquitetada. Nesse sentido, o professor eficiente será sempre um bom contador de histórias.

[] Não são quaisquer histórias, no entanto, as que devem compor o repertório do professor: em cada uma delas, deve existir a semente de algum recado, de algum ensinamento. Em outras palavras, as histórias que o professor conta são como fábulas: têm uma moral. Trata-se, naturalmente, de uma moral flexível, que pode configurar-se de múltiplas formas, em sintonia com as circunstâncias dos alunos, mas trata-se, sobretudo, de uma moral essencialmente tácita. Não se pode pretender desvendá-la abruptamente, muito menos a priori: quanto mais tacitamente for apreendida, mais facilmente impregnará a teia de significações dos alunos. É preciso contar uma boa história para lograr semear a moral da história. E, decididamente, não funciona dedicar-se apenas à moral, deixando a história em segundo plano, ou dispensando-a como invólucro desnecessário, ou perda de tempo: como seres humanos nós não funcionamos assim. (MACHADO, 2004, p.94).

Sendo como fábulas, as histórias contadas pelo professor não precisam ser factuais. Pouco importa se Arquimedes saiu mesmo pelado pelas ruas de Siracusa gritando “Eureka! Eureka!” ao descobrir que mergulhando a coroa do rei na água bastaria para comprovar se ela continha ouro puro ou seria apenas folheada com esse material. O importante é que a narrativa dialoga, em linguagem ordinária, com a vivência do estudante, lhe auxiliando na construção de um feixe de relações associado ao conceito de densidade que, no final das contas, é a moral da história.

No contexto da quântica, vale citar o livro *Alice no país do quantum*, de Gilmore (1998), declarada alusão a *Alice no país das maravilhas*, que conta as aventuras vividas pela menina Alice após tropeçar e mergulhar por meio da tela da TV para dentro do mundo submicroscópico, no qual passa a conviver com partículas como elétrons e fótons e seus estranhos comportamentos quânticos. Ilustração do potencial da narrativa desenvolvida por Gilmore é o capítulo *Átomos no vácuo* em que após escorregar para dentro de um átomo de cloro ancorado no *Pier Periódico de Mendeleiev*, Alice inicia uma queda que parece nunca terminar, passa por salas de pés direito cada vez mais altos, presencia emissões de coloridos fótons conforme elétrons saltam desde andares superiores para os mais baixos, indaga se ao menos uma vez um daqueles elétrons não poderia parar de correr a fim de educadamente com ela conversar, além de ficar curiosa quanto ao estremecimento provocado nos elétrons sempre

que o assunto núcleo era mencionado. Por fim, um fóton virtual pesado usando óculos escuros a encaminha para uma nova aventura:

Em meio aos agitados elétrons, havia agora uma grande forma, pairando sobre Alice e seus companheiros. Ela percebeu que era um fóton, mas muito mais energético do que qualquer um que ela já tinha visto antes. Como todos os fótons que ela vira, ele estava brilhando, mas de uma maneira especialmente sombria e furtiva. Alice também percebeu uma coisa surpreendente para algo que era em si a essência da luz: esse fóton estava usando óculos muito escuros.

"É um fóton virtual pesado", tremeram os elétrons. "Muito, muito pesado e muito longe da sua camada de massa. É um dos capangas do Núcleo. Fótons como ele transmitem o controle elétrico do Núcleo a seus elétrons clientes."

"Eu soube que tem alguém aqui fazendo perguntas", disse o fóton, em tom ameaçador. "Os núcleons são o tipo de partículas que não gostam de saber que há perguntas sendo feitas por qualquer outra pessoa. Vou levar essa pessoa para fazer um pequeno passeio e encontrar um pessoal, ou melhor, umas partículas. Elas querem muito conhecê-la."

Isso não pareceu um começo muito promissor para um novo relacionamento, e Alice estava considerando se poderia recusar o convite com segurança. Ela nunca conseguiu entender, ao pensar nisso posteriormente, como foi que começaram o 'passeio'. Tudo de que conseguia se lembrar era que eles estavam correndo um do lado do outro e o fóton não parava de gritar "mais rápido" e Alice sentia que não podia ir mais rápido, apesar de não ter mais fôlego para dizer isso. Eles correram sobre o tampo da mesa e mergulharam em um dos átomos representados na superfície. Era um dos átomos de urânio, que cresceu quando eles foram ao seu encontro.

[] "Agora, agora!", gritou o fóton. "Mais rápido, mais rápido! O seu momentum está agora quase tão grande para poder localizar você dentro do Núcleo." Eles estavam indo tão rápido que pareciam de desfazer no ar, até que, de repente, quando Alice estava ficando exausta, pararam em frente a uma torre alta e escura que se erguia suavemente, estreitando-se em direção ao topo. Era uma longa e escura torre, totalmente lisa nos andares inferiores mas, a uma determinada altura, no topo, Alice conseguiu ver que ela terminava numa confusão de pequenas torres, terraços e parapeitos. O efeito final, pensou Alice, era de uma atmosfera extremamente proibitiva.

"Aí está o Castelo Rutherford, o lar da Família Nuclear", disse o fóton virtual pesado.

(GILMORE, 1998, p.135-153).

Neste trecho, Gilmore (1998) essencialmente ensina que as propriedades dos elementos químicos são determinadas por seu núcleo atômico, região de espaço muito bem definida para nela se localizar uma nuvem eletrônica. Mas se a moral da história for diretamente assim contada, dispensando a própria história, em muito se reduz a possibilidade de ampliação da rede de significações do aprendiz.

O mesmo pode ser dito daquele texto que descreve o fictício início de um dia de trabalho de uma secretária de telemarketing apresentado na página 38 deste trabalho e já recorrentemente aqui citado. Em resumo, o que ali se pretende é chamar a atenção para a exuberante presença de elementos tecnológicos na vivência moderna. Mas contada com todo

seu enredo, a história convida o leitor a refletir sobre o mundo em sua volta e propicia a emergência de perspectivas didáticas como a de propor aos estudantes a elaboração de suas próprias narrativas.

Experimento nesse sentido tem sido feito por mim junto a licenciandos de física do IFSP-SP em contexto a ser mais bem descrito e analisado no próximo capítulo, mas que desde já pode ser aqui anunciado. Trata-se do desafio de que com base em investigações sobre a presença da física quântica na vivência dos participantes do espaço escolar em que realizam os estágios (alunos, professores, funcionários, orientadores e diretores, comunidade escolar em geral), elaborem-se textos que propiciem ao leitor um "reconhecimento quântico" do contexto escolar. Como exemplo, segue abaixo uma destas elaborações¹⁸, com o autor tendo preferido a adoção de um personagem fictício, um aluno de nome Lucas, que desde seu despertar até a volta da escola se envolve com diversas observações e inquietações científicas:

O aparelho Celular com sistema Andróid despertou exatamente às 06h00hs e Lucas o colocou no modo soneca para dormir por mais alguns minutos e pensou consigo mesmo: “o tempo tem passado tão rápido ultimamente ou será que esses relógios digitais são menos precisos e estão se adiantando?”. Levantou na segunda vez que o celular despertou com a mesma canção e com um volume maior desta vez, volume que o fez refletir sobre o timbre da cantora britânica que havia falecido alguns anos atrás e estava sendo tocada novamente naquele aparelho para despertá-lo. Saiu da cama e colocou os pés no chão para procurar um chinelo e rapidamente pôde perceber uma sensação ruim, pois o piso era feito de cerâmica e se lembrou das aulas de sensações térmicas que o professor de Física havia ministrado no ano passado. Bons tempos aquele, pensou. Calçou os chinelos, pegou a toalha e foi para o banheiro tomar uma ducha para despertar realmente, pois ainda estava com muito sono, pois no dia anterior foi dormir tarde porque ficou na casa de um colega do bairro jogando videogame com sensores de presença e dispositivos de vibração de última geração até as 23:00hs e isso lhe rendeu uma boa fadiga por causa dos movimentos proporcionados pelos jogos que necessitavam de uma interação maior dos participantes.

Como estava uma temperatura ambiente já agradável, foi modificar o seletor de temperatura do chuveiro desde o modo inverno para o modo primavera quando saiu uma faísca de dentro do chuveiro lhe proporcionado o maior susto, levando-o a refletir sobre qual seria a relação de potência e corrente. Seriam elas proporcionais? Pensou então em perguntar isso para o professor de Física assim que tivesse oportunidade. Terminado o banho e já quando estava se trocando, pegou o desodorante e se lembrou que era o desodorante da marca específica que dizia que sua composição tinha um minério que quando em contato com pele fazia a mesma diminuir até 2 °C e riu raciocinando consigo mesmo[:] será que aquilo era realmente possível? Que processo que permitiria tal feito? Entrou no quarto da mãe escondido para usar um creme no rosto e procurando o produto adequado encontrou um produto que dizia usar em sua composição nanopartículas através de estudos da nanotecnologia. “Meu Deus” disse baixinho “O professor de Química estava certo então? Ou seria a [professora] de Biologia?

Trocou-se e chegando pra tomar café, sua mãe disse que estava terminando de ferver a água para preparar o café, alegando que estava um pouquinho atrasada porque

¹⁸ O conjunto dos textos elaborados nestas investigações podem ser lidos em <<http://fisicaemrede.com/course/view.php?id=12&topic=1>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

aquele gás da empresa “X” não era bom porque a chama não era totalmente azul e pediu para ele ir até a padaria comprar pães. Ele prontamente obedeceu e chegando à padaria ouviu o padeiro dizer que os pães estavam uma delícia, pois havia tirado do forno agora e estavam quentinhos e realmente pode perceber que estavam quentinhos mesmo através do saco que foram embalados se lembrou que esse calorzinho era transmitido através da irradiação que o professor de Física havia ensinado no ano passado. Chegando da padaria esquentou o leite no forno Microondas na potência alta e tomou o café rapidamente, pois já estava em cima da hora. Deu um beijo em sua mãe e saiu rapidamente chegando à esquina encontrou dois amigos que estudam na mesma sala e perguntou a um deles porque não havia comparecido na noite anterior para jogar videogame? A resposta do amigo era que ontem a noite ele estava com dores de cabeça e achava que era por causa dos óculos, pois já havia 2 anos que não comparecia no oculista para ver se a miopia juntamente com o astigmatismo tinha melhorado ou piorado e que desta vez iria investir em lentes fotocromática e antirreflexo o outro amigo respondeu que fotocromática são aquelas lentes que mudam de cor quando estão expostas a algum tipo de luz.

No caminho da escola [...] Lucas e os amigos visualizaram um serralheiro soldando um portão em umas das casas nas imediações e perceberam que o serralheiro cobria os olhos apenas com as mãos e um amigo comentou se aquilo não era prejudicial para os olhos do serralheiro? Lucas respondeu que sim, mas não tinha certeza [:] era melhor perguntar ao professor quando tivessem aula de física [:] e [porque] as faíscas [...] saíam daquela cor alaranjada?

Chegando à escola um dos colegas disse que precisava ir à secretaria da escola, pois não estava conseguindo acessar o sistema da secretaria da educação para visualizar as notas do 1º bimestre e o inspetor disse pra ele resolver isso fora do horário de aula. No pátio antes de bater o sinal percebeu que as luzes do jardim que fica na entrada principal estavam acesas e perguntou [sobre isso] ao inspetor que prontamente respondeu que alguns sensores fotocélulas estavam com defeito e iria comunicar ao diretor assim que possível, foi chegando à sala que percebeu que as luzes da sala de aula eram diferentes das externas, as externas o inspetor disse que iria propor para serem trocadas por lâmpadas de Led e as internas eram fluorescentes e ficariam como estão.

Durante a aula pôde perceber que nunca mais tinha utilizado a sala de informática, pois lá tinha 14 computadores todos com internet banda larga e só podiam utilizar com autorização e ainda com um professor responsável junto isso era um absurdo pensou consigo mesmo.

Na troca de professores uma colega da turma se aproximou e mostrou as fotos no seu Tablet que foram tiradas em uma festa de aniversário que ela tinha ido ao final de semana e disse que havia ligado, mas o celular dele só acusava que estava fora de serviço e ele prontamente reclamou dizendo que a operadora dele estava muito ruim e que estava pensando comprar outro chip de outra operadora, mas usaria a portabilidade, pois gostava daquele número.

Na aula de Física perguntou para o professor quando eles teriam a oportunidade de terem uma aula utilizando o projetor multimídia? O professor respondeu que somente em Maio ou Junho, pois deveria preparar as atividades ainda.

Voltando pra casa novamente com o amigo e colega de sala comentou que seu pai havia comprado uma TV de Led de 42” Full HD [...cujo] controle remoto dá para [... ser substituído] pelo smartphone ou tablet e que agora ele iria almoçar [...assistindo] os programas esportivos com imagens em alta definição e lhe surgiu mais uma dúvida[:] qual seria a diferença entre Tvs de Led e de Plasma?

Na próxima aula combinou Lucas consigo mesmo que se lembraria de todas as questões desse mundo quântico e perguntaria ao professor.

Para melhor realce do citado “mundo quântico” presente no texto, elaborou-se a figura 46 que agrupa pelos locais frequentados por Lucas os aparelhos, dispositivos, substâncias, fenômenos e funcionalidades claramente associados a processos quânticos.

Figura 46 – O “mundo quântico” do personagem Lucas.

Textos que descrevem vivências como o do menino Lucas acima exposto ou daquela secretária de telemarketing (ver página 38) afastam-se, claro, do estilo literário de uma fábula, geralmente entendida como *“pequena narrativa em que se aproveita a ficção alegórica para sugerir uma verdade ou reflexão de ordem moral, com intervenção de pessoas, animais e até entidades inanimadas”*¹⁹. Não deixam por isso de serem ricas narrativas que auxiliam na expansão da rede de significações e que transmitem uma mensagem central, senão uma moral, ao longo de seu desenvolvimento. Assim também, livros e sequências didáticas que apostem

¹⁹ Definição extraída do Dicionário Michaelis online:

<<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues-portugues&palavra=f%E1bula>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

no diálogo com o estudante a fim de fornecer-lhe diversas vias de acesso aos conceitos centrais neles objetivados, podem, a meu ver, serem percebidas como narrativas no sentido aqui desenvolvido do termo.

Com base nessa consideração e no intenso uso que dele tenho feito junto a licenciandos de física do IFSP-SP, vale mencionar o texto *Radiações, materiais, átomos e núcleos* (CANATO JR.; MENEZES, 2003)²⁰. Analisado “tópico a tópico” em minha dissertação de mestrado (CANATO JR., 2004), o percurso nele escolhido para expor a física quântica ao aluno da escola média pode ser assim sintetizado:

[...] partindo-se do domínio antropológico e de uma discussão global sobre matéria e radiação, caminha-se ao domínio atômico e à interpretação quântica de fenômenos essencialmente dependentes de sua configuração eletrônica, dirige-se ao domínio nuclear e ao modelo padrão das forças e partículas fundamentais para, então, realizar o percurso contrário, começando pela associação das propriedades ópticas e elétricas dos materiais com sua configuração eletrônica por bandas de energia, seguindo com a explicação básica do funcionamento de dispositivos como diodos e transistores que compõem os circuitos integrados e terminando com o retorno ao uso das radiações e do estudo de sua interação com a matéria. (MENEZES et al., 2010, v.3, Manual Teórico-Metodológico, p.15).

Importante realçar que a discussão introdutória sobre matéria e radiação que ocupa todo o primeiro capítulo do texto corresponde a cerca de um quarto de sua extensão total. Conceitos formais sobre o *quantum de ação* e sua aplicação na explicação de fenômenos como o efeito fotoelétrico e o espectro fatiado dos gases incandescentes, são apresentados somente no segundo capítulo. Longe de um “invólucro desnecessário”, ou “perda de tempo”, trata-se do desenvolvimento do enredo que dará suporte à futura conceituação. Vale também interpretar o percurso acima descrito como uma sequência de variações de escala: tal qual esquematizado na figura 47, “navegando” primeiramente do macro ao micro, faz-se ao final percurso oposto, retornando ao macro.

²⁰ Originalmente elaborado como um dos seis fascículos de Física da Coleção Primus da Rede Pueri Domus de Escolas Associadas, a versão atual deste texto, contendo alterações mais de forma do que conteúdo, compõe a primeira unidade do terceiro volume da Coleção Quanta Física, obra didática aprovada no Programa Nacional do Livro Didático de 2012 (PNLD 2012).

Figura 47 – Esquema dos assuntos discutidos em *Radiações, materiais, átomos e núcleos* com destaque ao percurso nele realizado da escala do macro ao micro com posterior retorno ao macro.

Além de favorecer a perspectiva de construção de feixes de significados tanto internos a determinada escala como entre diferentes escalas, essa estrutura lembra a disposição de alguns filmes que deixam o espectador curioso ao lhe apresentar como primeira imagem a cena final da história a ser contada. Outra característica do texto de interesse para a argumentação aqui desenvolvida é sua focalização em ideias fundamentais, sem enveredar-se pela exposição de detalhes que não fariam mais do que poluir a rede de significações do aprendiz.

Independentemente da aferição quanto à clareza e coesão do texto, estas características de *Radiações, materiais, átomos e núcleos* o diferenciam abruptamente de alguns manuais didáticos amplamente utilizados no ensino de física moderna, geralmente caracterizados tanto por um encadeamento linear em que a quântica dos átomos e núcleos é precedida pela apresentação da dilatação do tempo e contração do espaço, quanto pelo foco em expressões matemáticas norteadoras da resolução dos exercícios propostos, muitas vezes presos a detalhes que parecem ser o aspecto central a ser compreendido²¹.

Causa de possível desconforto por parte de professores mais apegados a cristalizados percursos no ensino de física, infiro que seja justamente seu caráter narrativo que me tem permitido agora utilizá-lo com boa desenvoltura no ensino superior, assim como anteriormente o fazia no ensino médio. Apesar das diferenças quanto ao contexto, extensão e profundidade dos diálogos estabelecidos em cada nível de ensino, as ideias centrais são as mesmas, com a flexibilidade do texto permitindo diferentes percursos, esquecimentos conscientes de um ou outro assunto, assim como incorporações de novos tópicos.

²¹ De título quase idêntico, “(Os) *Fundamentos da Física*”, os livros de Ramalho et al., escrito para a escola básica, e o de Halliday et al., voltado ao ensino superior, são típicos exemplos disso.

4.2.3 Avaliação qualitativa e formação docente

Concepções de conhecimento e avaliação costumam andar de mãos dadas. Na perspectiva do conhecimento restrito à ideia de um encadeamento linear de conceitos, a ação docente tende a se resumir à transmissão de saberes pelo professor ao aluno, com a aprendizagem sendo medida por provas supostamente objetivas. No entanto, como bem observado por Machado (2012, vídeo 9/1), a ação de medir pressupõe a adoção de um padrão, fator não condizente com a tradicional prática de se aferir notas de disciplinas pela média das notas de duas ou três provas aplicadas ao longo de um curso ou período letivo. Mesmo supondo que cada prova tenha sido cuidadosamente elaborada e precisamente corrigida mediante um padrão adequado ao seu conteúdo, a média das notas (seja ela aritmética, ponderada ou geométrica) não possui padrão próprio e tão pouco avalia uma boa condição de saída do aluno, que pode ter tido péssimo desempenho no início, mas alto aprendizado no percurso.

Avaliar a aprendizagem é, assim, algo muito mais complexo do que fazer médias, sendo merecedor da elaboração de instrumentos que favoreçam a emergência do conhecimento tácito construído pelo estudante, normalmente fora do alcance de perguntas objetivamente vinculadas ao conhecimento explicitado pelo professor. Claro que aqui já se está considerando não apenas a imagem do conhecimento como rede, mas também a do conhecimento como um *iceberg*:

[...] Nesse caso, a ideia norteadora é a de que nosso conhecimento sobre qualquer tema é sempre apenas parcialmente explícito, ou passível de explicitação, sendo, na maior parte, tácito, subjazendo como a parte submersa de um iceberg. [...] A parte submersa do conhecimento de que dispomos, que aprendemos ou que ensinamos é, no entanto, absolutamente fundamental para a sustentação do que conseguimos explicitar. [...] Como seres humanos, nosso conhecimento pessoal sempre estaria representado por estes dois domínios fundamentais: o tácito e o explícito. Articulá-los, arquitetando estratégias de emergência do tácito, seria a função precípua do trabalho escolar. (MACHADO, 2004, p.18).

No entanto, da mesma forma que na construção de um mapa de relevâncias não se intenciona abordar todos os nós da rede de significados com a mesma atenção e ao mesmo tempo, é importante compreender que nenhum processo de avaliação dará conta de tornar explícito todo o conhecimento que se tenha:

[...] mas sabemos que nunca será possível explicitar tudo o que se conhece. Assim como em cada pessoa convivem e articulam-se as dimensões consciente e inconsciente, também estamos “condenados” a um permanente ir e vir entre o que se sabe tacitamente, o que se incorporou por meio de vivências, hábitos ou estratégias culturais e o conhecimento de que precisamos dar “provas” explícitas nos processos de avaliação. (MACHADO, 2004, p.18).

Para complexificar ainda um pouco mais a discussão, também é importante resgatar a questão da avaliação das competências em se mobilizar o que se sabe para realizar aquilo que se deseja ou se projeta (MACHADO, 2012, vídeo 9/1). São, aliás, diversos os documentos oficiais que apontam nesse sentido, tais como os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (BRASIL, 1999) que explicitam três conjuntos de competências - *comunicação e representação, investigação e compreensão, contextualização social ou histórica*, e a *Matriz de Referência para o Exame Nacional do Ensino Médio* (BRASIL, 2009) que aponta cinco competências gerais: *dominar diferentes linguagens, compreender processos, diagnosticar e enfrentar problemas reais; construir argumentações e elaborar proposições solidárias*.

Também nos documentos oficiais que normatizam o ensino superior, essa questão se faz presente, haja vista as *Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física* (BRASIL, 2001) que indica cinco competências essenciais desejadas a um profissional graduado em física:

A diversidade de atividades e atuações pretendidas para o formando em Física necessita de qualificações profissionais básicas comuns, que devem corresponder a objetivos claros de formação para todos os cursos de graduação em Física, bacharelados ou licenciaturas, enunciadas sucintamente a seguir, através das competências essenciais desses profissionais.

1. dominar princípios gerais e fundamentos da Física, estando familiarizado com suas áreas clássicas e modernas;
 2. descrever e explicar fenômenos naturais, processos e equipamentos tecnológicos em termos de conceitos, teorias e princípios físicos gerais;
 3. diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados;
 4. manter atualizada sua cultura científica geral e sua cultura técnica profissional específica;
 5. desenvolver uma ética de atuação profissional e a consequente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sócio-políticos, culturais e econômicos.
- (BRASIL, 2001).

Essa breve exposição do multifacetar dos processos avaliativos convida a revisitar a caracterização de Demo (2002) acerca da aprendizagem como algo complexo não linear (ver também p.101). Criticando os pressupostos lineares que costumam marcar o debate em torno da avaliação, o autor enfatiza três aspectos nele não reconhecidos:

Primeiro, avaliar a aprendizagem dos outros, é profunda aprendizagem, desafio e risco reconstrutivo político, além de emocional. Dada a complexidade da situação, é impraticável qualquer proposta “justa” de avaliação: todas são injustas, porque sua formalização encurta e empobrece a dinâmica. Segundo, toda maneira selecionada de apresentação dos resultados, quantitativa ou qualitativa, é apenas aproximação possível, sempre sujeita a revisões de ambas as partes. [...] Terceiro, como a única razão de ser da avaliação é o compromisso com a aprendizagem do aluno, precisa ser feita de modo que colabore na aprendizagem: quando o trabalho avaliado é

considerado insuficiente, é mister detalhadamente aduzir os argumentos da avaliação, tanto para que o avaliado possa reagir, contestar, quanto para que possa melhorar. (DEMO, 2002, p. 139).

Em vez dos usuais instrumentos da frequência e da prova, o processo avaliativo deveria concentrar-se na intensidade de sua complexidade, lançando mão de instrumentos qualitativos, *“tais como: capacidade de argumentar, fundamentar, definir e distinguir; habilidade de reconstruir texto com alguma originalidade própria; virtude interpretativa e criativa”* (DEMO, 2002, p. 140). Tal proposição não se contrapõe à estipulação de notas quantitativas, com uma nota 5, por exemplo, podendo expressar dimensões qualitativas fundamentais para aprendizagem, *“tais como: processo (não produto) que se desenvolve a contento, mas apenas a contento; deveria melhorar e valeria a pena observar melhor como se poderia melhorar; indicaria aluno sobre o qual é mister deter sua atenção, para evitar que caia ainda mais; poderia incluir esse aluno em programas alternativos para que a aprendizagem seja mais bem cuidada”* (DEMO, 2002, p. 140). Mesmo a inevitável classificação inerente ao processo quantitativo pode ser expressão não linear desde que tenha *“por único objetivo diagnosticar com propriedade para permitir mudar e garantir os rumos do processo de aprendizagem”* (DEMO, 2002, p. 140).

É com base nesses mesmos pressupostos que Demo (2002) analisa a extrema complexidade envolvida na orientação ao aluno, papel docente hoje em muito aludido:

Perscrutar as motivações do aluno, entender seus anseios, tocar as cordas corretas da emoção, provocar sem oprimir, admoestar sem imbecilizar, é fina arte, sensibilidade sutil, perspicácia a toda prova. Tem sempre a vantagem de evitar o tratamento unificado de pessoas tão diversificadas, provocando contextos mais flexíveis e alternativos de socialização: ao mesmo tempo que é mister encaixar-se nas normas e valores sociais, cada aluno tem direito a tornar-se sujeito próprio, inconfundível.” (DEMO, 2002, p. 141).

Nem sempre é fácil jogar o jogo proposto por Demo (2002), com a temática da avaliação entrelaçando-se, assim, com a da formação docente, hoje carecendo, segundo este mesmo autor, de práticas que valorizem virtudes como a da pesquisa e da autoria:

Aprender exige pesquisa, elaboração e produção próprias, autoria individual e coletiva, participação ativa, virtudes que as pedagogias e as licenciaturas não praticam ou desfiguram, em geral por conta de seus professores não autores. Entendo que sem pesquisa não pode haver aula: vai ser mera cópia. Por isso, não faz sentido universidade de mero ensino, pois é instituição desnecessária: “treina” (não forma), como diz Toffler (2009), para trás, para o século passado. Pedagogos e licenciados não sabem “aprender”, não leem assiduamente, não pesquisam e elaboram, não são autores, fiando-se em apostilas reprodutivas, porque aprender nunca foi primordial. Primordial é aula, ensino, instrução. Na greve, suspendem-se as aulas. Quando há oportunidade, o MEC propõe o aumento dos dias letivos, como foi aumentado em um ano o ensino fundamental, para haver mais aula. Confundem-

se aula e aprendizagem: precisamos de 220 dias de aprendizagem, não de aula! (DEMO, 2012).

Faz-se necessário, portanto, um professor que não tenha na aula sua pedagogia central e que saiba “*organizar o trabalho produtivo do aluno, com problematizações atrativas e realistas dos conteúdos curriculares, [...] um professor-autor, uma habilidade que é imprescindível para problematizar com qualidade visível: transformar conteúdos curriculares em problemas pertinentes e interessantes*” (DEMO, 2012). Sem desprezar os conteúdos, mas libertando-se do apego obsessivo à sua transmissão, o professor precisa desenvolver as habilidades de pesquisar, elaborar, argumentar e aprender, de forma a ser capaz de, em casos como o do estudo do teorema de Pitágoras, “*montar ambientes de problematização tão realistas e desafiadores que o estudante acabe tendo a impressão de que foi ele que o inventou!*” (DEMO, 2012).

Nesse contexto, creio ser pertinente resgatar a análise de Machado (2012, vídeo 9/2) quanto ao indicativo da qualidade de uma aula dado pela própria manifestação do aluno acerca do assunto nela trabalhado. Péssima aula seria aquela em que ao seu término o aluno reproduzisse a expectativa do dependente, do usuário do conhecimento, dirigindo-se ao professor, até com elevada admiração, algo como “*professor, entendi tudo, mas nunca que eu teria pensado nisso; continua, conta mais que está interessante*”. Em oposição, ótima aula seria aquela em que o aluno se colocasse na expectativa do autônomo, do produtor de conhecimento, elaborando frases como “*puxa vida, porque é que eu não pensei nisso antes?*”.

Forma privilegiada de se desenvolver a autonomia do estudante é, para Demo (2012), a aposta em sua produção textual, podendo-se entender como texto não apenas as páginas escritas, mas também desenhos, arte gráfica, imagens e sons. Para o autor, o acompanhamento da evolução da produção textual de cada aluno favorece o que ele denomina de avaliação processual, termo que indica a necessidade de que a avaliação se torne “*dinâmica do mesmo processo de aprendizagem*” e que avalie “*se o aluno está aprendendo – se está se tornando autor, se produz com autonomia, se lê e estuda adequadamente, se argumenta e fundamenta com propriedade, etc.*” (DEMO, 2012). Nesse contexto, Demo (2012) ressalta que não vê como proibido o uso de outros instrumentos de avaliação, nem mesmo a prova: o central é que os instrumentos utilizados conclamem “*a virtude preventiva e diagnóstica como instrumentação para garantir a cada estudante seu direito de aprender bem*”.

Com isso, a inter-relação entre avaliação da aprendizagem e formação docente é novamente realçada:

A referência fundamental da avaliação qualitativa é o olhar do professor dedicado; sua convivência diária com os estudantes, em diálogo incessante; sua orientação devota e exigente. Essa condição trabalha naturalmente com percepções subjetivas, mas que poderiam não ser subjetivistas. Podem ser aplicadas “notas” a textos, não porque elas expressem mais fidedignamente sua qualidade, mas como expediente numérico mais palpável e comparável, sob risco. Saber expressar na nota a qualidade de um texto só pode provir de um professor que produz texto e sabe discutir texto. O que mais importa não é se a avaliação é expressa em notas ou anotações, mas seu uso qualitativo para monitorar a qualidade da aprendizagem. Por exemplo, em nosso sistema de ensino nunca conseguimos introduzir leitura e estudo como componentes indispensáveis da aprendizagem. Aula e prova bastam. (DEMO, 2012).

Entendendo o ensino e aprendizagem de física como um recorte de toda a problemática educacional aqui trabalhada, creio ser fundamental ampliar ainda mais, ou melhor contextualizar a esse campo de conhecimento, o significado estendido de texto indicado por Demo. Construções de gráficos e tabelas, demonstrações e resoluções matemáticas de problemas e elaborações de relatórios de observações experimentais são também exemplos de textos que podem envolver pesquisa e autoria individual ou coletiva. Tudo depende de como o professor apresente a questão: como problema a ser enfrentado pelo aluno de forma criativa ou como mera ação reprodutiva de uma resposta predeterminada.

Além disso, considerando os conhecidos problemas socioeconômicos e estruturais hoje presentes na profissão docente, bem como a arraigada presença do instrucionismo na cabeça de professores e alunos, não vejo mal algum em esporadicamente utilizar-se até mesmo do expediente das questões meramente reprodutivas. O que vejo como vital é para onde aponta o conjunto das atividades propostas pelo professor a seus alunos. Claro que, para isso, é preciso existir tal conjunto, ou espectro de instrumentos (MACHADO, 2012, vídeo 9/1). Se, pelo contrário, for comum ouvir diálogos entre professores do tipo “e aí, já aplicou a P-II?”, com alusão às duas únicas e tradicionais atividades de avaliação, provas I e II, aplicadas ao longo de um semestre letivo, a configuração instrucionista estará selada e “fim de papo”.

4.3 VIRTUAL E REAL

Conceber a aprendizagem como (re)construção de feixes de relações entre significados pressupõe entender que ela assim se desenvolve em qualquer contexto, mesmo em situações como a das antigas sociedades orais em que nem escrita se tinha. As modernas tecnologias da informação e comunicação podem, no entanto, potencializar o processo de ensino e aprendizagem, haja vista a facilitação no acesso à informação possibilitada pelos adventos da

web e do hipertexto, o uso de *softwares* que simulam experimentos científicos e o desenvolvimento dos ambientes virtuais cada vez mais usados tanto nos cursos a distância como nos presenciais.

Nesse 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. Como bem expressa Demo (2002), 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:

[...] Existe, sem sombra de dúvida, presença virtual, para além da base física. Não foi inventada agora com o computador, apenas tornou-se mais ostensiva e, de certa forma, crescentemente avassaladora. Nas gravuras em pedra encontradas hoje de povos “primitivos”, temos sua presença virtual. Na carta que a mãe guarda de seu filho que mora do outro lado da Terra, temos, sob o signo da saudade, presença virtual. Na fé da comunidade religiosa, Deus está presente de modo virtual e talvez mais forte que o modo físico. Com o ciberespaço, esse tipo de presença invade nossas vidas de modo crescente e irreversível, não se podendo mais igualar virtual com fictício, fantasmagórico, simulado, irreal. O contrário de virtual é físico, não irreal. (DEMO, 2002, p.34).

A confusão em torno da associação entre os conceitos de virtualidade e irrealidade é também analisada por Lévy (2009, p.47) que aponta que na “*acepção filosófica, é virtual aquilo que existe em potência e não em ato, o campo de forças e de problemas que tende a resolver-se em uma atualização*”. Ou ainda, é virtual “*toda entidade ‘desterritorializada’, capaz de gerar diversas manifestações concretas em diferentes momentos e locais determinados, sem contudo estar ela mesma presa a um lugar ou tempo em particular*”. Uma árvore, por exemplo, está virtualmente presente na semente que a engendrará. Assim também, diversos contextos estão virtualmente presentes no vocábulo “árvore” que, enquanto não pronunciado em algum lugar e momento, tem “em si” existência virtual.

Em vista dessas definições, Lévy (2009) aponta dois motivos pelo qual a digitalização da informação pode ser qualificada como virtual: (a) embora fisicamente localizada em determinado suporte (DVD, *pen drive*, disco rígido), a informação está virtualmente presente em todos os nós da rede que necessitarem acessá-la; (b) sendo ilegíveis ao ser humano (combinações dos dígitos 0 e 1), os códigos de computador atualizam-se no tempo e no espaço como textos legíveis, imagens visíveis e sons audíveis.

Lévy (2009) analisa que há também outros movimentos de virtualização que hoje se manifestam em virtude do desenvolvimento das tecnologias da informática. A comunicação,

por exemplo, absolutamente presencial nas antigas sociedades orais, tem seu caminho rumo à virtualização potencializado por sua digitalização. Da comunicação recíproca, assíncrona e a distância, já alavancada pelo correio ou pela escrita em geral, permite-se agora que “*membros de um grupo humano (que podem ser tantos quanto se quiser) se coordenem, cooperarem, alimentem e consultem uma memória comum, e isto quase em tempo real, apesar da distribuição geográfica e da diferença de horários*” (LÉVY, 2009, p. 49).

Tal característica da comunicação contemporânea conduz, avalia Lévy (2009, p. 49), à virtualização das organizações que “*tornam-se cada vez menos dependentes de lugares determinados, de horários de trabalhos fixos e de planejamentos a longo prazo*”, bem como acentuam o caráter virtual que as transações econômicas e financeiras possuem desde a invenção da moeda e dos bancos.

É precisamente o caráter virtual da informação que Lévy (2009) identifica como a marca distintiva do ciberespaço, termo por ele assim definido:

Eu defino o ciberespaço como o espaço de comunicação aberto pela interconexão mundial dos computadores e das memórias dos computadores. Essa definição inclui o conjunto dos sistemas de comunicação eletrônicos (aí incluídos os conjuntos de redes hertzianas e telefônicas clássicas), na medida em que transmitem informações provenientes de fontes digitais ou destinadas à digitalização. Insisto na codificação digital, pois ela condiciona o caráter plástico, fluido, calculável com precisão e tratável em tempo real, hipertextual, interativo e, resumindo, virtual da informação que é, parece-me a marca distintiva do ciberespaço. (LÉVY, 2009, p. 92-93).

Os extensos e profundos reflexos culturais do advento e crescimento do ciberespaço motivam o uso do termo cibercultura, contextualizado por Lévy (2009) como uma terceira etapa da história das sociedades humanas marcada pela potencialização da virtualidade e universalidade inaugurada pelas sociedades baseadas na escrita, combinada com o relativo retorno à contextualização e singularidade das sociedades orais. Exemplo disso são os experimentos realizados nos modernos aceleradores de partículas:

É impressionante constatar que algumas experiências científicas realizadas nos grandes aceleradores de partículas mobilizam tantos recursos, são tão complexas e difíceis de interpretar que praticamente só ocorrem uma vez. Cada experiência é quase singular. Isso parece contra o ideal da reprodutibilidade da ciência clássica. No entanto, essas experiências ainda são universais, mas de outra forma que não a possibilidade de reprodução. Delas participam, de fato, grande número de cientistas de diversos países, que formam uma espécie de microcosmo ou de projeção da comunidade internacional. Mas, sobretudo, o contato direto com a experiência praticamente desapareceu em benefício da produção maciça de dados numéricos. Ora, esses dados podem ser consultados e tratados em grande número de laboratórios dispersos graças aos instrumentos de comunicação e de tratamento do ciberespaço. Assim, o conjunto da comunidade científica pode participar dessas experiências muito particulares, que são também eventos. A universalidade repousa, então, na interconexão em tempo real da comunidade científica, sua participação cooperativa mundial nos eventos que lhe dizem respeito em vez da depreciação do

evento singular que caracterizava a antiga universalidade das ciências exatas. (LÉVY, 2009, p. 164-165).

Como parte da cultura humana, a educação também ganha novas dimensões com o desenvolvimento do ciberespaço e da cibercultura. No que se refere aos objetivos da discussão aqui apresentada, as questões da interatividade e da simulação computacional assumem particular importância. A fim de melhor concretizar a argumentação, faço nova imersão em minhas práticas de ensino junto a licenciandos de física do IFSP-SP, com destaque a uma atividade referente ao modelo atômico de Bohr.

A proposta é que após o ganho de uma visão panorâmica de um conjunto de simulações disponíveis na *web*²², o licenciando "adote" uma ou várias delas (ou ainda outras que encontre em suas próprias pesquisas pela *web*) para elaborar um roteiro visando a introdução do modelo atômico de Bohr na escola média. Elaborados os roteiros, a tarefa seguinte é postá-lo em espaço próprio do ambiente virtual utilizado no curso a fim de disponibilizá-lo para leitura e análise de seus colegas que deverão, então, apresentar uma análise crítica a esse roteiro. Finalmente, o autor do roteiro terá completada sua tarefa ao expor seu posicionamento de concordância ou insatisfação para com tais análises críticas.

Há simuladores que focam a emissão de fótons, permitindo ao usuário manipular apenas os saltos eletrônicos no sentido da maior para a menor energia. Outros, elaborados com a intenção de diferenciar os processos de absorção e emissão de fótons, permitem ao usuário controlar o sentido energético a ser observado. Há também aqueles que favorecem a abordagem estatística, com elétrons inicialmente posicionados no estado fundamental, automática e aleatoriamente saltando para níveis superiores ao absorverem um fóton para, então, retornarem a esse mesmo estado fundamental, seja através de um único salto ou de uma sequência de saltos progressivos e aleatórios. Há simulações em que fótons são representados coloridos de acordo com sua frequência de valor numérico apresentado em destaque na tela. Outros focam o comprimento de onda correspondente a cada fóton. Por vezes, apresenta-se uma faixa representando o espectro eletromagnético. Outras vezes são apresentadas duas destas faixas, uma correspondente à emissão de fótons e outra à sua absorção. O valor do *quantum* associado a cada fóton é outra variedade encontrada entre os diversos aplicativos, com alguns deles apresentando diretamente tal valor ao usuário, ao passo que outros induzem ou explicitamente sugerem sua efetuação. Mesmo o modelo atômico em seu conjunto pode

²² Tal conjunto pode ser acessado a partir do tópico associado aos simuladores do modelo de Bohr na seguinte página eletrônica: <<http://fisicaemrede.com/course/view.php?id=7&topic=2>> (Acesso em 31 Mar. 2014).

ser alvo de investigações, sendo possível encontrar simuladores que permitem alternância entre as simbolizações do elétron girando como partícula ou distribuído como onda estacionária ao redor do núcleo.

Dentre este universo de alternativas, todas gratuitas e de fácil acesso, qual a melhor? Talvez nenhuma, haja vista que uma pesquisa no “oráculo” Google certamente encontrará outras opções. Por outro lado, talvez o melhor seja utilizar todas ou um combinado de duas ou três delas a fim de estimular o exercício de comparações entre os estudantes da escola média. Nem mesmo surpreso deve-se ficar se determinado licenciando, inspirado pelas variedades observadas, ou pelas interações possibilitadas a partir das referidas análises críticas, resolver apostar em seus conhecimentos de programação para elaborar seu próprio simulador.

A questão de fundo é que a simulação, sendo um “*modo de conhecimento próprio da cibercultura*” (LÉVY, 2009, p.165), permite trabalho mais eficaz com a modelagem da realidade:

O conhecimento por simulação [...] só tem validade dentro de um quadro epistemológico relativista. Se não, o criador de modelos poderia se deixar levar pela crença de que seu modelo é “verdadeiro”, que ele “representa” no sentido forte a “realidade”, esquecendo que todo modelo é construído para determinado uso de determinado sujeito em um momento dado. [...] a proliferação contemporânea dos instrumentos de simulação, seu baixo custo e sua facilidade de uso representam, sem dúvida, o melhor antídoto contra a confusão entre modelo e realidade. Um modelo determinado, entre cem outros que poderiam ter sido criados sem muito esforço, aparece como aquilo que ele é: uma etapa, um instante dentro de um processo ininterrupto de bricolagem e de reorganização intelectual.

[] A simulação por computador permite que uma pessoa explore modelos mais complexos e em maior número do que se estivesse reduzido aos recursos de sua imagística mental e de sua memória de curto prazo, mesmo se reforçadas por este auxiliar por demais estático que é o papel. A simulação, portanto, não remete a qualquer pretensa irrealidade do saber ou da relação com o mundo, mas antes a um aumento dos poderes da imaginação e da intuição. (LÉVY, 2003, p. 76-77).

A proliferação de cursos a distância é fenômeno também contextualizado no desenvolvimento da cibercultura. No item 2.3 deste texto já foi assinalada a incrível velocidade com que na sociedade contemporânea se renovam os artigos que compõe nosso mundo material (ver página 37). Reflexo disso no mundo do trabalho é que cada vez mais rapidamente a formação inicial cede terreno frente à formação contínua e alternativa. Contínua seja pelas permanentes inovações inerentes a cada profissão, seja pela alternância de profissões que hoje caracteriza uma “carreira profissional”. Alternativa porque cursos técnicos de curta duração presenciais ou a distância, muitas vezes oferecidos pelas próprias empresas ou por seus consórcios, soam não raramente mais acessíveis e proveitosos do que cursos universitários presenciais de longa duração.

O ensino presencial também sofre influências de todo esse processo, sendo cada vez mais comum em seu seio o uso de técnicas típicas do ensino a distância, tal qual o desenvolvimento de ambientes virtuais de ensino e aprendizagem:

Dois ambientes de aprendizagem que historicamente se desenvolveram de maneira separada, a tradicional sala de aula presencial e o moderno ambiente virtual de aprendizagem, vêm se descobrindo mutuamente complementares. O resultado desse encontro são cursos híbridos que procuram aproveitar o que há de vantajoso em cada modalidade, considerando contexto, custo, adequação pedagógica, objetivos educacionais e perfil dos alunos. (TORI, 2009, p. 121).

Dentre os diversos *softwares* disponíveis para a gestão de ambientes virtuais de ensino e aprendizagem, destaca-se o *Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment* (*Moodle*). Gratuito e de relativa facilidade de instalação, administração e uso, este programa tem encontrado bom trânsito ao redor do mundo²³. É nesse quadro que se insere o *fisicaemrede.com*, ambiente *Moodle* por mim desenvolvido em meio à problemática gerada pela suspensão de aulas nas redes de educação básica em agosto de 2009 devido à pandemia da gripe H1N1.

Mediante a autorização oficial de se realizar a distância parte da reposição de aulas, a ideia foi desenvolver uma ferramenta mais efetiva para o aprendizado do que o registro da simples troca de mensagens eletrônicas com o aluno, procedimento então sugerido pela coordenação pedagógica. Acessando com nome de usuário e senha o *fisicaemrede.com*, meus alunos da EE Alberto Levy liam breves orientações e textos e realizavam as tarefas compostas basicamente de cruzadas e outros passatempos interativos sobre transformações energéticas. De minha parte, ao acessar o ambiente podia verificar não somente as notas obtidas pelos alunos, conforme correção automática feita pelo sistema, como também extrair registros de suas presenças virtuais, incluindo-se, se desejada, até mesmo a identificação dos pontos de acesso²⁴ por eles utilizados.

Em vista da contínua utilização que venho fazendo da ferramenta, é pertinente apresentar breve descrição do *Hot Potatoes*, programa que permite a resolução *online* de palavras cruzadas e outros passatempos que podem ser configurados com o recurso do fornecimento de pistas para sua resolução. Cliques sucessivos na pista de um determinado termo presente em uma cruzada, por exemplo, leva à sua revelação letra a letra. O uso de tal

²³ De acordo com as estatísticas disposta na página oficial do programa, <<https://moodle.org/stats/>> (Acesso em 31 Mar. 2014), no momento da escrita deste texto, eram quase 70 mil os sites *Moodle* até então registrados, mais de 67 milhões os usuários deles participantes e 235 os países a eles referentes, sendo o Brasil o terceiro país em termos de sites registrados.

²⁴ Por ponto de acesso me refiro ao Internet Protocol, ou IP, do dispositivo (computador, tablet, etc) conectado na internet.

recurso acarreta, no entanto, em decréscimo na valoração da atividade, de forma que se o aluno resolver “trapacear” e descobrir por meio destas pistas todas as letras de todos os termos presentes no passatempo, o programa lhe dará ao final da atividade uma primeira mensagem de felicitação quanto ao integral acerto, seguida de outra informando a atribuição da nota zero. Claro que a questão de fundo aqui não é a eficácia do programa quanto à inibição de eventuais fraudes na conquista de uma nota, mesmo porque sempre se podem inventar novas maneiras de burlar um sistema. O que é fundamental é a possibilidade de potencialização do aprendizado mediante a interatividade permitida:

[...] quanto mais ativamente uma pessoa participar da aquisição de um conhecimento, mais ela irá integrar e reter aquilo que aprender. Ora, a multimídia, interativa, graças à dimensão reticular, não linear, favorece uma atitude exploratória, ou mesmo lúdica, face ao material a ser assimilado. É, portanto, um instrumento bem adaptado a uma pedagogia ativa. (LÉVY, 2003, p. 40).

Mas é na integração do *Hot Potatoes* ao *Moodle* que a ferramenta revela toda sua versatilidade, com o professor podendo estipular o número de tentativas permitidas para cada passatempo, bem como se a nota final será composta pela nota média das diversas tentativas ou se somente será validada a nota da última tentativa ou, alternativamente, apenas a maior nota dentre todas as tentativas. Como todas as atividades *Moodle*, é também possível estipular o período de disponibilidade de cada passatempo, de forma que cliques tardios no ícone do passatempo resultarão em mensagens automáticas informando ao usuário algo como “sinto muito, mas esta atividade foi encerrada em tal data”. Se desejado, pode-se ainda vincular diversos passatempos em sequência, de forma a simular ou mesmo validar uma avaliação com diversas questões.

A título de exemplo e sem contar com as interatividades acima mencionadas, apresenta-se na figura 48 uma cruzada sobre termos característicos do estudo da estrutura da matéria normalmente por mim utilizada como avaliação diagnóstica junto a licenciandos de física do IFSP-SP²⁵.

²⁵ O acesso interativo ao passatempo pode ser apreciado no seguinte endereço eletrônico: <<http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=325>> (Acesso em 31. Mar. 2014).

Horizontais:

- Princípio enunciado por Bohr acerca da natureza dual da matéria.
- Usina elétrica que utiliza material físsil em seu funcionamento.
- Sem divisão, em grego.
- Fenômeno que provoca regiões claras e escuras alternadas devido à superposição de ondas luminosas.
- Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.
- Partícula correspondente ao núcleo de hélio.
- Era por meio dela que se procurava a transmutação do chumbo em ouro.
- Quando ela se encontra com a partícula correspondente há aniquilação da matéria e surgimento de energia.
- Elemento químico descoberto por Marie Curie.
- Técnica utilizada para visualizar fraturas em ossos.
- Um dos efeitos que comprova o caráter corpuscular da radiação eletromagnética de alta frequência.
- Famoso acelerador de partículas.
- Técnica que consiste na captação de emissões de raios gama por substâncias radiativas introduzidas no organismo.
- Junções PNP ou NPN de materiais semicondutores.
- A luminosa não é um fator determinante para que ocorra o efeito fotoelétrico.
- Matéria prima na fabricação de bombas de fissão e no funcionamento de nucleoeletrônicas.
- Técnica em que feixes muito finos de raios X percorrem toda a extensão do tecido a ser analisado.
- A nuclear é associada à energia liberada pela fragmentação de um núcleo pesado e instável.
- Material semicondutor muito utilizado como matéria prima pelas indústrias de computadores.
- Princípio que postula que uma maior precisão na determinação do momento de uma partícula implica em uma maior imprecisão no conhecimento de sua localização.
- Luz de frequência maior que a luz vermelha.
- Constituído por dois quarks down e um quark up.
- O eletromagnético corresponde ao conjunto de todas as radiações conhecidas.
- Partículas elementares como o elétron e o múon.
- Partícula de luz.
- Partículas que, como os elétrons, "se excluem", nunca ocupando um mesmo estado quântico em determinado sistema.
- Eletrodo emissor de elétrons.
- Radiação de alta energia.
- Uma das partículas fundamentais.
- Quantidades de energia associadas aos fótons.

Verticais:

- O eletromagnético é medido em newton por coulomb no Sistema Internacional.
- O de Michelson foi construído para testar a existência do éter.
- A energia liberada nas reações nucleares é associada à sua diminuição.
- Subproduto da fissão do urânio que tem sido um dos motivos para a forte relação entre a indústria bélica e a indústria energética nuclear.
- Material que com sua propriedade de isolante elétrico e transparência à luz visível, revela a intimidade quântica entre a Óptica e o Eletromagnetismo.
- Efeito associado à extração de elétrons de um metal devido à incidência de luz sobre ele.
- Somente quando ela é suficientemente alta, é possível observar o efeito luminoso da luz arrancando elétrons de um metal.
- Em sua superfície há cerca de 1500 sulcos por milímetro, característica que explica o porque da luz nele incidente e refletida sofrer difração e interferência.
- Fenômeno ondulatório associado ao espalhamento da onda ao passar por um orifício.
- Ímã elétrico.
- Elemento químico que decai em rádio após a emissão de uma partícula alfa.
- Diz-se da faixa do espectro eletromagnético compreendida entre o infravermelho e o ultravioleta.
- Assim é denominado o trítio com relação ao deutério ou ao hidrogênio.
- A de Planck é medida em J.s (produto do Joule pelo segundo) no SI.
- A nuclear é associada à energética das estrelas.
- Radiação correspondente à emissão de elétrons desde o núcleo de um átomo.
- Partícula constituída por dois quarks up e um quark down.
- Para um fóton, seu valor é proporcional à frequência.
- Partículas que, como os fótons, "se imitam", podendo ocupar o mesmo estado quântico em determinado sistema.

Figura 48 – Cruzadas sobre termos característicos no estudo da estrutura da matéria.

Da única sala virtual disponível ao conjunto de meus alunos do EE Alberto Levy, o *fisicaemrede.com* tem sido amplamente e continuamente reestruturado a partir de meu ingresso, em 2010, como professor na Licenciatura em Física do IFSP-SP, passando a contar com um espaço de trabalho para cada disciplina por mim ministrada, além de áreas destinadas à livre realização de passatempos e de aprendizagem quanto à sua elaboração, à aprendizagem sobre *Moodle* em geral e à exposição do desenvolvimento da própria investigação vinculada ao doutoramento. Vale observar que com exceção de uma área de testes, todo o ambiente é aberto a visitas, sem necessidade de registro de usuário. Há, sim, recursos e atividades que somente são visualizados e praticados a partir de tal registro, mas dentro da ideia central de permitir a visualização global do ambiente e de facilitar suas conexões internas.

Outras características do *fisicaemrede.com* serão realçadas no próximo capítulo. Por ora, a descrição aqui feita deste ambiente, somada à anterior apresentação do trabalho com os simuladores do átomo de Bohr, já permite suficiente clareza no rumo tomado pelo pesquisador quanto ao uso das tecnologias da comunicação e informação no ensino de física e no motivo pelo qual o assunto é abordado nesta tese. Não se trata de procedimento autoavaliativo da qualidade do material produzido, das aulas ministradas ou da própria pesquisa. Trata-se, sim, de, resgatando aquele alerta quanto ao cuidado de não vislumbrar vida própria nestas tecnologias (ver p. 101), posicionar-se com clareza a favor de seu uso em qualquer nível e modalidade de ensino de forma a aproveitar ao máximo seu potencial na perspectiva da expansão da rede de significados do estudante. Ínfima contribuição didático-pedagógica pode ser associada ao uso de ambientes virtuais como meros repositórios de arquivos, de simulações como simples complementos às exposições teóricas do professor ou de questionários *Hot Potatoes* que se assemelhem a testes de vestibulares.

Nesse contexto, resgato o posicionamento de Demo (2012) a respeito da necessidade em apostar no desenvolvimento de ambientes virtuais que promovam a autoria docente e discente, sendo retrógradas as atitudes de ignorar ou depreciar esta inovação educacional:

A essas alturas, o que é inovação educacional se torna algo óbvio: iniciativas que aprimoram a oportunidade de aprender bem, tais como [...] os ambientes virtuais de aprendizagem (AVAs) [que] só são importantes se os estudantes aprenderem bem com eles. Estão, porém, avançando sobre as instituições de educação de maneira crescente e compulsória. Assim, inovação educacional, hoje, implica AVAs também, tornando-se atitude retrógrada simplesmente contrapor-se a eles, depreciá-los, ignorá-los, como faz o Plano Nacional de Educação (PNE), quando, falando da formação de professores, admite apenas “cursos presenciais”. Primeiro, usa-se uma linguagem obsoleta que, no fundo, se rende ao instrucionismo da aula, como se não fosse possível aprender fora da sala de aula. Quem estuda está presente, do que se conclui que a distinção não é entre curso presencial e não presencial, mas entre cursos com presença física e cursos com presença virtual, de preferência híbridos. [...] postular que o estudante só aprende frequentando aula é uma velharia infame

que só as pedagogias do arco da velha pleiteiam. Todo pedagogo que não sabe lidar com AVAs está fora do mapa. (DEMO, 2012).

O mérito dos ambientes virtuais de ensino e aprendizagem²⁶ não é, portanto, substituir a sala de aula física ou ser dela mero anexo ou apêndice, mas abrir o horizonte para a invenção de práticas educacionais que sem o virtual dificilmente se imaginaria realizar. Nessa via, merece atenção as considerações de Franco e Lessa (2012) sobre as características a serem contempladas na construção de ambientes virtuais interativos:

- (a) que a plataforma seja multifluxo;
- (b) que existam na plataforma funcionalidades que ensejem a configuração de uma topologia mais distribuída do que centralizada, possibilitando a precipitação da nova fenomenologia da interação (ou, em outras palavras, que a plataforma de aprendizagem seja realmente uma plataforma de rede);
- (c) que a experiência de uso implicada no design da plataforma parta do que a pessoa conectada à plataforma pode desejar fazer e não do que a plataforma pode oferecer; e
- (d) que o design da plataforma contemple mecanismos e funcionalidades que compreendam a adesão e a participação, mas que consigam chegar à interação, permitindo a adaptação mútua, a imitação e a colaboração e ensejando a manifestação daqueles fenômenos capazes de gerar auto-organização [...] O ideal é que esses mecanismos e funcionalidades sejam baseados em um gradiente de interação do tipo: adesão -> adesão-participação -> participação -> participação-interação -> interação. (FRANCO, LESSA, 2012).

Com tais considerações, Franco e Lessa (2012) procuram responder ao que denominam por *concepções e práticas mais acordes à estrutura e dinâmica da sociedade-em-rede que está emergindo ou – o que é a mesma coisa – à fenomenologia da interação social*, posicionamento que pode ser entendido como imerso ao desenvolvimento das pesquisas sobre “aprendizagem em rede”, termo que apesar de contemplar diversas conotações, envolve quase sempre a ênfase nos contextos colaborativos e/ou cooperativos de aprendizagem potencializados pela conectividade fomentada pela tecnologia digital.

Parte desse processo é a emergência do conectivismo e sua polêmica proposição de ser uma nova teoria de aprendizagem que se mostraria mais adequada para lidar com a rapidez e complexidade que caracteriza o fluxo de conhecimento hoje potencializado pelas tecnologias digitais:

²⁶ Vale aqui observação acerca de minha preferência pelo uso da expressão “*ambiente virtual de ensino e aprendizagem*” frente a “*ambiente virtual de aprendizagem*”, de uso mais popular. Apesar de concordar com as considerações de Demo e outros educadores quanto à necessidade em ter como centro a aprendizagem, combatendo-se o característico foco dado pelo instrucionismo ao ensino, este último não se tornou para nada desprezível ou dispensável, sempre tendo alguém que alimenta e estrutura, com suas convicções educacionais, o ambiente virtual e que, portanto, direta ou indiretamente, ensina.

[] Todas as teorias existentes posicionam o processamento (ou interpretação) do conhecimento no indivíduo que está aprendendo. Este modelo funciona bem se o fluxo de conhecimento é moderado. Uma visão construtivista de aprendizagem, por exemplo, sugere que nós processamos, interpretamos e derivamos significados pessoais a partir de diferentes tipos de informação. O que acontece, porém, quando o conhecimento é mais um dilúvio do que uma gota? O que ocorre quando o conhecimento flui rápido demais para ser processado ou interpretado?

Uma vez que o fluxo se torna tão rápido e complexo, nós precisamos de um modelo que permita aos indivíduos aprender e atuar apesar do ritmo e fluxo. Um modelo de rede de aprendizagem (um atributo do conectivismo) descarrega algumas das funções de processamento e interpretação do fluxo de conhecimento para nós internos a uma rede de aprendizagem. Em vez do indivíduo ter que avaliar e processar cada pedaço da informação, ele/ela cria uma rede pessoal de nós confiáveis: pessoas, conteúdos, potencializados pela tecnologia. O aprendiz agrega nós relevantes e conta com cada um dos nós para prover o necessário conhecimento. O ato de conhecer é descarregado para a própria rede. Esta visão da aprendizagem condiz bem com a contínua complexidade e ritmo do desenvolvimento do conhecimento. (SIEMENS, 2006, p. 33, tradução nossa).

Embora agregadora de diversos tópicos explorados nesta tese, tais como o conhecimento como rede, a teoria das redes complexas, a complexidade do conhecimento e da aprendizagem, a proposição de Siemens (2006) sobre o conectivismo é aqui resgatada com cautela, haja vista que seu reconhecimento por este pesquisador somente se deu nas vésperas do fechamento do trabalho e que, como indicado por Demo (2011), há entre os pesquisadores da aprendizagem em rede significativas dúvidas a respeito da legitimidade em considerá-la como uma nova teoria de aprendizagem:

Pode-se afirmar que aprender é o processo de criar redes, a exemplo do que ocorre no cérebro entre os neurônios (Siemens, 2006). Este exemplo cerebral poderia ser estendido para pessoas, organizações, bibliotecas, sites, livros, revistas, bases de dados ou qualquer fonte de informação. A questão que sobra é se esta visão significa de direito e de fato uma nova teoria da aprendizagem. Num sentido, é sim, porque a própria ambiência nova e inovadora das plataformas digitais implica outros cenários obviamente. Noutro, não precisa ser, porque não é muito difícil reconfigurar teorias anteriores, trazendo-as – reconstruídas, naturalmente – para outros contextos. O conectivismo só não basta. É indispensável qualificá-lo. Por exemplo, construir conhecimento juntos é processo já bem reconhecido, em particular frente a casos convincentes como a Wikipédia. Esta novidade, no entanto, não substitui as outras enciclopédias, como se, de agora para frente, a única maneira de aprender e produzir conhecimento seria aquela mediada pelas novas tecnologias e tendencialmente amadoras. As plataformas da web 2.0, por si, já indicam o quanto novas tecnologias são impactantes no campo da aprendizagem, não podendo mais ser ignoradas. Mas elas não são, por si, a própria aprendizagem. Por isso, dizem Ryberg et alii: “Permanecemos incertos da epistemologia fundamental do conectivismo, e nos sentimos inseguros sobre onde se localiza em termos de outras teorias existentes” (2011:51). (DEMO, 2011).

Como manifestado pelo próprio Demo (2011), mais do que cultivar polêmicas, o fundamental é, no entanto, aproveitar ao máximo o potencial educacional das novas

tecnologias, posicionamento que incorporo como válido para todo o caminhar pelo virtual feito nesta tese:

Na prática, porém, mais que seguir polêmicas sem fim, o mais importante é saber aproveitar o potencial imenso das novas tecnologias. Embora estas não dispensem outras teorias da aprendizagem, as reconfiguram de maneiras radicais por vezes, e vão se tornando indispensáveis para a nova geração. Pode-se aprender perfeitamente bem sem novas tecnologias. Mas, cada vez mais, fica estranho dispensá-las, porque invadiram já nosso dia a dia. Não cabe o determinismo tecnológico, porque não podemos ficar de fora como meras marionetes de algo que, no fundo, nós mesmos inventamos. Cabe menos ainda a pura resistência, em especial da pedagogia, porque, além de inútil e tola, impede que nos postemos à altura das novas gerações. (DEMO, 2011).

4.4 ENSINO, APRENDIZAGEM E FÍSICA QUÂNTICA

A concepção do conhecimento como feixe de relações entre significados, associada ao destacado papel que cumpre a física quântica na interligação entre os mais diversos campos de conhecimento, permite apostar em seu potencial como veículo privilegiado na tecedura de redes conceituais no processo de ensino-aprendizagem. A fim de melhor concretizar tal proposição, apresentam-se nesta seção alguns exemplos já trabalhados junto aos licenciandos de física do IFSP-SP, além de outros construídos em meio à reflexão proporcionada pela elaboração do presente texto.

Quais as diferenças de procedimento para ver e tirar fotografias e radiografias? O que são os raios X e porque conseguimos enxergar ossos e órgãos com ele? A apresentação destas perguntas problematizadoras em associação com a mostra e manuseio de algumas fotografias (acompanhadas de seus respectivos negativos) e radiografias compõem a introdução à sequência didática intitulada *Fotografia, radiografia e grãos de luz*, cujos slides podem ser observados no APÊNDICE A.1. A ideia é que após alguns minutos de reflexão individual ou em pequenos grupos, o professor conduza em torno daquelas questões iniciais um diálogo com os estudantes de modo a favorecer o relato de experiências por eles vividas ou presenciadas.

Despertado o interesse e dada a contextualização, prossegue-se com a apresentação das diferenças básicas entre a visualização e a produção de fotografias e radiografias. Em seguida, a fim de evidenciar semelhanças e diferenças entre a luz visível e os raios X, são tecidas algumas considerações teóricas sobre o espectro eletromagnético e o caráter granular da luz, incluindo-se nesta discussão comparações entre as unidades de energia *quilowatt-hora*, *joule* e *elétron-volt*, prevendo-se neste momento algum tempo para os estudantes se

familiarizarem com os cálculos das energias ($E = hf$) correspondentes aos fótons das radiações infravermelha, vermelha, ultravioleta, raios X e raios gama. A sequência é, então, encerrada com o retorno àquelas questões motivadoras, mas agora para respondê-las com base ao modelo teórico discutido ao longo das aulas.

Qual a série da escola média mais apropriada para a aplicação dessa sequência didática? E quanto ao conteúdo? Faria ela parte do campo de estudo da óptica, do eletromagnetismo ou da física quântica? A resposta estará no planejamento adotado pelo professor, podendo-se até mesmo imaginá-la como a primeira sequência de aulas de física do primeiro ano do ensino médio, a partir da qual os campos específicos da óptica, do eletromagnetismo ou da própria física quântica poderiam ser trilhados. Alternativamente, trajetos menos usuais, como a exploração simultânea de aspectos da mecânica e da ondulatória, poderiam também ser construídos. Estender a própria sequência a outros processos de obtenção de imagens, tal qual a holografia, é outra via pertinente. Tão pouco é necessário restringir-se ao ensino médio, sendo o assunto plenamente adequado a cursos superiores de licenciatura ou bacharelado.

Claro que, escolhido o período, a série ou nível de ensino, adequações serão necessárias a fim de melhor contextualizar, limitar ou expandir o assunto. Mas isso não significa conceber a existência de pré-requisitos gerais e absolutos que indiquem restrições quanto ao seu desenvolvimento em alguma etapa escolar.

Não é necessário aguardar que o aluno tenha sólidos conceitos de óptica geométrica e boa compreensão da técnica fotográfica para que se lhe apresente a quântica da radiografia. Mesmo porque só se conhece bem o fenômeno fotográfico mediante o efeito granular da luz. Sem essa compreensão, faz-se a discussão da imagem projetada por câmaras escuras, mas não da inscrição desta imagem no filme fotográfico, efeito muitas vezes relegado pelo professor de física ao terreno dos “processos químicos”. Curioso é que hoje em dia um professor de química bem poderia devolver a questão referindo-se a filmes fotográficos como algo antiquado e realçando os “processos físicos” que ocorrem nas câmaras digitais. Fato é que são quânticos todos esses processos e quanto mais cedo o estudante puder ter uma noção disso, mais possibilidade ele terá de tecer relações entre os significados inerentes a cada um deles. Em outra sequência didática que tenho trabalhado junto aos licenciandos de física do IFSP-SP, intitulada *Ondas, música e quântica* (APÊNDICE A.2), apresentam-se as seguintes perguntas problematizadoras: (a) “Qual a diferença entre um som alto (agudo) e um som baixo (grave)?” (b) “Analise a seguinte afirmação: a voz fina está para a luz azul assim como a voz grossa está para a luz vermelha”; (c) “O que é uma onda estacionária e por que ela é

assim chamada se, como onda, implica a necessária propagação de uma perturbação?"; (d) "Como se faz para produzir sons mais altos (mais agudos) e sons mais baixos (mais graves) em um instrumento musical de corda?"; (e) "Qual o significado de uma frequência fundamental e de seus harmônicos?"; (f) "De que forma um átomo se assemelha a um violão ou a um tamborim?".

A fim de promover maior interesse e contextualização, após alguns minutos de reflexão individual ou em grupo sobre tais perguntas, solicita-se a um aluno que toque algumas notas musicais em seu violão, cuja presença em sala de aula havia sido previamente acordada. O diálogo é, então, conduzido de forma a primeiramente incentivar que alunos sem experiência com instrumentos musicais observem o que é feito pelo músico a fim de provocar a emissão de uma nota mais aguda ou grave por seu violão. Para tanto se solicita ao aluno músico que mostre à turma todas as formas possibilitadas pelo instrumento para a emissão das notas musicais. Posteriormente, incentiva-se o diálogo entre músicos e demais alunos na busca de respostas àquelas questões motivadoras.

Sem, no entanto, permitir o estabelecimento de respostas definitivas, interrompe-se a discussão para se realizar uma primeira interlocução teórica com a apresentação dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda, velocidade e amplitude, bem como com a realização de uma comparação entre as frequências da luz visível e das notas musicais. Resgatam-se, então, as duas primeiras questões.

Tendo em mãos molas *slinks*, além de acesso a vídeos e simulações computacionais, avança-se para a observação de ondas estacionárias em cordas e molas, enfatizando-se a produção dos harmônicos da frequência fundamental de vibração. À luz da apresentação dos conceitos de interferência construtiva e destrutiva, resgata-se a terceira questão explicando-se a onda estacionária como resultado das interferências dos pulsos que transitam em sentidos opostos na corda.

Em seguida, associando as discussões sobre as diferentes formas que um músico dispõe para emitir notas agudas e graves de seu violão e sobre a produção de ondas estacionárias, apresenta-se a expressão matemática para o cálculo dos harmônicos, realçando que quanto mais tensa, fina e curta se caracterizar a corda vibrante, mais agudo é o som produzido.

E o que a quântica tem a ver com tudo isso? Tal qual observado por Menezes (2005), enquanto analogia entre os estados quânticos dos átomos, em seus níveis de excitação, e os modos vibracionais de instrumentos musicais, tem tudo a ver:

É preciso desenvolver uma nova forma para compreender os sistemas quânticos, como átomos, em termos dos estados quânticos desses sistemas. Ainda que um sistema possa ter componentes, como o átomo tem elétrons, um estado quântico, de um átomo ou de uma célula cristalina, deve ser tomado como uma totalidade não decomponível em partes. É possível comparar um estado quântico ao estado vibracional de um instrumento musical, em que os movimentos da corda de um violão, ou do couro de um tamborim não podem ser separados da vibração do tampo, ou do corpo desses instrumentos, porque este estado é do conjunto.

É impossível “reconstruir” um modo de vibração de um violão, pois é das ressonâncias do tampo e de todas as cordas sustentadas pelo braço do instrumento que depende o conjunto das frequências com que vibra a corda, e é este conjunto que definirá tom e timbre. O mesmo vale para o tamborim, cujo som depende não só da tensão do couro, mas também do volume, do formato e do material do corpo do instrumento, para não falar na forma com que ele é segurado por quem batuca.

Tomando cuidado contra o risco de analogias, e lembrando que a onda quântica, diferentemente da de som, não é a oscilação de um meio ou de um objeto, mas sim uma amplitude de probabilidade, pode-se dizer que os estados quânticos dos átomos, em seus níveis de excitação, se parecem mais com modos vibracionais de instrumentos musicais do que com sistemas planetários, ou com elétrons circulando em torno de núcleos. (MENEZES, 2005, p. 153).

Associado ao uso de algumas simulações computacionais sobre modelos atômicos, o texto de Menezes (2005) fecha, então, a sequência *Ondas, música e quântica* que deixa portas abertas para uma série de discussões tanto sobre a modelagem atômica como para aprofundamentos e extensões teóricas quanto aos sons produzidos pelos instrumentos musicais.

Claramente mais densa que aquela comparação entre fotografia e radiografia, são diversas as adequações que se poderia realizar nesta sequência de aulas a fim de torná-la mais significativa a alunos deste ou daquele nível de ensino. Novamente, no entanto, o que me parece foco de atenção para o contexto do presente trabalho é tê-la como exemplo da possibilidade de se discutir quântica a partir de, ou em conjunto com, discussões típicas da física clássica.

Outra sequência de aulas que julgo pertinente aqui brevemente expor envolve a questão da radiatividade no contexto do incidente com a pequena cápsula de célio-137 abandonada pelo *Instituto Radiológico de Goiânia* em terreno baldio da *Rua 57 do Bairro Popular de Goiânia*, em setembro de 1987. Após leitura e discussão de texto estruturado com excertos do rico relato *O nuclear na terra do Sol*, de Gabeira, sobre os trágicos acontecimentos que ocorreram a partir da fragmentação da cápsula por sucateiros, apresenta-se uma síntese teórica acerca da constituição nuclear e da radiatividade natural, seguida de atividade de familiarização com as séries radiativas naturais, sendo a sequência finalizada com o estudo de texto explicativo do processo de decaimento que caracteriza o isótopo 137 do célio (APÊNDICE A.3).

O destaque para esta sequência de aulas não está no enlace de aspectos clássicos e quânticos, mas nas conexões estabelecidas com as demais disciplinas das ciências da natureza através do próprio conteúdo teórico e com outras áreas partir dos desdobramentos sociais, culturais e políticos associados ao evento. Trata-se, pois, de um conjunto de textos e atividades não apenas adaptáveis a qualquer curso de física, mas também a cursos de outras disciplinas ou a projetos interdisciplinares.

Antes de apontar outras possibilidades de inserções curriculares da física quântica que fortaleçam o tecer de redes conceituais no processo de ensino e aprendizagem, é oportuno ponderar que esse enredamento também pode ser reforçado com temáticas como a da energia. As matrizes energéticas brasileira e mundial, por exemplo, constituem excelente material de trabalho para utilização com as devidas adequações em qualquer série, nível de ensino e, talvez, qualquer disciplina. Não é preciso, enfim, lecionar física quântica para auxiliar o aluno na expansão de sua rede de significados. Mesmo o processo de ensino e aprendizagem de cinemática pode ser pensado no contexto das ações de mediar, tecer, mapear e fabular propostas por Machado (2004). Conceber o conhecimento como feixe de relações entre os nós de uma rede de significados é, enfim, ação independente e mesmo precedente à consideração da física quântica como veículo privilegiado na textura da rede conceitual desenvolvida pelo aluno ao longo de seu aprendizado.

Da mesma forma que teriam desconforto no tratamento em rede dos conteúdos da física clássica, professores de prática avessa a essa concepção, apresentarão natural resistência à abordagem da física quântica em suas aulas na escola média ou à antecipação desta abordagem para as primeiras aulas de um curso universitário. Pelo contrário, professores que consciente ou inconscientemente têm essa concepção incorporada às suas ações pedagógicas, agregam contextos reais às suas aulas e “tropeçam”, querendo ou não, nos fenômenos quânticos. A aprendizagem pode se desenvolver tanto no primeiro como no segundo caso. Não fosse assim, eu mesmo não estaria escrevendo este texto, haja vista que minha formação de física na escola básica e no ensino superior sempre seguiu o caminho previsto nos tradicionais manuais didáticos.

O que aqui se defende, no entanto, é que seja qual for a prática adotada pelo professor, o aprendizado se dá pela (re)construção do feixe de significados próprio de cada estudante e que, em vista do papel da física quântica como tecido de várias redes, é hoje mais fácil aprender física quando os fenômenos quânticos são abordados ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Sim, mais fácil, contrapondo-me, portanto, a alegações do tipo “já é difícil ensinar física clássica, quanto mais a física quântica!”. A facilidade ou dificuldade de

aprendizado de um conceito nem sempre está nele em si, mas na sua relação com a vivência do aprendiz. E quanto a isso a quântica promove enorme facilitação.

Será mesmo mais fácil aprender primeiramente toda a mecânica e óptica clássicas para, somente então, conhecer o comportamento dual da luz? Ou seria melhor, logo de início, aprender que portas automáticas de elevadores, lojas e aeroportos, assim como diversos outros dispositivos presentes na vivência contemporânea, funcionam devido ao comportamento corpuscular da luz? Será mesmo mais fácil aprender primeiramente todo o eletromagnetismo clássico para somente então conhecer a propriedade dos materiais semicondutores? Ou seria melhor aproveitar-se da presença destes materiais na base de todo desenvolvimento da informática e apresentá-los como introdução ao estudo dos circuitos elétricos?

Não se trata de inverter o problema e pressupor uma compreensão completa do efeito fotoelétrico e das propriedades dos semicondutores, desprezando-se o estudo dos fenômenos clássicos. Trata-se, sim, de apostar que estes assuntos não deveriam apresentar-se em completa separação e, sim, em certa sintonia e recorrência ao longo do processo de ensino e aprendizagem.

Outro obstáculo por vezes anunciado para a abordagem da física quântica na escola média se vincula a lacunas presentes na formação do professor: “*se não aprendi física quântica em minha licenciatura, como posso agora ensiná-la?*”. Se o problema a isso se resumisse, ainda que real e grave, poderia se imaginar uma solução futura a partir da melhoria e correção de rota dos cursos universitários. Mas isso resolveria apenas em parte o problema, haja vista que ao longo de sua carreira, este professor certamente se deparará com novidades teóricas e tecnológicas não discutidas e talvez nem mesmo existentes quando realizado aquele excelente curso universitário.

Importante esclarecer que as considerações críticas acima não pretendem atribuir ao professorado a responsabilidade por sua dificuldade no trato da quântica na escola média. Tão pouco se tem a intenção em subestimar um problema que, tanto por minha própria vivência profissional, como pelo acompanhamento a estágios de licenciandos do IFSP-SP em escolas de ensino básico, percebo generalizado. Generalização, aliás, confirmada por alguns trabalhos acadêmicos.

Exemplo disso é a pesquisa relatada por Sanches (2006, p. 59) junto a seis professores de física de escolas públicas de nível médio do noroeste do Paraná, cuja análise apontou que embora todos tivessem apresentado concordância com a inserção da física moderna e contemporânea (FMC) no ensino de nível médio, a maioria se avaliou despreparada para seu ensino, sendo que apenas um dos entrevistados tinha formação em física “*e mesmo esse*

respondeu que gostaria de preparar-se mais para ministrar tópicos de FMC em sala de aula, enquanto a maioria, graduados em Matemática, respondeu negativamente à questão [de estar ou não preparado], pois o curso de Matemática não oferece a disciplina de Física Moderna”.

Assim também, em pesquisa realizada junto a dez professores de física atuantes no ensino médio, público e privado, da cidade do Rio de Janeiro, todos cursando ou já tendo concluído algum programa de pós-graduação, Oliveira et al. (2007) relatam que apesar da maior parte mostrar-se favorável à utilização de tópicos de física moderna neste nível de ensino, sete nunca o fizeram, sendo que os outros três realizaram abordagens apenas superficiais. Indagados especificamente com relação à temática dos raios X, *“os professores sinalizaram a matematização do tópico como um problema e, portanto, trabalhariam apenas a parte conceitual. Além disso, indicam a terceira série do ensino médio como o melhor momento para trabalhar o tópico e apontam a necessidade de um material didático para auxiliá-los em sala”.*

Em outra pesquisa, Monteiro et al. (2009) analisaram os discursos de cinco professores de física atuantes no nível médio de ensino em um município da região nordeste brasileira, com a peculiaridade de que à época das entrevistas todos tinham recente formação em física, incluindo-se em tal formação alguns componentes curriculares relacionados à FMC, tal como *Estrutura da Matéria I* e *Física Moderna*, cursadas por todos eles, além de *Mecânica Quântica*, cursada por quatro deles e *Estrutura da Matéria II*, cursada por dois dos professores entrevistados.

Explicam os autores que a escolha por professores recém-formados teve por objetivo garantir que as defesas para a introdução da FMC no nível médio da educação básica já tivessem adquirido representatividade na pesquisa em educação em ciências, *“sendo razoável esperar-se que tais pesquisas já tivessem deixado suas marcas nas formações de professores de Física, como também alcançado a Educação Básica”.* No entanto, o que se constatou foi que apesar da relevância que todos os entrevistados atribuíam à proposição de se trabalhar FMC no ensino médio, *“nunca haviam introduzido a FMC em seus planejamentos de ensino, como também desconheciam quem o fizesse entre os seus pares”.*

Pela grande ressonância para com os discursos por mim já presenciados ou relatados por meus alunos estagiários, vale a pena observar a explicitação feita no quadro 5 de alguns trechos das entrevistas realizadas por Monteiro et al. (2009) no que se refere às justificativas apresentadas por alguns dos entrevistados para a não inserção de FMC na escola média ou quanto à proposição de sua inserção somente ao final do ensino básico.

Quadro 5 – Trechos expostos por Monteiro et al. (2009) de entrevistas realizadas com professores de física visando reconhecer seus posicionamentos sobre a proposição do ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na escola média.

Problema	Depoimentos (1)
Conteudismo	<p>(P1) Primeiro. Temos muitos conteúdos e pouco tempo. Não vejo como. Não vejo como fazer isso. Normalmente a gente sabe que começa com a mecânica, mas onde vai terminar, o que vai avançar, é imprevisível. Às vezes a gente chega no terceiro ano e não conclui a parte de mecânica. Além da programação em si, existem aquelas turmas que não tiveram professor de física. São muitas coisas.</p> <p>(P5) O tempo não é suficiente nem pra trabalhar a Física Clássica da programação. A Física Moderna nem pensar. São apenas duas aulas por semana e com as dificuldades dos alunos, a gente não consegue avançar muito. Assim não dá pra terminar a Física Clássica.</p>
Apego à excessiva formalização matemática	<p>(P1) Olha. Não tenho como dizer agora. Precitaria de um tempo pra pensar. [...] Olha. Como falei. Não tenho como dizer agora. Realmente preciso de um tempo. De um tempo pra pensar em tudo isso. Não vejo como trabalhar aquele formalismo matemático no Ensino Médio. Eu não tenho uma resposta pra essa situação, porque é muito nova pra mim. É totalmente nova [...] Os alunos não compreendem o formalismo matemático. Não vejo como trabalhar aquele formalismo matemático no Ensino Médio.</p>
Alegada falta de experiência	<p>(P4) Não tenho experiência nenhuma com a Física Moderna e Contemporânea nas aulas de Física. Nas minhas aulas, aqui na escola. Como eu não tenho experiência com essa situação, eu preciso, é, eu teria que ter um tempo pra analisar, saber o que é possível fazer. Mas, é muito difícil. Eu acho.</p> <p>(P5) Como ainda não trabalhei a Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, prefiro não opinar no momento. Também não tive a Física Moderna nas aulas de Física quando eu estudava o Ensino Médio. Assim, preciso de conhecer alguma experiência.</p>
Absolutização da sequência linear tradicional, com a FMC somente podendo ser abordada ao final do ensino médio	<p>(P1) Com certeza, depois de todos os conteúdos do volume três. Aí eu ia trabalhar na sequência o volume um, volume dois e depois do volume três. Com isso, já no último ano, o aluno ia ter base para que a Física Moderna fosse trabalhada.</p> <p>(P5) Física Moderna seria a parte final da programação. Na parte final da programação do terceiro ano. Depois que trabalhasse a mecânica, a termodinâmica, ondas, quem sabe ótica, a eletricidade que no terceiro ano. Assim, quando terminasse toda a programação da Física Clássica, aí começava com a Física Moderna.</p>
(1) Os símbolos P1, P2, etc, referem-se à identificação dos cinco professores entrevistados.	

A fim de investigar possível relação entre tais posicionamentos e as características do ensino superior cursado por estes jovens professores, os pesquisadores incluíram em suas entrevistas diálogos acerca do desenvolvimento das disciplinas relativas ao ensino de FMC por eles cursadas, revelando-se que as aulas de mecânica quântica eram especialmente marcadas pela *“repetição dos conteúdos pelo docente, seguindo a mesma sequência dos livros didáticos, exercícios de fixação e repetição dos mesmos pelos licenciandos nas avaliações”*. Constatada tal evidência de uma formação alheia à perspectiva de uma educação científica crítica e emancipatória, Monteiro et al. (2009) opinam que para se alcançar sucesso nas

propostas de inserções contextualizadas de FMC é imprescindível discutir outras perspectivas para a formação de professores de física, sendo mais urgente dotar os futuros professores de uma compreensão efetiva da ciência em geral do que preocupar-se em demasia com a modernização curricular da educação básica.

Concordo com Monteiro et al. (2009) no que tange à necessidade de uma transformação radical nos cursos superiores que tenha como perspectiva uma educação crítica e emancipatória, necessidade essa que vejo extensível aos programas de formação contínua e em serviço. Pondero, no entanto, que me parece utópico supor que as instituições públicas possam oferecer tal formação na quantidade, qualidade e agilidade necessárias, sendo inclusive preciso reconhecer que os educadores eventualmente responsáveis por tal formação não necessariamente teriam a concepção do conhecimento em rede defendida nesta tese.

Nesse sentido, é pertinente observar o movimento internacional de inserção da física quântica nos currículos oficiais da escola média. O quadro 6 sintetiza os resultados da pesquisa realizada por Lobato e Greca (2005) na qual se constata que na maioria dos casos analisados (Portugal, Espanha, França, Canadá e Itália) a quântica somente é introduzida ao final da escola básica, com Suécia e Dinamarca se diferenciando pela presença da física de partículas no primeiro ano, relacionada com a constituição da matéria e no segundo ano, com as reações nucleares. Segundo as pesquisadoras, especial destaque merece o Reino Unido em que a física das partículas aparece logo no início do curso, antes mesmo da mecânica e com referências à eletrodinâmica quântica (QED) de Feynman.

Ainda que a pesquisa de Lobato e Greca (2005) não tenha abordado o assunto, me parece razoável supor que educadores de física de reconhecido renome em seus países tenham participado na elaboração de cada um dos currículos oficiais por elas analisados, educadores esses geralmente exercendo a função de formadores de professores em cursos universitários. Mesmo no Brasil, em que os documentos educacionais oficiais, construídos com a participação de profissionais de reconhecida trajetória em prol de uma educação integradora, combatem o conteudismo e orientam para o desenvolvimento de competências e habilidades, em que o *Programa Nacional do Livro Didático* (PNLD) tem incentivado a elaboração de obras didáticas que privilegiem o enredamento de conteúdos e em que os currículos oficiais de alguns Estados (como São Paulo e Minas Gerais) apresentam boa interação interdisciplinar, as grades curriculares das licenciaturas em física mais se assemelham à absolutização do sequenciamento linear de conteúdos do que a uma perspectiva de ensino e aprendizagem em rede.

Quadro 6 – Inserção da Teoria Quântica (TQ) nos currículos oficiais da escola média em alguns países.

País	Estratégias de introdução de TQ	Altura de introdução da TQ	Tempo previsto	Temas abordados	Aplicações TQ mencionadas
Portugal	Tradicional (1); mudança de Paradigma (2).	Fim do ensino secundário.	17% do currículo do último ano.	Quantização; dualidade; princípio de incerteza.	Microscópio eletrônico; radioatividade; fusão e fissão nucleares.
Espanha	Tradicional; mudança de Paradigma.	Fim do ensino secundário.	30% do currículo do último ano.	Quantização; dualidade; princípio de incerteza; determinismo.	Física nuclear; radioatividade; fusão e fissão; física de partículas.
França	Mudança de Paradigma.	Fim do ensino secundário.		Quantização; constante de Planck.	
Reino Unido	Física de partículas; QED.	Início do ensino secundário e retomado em seu final	28% do currículo de 2 anos.	Interferência; difração; dualidade; quantização.	Efeito fotoelétrico; microscópios eletrônicos.
Dinamarca		1º ano + 2º ano.		Física atômica e nuclear	Astrofísica .
Suécia		1º ano + 2º ano.		Física atômica e nuclear	Astrofísica; estado sólido
Canadá		Último ano (pelo menos).		Física de partículas; quantização	Contribuições canadenses à Física Moderna.
Austrália				Física atômica e nuclear.	Dualidade; dispersão; Espectros.
Itália	Tradicional.	Fim do ensino secundário.		Constante de Planck; efeito fotoelétrico; modelos atômicos; dualidade; princípio de incerteza.	
Finlândia	Tradicional/experimental.			Quantização; física de partículas.	Efeito fotoelétrico.

FONTE: Lobato e Greca (2005).

(1) Estratégia de desenvolver o ensino da quântica (e o da física em seu conjunto) de acordo com a sequência histórica, cronológica dos acontecimentos.

(2) Estratégia que destaca a mudança de paradigma promovida pela TQ frente à física clássica.

O problema é, enfim, bem mais complexo, não parecendo fazer sentido delegar a necessária mudança da escola média a uma improvável reforma universitária. Talvez seja mesmo o caminho oposto aquele a ser trilhado, com as mudanças na universidade sendo decorrência de profundas alterações na escola média. Ao menos de imediato não há, enfim, escapatória: professores convencidos da necessidade da inserção curricular da física quântica na escola média e cientes de lacunas na sua formação, além de reivindicarem ações governamentais quanto ao incentivo à melhoria dos programas de formação inicial e contínua,

precisam promover sua própria atualização em serviço e, nessa medida, atuarem como professores pesquisadores.

Essa discussão sobre algumas das dificuldades apontadas para a inserção curricular da física quântica na escola média tem a intenção de tão somente contribuir para sua superação rumo à percepção de facilitações ao processo de ensino e aprendizagem que podem ser proporcionadas por abrangentes abordagens da física quântica. Como reflexo disso no campo das pesquisas em ensino, diria que é preciso ultrapassar a fase da defesa da inserção curricular da física quântica na escola média com esse ou aquele tópico e avançar à percepção de que ela auxilia na tecedura da rede conceitual, tanto no nível médio, como superior.

5 PRÁTICAS NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Três diferentes domínios ou noções de rede foram trabalhados nos capítulos precedentes: um campo de conhecimento, a física quântica, como promotor de pontes conceituais e práticas entre diversas áreas e contextos; a percepção das redes enquanto grafos, caracterizados pelas propriedades topológicas de seus nós e *links*; a concepção do conhecimento como feixe de relações entre os nós de uma rede de significados.

Ainda que cada um destes domínios tenha via própria de desenvolvimento e apresente potencial para se estabelecer enquanto único objeto de investigação acadêmica em educação, a opção aqui feita foi a de trabalhar suas interconexões, aspecto já ensaiado ao longo do texto, mas que será agora destacado na descrição e análise de algumas práticas na formação de professores. É, assim, como uma nova grande rede, na qual confluem as três redes anteriormente tratadas, que se propõe caracterizar o presente capítulo.

Vale esclarecer que as práticas aqui expostas não são aplicações *a posteriori* de um desenvolvimento teórico prévio ou a realização de uma intenção pedagógica absoluta. Efetivamente, a elaboração teórica foi concomitante e em parte posterior mesmo aos cursos aqui descritos, tendo tanto corroborado com a teoria quanto dela se beneficiado. Isto é especialmente pertinente para o que aqui se apresentará sobre o uso da mineração de textos na construção de nuvens de palavras e redes semânticas ou conceituais, técnicas em que se obteve razoável domínio já em meio ao afastamento concedido pelo IFSP-SP. Como se verá, tais técnicas foram utilizadas pelo pesquisador na análise de algumas produções discentes e não como instrumentos praticados pelos licenciandos.

É também oportuno resgatar o histórico descrito na introdução desta tese quanto ao fato de que a própria prática na formação de professores foi iniciada simultaneamente à aprovação neste programa de pós-graduação. Se é verdade que isto trouxe certa apreensão, necessidade de novos aprendizados e maior dosagem do tempo destinado às leituras e estudos vinculados à pesquisa acadêmica, é também verdade que possibilitou atuar na licenciatura tendo na escola básica madura experiência, fator em muito favorável ao desenvolvimento de práticas mais significativas junto aos discentes do IFSP-SP. Tal peculiaridade é aqui lembrada como forma de melhor contextualizar e coerir as diversas atividades descritas neste capítulo enquanto docente de duas disciplinas associadas ao ensino de física quântica, bem como enquanto organizador de um ambiente virtual de ensino e aprendizagem.

5.1 OFICINAS DE PROJETOS DE ENSINO

Dentre o rol de disciplinas que compõem a grade curricular da Licenciatura em Física do IFSP-SP, as *Oficinas de Projeto de Ensino* oferecidas a partir do 5º semestre, visam a elaboração de iniciativas de autoria vinculadas à orientação de estágios:

As oficinas de projetos de ensino são espaços no currículo destinados às iniciativas autorais dos futuros professores nas áreas da experimentação e da inovação didática atreladas às práticas de ensino e aos estágios curriculares. A partir da definição dos seus projetos de pesquisa, elaborados em consonância com a proposta curricular proposta pelo docente responsável pela respectiva oficina, os alunos passam a receber orientação dos professores formadores (IFSP-SP, Ementa – PE4Z8²⁷, 2010).

Nessa perspectiva, das cinco aulas (de 45 minutos) semanais, duas são reservadas para orientações individuais acerca da elaboração e aplicação dos projetos de estágio, com cada aluno sendo periodicamente convocado ao longo do semestre. A grade horária semanal é elaborada de forma a incentivar que no dia da semana previsto para estas duas aulas (normalmente manhãs de segundas ou quartas-feiras), o licenciando apenas participe de disciplinas vinculadas a estágios, de forma a se organizar para ter um dia da semana integralmente vinculado ao desenvolvimento e aplicação de seu(s) projeto(s), seja para participar de sessões de orientação individual, seja para cumprir seu tempo de estágio na(s) escola(s) de ensino médio escolhida(s). Nas outras três aulas semanais, o professor do IFSP-SP responsável pela oficina oferece orientações coletivas acerca dos referenciais teóricos e metodológicos a ela inerentes, exemplifica possíveis aplicações e organiza espaços de trocas de experiência entre os licenciandos.

É dentro desse quadro geral que se inserem as *Oficinas de inserção da física quântica na escola média em rede com a física clássica e/ou outras disciplinas e áreas* (OFICINAS), por mim aplicadas ao longo de sete semestres, desde 2010 a 2013. A ideia central é que ao longo do semestre o licenciando elabore e aplique em sua regência uma sequência didática de inserção da física quântica contextualizada ao conteúdo em discussão na turma em que tal regência ocorrerá. Não há restrição quanto à série, ao bimestre, ao tipo de escola, à quantidade de horas-aulas em que se dará a regência, à quantidade de alunos nela presentes ou ao conteúdo. Há restrições, sim, quanto a projetos que não proponham conexões entre conteúdos ou áreas, apresentando a física quântica como um arquivo a mais a ser adicionado à coleção de conteúdos geralmente associados ao ensino de física.

²⁷ Os códigos das disciplinas da Licenciatura em Física do IFSP-SP explicitam a qual semestre da grade curricular ela pertence, com Z1 se referindo ao 1º semestre, Z2 ao 2º semestre e assim por diante.

Uma das primeiras tensões provocadas por essa proposta é a busca pelo licenciando de um professor de física de uma escola de ensino médio que concorde em supervisionar tal tipo de estágio. Não são raros os licenciandos que relatam insucesso em suas solicitações de estágio ao expor o propósito das OFICINAS. Em sua maior parte, as justificativas apontadas pelos professores giram em torno de eventuais atrasos no planejamento que a regência poderia causar. Pelos relatos dos licenciandos, no entanto, percebe-se que muitas vezes tal justificativa esconde inseguranças do professor quanto à ideia da inserção da física quântica, seja por duvidar da qualidade do trabalho que o licenciando possa realizar, por recear que após a regência os alunos queiram continuar a discussão de algo para ele desconhecido ou mesmo por considerar que os alunos não tenham maturidade para o aprendizado do assunto.

Encontrado o professor que aceite a aplicação da regência, nem sempre está sinalizada uma via tranquila para o licenciando, haja vista que o aceite de alguns professores se baseia muito mais em considerar a ação do licenciando como algo completamente à parte de seus cursos, sem se disporem a qualquer interação que vise a construção conjunta de uma regência articulada com os planejamentos previamente elaborados. Além disso, são muitas as variáveis em jogo ao longo de um semestre escolar, sendo frequente ocorrer quebra nos combinados quanto ao número de aulas disponíveis para aplicação da regência, obrigando o licenciando a ajustes de última hora em seu próprio plano de trabalho.

A reflexão sobre esta tensão quanto à relação com o professor supervisor de estágio foi fator chave no amadurecimento das OFICINAS no sentido de instigar o desenvolvimento de projetos que transcendessem em larga escala a aplicação da regência na escola média. Embora as regências continuassem sendo o ponto culminante das OFICINAS, a preocupação para com a aferição do aprendizado dos alunos como resultado de suas aplicações foi amenizada. Ampliou-se, em compensação, a atenção para com o desenvolvimento das pesquisas e aprendizados do próprio licenciando que lhe proporcionassem ganhos em sua visão do conhecimento como rede de significados.

Embora esta alteração tenha se dado progressivamente ao longo dos sete semestres de aplicação das OFICINAS, é no desenvolvimento das atividades dos três últimos semestres que ela se fez mais nítida, razão pela qual na análise a seguir as OFICINAS destes três semestres se apresentarão agrupadas em um conjunto subsequente ao conjunto formado pelas primeiras OFICINAS. Não por acaso, estes agrupamentos correspondem ao período anterior e posterior de minha participação no XIV EPEF e da realização da qualificação do doutoramento vinculado a esta tese, eventos anunciados no capítulo introdutório como

inspiradores de importantes aprofundamentos teóricos e da melhor delimitação da pesquisa, que passou a focar a física quântica e não todo o universo da física moderna e contemporânea.

5.1.1 OFICINAS – Fase I

A primeira versão das OFICINAS (OFICINAS_V1) foi aplicada no 1º semestre de 2010 como *Oficinas de Projetos de Ensino 1* (PE1Z5), vinculada, assim, aos componentes curriculares sugeridos para os licenciandos do 5º semestre. Tratava-se de uma estreia tanto para mim, recém-ingressante no IFSP-SP e apreensivo com os desafios de lidar com um curso de nível superior, como para os alunos que, em sua maioria, teriam sua primeira experiência com estágios e com o próprio aprendizado da física moderna e contemporânea²⁸. Diante desta conjuntura, foi muito positivo o fato dos 10 alunos efetivamente participantes²⁹ do curso terem aceitado com disposição o desafio proposto pela oficina e conseguido desenvolver e aplicar em suas regências projetos de inserção da física moderna e contemporânea vinculados a outros conteúdos. Trataram-se, no entanto, de inserções muito pontuais e frágeis, ainda distantes da ideia do estabelecimento de redes de conteúdos.

No 2º semestre de 2010, a segunda versão das OFICINAS, (OFICINAS_V2), desenvolveu-se como *Oficinas de Projetos de Ensino 4* (PE4Z8), com boa parte dos alunos encaminhando-se para o fechamento do curso. A diversificação encontrada nas séries de aplicação, abordagens e interligações com outros conteúdos e áreas que caracterizaram os projetos elaborados pelos 25 licenciandos que participaram da disciplina pode ser percebida

²⁸ É justamente a partir do 5º semestre que disciplinas diretamente associadas à física moderna e contemporânea são previstas na grade curricular do IFSP-SP, com os seguintes focos de estudo:

FMOZ5 (Introdução à Física Moderna): teorias da relatividade.

ESMZ5 (Estrutura da Matéria): efeito fotoelétrico, radiações ionizantes, átomo de Bohr, dualidade onda-partícula

FAMZ6 (Física Atômica e Molecular): equação de Schroedinger, quantização do momento angular e da energia do átomo de hidrogênio, conceito de spin o elétron, princípio da exclusão e a tabela periódica dos elementos, efeito Zeeman, física estatística quântica e as distribuições de Bose-Einstein e Fermi-Dirac, ligações moleculares (iônica, covalente e híbridas) e espectros de emissão e absorção.

FNPZ7 (Física Nuclear e de Partículas): propriedades do núcleo atômico, energia de ligação, reações nucleares, radioatividade, conversão de massa em energia, processos de fissão, fusão e reator nucleares, usos e efeitos biológicos da radiação, classificação e propriedades das partículas elementares, Modelo Padrão, teoria do Big Bang.

FESZ7 (Física do Estado Sólido): condução elétrica nos materiais, teorias de bandas, emissão de fótons, foto-condução, diodos, transistores e componentes eletrônicos em geral.

ASTZ8 (Astronomia): vida e morte das estrelas e modelos cosmológicos (além de uma ampla discussão sobre diversos fenômenos astronômicos não usualmente classificados como FMC).

²⁹ Vale informar que é alta a taxa de evasão no conjunto das disciplinas do curso, sendo raros os casos de identificação entre o número de matriculados o número de efetivos participantes.

pelo quadro 7 contido em trabalho apresentado no XIII EPEF (CANATO JR., 2011), ainda contextualizado pela identificação daquelas duas redes de significações citadas no capítulo introdutório: uma diretamente estabelecida entre conteúdos típicos das ciências naturais e outra indiretamente promovida pelas tecnologias que interligam as ciências naturais com outras áreas do conhecimento (ver figura 1A, página 13).

Quadro 7 - Projetos desenvolvidos na OFICINAS_V2 (2º semestre de 2010), com a simbologia P1, P2, etc, indicativa da identificação dos 25 projetos, alguns dos quais aplicados em duas ou mais séries da EM.

Seriação	Redes	Agrupamentos de abordagens e temas utilizados	Projetos
1 EM	Conteúdos	Comparações entre a relatividade de Newton e Einstein; o conceito de força e as quatro forças fundamentais; brilhos/cores de estrelas, fusão nuclear e espectros ópticos dos elementos químicos (EO); o conceito de energia e o uso da energia nuclear (EN).	P1, P5, P9, P11, P22, P24
	Tecnologias	Relações entre a Teoria da Relatividade (TR) e as Artes (EM e EJA).	P13 e P15
2 EM	Conteúdos	Luz, cor e os EO; ondas, música e a interpretação ondulatória da matéria; luz, efeito fotoelétrico (EF) e dualidade onda partícula; o conceito de energia e o uso da EN.	P5, P6, P7, P12, P17, P19, P23
	Tecnologias	Física na medicina (raios X, radiações em geral, radioatividade, diagnósticos/terapias de tumores).	P2, P10, P20, P25
3 EM	Conteúdos	A TR e suas implicações na detecção de partículas cósmicas; as estrelas e a relação entre seus brilhos e cores com os EO; o conceito de energia e o uso da EN; luz, EF e suas implicações no funcionamento de aparelhos de uso cotidiano;	P3, P5, P8, P14, P16, P21
	Tecnologias	Física na medicina (diagnósticos e tratamentos por radiação); a presença da FMC nas diferentes mídias (jornais, revistas, filmes, poemas) (EM e EJA).	P4, P10, P13, P18

Foi também com uma turma de *Oficinas de Projetos de Ensino 4* que se trabalhou no 1º semestre de 2011 na terceira versão das OFICINAS, (OFICINAS_V3). Nessa oportunidade foram 11 os licenciandos participantes que apresentaram os projetos de temáticas descritas no quadro 8. Semelhante ao verificado com a turma anterior, tais projetos apresentaram diversidade nas abordagens e interligações com outros conteúdos e áreas. Quanto às séries de aplicação, houve preponderância para o trabalho com alunos do terceiro ano de escolas públicas estaduais. Vale registrar, no entanto, que por se tratar do 1º semestre do ano letivo, essa preponderância não reflete qualquer tendência à concepção de que a física moderna e contemporânea somente deva ser ensinada após o aprendizado da física clássica. Mesmo ao trabalharem com professores adeptos da *Proposta Curricular do Estado de SP* (SÃO PAULO, 2008), os licenciandos precisaram negociar o recorte que seria feito no planejamento escolar original a fim de inserir o tema proposto, haja vista que naquela proposta a abordagem da física moderna e contemporânea é prevista apenas no 2º semestre.

Quadro 8 – Temáticas dos projetos trabalhados na OFICINAS_V3 - 1º semestre de 2011

Projeto	Seriação	Tema
P1	3	O laser e suas aplicações nos diversos ramos da ciência e tecnologia.
P2	3	Efeito Doppler relativístico e suas conexões com a história, filosofia e astronomia.
P3	3	Energia Nuclear interligando física, química, biologia, história, geografia, geopolítica, medicina e meio ambiente.
P4	2	Vida e morte das estrelas, com construção e uso de espectroscópio e discussão acerca de outros instrumentos ópticos utilizados em astronomia, como telescópios e lunetas.
P5	3	Da origem da ideia atômica às bombas nucleares.
P6	3	Luz, Energia e Tecnologia.
P7	3	A partir do questionamento científico da visão de raios X do Super-Homem, apresentar o funcionamento da visão humana e as radiações do espectro eletromagnético.
P8	2	A partir de um histórico da evolução dos meios de informação e comunicação, desvendar a física da emissão de informações por um controle remoto e sua recepção por um aparelho de TV.
P9	3 (EJA)	Análise da possibilidade de vida em outros locais do Universo.
P10	2	A Física Nuclear nas Artes, na Alimentação, na Medicina e na Arqueologia.
P11	3	Circuitos elétricos e modelos atômicos.

Quanto às dificuldades nas elaborações e aplicações dos projetos também se manifestaram semelhanças com o histórico da turma anterior, com o conjunto dos licenciandos participantes da disciplina encarando a proposta de “tecer a teia com a física moderna e contemporânea” como um instigante desafio a ser vencido, haja vista o autorreconhecimento de lacunas em suas formações quanto ao estabelecimento de conexões até mesmo entre distintos conteúdos de física.

A 4ª versão das OFICINAS (OFICINAS_V4) no 2º semestre de 2011 foi atípica, inserida em um conflituoso contexto de um longo movimento paredista dos professores do IFSP-SP, resultando em um desgastante processo de reposição de aulas que comprimiu em dois meses as aulas previstas para todo o semestre. Em sua primeira versão como *Oficinas de projetos de Ensino 3* (PE3Z7), as OFICINAS não puderam, assim, contar com a aplicação das regências vinculadas aos projetos elaborados pelos 13 licenciandos participantes da disciplina e mesmo a elaboração desses projetos foi prejudicada pelo pouco tempo de reflexão por parte do licenciando e do orientador, resultando na apresentação de trabalhos pouco amadurecidos.

Com certa oscilação quanto à qualidade das atividades desenvolvidas, a primeira fase das OFICINAS contou, assim, com a elaboração de 59 projetos, 46 dos quais vinculados a regências exercidas majoritariamente em escolas públicas estaduais e com boa distribuição nas três séries do ensino médio e nos temas de física moderna e contemporânea escolhidos como núcleo para o estabelecimento de conexões com outros conteúdos e áreas.

Todos os projetos se formalizaram mediante a elaboração pelo licenciando de um documento oficialmente denominado de ANEXO 4, doravante chamado PROJETO,

componente obrigatório para validação de estágios integrantes da Licenciatura em Física do IFSP-SP. De um modo geral, a orientação para elaboração desse documento no contexto destas primeiras OFICINAS visava três aspectos: (a) caracterização do contexto escolar de realização do estágio, (descrição e análise das ações didático-pedagógicas do professor supervisor do estágio e de seu planejamento, das características dos alunos da escola e da infraestrutura da escola e de seu entorno, etc.); (b) apresentação e justificativa, com base em referências bibliográficas adequadas e ao contexto escolar analisado, da sequência didática de inserção da física moderna e contemporânea a ser aplicada na futura regência, preferencialmente contendo previsões de avaliações diagnósticas prévias e posteriores a essa regência; (c) descrição e análise da regência realizada e da correspondente versão das OFICINAS.

As aulas por mim ministradas ao longo das primeiras versões das OFICINAS seguiram geralmente o roteiro de (a) iniciar com uma avaliação diagnóstica por meio do passatempo de palavras cruzadas exposto no capítulo anterior, (b) apresentar pressupostos teóricos (trabalho por mim apresentado ao VII ENPEC, excertos dos PCN e outros documentos educacionais oficiais, além de excertos de minha dissertação de mestrado), (c) exemplificar possíveis regências da inserção em rede da física quântica na escola média (tais como as sequências didáticas descritas no item 4.4 deste texto), (d) coordenar discussões coletivas sobre a elaboração dos projetos por parte dos licenciandos, (e) coordenar a apresentação de seminários de apresentação de cada projeto ou sua exposição no ambiente virtual *fisicaemrede.com*, (f) orientar o desenvolvimento de cada projeto e da elaboração dos PROJETOS nas sessões de orientação individual.

Dentro desse quadro geral e apesar do prejuízo quanto à elaboração e aplicação dos projetos, o desenvolvimento da OFICINAS_V4 contou com atividades diferenciadas, já sugestivas de um percurso mais reflexivo e direcionado aos objetivos da investigação associada ao presente texto. Exemplo disso é a orientação para inclusão no PROJETO de investigações acerca da contradição entre a marcante presença da física moderna e contemporânea na vivência da comunidade escolar e de seu entorno *versus* sua ausência ou tímida presença no currículo da escola e no material didático disponibilizado aos alunos. Ainda que já implicitamente presente nas OFICINAS anteriores, era a primeira vez que tal orientação se fazia explícita.

Foi também na OFICINAS_V4 que se intensificou o uso do ambiente virtual *fisicaemrede.com*, seja como repositório e registro dos textos e atividades desenvolvidos ao longo do curso, seja como formulação de atividades de reflexão visando enriquecer a

compreensão dos licenciandos quanto à problemática em jogo nas OFICINAS. Exemplo disso é a atividade “*Investigando a inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*”, em que tendo por base aquele texto do início do dia de trabalho de uma secretária de *telemarketing* (ver página 38), se solicita a elaboração de textos reflexivos a partir das questões apresentadas no quadro 9.

Quadro 9 – Questões-problema componentes da atividade “*Investigando a inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*” em que se orientou a elaboração de textos reflexivos por parte dos licenciandos participantes da OFICINAS_V4.

(a) A exemplo do relato de atividades descritas no texto (1), indique equipamentos e sistemas com os quais você se depara em um dia típico de sua vida, cuja concepção e operação dependam de conhecimentos físicos; (b) Classifique os objetos/aparelhos citados no texto de abertura desta atividade e em sua resposta anterior como vinculados ao contexto da física clássica ou ao contexto da teoria quântica; (c) Para cada um desses sistemas, situe a década, se recente, ou o período histórico, se antigo, no qual suas primeiras versões foram concebidas (por exemplo, as dobradiças existem há milênios, mas os lasers, só há décadas); (d) Escolha três objetos/aparelhos por você classificados como vinculados ao contexto da teoria quântica e outros três que você tenha vinculado ao contexto da física clássica para explicar seus funcionamentos.

(1) O texto em questão é o apresentado à página 38, referente ao fictício início de um dia de trabalho de uma secretária de *telemarketing*.

Após postagem de respostas individuais seguidas de críticas e réplicas internas a grupos automaticamente montados pelo ambiente virtual, fez-se discussão coletiva presencial do conjunto das respostas, ação que contextualizou nova atividade intitulada “*Ritmo e consequências da inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*” com a solicitação das respostas contidas no quadro 10. Mostra da rica discussão suscitada por tais questões pode ser observada no APÊNDICE B.

Quadro 10 – Questões-problema componentes da atividade “*Ritmo e consequências da inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*”, conforme apresentadas aos licenciandos participantes da OFICINAS_V4.

(a) A vida moderna é impregnada de elementos tecnológicos, sendo a alfabetização científica e tecnológica quase tão imprescindível quanto a alfabetização vinculada ao letramento; (b) Diversos objetos/aparelhos de uso cotidiano são complexos, com seu funcionamento vinculado a ambos os contextos clássico e quântico; (c) O desenvolvimento da teoria quântica tem proporcionado uma aceleração do uso tecnológico em nosso cotidiano qualitativamente superior a qualquer outra época da história humana; (d) Apesar de intimamente impregnados em nosso cotidiano e contexto social, esses “objetos/aparelhos quânticos” apresentam grande opacidade conceitual, sendo poucos os professores de física, mesmo universitários, que saberiam, por exemplo, apontar a função dos diversos elementos que compõem um aparelho de telefonia celular ou um aparelho de CD. No entanto, há cerca de uma década, ainda era comum no Brasil o uso de aparelhos de telefone em que os transdutores podiam ser retirados com facilidade e, eventualmente, reparados de alguma avaria. A mesma comparação pode ser feita entre uma máquina de escrever e o teclado dos computadores ou entre um antigo rádio a válvulas e os modernos aparelhos de som, com seus vários circuitos integrados.

5.1.2 OFICINAS – Fase II

A quinta versão das OFICINAS (OFICINAS_V5) foi marcada por considerável remodelação no curso, a começar por utilizar as questões reflexivas descritas no item anterior como parte de uma avaliação diagnóstica (APÊNDICE C) aplicada na primeira semana de aula da OFICINAS_V5. Há aqui uma dupla intenção: permitir ao pesquisador confrontar as opiniões dos licenciandos antes e depois do curso (com aplicação de questões idênticas ou similares ao final do semestre) e abrir logo o jogo com o aluno, apresentando-lhe as ideias e polêmicas centrais que nortearão as discussões ao longo do semestre.

Percepção de incongruências nas respostas postadas acarretou a elaboração da estratégia apresentada no quadro 11, aplicada na 2ª semana do curso, visando melhor diagnosticar possíveis discordâncias dos licenciandos frente à não necessidade de aplicação da tradicional linearidade no ensino de física na escola média, além de realizar a primeira aproximação ao tema central do curso.

Quadro 11 – Sequência de procedimentos desenvolvidos na OFICINAS_V5 após percepção de incongruências nas respostas apresentadas pelos licenciandos à avaliação diagnóstica aplicada na primeira semana do curso.

- (a) Abertura da aula com reflexões individuais e coletivas com base na pergunta problema “*Para que ensinar física na escola média?*”;
- (b) Apresentação de trechos de documentos educacionais oficiais (PCN, PCN+ e *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*) que abordam direta ou indiretamente a questão;
- (c) Leitura conjunta daquele relato fictício do início de um dia de trabalho de uma secretária de telemarketing (ver página 38), e reflexão sobre a que campos da física (mecânica, termodinâmica, ...) correspondem cada objeto citado, chegando-se à percepção de que todos esses campos estão presentes ao mesmo tempo em nosso cotidiano, sem obedecer qualquer sequência hierárquica de pré-requisitos de conhecimento;
- (d) Reflexão sobre a classificação de cada objeto como pertencente ao domínio de conhecimento clássico ou quântico, chegando-se à percepção de que a impregnação da microeletrônica no cotidiano da vida moderna tem tornado mais complexa essa questão com diversos objetos pertencendo simultaneamente a esses dois domínios de conhecimento;
- (e) Inserção de nova pergunta problema para reflexão individual e coletiva: “*Como introduzir a física quântica na escola média?*”
- (f) Apresentação de referências que apontam alternativas ao caminho de inserções da física quântica restritas ao final do 3º ano do ensino médio e que indicam a necessidade de se desenvolver uma reformulação no tradicional currículo de física comumente praticado, tais como o desenvolvimento de competências e habilidades defendido nos PCNs, os temas estruturadores sugeridos nos PCN+, a exemplificação de uma possível abordagem para o tema *Matéria e Radiação* exposto nas *Orientações Curriculares para o Ensino Médio* (BRASIL, 2006) as inserções de física quântica que constam do material didático elaborado pelo *Grupo de Reelaboração do Ensino de Física* (GREF, 1998), os módulos de física apresentados na *Coleção Projeto Escola e Cidadania* (SILVA, 2000), a estrutura dos três volumes da *Coleção Quanta Física* (MENEZES et al., 2010) e o trabalho apresentado ao VII ENPEC (CANATO JR., 2009).

O próximo passo dado foi apresentar, na terceira semana do curso, alguns projetos elaborados e aplicados por licenciandos participantes de outras versões das OFICINAS, elencando um deles (*A visão de Raio-X do Super Homem*, apresentada na OFICINAS_V3) para realizar, já na quarta semana do curso, uma análise mais detalhista de suas limitações e possibilidades de reformulação visando maior enredamento interno à física bem como desta para com outras áreas de conhecimento.

Também como parte da quarta semana iniciou-se na OFICINAS_V5 um processo de ensino-aprendizado do uso do *fisicaemrede.com* no sentido de proporcionar ao licenciando noções básicas de como configurar seu próprio curso *Moodle*, em caso de sentir a necessidade de utilizar este recurso durante a aplicação do projeto junto aos alunos da escola média em que seu estágio se realizava. Além disso, como atividade referente à primeira parte do PROJETO, orientou-se a elaboração de um texto, mais tarde apelidado de “*respirando quântica*”, acerca da presença da física quântica no contexto da unidade escolar de cada estágio:

Após algumas ambientações quanto à temática de PE3, é hora de iniciarmos o desenvolvimento da tarefa central do curso, ou seja, elaborar, aplicar e analisar, em qualquer série do Ensino Médio, uma sequência didática de inserção da Física Quântica de maneira integradora a outros campos da Física e a outras áreas de conhecimento, desafio pautado pela ideia da atuação da Física Quântica como promotora do estabelecimento de redes de conhecimento.

Como primeiro passo nesse caminho, a exemplo da atividade desenvolvida na aula de 13/03/2012), orienta-se a investigação da presença da Física Quântica na vivência dos participantes (alunos, professores, funcionários, orientadores e diretores, comunidade escolar em geral) do espaço escolar em que se realizará o estágio.

Cada estagiário deve, assim, desenvolver procedimentos à sua escolha (registros de observações, entrevistas, filmagens, fotos, etc) que possibilitem a materialização dessa investigação na elaboração de um texto que comporá a primeira parte do ANEXO 4 [PROJETO], a ser entregue até 10/04/2012 por postagem de arquivo Word “.doc” neste espaço (OFICINAS_V5 – Notas de aula).

Na sequência, apresentou-se, na quinta semana do curso, a sequência didática *Ondas, música e quântica* (APÊNDICE A.1), solicitando-se, em seu final, que os licenciandos refletissem acerca do seguinte desafio: imaginando tal sequência como uma aula inaugural do 1º ano do ensino médio, supondo total liberdade em sua cátedra e sendo ele o único professor de física que teriam os alunos até a conclusão do ensino básico, de que forma ele organizaria o currículo de física ao longo das três séries do ensino médio? O resultado foi um debate, já adentrando na sexta semana, pautado por duas visões antagônicas, uma marcada pela necessidade de pré-requisitos (óptica geométrica antes de óptica física, eletrostática antes de eletrodinâmica, mecânica antes de qualquer outro campo da física, apresentação de conceitos

antes da discussão fenomenológica) e outra marcada por sempre procurar iniciar a discussão pela fenomenologia, ficando em segundo plano o ordenamento do conteúdo (funcionamento de radares e GPS como continuidade à sequência *Ondas, música e quântica*, experimentos e demonstrações com espelhos, lentes e *lasers* antes da apresentação de conceitos da óptica geométrica ou física).

Na mesma semana iniciou-se a discussão coletiva das ideias de projetos formuladas pelos licenciandos. Em uma primeira etapa, que se estendeu por mais duas semanas de aula, adotou-se a estratégia de fomentar o desenvolvimento das mais amplas percepções de conexões entre os campos da física e destes para com outras áreas de conhecimento possibilitadas pelo tema escolhido pelo licenciando para, em seguida, já como parte da nona semana de aula, elaborar recortes dessa percepção geral visando a regência concretamente a ser aplicada em cada estágio. Feita a discussão, apresentou-se a seguinte orientação para a formulação da segunda parte do PROJETO:

Conforme discutido em aula de 24/04/2012, cada estagiário deve postar até 07/05/2012, arquivo em formato Word, ".doc", relativo à 2ª parte do ANEXO 4 [PROJETO], contendo:

- Apresentação da temática escolhida para o estágio da forma a mais ampla possível, de maneira a possibilitar a escolha de diversos recortes ou sequências didáticas. Ainda que seja recomendável a elaboração de esquemas/mapas conceituais, sua apresentação não elimina a necessidade da redação de descrições e argumentações que expliquem e justifiquem as conexões indicadas.
- Apresentação do recorte escolhido dessa temática para aplicação concreta em regência a ser exercida na escola em que se realiza o estágio. Novamente, vale a observação da necessidade em se regir um texto que descreva, explique e justifique a opção indicada, preferencialmente acompanhado de esquemas/mapas conceituais.
- Apresentação "aula a aula" da sequência didática planejada e acordada com o professor supervisor do estágio, incluindo avaliações diagnósticas antes e pós regência. (OFICINAS_V5 – Notas de aula).

Ainda que nas demais dez semanas do curso o pesquisador tenha elaborado e aplicado novas atividades relativas à temática geral das OFICINAS, a pauta central do restante do curso foi o trabalho com os temas e sequências didáticas relativas aos projetos elaborados pelos estagiários, com o pesquisador atuando como fomentador de seus aprofundamentos e extensões. Como atividade final do curso, foi solicitada a junção em um único documento dos textos anteriormente entregues, bem como da descrição e análise da regência realizada:

Espaço para envio de arquivo Word (.doc) referente à versão completa do Anexo 4 [PROJETO], com a incorporação contextualizada da descrição e análise da aplicação de seu projeto aos itens anteriormente já trabalhados. Por incorporação contextualizada entenda-se que não se trata de uma mera junção de três itens, mas sim, de um novo documento, coeso, em que cada parte dialoga com o conjunto do texto e pelo qual você demonstra conhecimento de algumas referências

bibliográficas referente à temática de nosso curso e de seu projeto. (OFICINAS_V5 – Notas de aula).

Sempre contando com incorporações de novos aportes teóricos e atividades, as duas últimas versões das OFICINAS transcorreram de maneira similar a essa sequência aplicada na OFICINAS_V5, justificando seu agrupamento como uma fase diferenciada do ocorrido nos semestres anteriores. Em síntese, todos os 34 projetos apresentados nesta segunda fase (5 na OFICINAS_V5, 18 na OFICINAS_V6 e 11 na OFICINAS_V7), todos no contexto da disciplina *Oficinas de Projetos de Ensino 3* (PE3Z7), foram construídos em base à reflexão da elaboração de textos que se unificavam na entrega completa do PROJETO ao final do curso contendo essencialmente (a) análise da presença da física quântica no contexto escolar, (b) apresentação da temática escolhida da forma mais ampla possível, de maneira a possibilitar a escolha de diversos recortes ou sequências didáticas (redes conceituais), (c) apresentação do recorte escolhido para aplicação concreta na futura regência, (d) apresentação aula a aula da sequência didática planejada, (e) descrição e análise da regência e (e) análise crítica do curso de PE3.

Por representarem o objetivo central das OFICINAS, serem atividades desafiantes e decisivas para o conjunto do curso e bem ecoarem as ideias defendidas no presente trabalho, os dois primeiros itens acima indicados constituem-se como essenciais objetos de análise a serem contemplados na sequência do texto que toma como amostra os trabalhos desenvolvidos pelos participantes da OFICINAS_V7.

5.1.2.1 Respirando quântica

A fim de melhor representar a ideia quanto à tarefa de se reconhecer de forma a mais ampla possível a presença da física quântica nos contextos escolares das escolas em que se realizavam os estágios, formulou-se a metáfora do desejo de se “respirar quântica” conforme se procedesse à leitura das narrativas elaboradas pelos licenciandos.

Três fragilidades centrais foram notadas no desenrolar desta atividade, uma quanto à habilidade dos licenciandos na elaboração de textos completos e coesos, outra quanto às suas percepções da presença de elementos da física teórica, especialmente da física quântica, nos objetos e ações cotidianas e outra referente às suas incompreensões ou mesmo desconhecimentos de diversos elementos teóricos da física. Vale anotar que o perfil de parte, talvez de larga maioria, dos licenciandos do IFSP-SP é o de apresentarem deficiências em suas formações na escola básica e de serem trabalhadores de ramos industriais, comerciais ou

de serviços públicos que veem na carreira do magistério nova perspectiva profissional. Não é raro, por exemplo, deparar-se com a nítida luta contra o sono nas aulas do período matutino manifestada por licenciandos que vararam a noite em seus plantões nas companhias de transporte metropolitano.

Com tais dificuldades em pauta, várias estratégias foram elaboradas para possibilitar maior desenvoltura na confecção dos textos que passaram a ser apelidados de “*respirando quântica*”: exercícios individuais e coletivos para identificação da presença da física quântica no contexto do IFSP-SP ou nas vidas dos próprios licenciandos, escrita coletiva de narrativas referentes a essas identificações, além das devolutivas comentadas dos textos originalmente elaborados visando sua entrega definitiva ao final do curso.

A variedade quanto à qualidade, extensão, aprofundamento e estilo dos textos elaborados para esta primeira parte do PROJETO pelos licenciandos participantes da segunda fase das OFICINAS pode ser analisada por acesso ao ambiente virtual *fisicaemrede.com*³⁰. A título de exemplo dessa variedade, o texto apresentado no capítulo anterior descrevendo o início de um dia da vida do fictício menino Lucas (apresentado à página 109) pode ser confrontado com o estilo não ficcional apresentado no seguinte texto em que o autor procurou abranger o conjunto da escola, cujo esquema com realce aos aspectos quânticos nele identificados pode ser observado na figura 49:

Quando chego ao portão da escola onde faço o meu estágio de PE3 por volta das 7 horas da manhã, preciso tocar um interfone que quando tem seu botão pressionado emite um pulso elétrico através de um fio condutor chegando até a secretaria e aciona uma campainha vibratória e emite uma onda sonora chegando aos ouvidos de quem estiver por lá e respondendo ao meu chamado. Logo após me identificar, sou autorizado a entrar na escola por uma entrada que me coloca numa espécie de hall de espera bem iluminado por lâmpadas fluorescentes contendo gases ionizados que, quando submetidos a uma diferença de potencial bem definida irradiam ondas eletromagnéticas com comprimento de onda na faixa do espectro visível. Essas ondas eletromagnéticas são resultado do movimento de pequenas partículas sem massa denominadas fótons que ao se moverem criam um fluxo de campo elétrico ao seu redor e quando esse fluxo varia cria outro fluxo de campo magnético perpendicular ao fluxo de campo elétrico. Nesse local também se encontra uma câmera de vigilância, essa câmera capta os raios de luz refletidos por mim e incidem no visor, os fótons incidentes colidem com os elétrons do material do visor que ficam excitados e, quando voltam ao normal liberam os fótons com um pequeno desvio seguindo em direção a uma placa receptora transmitindo-os através de um cabo condutor até um computador que converte esses fótons em imagens.

A partir desse local é possível entrar na secretaria que contém diversos computadores com placas feitas de material semicondutor do tipo silício e/ou germânio com diversos componentes sms, transistores, diodos, resistores e capacitores funcionando graças aos movimentos ordenados de elétrons livres nas camadas de valência de diversos átomos. No computador também se encontra o

³⁰ O conjunto dos textos elaborados nestas investigações podem ser lidos em <<http://fisicaemrede.com/course/view.php?id=12&topic=1>> (Acesso em 31. Mar. 2014).

disco rígido armazenando todos os dados do computador em discos de metal que são mantidos a vácuo numa espécie de sistema adiabático para não sofrer influências do meio externo e corromper os dados contidos em seu interior por meio de radiações eletromagnéticas. Além disso, esses computadores estão conectados em rede por cabos específicos que permite aos computadores se comunicarem simultaneamente com qualquer outro computador do mundo através da tecnologia da internet enviando dados em tempo real através de cabos de fibra ótica e modems wi-fi. Saindo da secretaria eu me encontro em um corredor amplo com acesso as salas de aula e à sala da diretoria. Na sala do diretor se encontra um aparelho de som com um display de cristal líquido que organiza os átomos em seu interior de uma forma geométrica bem definida por meio de suas ligações moleculares, há também um aparelho de DVD que lê os arquivos contidos num disco através de comprimentos de ondas e frequências específicas que são convertidos em imagens.

Logo ao lado da sala do diretor há uma sala de vídeo que é utilizada para exibir vídeos e documentários para os alunos em aulas diferenciadas. Para isso, o professor utiliza um computador e um aparelho de data show projetor de imagens do leitor de DVD em um telão preso na parede da sala. Ainda neste corredor, há uma pequena cozinha contendo um forno micro-ondas, quando esse forno é ligado aquece os alimentos através de uma radiação eletromagnética de frequência relativamente baixa se comparado a radiações do espectro visível e/ou de raios x.

Nas demais localidades da escola percebe-se a presença de calculadoras com telas de cristal líquido contendo uma pequena placa semicondutora em seu interior que é conectada a uma fonte de energia contínua. Também nota-se a excessiva presença de celulares dos mais variados tipos e modelos, mas com uma característica em comum: todos se comunicam entre si pela captação de uma onda eletromagnética funcionando por um método chamado triangulação entre dois aparelhos e uma antena que capta o sinal de um aparelho e envia para outro no momento da ligação.

Por fim, há o estacionamento da escola onde se encontra diversos carros estacionados e muitos deles contém aparelho de GPS que também funciona por triangulação, mas com uma pequena diferença dos celulares. O GPS faz a triangulação com um satélite no espaço próximo a Terra e envia a informação de posição e destino ao usuário. Vale lembrar que o satélite em órbita do Planeta se move a velocidades altíssimas se comparado as velocidades na superfície da Terra, isso acontece porque não há atrito no espaço e para que o sistema de triangulação funcione é levado em conta cálculos relativísticos.

Figura 49 – Um “reconhecimento quântico” do contexto escolar.

5.1.2.1.1 Nuvens de palavras como filtros de relevâncias

Conhecidas as pesquisas expostas no Capítulo 3 sobre mineração de textos e construção de redes semânticas e conceituais, surgiu ao pesquisador a ideia de visualizar em rede o conjunto dos onze textos “*respirando quântica*” produzidos pelos licenciandos participantes da OFICINAS_V7. A expectativa gerada foi a de que uma visão global e em rede do conjunto desses textos, pudesse apreender objetos, atividades e fenômenos comumente citados pelos licenciandos em suas buscas pelo “reconhecimento quântico” do contexto escolar.

Faz-se necessário apontar duas ponderações antes de avançar rumo à construção dessa visão global. Objetivando não apenas expor o resultado encontrado em tal investigação, mas também apresentar a técnica utilizada para alcançá-lo, este e o próximo item apresentam descrições e roteiros em quantidade talvez excessiva. Preferiu-se, no entanto, assim redigir a fim de possibilitar maior contribuição às pesquisas sobre o assunto, haja vista a escassa literatura até o momento encontrada sobre isso no ensino de ciências e na área educacional em geral. Mesmo nos citados trabalhos de Brunn (2012), Antiqueira et al. (2005) e Macedo (2010) (ver páginas 79 e 80), o “caminho das pedras” é exposto de forma por demais sintética e fazendo usos de *softwares* de difícil acesso e/ou manuseio.

A segunda ponderação diz respeito à natureza analítica da investigação, não se tratando de uma prática realizada junto aos licenciandos, mas na busca de uma ferramenta que pudesse auxiliar na análise daquela visão global dos textos por eles elaborados. Apreendida somente após o término da OFICINAS_V7, o uso prático desta ferramenta pode ser, sim, projetado em futuras versões das OFICINAS ou em outros projetos vinculados ou não a disciplinas da Licenciatura em Física do IFSP-SP. Exemplo disso poderia ser a consideração daquela visão global como orientadora da reelaboração de cada texto ou de experimentos de construção coletiva de textos.

Uma primeira aproximação para o alcance do pretendido objetivo realizou-se por meio do *Wordle*, *software* descrito no segundo capítulo (ver página 77). No entanto, se utilizado como única ferramenta, este *software* não permite adequada visibilidade dos termos que aqui se quer investigar, sendo necessário “minerar” cada texto com algumas das técnicas também descritas naquele capítulo. Exemplo disso é apresentado na figura 50 em que se pode ver duas imagens relativas à distribuição de palavras componentes do texto relativo àquele fictício menino Lucas (disposto na página 109), a primeira referente ao texto em sua íntegra e

pertencentes à lista de exclusão levariam à exclusão do próprio termo: isoladas, as palavras “estado” e “fundamental” provavelmente não se associam diretamente a conceitos ou fenômenos físicos, com ambas podendo constar da lista de palavras a serem excluídas; já o termo “estado fundamental” associa-se ao estado quântico de menor energia, sendo recomendável sua permanência na versão final do texto trabalhado pelo *Automap*; aplicando-se primeiramente o arquivo de *lematização* contendo o código “estado fundamental, estado-fundamental”, indicativo da inserção do hífen entre as duas palavras, garante-se a manutenção deste termo mesmo após a aplicação da lista das palavras a serem excluídas. Claro que, com isso, se está realizando algo mais abrangente do que a simples *lematização*, com esse título aqui mantido para efeito de melhor conexão com o exposto no segundo capítulo do presente texto (ver também página 79).

A construção destas duas listas não é, no entanto, nada simples, sendo diversos os programas testados pelo pesquisador na tentativa de automatização da tarefa. Não encontrado um programa gratuito contextualizado à linha portuguesa, procedeu-se ao aprendizado quanto ao desenvolvimento de *macros* internas ao processador de texto *Word*, tendo sido desenvolvidas três delas, todas expostas no APÊNDICE D: *macro-I* para a eliminação de acentos, sinais gráficos e outros símbolos; *macro-II* para a formação da lista de palavras a serem excluídas; *macro-III* para composição da lista de palavras a serem associadas em um único termo.

Com eventuais desvios de rota vinculados a tentativas e erros próprios ao aprendizado, pode-se sintetizar o procedimento adotado da seguinte maneira: (a) escolhido um primeiro texto para início de trabalho, aplicava-se a *macro-I* ao conjunto de suas palavras, seguindo-se, depois, para a aplicação das outras duas *macros* às palavras julgadas procedentes, conformando-se, assim, a primeira versão daquelas duas listas de palavras e termos; (b) a cada novo texto a ser trabalhado recorria-se primeiramente à aplicação via editor de texto *Word* da *macro-I*, seguida à aplicação via *Automap* das duas listas conforme então desenvolvidas para, na sequência, abrir novamente no *Word* o texto já modificado e proceder com sua leitura e aplicação das *macros* II e III. Empregada sucessivamente texto a texto, esta sequência recorrente possibilitava a conformação de listas cada vez mais abrangentes, progressivamente diminuindo a dificuldade do trabalho com novos textos.

Apreendida a técnica, procedeu-se com sua aplicação ao conjunto dos textos apresentados pelos onze licenciandos participantes da última versão das OFICINAS. Unificados e inseridos como um só texto no *Wordle*, produziram-se figuras correspondentes a três respectivas situações: (a) textos originais (figura 51A); (b) textos “minerados” de acordo

com a técnica acima descrita (figura 51B); (c) textos “minerados” de forma mais agressiva, com a inclusão de “celular”, “computador”, “foton”, “aparelho”, “eletron”, “imagem”, “cor” e “luz” no arquivo das palavras a serem excluídas (figura 51C). Combinado com as técnicas de “mineração” de texto, o *Wordle* funciona, assim, como um “filtro de relevâncias”, que aplicado ao texto original destaca o “reconhecimento quântico” do contexto escolar relativo às observações daqueles onze estagiários.

A

B

C

Figura 51 – Nuvens de palavras elaboradas pelo *Wordle* referentes ao conjunto dos 11 textos formulados pelos licenciandos participantes da OFICINAS_V7 em suas versões originais (A), tratados com a técnica de “mineração” (B) e tratados com essa mesma técnica de forma mais agressiva (C).

5.1.2.1.2 Redes de palavras como realce ao individual dentro do coletivo

A distribuição de palavras processada pelo *Wordle* não permite verificar suas interconexões, aspecto que pode ser investigado convertendo os textos em redes semânticas com auxílio do próprio *Automap* e do *ORA*³², um dos muitos programas disponíveis na *web* para o trabalho com construção e análise de redes. O procedimento básico consiste em trabalhar o texto no *Automap* conforme anteriormente descrito e gerar por meio deste mesmo programa uma rede semântica a ser aberta e analisada no *ORA*.

Novamente tomando como parâmetro aquele texto relativo ao fictício menino Lucas (disposto na página 109), bem como as definições de centralidades e representações visuais de uma rede, apresentadas no item 3.1 desta tese (ver páginas 55 e 57), elaboraram-se duas imagens através do *ORA*, ambas regidas por um algoritmo baseado no sistema massa-mola, com os nós de maior diâmetro indicativos de maior valor na centralidade de grau (figura 52A) e de intermediação (figura 52B).

Na geração dessa rede algumas opções disponibilizadas pelo *Automap* tiveram que ser feitas. Dentre elas se destaca a escolha pela adjacência entre duas palavras como condição para sua conexão. Assim, do trecho original “*no dia anterior foi dormir tarde porque ficou na casa de um colega do bairro jogando videogame com sensores de presença e dispositivos de vibração de última geração até as 23:00hs*”, resta após a “mineração” de texto a sequência “*casa, videogame, sensor-de-presenca, dispositivo-de-vibracao, geracao*”, termos que se apresentam na rede como nós sucessivamente conectados. Aparecendo uma segunda vez ao longo do texto, entre os vocábulos “*oculos*” e “*cafe*”, o termo “*videogame*” se apresenta com quatro *links* na rede. De forma similar, “*casa*” se apresenta com seis *links* por aparecer em outros dois trechos do texto. É, portanto, com esta lógica aplicada ao conjunto do texto “minerado” que o *Automap* gera a rede.

³² Outro software elaborado pelo CASOS e disponível, sob licença gratuita para uso em pesquisas com funções limitadas para redes até 1000 nós, no endereço <<http://www.casos.cs.cmu.edu/projects/ora/>> (Acesso em 31. Mar. 2014).

A

B

Figura 52 – Redes semânticas correspondentes ao texto do fictício menino Lucas (página 109), com o maior diâmetro do nó vinculando-se à sua maior centralidade de grau (A) e à sua maior centralidade de intermediação (B).

Também há opções a serem feitas quanto ao processo de análise e visualização da rede pelo *ORA*, com as centralidades acima representadas sendo apenas duas dentre dezenas de medidas efetuadas pelo programa. Tal versatilidade abre a perspectiva de futuras investigações quanto a possíveis relações entre os resultados de tais medidas e as características de cada texto. Devido ao aprendizado ainda em fase de amadurecimento, não é possível já apresentar inferências quanto ao assunto, sendo inclusive necessário estudo mais

extenso e profundo acerca das próprias palavras excluídas ou unificadas no processamento da “mineração” de texto³³. A rede representada nas duas figuras anteriores seria, por exemplo, profundamente modificada por eventual exclusão do vocábulo “casa” que apesar de apresentar a mesma centralidade de grau que “luz”, se destaca quanto ao valor de sua centralidade de intermediação.

Objetivando, no entanto, a visão em rede do conjunto dos textos, infere-se considerável diminuição do problema acarretado por eventuais más escolhas feitas na construção dos arquivos utilizados na “mineração”. Nesse sentido, após a geração das redes semânticas correspondentes aos onze textos apresentados na OFICINA_V7, procedeu-se por meio do *ORA* às suas junções resultando na rede composta por cerca de 600 nós e 2200 *links* ilustrada nas figuras 53 e 54, em seu conjunto completo (figura 53) e com destaque aos 20 nós de maior intermediação (figura 54). Como tais figuras foram construídas de forma a representar com maior diâmetro os nós de maior centralidade de grau e com a cor azul os nós de maior centralidade de intermediação, faz-se nítida a grande correspondência entre tais centralidades, com os nós de muitos *links* sendo também nós vitais na conexão entre distintas partes da rede.

Figura 53 - Representação em rede do conjunto dos textos “respirando quântica” apresentados na OFICINA_V7 com centralidades de grau e de intermediação respectivamente associados aos diâmetros e cores dos nós, com a cor azul indicando maior valor de intermediação.

³³ A lista de palavras excluídas e “lematizadas” podem ser respectivamente acessadas nos seguintes endereços eletrônicos: <<http://fisicaemrede.com/mod/resource/view.php?id=2141>> e <<http://fisicaemrede.com/mod/resource/view.php?id=2142>> (Acessos em 31. Mar. 2014).

Figura 54 – Ampliação de escala referente à figura anterior destacando as ligações entre os 20 nós de maior centralidade de intermediação, quase todos também classificados entre os nós de maior centralidade de grau.

Além dos eventuais problemas causados por más escolhas na construção das listas de termos utilizadas no processo de mineração, as opções feitas via *Automap* para a formação da rede também podem provocar inconsistências. A conexão entre “lâmpada-fluorescente” e “computador” disposta na figura 54 é, por exemplo, fruto da opção de que palavras adjacentes poderiam se conectar indistintamente se pertencentes ou não à mesma oração, sentença, ou parágrafo. Recorrendo à leitura dos textos originais, se verifica o posicionamento de “computador” ao final de determinado parágrafo e de “lâmpada-fluorescente” no início do parágrafo seguinte, quando o autor do texto já havia avançado para outro contexto. Tivesse sido feita a opção de restringir conexões a palavras adjacentes e pertencentes ao mesmo parágrafo, não existiria a conexão acima indicada.

Tal opção não resolveria, no entanto, todos os problemas, haja vista que nem sempre alterações de parágrafo correspondem a mudanças de contextos e que, por outro lado, mesmo dentro de um parágrafo, diferenças sentenças podem conter assuntos sem conexão direta. O único modo de resolver com maior precisão o problema seria editar manualmente as conexões, ação que embora permitida pelo *ORA* frustraria seu potencial de automatização no trabalho com grande volume de dados. A melhor perspectiva encontrada foi, enfim, apostar que eventuais inconsistências não prejudicassem o resultado global.

Nesse sentido ganha importância a comparação com as distribuições de palavras feitas pelo *Wordle*, cujo resultado coloca em destaque um conjunto de palavras semelhante às palavras de maior centralidade de grau na rede semântica. Tanto pelas redes visualizadas via *ORA*, como pela distribuição efetuada pelo *Wordle*, o realce no “reconhecimento quântico” do contexto escolar pelos participantes da OFICINAS_V7 se vincula às tecnologias da informação e comunicação. Todavia, além de inferirem as já comentadas possíveis extensões da presente pesquisa rumo ao estudo das estatísticas apresentadas pelo *ORA*, o trabalho com as redes semânticas permite também visualizar o individual dentro do coletivo. Como exemplo, apresenta-se a figura 55 que destaca os nós da rede global associados à rede relativa ao texto do fictício menino Lucas (apresentado na página 109) e à rede relativa ao texto disposto no início do presente item 5.1.2.1 (apresentado na página 153), aquele mais disperso do que este comparativamente ao núcleo central da rede global, fato associado à fuga no primeiro texto para um contexto mais individual do que escolar.

Figura 55 - Representação em rede do conjunto dos textos “respirando quântica” apresentados na OFICINA_V7 (em amarelo) com destaque aos nós (em azul) vinculados a duas redes específicas: (A) a rede formada pelos termos presentes no texto que relata o dia do menino Lucas (página 109), com nós mais periféricos; (B) a rede formada pelos termos presentes no texto apresentado na página 153, composta de nós mais centrais.

5.1.2.2 Redes conceituais

Atividade central das versões das OFICINAS em sua segunda fase, a apresentação da temática escolhida pelo licenciando envolveu a construção de uma representação gráfica acompanhada de um texto dela descritivo. Ainda que tenha sido incentivado o uso do programa *CmapTools*, desenvolvido por seus criadores para a construção de mapas conceituais, o licenciando poderia construir sua representação gráfica como um mapa conceitual clássico, com conceitos conectados por proposições, ou como um feixe de relações entre significados diretamente conectados entre si. As figuras 56 e 57 são representativas de cada uma destas opções, com a primeira delas centrada no tema das radiações e com utilização de palavras ou frases curtas nas ligações entre dois conceitos e com a segunda focada nos semicondutores e com conceitos diretamente ligados entre si.

Figura 56 - Representação gráfica centrada nas radiações, conforme elaborado por licenciando participante da OFICINAS_V7.

Figura 57 - Representação gráfica centrada nos semicondutores, conforme elaborado por licenciando participante da OFICINAS_V7.

Também flexível era a orientação para com a formulação do texto que poderia ser redigido como uma dissertação ordenada em correspondência a determinado percurso imaginado na representação gráfica (sentidos horário e anti-horário, por exemplo) ou por tópicos correspondentes à fragmentação setorial dessa representação. O fundamental era que a futura leitura do texto permitisse clara compreensão das interpretações do autor para as conexões apontadas na representação gráfica. Representação gráfica e texto formavam assim um conjunto que apresentaria a temática escolhida para o estágio da forma a mais ampla possível, de maneira a possibilitar diversas opções para posterior recorte visando a formulação de uma sequência didática.

Momento de tensão e rico aprendizado, as elaborações destas redes conceituais foram progressivamente ganhando maior dimensão frente ao conjunto de atividades realizadas nas OFICINAS. Tensão, pois sendo uma atividade relativamente longa e já ocorrendo após elaboração das descrições do “respirando quântica”, tarefa também nada curta, chocava-se contra a natural tendência do licenciando em logo aplicar a regência prevista como obrigatória para validação de seu estágio. Rico aprendizado porque o estabelecimento de conexões exigia

pesquisa tanto interna como transcendente à física, não raras vezes resultando em reaprendizados de conceitos físicos previamente julgados plenamente conhecidos.

A exemplo da síntese da atividade “respirando quântica” apresentada no item anterior, buscou-se a estratégia de construir uma visão global do conjunto das redes conceituais elaboradas, tomando-se como objeto de estudo os participantes da última versão das OFICINAS que desenvolveram projetos focados nos temas indicados no quadro 12.

Quadro 12 - Projetos de PE3 – IFSP-SP - 1º semestre de 2013

Projeto	Seriação	Tema
P1	2	Átomo de Bohr e espectros ópticos dos elementos químicos
P2	2	Espectroscopia
P3	3	Sensores
P4	2	Radiações
P5	2	Supercondutores
P6	2	Energia Nuclear
P7	3	Forças fundamentais da natureza
P8	3	Semicondutores
P9	3	Átomo de Bohr e modelos atômicos antecedentes
P10	2	Supercondutores
P11	3	Radiatividade

Para tanto, por meio do *ORA*, cada uma das onze representações gráficas foram transformadas em redes conceituais posteriormente unidas em uma só rede global mediante a junção dos nós de mesmo nome. Nesse processo também se realizou uma espécie de “mineração” de texto eliminando-se palavras ou frases de ligação típicas das proposições presentes nos mapas conceituais clássicos (como as expressões “*tipo*”, “*pode comportar-se*” e “*aplicação*”, presentes na figura 56), bem como dados pouco significativos frente ao objetivo pretendido, tais como datas e nomes próprios vinculados a descobertas em campos específicos. Além disso, trabalhou-se na padronização dos termos, recurso semelhante à *lematização*, com o termo “alfa”, por exemplo, sendo modificado para “partícula alfa”, “radiação” para “radiações” e “radioatividade” para “radiatividade”.

Com os arquivos originais dos licenciandos já no formato de representação gráfica e não de texto, não se pode contar com o auxílio do *Automap* nesse processo de mineração, com todas as interferências tendo sido realizadas diretamente no *ORA*, muitas vezes com a edição

“manual” de nós e *links*³⁴. Como resultado, obteve-se a rede composta por cerca de 450 nós e 700 *links* ilustrada em seu conjunto completo (figura 58A) e com destaque aos 20 nós de maior intermediação (figura 58B), ambas as imagens construídas com diâmetros e cores dos nós como indicativos, respectivamente, dos valores relativos das centralidades de grau e de intermediação.

Figura 58 - Representação em rede do conjunto das redes conceituais apresentadas na OFICINA_V7, com centralidades de grau e de intermediação respectivamente associados aos diâmetros e cores dos nós, com a cor azul indicativa de maior valor de intermediação: (A) escala original com visualização de todo o conjunto de nós e links; (B) escala ampliada com destaque às ligações entre os 20 nós de maior centralidade de intermediação, quase todos também classificados entre os nós de maior centralidade de grau.

³⁴ Na sequência “luz visível” - “é estudada pela” - “ótica” (presente na figura 56) a simples eliminação da proposição “é estudada pela” deixaria os conceitos “luz visível” e “ótica” desconectados, fazendo-se necessário criar “manualmente” um novo *link* via janela de edição da rede disponibilizada pelo ORA. Já, para a modificação do termo “radiação” para “radiações” e consequente junção de todos os nós com esse último título, basta indicar ao ORA tal necessidade e o próprio programa realiza o processo automaticamente.

Diferentemente da rede representativa dos textos relativos à atividade “respirando quântica”, a ampliação de escala com realce aos 20 nós de maior intermediação não elucida características significativas para o contexto deste trabalho sobre as redes conceituais. O motivo vincula-se à própria origem dos dados com que estas duas redes foram construídas: a primeira delas baseada em textos de uma mesma temática, focados no “reconhecimento quântico” do contexto escolar; a segunda constituída pela junção de representações gráficas relativas a diferentes temáticas.

Maneira mais pertinente de investigação foi encontrada pela classificação do conjunto dos nós da rede conceitual global de forma a dialogar com a discussão apresentada no primeiro capítulo acerca do papel da física quântica na interligação entre diferentes campos de conhecimento. Nesse sentido, forjaram-se dois critérios. No primeiro deles, três categorias foram elencadas: (a) termos próprios da física e de seu ensino, como “feixe de luz”, “radiações”, “supercondutor” e “reação em cadeia”; (b) termos próprios de outras disciplinas das ciências da natureza, como “teste de chama”, “tabela periódica”, “olhos” e “reino vegetal”; (c) termos mais diretamente associados a áreas que extrapolam as ciências da natureza, como “belicismo nuclear”, “doenças”, “esporte” e “diagnóstico médico”. Como segundo critério de classificação, identificaram-se termos contextualizados no desenvolvimento da física quântica, tais como “bombas nucleares”, “efeito fotoelétrico” e “microprocessadores”. Tabela completa com nós e suas classificações pode ser vista no APÊNDICE E.

Associando, respectivamente, as cores verde, vermelho e azul aos nós representativos das três categorias do primeiro critério de classificação e *links* mais escuros aos “nós quânticos”, gerou-se via *ORA* a figura 59. Ainda que pese o natural predomínio da categoria vinculada aos termos próprios da física, aspecto já esperado dado o contexto da tarefa realizada em disciplina de uma licenciatura em física, é perceptível a integração entre as três categorias, em especial na parte superior esquerda da imagem que concentra os nós de maior centralidade.

Figura 59 – Representação em rede do conjunto das redes conceituais apresentadas na OFICINA_V7 com cores dos nós indicativas de sua classificação quanto às disciplinas e áreas (verde para termos próprios da física, vermelho para termos próprios de outras ciências da natureza, azul para termos que extrapolam as ciências da natureza) e com *links* mais escuros associados a termos contextualizados no desenvolvimento da física quântica.

Também pertinente é analisar a distribuição desta mesma classificação interna a cada uma das onze redes elaboradas pelos participantes da OFICINAS_V7. Nesse sentido apresenta-se a figura 60 composta por imagens que, mantendo o código de cores acima indicado, realçam os nós de cada uma daquelas onze redes, favorecendo análises comparativas. Faz-se perceptível, por exemplo, grande dissonância entre a rede P2, com razoável interligação entre diferentes áreas e com boa concentração de *links* contextualizados na física quântica e a rede P3, mais fragilizada quanto a esses aspectos e, assim, mais distante do pretendido objetivo de se estabelecerem redes conceituais tecidas pela física quântica entre as mais diversas áreas.

Figura 60 - Destaques aos nós pertencentes a cada uma das onze redes associadas aos projetos indicados no quadro 3 que, unificadas, originaram a rede conceitual global da OFICINAS_V7.

Outra perceptível diferenciação se dá pela localização topológica na rede global de cada uma das onze redes. Por apresentarem grande foco nos temas escolhidos, as redes P6, P8 e P10, respectivamente associadas às investigações dos riscos e benefícios do uso de energia nuclear, das aplicações dos semicondutores e da teoria e aplicações dos supercondutores, localizam-se em regiões periféricas da rede global. Por sua vez, a rede P5, construída a partir do mesmo tema dos supercondutores vinculado à rede P10, espalha-se por área de maior abrangência, compartilhando alguns dos nós com as redes P1, P2, P4, P7 e P11, mais voltadas ao estudo das radiações corpusculares ou eletromagnéticas e do espectro óptico dos elementos químicos.

De fato, o uso de uma ferramenta disponibilizada pelo *ORA* para verificação do efeito provocado pela retirada de determinados nós de uma rede, mostrou que a exclusão dos nós destas últimas redes fragmentava significativamente a rede global quando comparado com a exclusão dos nós das redes P6, P8 e P10. A eliminação da rede P2, por exemplo, gerava 9 fragmentos além de deixar 10 nós completamente isolados. Por sua vez, a retirada da rede P8 gerava apenas um fragmento.

Em síntese, pela visualização em rede do conjunto das representações gráficas elaboradas na OFICINAS_V7 constata-se que ao desenvolverem projetos baseados na ideia do destacado papel que pode ser desempenhado pela física quântica na textura de redes de conhecimento, seus participantes demonstraram maior interesse ou facilidade no seguimento de temáticas envolvendo as radiações corpusculares ou eletromagnéticas e o espectro óptico dos elementos químicos. Sendo apenas onze os trabalhos, tal constatação talvez poderia ser obtida de forma mais rápida por métodos mais convencionais ao aqui exposto. A expectativa, no entanto, é que o futuro aprofundamento do aprendizado quanto às teorias e técnicas de construção e análise de redes forneça pistas e resultados que dificilmente se apresentariam de outra forma.

5.1.3 Novas percepções sobre a quântica e seu ensino

Concluída uma disciplina, o licenciando logo é absorvido por preocupações referentes a outras disciplinas componentes da grade curricular que, imersas no contexto do acelerado ritmo de sua vida contemporânea, não lhe permitem lá muito tempo para reflexões sobre o que passou. É, pois, muito difícil dimensionar as influências concretas que as OFICINAS possam ter promovido nos licenciandos que delas participaram, seja quanto às percepções sobre os assuntos nelas discutidos, seja quanto às futuras práticas docentes. Necessidade

básica para obter tal dimensionamento seria a retomada de contato após certo tempo da conclusão do curso, ação que no momento em que se escreve este texto vem sendo promovida, por ora com baixo nível de retorno, via endereços eletrônicos armazenados no ambiente *fisicaemrede.com*.

Ação paliativa é buscar no próprio curso recursos que permitam inferir a ocorrência ou não daquelas influências. Tal é o caso das avaliações diagnósticas que, aplicadas antes e após a realização do curso, podem fornecer significativas pistas. Assim se fez na OFICINAS_V7, resgatando-se, após a publicação das notas e faltas, as questões apresentadas no início do curso acerca da sequência linear de conteúdos que tradicionalmente marca o ensino de física e do papel da quântica enquanto possível veículo para se tecer um enredamento curricular. A tabela 3 expõe uma síntese das respostas apresentadas antes e após a realização do curso pelos onze licenciandos dele participantes, com a distribuição estatística mais detalhada do conjunto das respostas podendo ser observada no APÊNDICE F. Pelos dados desta tabela nota-se acentuado deslocamento das opiniões dos licenciandos desde uma posição mais linear para uma visão claramente favorável a enredamentos e ao papel privilegiado que nesse sentido pode ser desempenhado pela quântica.

Além do resgate à avaliação diagnóstica inicial, ao final do semestre, também após a entrega de notas e faltas, procedeu-se a uma avaliação do curso em seu conjunto, incluindo-se novas questões que pudessem indicar eventuais mudanças de percepção sobre a física e seu ensino. Em uma delas o licenciando era convidado a responder se considerava ter ganho com o curso uma visão mais global da física e de sua relação com outra(s) disciplina(s) ou área(s). A tabela 4 apresenta a distribuição estatística das respostas, todas afirmativas desse ganho.

A fim de tornar explícitas as relações que justificassem a indicação de tais ganhos de visão, solicitou-se em seguida que os licenciandos apontassem algumas das relações que se perceberam apreendidas como fruto das atividades desenvolvidas ao longo do curso. As respostas a essa solicitação são apresentadas no quadro 13.

Tendo caráter voluntário e com realização posterior ao fechamento de notas e faltas, as respostas apresentadas nas tabelas 3 e 4, assim como no quadro 13, aumentam a confiabilidade quanto às qualificações positivas atribuídas à temática desenvolvida no curso por alguns licenciandos, conforme expressas em seus PROJETOS e reproduzidas no quadro 14.

Tabela 3 – Distribuição estatística das respostas dos licenciandos participantes da OFICINAS_V7 a questões apresentadas antes e após a realização do curso, com destaque aos percentuais mais elevados respectivos a cada questão.

Questões (1)	Respostas (%) (2)			
		Não	Talvez	Sim
O ensino de cinemática deve anteceder o ensino de dinâmica.	Antes	18	27	55
	Depois	70	20	10
O ensino de ondulatória e óptica deve anteceder o ensino de eletromagnetismo.	Antes	27	27	45
	Depois	30	30	40
O ensino dos fundamentos da Física Clássica deve anteceder o ensino da Física Quântica.	Antes	27	27	45
	Depois	60	30	10
Devido à sua inerente abstração matemática, a Física Quântica somente deve ser ensinada após razoável consolidação na aprendizagem em cálculos e representações matemáticas.	Antes	45	27	27
	Depois	70	10	20
Um curso de Física no Ensino Médio poderia iniciar com o aprendizado da Física Quântica.	Antes	27	27	45
	Depois	10	20	70
Os campos de conhecimento historicamente construídos pela física (Mecânica, Física Térmica, Óptica, etc.) podem ser visualizados como nós de uma rede tecida pela Física Quântica.	Antes	9	27	64
	Depois	0	0	100
A Física Quântica tem potencial para ser elemento essencial na textura de redes conceituais no ensino de física.	Antes	0	9	91
	Depois	0	0	100
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.	Antes	0	36	64
	Depois	0	0	100

FONTE: próprio autor.

(1) Cada questão corresponde a uma afirmação sobre a qual o licenciando teve que apresentar seu grau de concordância de acordo com uma escala de 1 a 5, aqui simplificada pela junção dos percentuais relativos aos números 1 e 2 na categoria “Não”, aos números 4 e 5 na categoria “Sim”, deixando a categoria “Talvez” vinculada ao número 3.

(2) Percentuais aproximados com a exclusão de casas decimais.

Tabela 4 - Distribuição estatística das respostas dos licenciandos participantes da OFICINAS_V7 à questão “*Considera ter hoje, em virtude do curso, uma visão mais global da Física e de sua relação com outra(s) disciplina(s) e/ou área(s)?*”.

Alternativas disponibilizadas para escolha	Respostas (%) (1)
Não	0
Sim, mas com uma extensão muito pequena em relação ao que tinha antes do curso.	0
Sim, especialmente quanto à visão mais global da Física.	36
Sim, especialmente quanto à visão mais global da relação da Física com outra(s) disciplina(s) e/ou área(s).	27
Sim, tanto quanto à Física como um todo, quanto às suas relações com outra(s) disciplina(s) e/ou área(s).	36

FONTE: próprio autor.

(1) Percentuais aproximados com a exclusão de casas decimais

Quadro 13 – Respostas apresentadas à questão “*Em caso da escolha de alguma resposta afirmativa na questão anterior, indique algumas das relações percebidas como fruto das atividades desenvolvidas ao longo do curso*” (1).

(L1) Evidenciar que a Mec. Quântica está presente em toda a Física e que também serve para compreender melhor o mundo "Clássico".
(L2) Estudo do olho ligado à óptica e biologia.
(L3) Para mim, com certeza foram as relações da física, química, biologia, história e matemática; no uso de conceitos de física como a meia vida dos elementos radioativos, no avanço da química, visualizando sempre mais de perto os elementos, e no uso da matemática e dos modelos quânticos nos esclarecimentos e confirmações da idade de coisas pré-históricas, que nos dão, hoje em dia, condições para o entendimento do início da vida.
(L4) Física & Arqueologia; Física & Medicina.
(L5) Modelo de Bohr: aplicado nas áreas de física e química na interpretação do fenômeno da queima dos fogos de artifícios; Usina Nuclear: interdisciplinaridade entre a química e a física em relação a conceitos fusão e fissão nuclear e dos acidentes provocados pela radiação nuclear.
(L6) Percebi o porquê da física ser tão chamada de ciência fundamental, pois em cada um de seus temas, principalmente na parte quântica, há ramificações para muitas áreas, completando-as. Na química dá pra se entender melhor as ligações químicas dos átomos e moléculas, isso te permite entender melhor a biologia. As áreas citadas têm aplicações industriais e farmacêuticas, sem contar as ramificações tecnológicas da própria física e sua relação com os demais conteúdos de sua área e demais áreas.
(L7) Na cinemática, tinha maiores dificuldades de conectar a física moderna a este conteúdo; agora é possível imaginar links da física moderna com conteúdos de cinemática, gravitação, e algum movimento.
(L8) Poderei no segundo semestre deste ano utilizar o material que desenvolvi na escola em que trabalho relacionando com ciências da natureza, história e educação física na alfabetização científica de alunos do ensino fundamental.

(1) Embora todos os onze participantes do curso tenham respondido a questão de múltipla escolha apresentada na tabela 4, apenas oito (aleatoriamente identificados aqui como L1, L2, ..., L8) atenderam à solicitação de responder essa questão aberta.

Quadro 14 – Trechos de PROJETOS que continham referência à análise da temática desenvolvida na OFICINAS_V7 (1).

- (L1) Utilizei a mesmo esquema de rede aqui proposto para relacionar conteúdos históricos sobre a síntese da amônia desenvolvida pelo químico Fritz Haber, e consegui unificar reações químicas e reações nucleares e fazer uma sequência didática que aborda todos estes temas tendo como conteúdo central o átomo. Neste exemplo, somente com o mapa conceitual consegui enxergar que estes conteúdos podem ser explicados concomitantemente. Alguns colegas licenciandos nesta disciplina acharam muito interessantes essa aplicação, e também disseram que já sabiam que reações químicas acontecem na eletrosfera do átomo, e reações nucleares no núcleo, mas nunca pensaram em unificar estes conceitos e realizar um projeto de sequência didática entrelaçando-os.
- (L2) A disciplina inicialmente foi um desafio, pois mesmo concordando de mesclar os temas quânticos da Física ao tema clássico, não sabia ao certo como isto era possível, devido ao enraizamento do conteúdo regular. E esta mudança só foi possível a partir da elaboração do texto de visão quântica, por que pude conhecer melhor várias aplicações em equipamentos comuns do nosso dia-a-dia, depois de algumas pesquisas. Este trabalho só foi possível também, devido acompanhamento do professor do curso de PE3, durante todo o percurso, dando sugestão e orientação, além da grande motivação. Gostei muito do muito do tema trabalhado, pude conhecer novas áreas da Física e termos que ainda desconhecia, e acredito sim, que seja possível realizar esta teia de conhecimento em um ensino regular.
- (L3) O grande desafio da atividade de estágio foi conciliar o currículo praticado pelo docente da escola com alguma temática da Física Quântica. Todavia, ao longo do curso e das aulas da disciplina foi constatado pelas várias propostas trabalhadas pelos licenciandos como a Física Quântica forma e constitui uma rede complexa que engloba e permeia outras ciências, a vida, a sociedade e a tecnologia. Com o auxílio de alguns softwares como o CmapTools elaboramos os mapas conceituais de cada projeto já visualizando minimamente como as redes estabeleciam conexões cada vez mais numerosas e amplas. Com um segundo software foi construído uma rede global que abrangia todos os projetos dos licenciandos e assim tivemos a chance de visualizar uma rede com inúmeros nós e ramificações semelhantes ao mapa de linhas aéreas mundiais. Houve uma grande coletividade dos licenciandos para a evolução dos mesmos dentro da disciplina e para o desenvolvimento de cada projeto temático, ou seja, foi presenciado o engajamento dos licenciandos para desenvolver seus projetos e posteriormente suas regências de estágio. Ainda em se tratando da temática do curso, ficou evidente como a Física Quântica está muito presente em vários campos da ciência e da vida, sendo assim, precisamos realmente tratá-la com cuidado e principalmente pensar nas formas de inseri-la cada vez mais no currículo de Física do Ensino Médio.
- (L4) A ideia não é mostrar que a física quântica nos rodeia, mas mostrar que nada pode ser descontextualizado quando o assunto é ciência. Mostramos durante o curso de PE3 que na física, na vida e na ciência em geral a física quântica se diz presente e se pensarmos a fundo, faz conexões entre as áreas da física que, sem analisar minuciosamente, passa despercebida. Neste trabalho contextualizamos a FQ dentro da escola, não apenas no que faz sentido no ensino, mas no que faz sentido ao ser humano e tudo que o envolve, seja seu no seu método de transporte, seja nas interações sociais, seja na construção na cultura de grupo, existe sempre um pedaço da FQ interligando dois pontos da vida e trazer isso pra sala de aula foi, de fato, algo diferente e muito edificante.

(1) Embora todos os onze participantes da OFICINAS_V7 tenham inserido em seus PROJETOS apreciações positivas quanto ao balanço do curso, apenas quatro (aleatoriamente identificados aqui como L1, L2, L3 e L4) desenvolveram argumentações quanto à temática do curso.

Como conclusão, pode-se dizer que o conjunto dos dados aqui apresentados acerca das reflexões dos licenciandos participantes da OFICINAS_V7 sobre a própria aprendizagem e sobre a temática do curso infere a emergência nestes estudantes de uma nova percepção sobre a quântica e seu ensino que vai ao encontro das proposições defendidas nesta tese. Tal inferência é corroborada pela análise da coletânea de textos e mapas conceituais produzidos ao longo do semestre em que se percebe nítida evolução no reconhecimento de novos enredamentos conceituais. Embora a OFICINAS_V7 seja aquela que contou com a aplicação de um espectro de instrumentos de avaliação mais completo e sistematizado, avalio que essa evolução também tenha ocorrido, em maior ou menor grau, em todas as demais versões das OFICINAS.

Dado que esta evolução e a consequente emergência daquela nova percepção sobre a quântica e seu ensino tenham muito a ver com a metodologia reconstrutiva desenvolvida nas OFICINAS, vale resgatar as ponderações presentes neste texto quanto à não intencionalidade de se enaltecer esse campo de conhecimento. Assim como a quântica não deve ser vista como um campo teórico completo, isento de fragilidades e extensivo a tudo o que se conheça de física (ver página 30), nem a única temática com a qual se possa tecer redes conceituais no processo de ensino e aprendizagem (ver página 133), não é difícil imaginar semelhantes ganhos de visões globais da física e de sua relação com outras disciplinas e áreas em oficinas que, baseadas na concepção do conhecimento como rede e preservando a insistência na reconstrução dos projetos de cada licenciando, tivessem centro em outras temáticas.

Chama atenção, no entanto, a relativa tranquilidade com que as OFICINAS se desenvolveram. Como em qualquer curso, houve tensões pontuais, maior dificuldade por parte de um ou outro licenciando, constantes negociações quanto a prazos para realização de atividades, mas nada que pudesse se assemelhar a algum tipo de resistência ao desenvolvimento da temática proposta pelo professor. Pelo contrário, os licenciandos mantiveram sempre a postura de encarar tal temática como um instigante desafio de aprendizagem e reaprendizagem. Claro que a necessidade de aprovação (afinal, trata-se de uma disciplina da grade curricular!) pode ter tido razoável influência na adoção de tal postura. Nesse sentido, ganha valor a referida atividade não obrigatória de avaliação do curso feita na OFICINAS_V7 após a entrega de notas e faltas.

Fato é que ao longo das sete versões das OFICINAS foram elaborados 93 projetos que, com maior ou menor extensão e profundidade, atenderam a ideia central de utilizar a física quântica como veículo privilegiado para se tecer redes conceituais e que fortalecem a

argumentação desenvolvida no item 4.4 (ver página 129) acerca das múltiplas possibilidades de se elaborar sequências didáticas baseadas nessa ideia.

5.2 A DISCIPLINA ESTRUTURA DA MATÉRIA

Estrutura da Matéria (ESM) é uma disciplina do quinto semestre da Licenciatura em Física do IFSP-SP, que apresenta o seguinte texto em sua ementa:

Estudamos nesse espaço curricular processos tecnológicos de transformação e manipulação dos materiais que resultaram no estabelecimento da física moderna no início do século XX e contribuíram para o advento da Terceira Revolução Industrial. O curso se propõe a desenvolver um estudo da modelagem microscópica da matéria abordando princípios gerais da física e a aplicação de leis para a descrição de propriedades físicas dos materiais. As atividades de estudo e os experimentos propostos auxiliam a compreensão dos efeitos dos campos magnéticos na matéria (diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo, domínios magnéticos), os fenômenos de interação luz-matéria nas regiões do visível, do infravermelho e do ultravioleta, a análise espectral de elementos, a descoberta do elétron (experimento com Tubo de Crookes), efeito fotoelétrico, espalhamento Rutherford. A natureza histórica e social da construção desses conhecimentos e sua relevância para a compreensão do mundo contemporâneo possibilitam, além de uma percepção evolutiva das técnicas científicas, uma conexão da física com outras áreas do conhecimento humano. (IFSP-SP, Ementa – ESMZ5, 2012).

Com uma carga horária de 5 aulas semanais, sendo 3 previstas como aulas teóricas e 2 como prática experimental, ESM inaugura, juntamente com a disciplina *Física Moderna* (FMO) o contato do licenciando com a física quântica. Nos outros três semestres do curso o mergulho na física quântica continua com as disciplinas *Física Atômica e Molecular* (FAM), sexto semestre, *Física do Estado Sólido* (FES) e *Física Nuclear e de Partículas* (FNP), sétimo semestre, *Astronomia e Astrofísica* (AST), oitavo semestre. Vê-se, assim, que embora tenha presença importante no currículo da Licenciatura em Física do IFSP-SP, a física quântica somente é introduzida na segunda metade do curso, refletindo a padronizada concepção da necessidade de consolidação dos conceitos associados à física clássica como pré-requisito básico ao ensino da quântica.

Tendo sido responsável pelas aulas experimentais semanais ao longo de dois semestres consecutivos (2010_02 e 2011_01), assumi a disciplina em seu conjunto nos quatro semestres sucessivos, delineando um plano de trabalho que passava por apresentar uma visão panorâmica da fenomenologia quântica e de suas aplicações e implicações na vivência contemporânea. Pretendia-se, assim, não apenas cumprir o programa estabelecido pela referida ementa, mas extrapolá-lo, abrangendo também noções de física nuclear e das propriedades dos materiais semicondutores, de forma que o licenciando terminasse ESM com

razoável percepção dos assuntos a serem abordados nas demais disciplinas curriculares associadas ao estudo da física quântica.

Arelada, de qualquer forma, a conteúdos específicos e desvinculada da prática experimental permitida pelos estágios, tardou-se em perceber a rica contribuição que o trabalho com a disciplina poderia trazer à pesquisa de doutoramento que se desenvolvia. Faz-se apropriado, portanto, realçar a ressalva anunciada na introdução deste capítulo quanto ao amadurecimento teórico da pesquisa em concomitância ou mesmo posterior às práticas aqui expostas e analisadas.

5.2.1 As radiações como teia quântica

À luz das contribuições de Machado (2004) discutidas no item 4.2 (ver página 103), a conquista da referida visão panorâmica seria em muito facilitada a partir de um mapeamento de relevâncias, de forma que ao mesmo tempo em que toda a quântica estivesse nele projetada, algumas de suas regiões ou pontos se destacassem com maior luminosidade de forma a melhor guiar os caminhos da viagem requerida. É aqui que o já comentado uso do texto *Radiações, materiais, átomos e núcleos* (ver página 112) ganha maior contexto, valendo realçar a escolha nele feita das radiações como tema de sua estruturação:

[...] a observação das radiações e de seus efeitos tem sido um de nossos principais veículos, senão o principal, para a revelação da constituição da matéria e de sua organização. Assim, pode-se dizer que nossa capacidade de “enxergar” o átomo e seu interior é sinônimo de percepção das radiações por ele emitidas. É analisando com precisão cada vez maior as radiações emitidas por diferentes materiais ou a radiação que se espalha para todas as direções do Universo, que podemos elaborar hipóteses sobre a estrutura do átomo e também sobre a estrutura do núcleo atômico e das partículas que o constituem. Também ao investigar a estrutura do cosmo, em decorrência da grande explosão, ou big-bang, o que podemos ver, outra vez, é a radiação “de fundo”, resquícios da “bola de fogo” primeva, origem de tudo o que existe.

Talvez, por si só, essa constatação já justificaria a escolha das radiações como tema de estruturação de um fascículo sobre FMC e palavra de abertura de seu título. Porém, ainda mais importante que isso é que a presença expressiva das radiações nas atividades do homem moderno torna o tema um ótimo canal para a exploração do contexto vivencial do jovem leitor [...]. (CANATO JR., 2003, p. 77-78)

De forma similar à caracterização da física quântica como tecido de várias redes e à proposição de nela apostar como veículo privilegiado no estabelecimento de redes conceituais no ensino de física em geral, o programa desenvolvido em *Radiações, materiais, átomos e núcleos* tem foco no uso das radiações como tecido da rede composta pelos fenômenos e conceitos diretamente associados ao desenvolvimento da física quântica. Uma forma de

Ainda que o curso de ESM não tenha seguido página a página o texto de *Radiações, materiais, átomos e núcleos*, sendo dele extraído alguns excertos, fato é que as estruturas do curso e do texto em muito se assemelharam, sendo justo anunciar uma dificuldade quanto ao histórico do processo de planejamento: teria sido o pensar sobre o programa desejado para o curso que levou à opção de utilizar o referido texto ou a intimidade autoral para com tal texto é que teria motivado a elaboração das aulas e atividades desenvolvidas em ESM?

Seja como for, e sem ter na época a clareza hoje obtida quanto aos aportes teóricos de Machado (2004), pode-se dizer que a opção feita em ESM foi mediar o tecer da rede de significados dos licenciandos apostando nas radiações como “carro-chefe” do mapeamento de relevâncias norteador das narrativas desenvolvidas ao longo do curso.

Exemplo dos excertos de *Radiações, materiais, átomos e núcleos* utilizados em ESM pode ser visto no APÊNDICE G em que a solução de Bohr para o problema dos espectros descontínuos é apresentada em linguagem direta e contextualizada à vivência contemporânea. Direta seja por evitar referências às fórmulas de Balmer e Rydberg que antecederam os estudos de Bohr, seja por desviar da densidade conceitual envolvida nas demonstrações matemáticas relacionadas à teoria do átomo planetário. Contextualizada à vivência contemporânea por incorporar à discussão teórica fenômenos, como o arco-íris, e tecnologias, como as lâmpadas de iluminação pública. Longe de qualquer desprezo pelo cálculo matemático ou pela história da ciência, com o uso de tal linguagem tem-se a intenção de evitar o rompimento do “diálogo com o leitor, focalizando sua atenção no que de fato é essencial para o ganho de uma visão básica da teoria quântica e, portanto, fundamental para a compreensão de uma série de processos e tecnologias modernos” (CANATO JR, 2003, p. 81) discutidos ao longo de *Radiações, materiais, átomos e núcleos*.

Elaborado para o nível médio de ensino e componente de coleção bem avaliada no *Guia de Livros Didáticos* (BRASIL, 2011), faz-se pertinente indagar acerca da adequabilidade deste material para uso no ensino superior. Lembrando da pretendida visão panorâmica norteadora do plano de trabalho em ESM, pode-se responder que além de auxiliar no alcance de tal objetivo, as leituras dialogadas do texto suscitaram, ao longo do curso, diversas discussões sobre como inserir física quântica no currículo da escola média, aspecto saudável para uma disciplina componente de uma licenciatura em física.

5.2.2 Perguntas quânticas

Diferentemente das OFICINAS em que a versão final do PROJETO sintetizava boa parte das atividades realizadas ao longo do curso, ESM contou com um espectro de instrumentos de avaliação que, embora tivessem sua inter-relação promovida pela presença das radiações como “pano de fundo”, não se apresentavam unificados em uma produção discente final.

Dada a relevância da crítica de Demo (2012) à tradicional aplicação de provas, é pertinente registrar que dentre o leque de instrumentos utilizados, a prova foi progressivamente perdendo terreno, passando de uma composição de duas atividades, uma individual e outra em grupo, que totalizavam valor equivalente a 50% da nota final do aluno na turma de 2011_02, para atividades em grupo de valoração total abaixo dos 20% nas duas turmas subsequentes, até à sua não aplicação na turma de 2013_01. Curioso e sintomático da presença ainda arraigada do instrucionismo no IFSP-SP era o fato de que, vez ou outra, alunos menos frequentes às aulas perguntassem se eu já havia marcado a data da prova, como se o mais importante, senão a única coisa que importasse, fosse a aplicação das provas. Digo “ainda arraigado”, em vista de alguns diferenciais presentes na grade curricular da Licenciatura em Física do IFSP-SP, tais como uma importante ênfase nas habilidades de experimentação e o vínculo de parte dos estágios com oficinas de projetos de ensino, fatores que tendem a promover avaliações mais qualitativas.

É pertinente ponderar que esse progressivo abandono da aplicação de provas em ESM não se deu por influência da referida crítica de Demo (2012), somente por mim reconhecida já em meio ao afastamento das aulas no IFSP-SP. Mesmo após tal reconhecimento, vale lembrar a ponderação deste mesmo autor de que não é na prova “em si” que reside o problema, mas em seu uso instrucionista como único ou mesmo principal instrumento de avaliação. Provas bem elaboradas, reflexivas e, sempre que possível, sujeitas à refacção após uma primeira correção, podem também servir ao propósito de incentivar a emergência daquele conhecimento tácito analisado por Machado (2005). Meu progressivo afastamento da aplicação de provas em ESM deu-se muito mais em virtude do objetivo de proporcionar mais tempo e maior valorização à aplicação de diferentes instrumentos de avaliação. Em outras palavras, conforme ganhava experiência com o ensino superior, percebia que o modo como o licenciando encarava o processo de avaliação não é lá muito diferente do que ocorre no ensino básico, com sua disposição para a realização das atividades propostas estando muito vinculadas à sua valoração como nota. Outra face do mesmo instrucionismo, talvez.

Fato é que conforme ESM se afastava da formalidade da prova escrita, nela eram incorporadas atividades mais reflexivas, movimento que teve como ápice a orientação, junto à turma de 2013_01, de pesquisas acerca das “*perguntas quânticas*” apresentadas no quadro 15, questões instigadoras de um mergulho na intimidade quântica da matéria.

Quadro 15 – Questões-problema apresentadas aos licenciandos participantes de ESM_2013_01 e que ao longo do curso ganharam o codinome de “*perguntas quânticas*”.

- (a) Quais as principais diferenças se imagina haver entre a atmosfera primitiva e a de hoje e como isso interferiu na origem da vida e no tipo de radiação que hoje nos atinge?
- (b) Por que a luz solar provoca a fotossíntese nas folhagens, o bronzeamento na pele e a opacidade na lente fotocromática?
- (c) Por que a técnica da difração de raios X foi fundamental na descoberta da estrutura do DNA e quais suas diferenças para com a técnica envolvida com a microscopia eletrônica e óptica?
- (d) Por que as folhagens de quase todas as plantas são verdes, enquanto suas flores têm diversidade tão grande de cores?
- (e) Por que o carbono é tão importante para a vida e o silício tão importante para a microeletrônica?
- (f) O que é luz síncrotron e como ela é utilizada para investigação da estrutura de proteínas e biotecnologia em geral?
- (g) Como funcionam os sensores que controlam a iluminação automática de ruas, corredores e escadas de edifício, a abertura de portas de lojas, aeroportos e elevadores e o acionamento pelo controle remoto de recursos de uma televisão?
- (h) Quais as diferenças conceituais entre fosforescência, fluorescência e eletroluminescência e quais suas aplicações?
- (i) Por que o vidro é transparente à luz visível e isolante elétrico, ao passo que um metal é opaco à luz visível e ótimo condutor elétrico?
- (j) Por que enxergamos apenas do vermelho ao violeta e por que se pode dizer que a cor que se enxerga depende de nossa percepção?

A proposta de trabalho com tais questões envolveu a escolha de uma delas por parte de cada licenciando como tema central de pesquisa a desenvolver-se ao longo de todo o semestre, com exposição regular em fórum do ambiente *fisicaemrede.com* da evolução do aprendizado. Com a turma efetivamente composta por apenas sete licenciandos, a ordem com que acima se apresentam as *perguntas quânticas* já corresponde a esse processo, com as sete primeiras questões tendo sido as escolhidas.

Como forma de melhor orientar o rumo dessas pesquisas, após algumas semanas da distribuição das *perguntas quânticas*, a elas se associaram questões decorrentes, muitas das quais formuladas como fruto da investigação paralela que o próprio professor orientador realizava acerca de cada um dos temas propostos. Como exemplo, o quadro 16 apresenta as

perguntas decorrentes referentes à primeira daquelas *perguntas quânticas* contidas no quadro 15.

Quadro 16 – Perguntas decorrentes da questão-problema “*Quais as principais diferenças se imagina haver entre a atmosfera primitiva e a de hoje e como isso interferiu na origem da vida e no tipo de radiação que hoje nos atinge?*”

- (a) Por que a camada de ozônio absorve radiações UV?
- (b) Por que o dióxido de carbono é transparente à luz visível emitida pelo Sol, mas opaco à luz infravermelha emitida pela superfície terrestre?
- (c) Por que o nitrogênio presente na atmosfera não pode ser diretamente utilizado pelos organismos vivos e de que forma ele é convertido para formas químicas que tornam tal uso possível?
- (d) Por que a ação da radiação solar destruiu boa parte das moléculas de metano e de amoníaco presentes na atmosfera primitiva?

Ao final do semestre, coube ao licenciando apresentar um seminário centrado na resposta à sua *pergunta quântica*, incluindo-se as perguntas dela decorrentes, além de outras questões ou tópicos julgados procedentes pelo próprio licenciando. Realizados os seminários, a sequência de atividades foi encerrada com um questionário *online* composto de questões abertas que buscavam verificar a apreensão de cada licenciando para com as respostas apresentadas pelos demais colegas, bem como para com a percepção do enredamento conceitual inerente ao conjunto das *perguntas quânticas*. Os itens desse questionário, as correspondentes respostas apresentadas pelos licenciandos e o conjunto das sete *perguntas quânticas* escolhidas, acompanhadas das respectivas questões decorrentes, podem ser observadas no APÊNDICE H.

A falta de coesão ou coerência presente em muitas das respostas postadas pelos cinco licenciandos que atenderam à tarefa do referido questionário pode ser creditada tanto a características da própria turma de alunos (pequena, mas muito instável tanto na frequência às aulas como na realização de atividades), como a prováveis inadequações didáticas promovidas pelo orientador, tal como o excesso de atividades propostas ao longo do semestre. Tratou-se, de qualquer maneira, de uma avaliação processual que impôs uma dinâmica ao processo de ensino e aprendizagem, decerto instigadora de melhor articulação da rede de significados própria a cada licenciando e ao orientador.

Lembrando de que esta tese objetiva muito mais apresentar proposições didático-pedagógicas do que análises de resultados da aprendizagem desenvolvida pelos licenciandos, os principais ganhos obtidos com a atividade das *perguntas quânticas* vinculam-se à reafirmação do já comentado papel das radiações no enredamento da quântica e à

exemplificação de possibilidades de trabalho com a fenomenologia quântica com centro em suas aplicações e implicações na vivência contemporânea, aspecto que inclusive valoriza os conceitos tradicionalmente abordados no ensino da quântica enquanto objetos mais significativos.

5.2.3 Um feixe de atividades

Além de restrito à turma de 2013_01, o trabalho com as *perguntas quânticas* foi único em termos da extensão de um mesmo instrumento de avaliação por todo um semestre. Diversas atividades mais pontuais, para resolução imediata ou com prazo de conclusão estabelecido em torno de quinze dias, foram trabalhadas em ESM.

Já anunciados no item 4.3 desta tese (ver página 123), os passatempos *Hot Potatoes* integrados ao ambiente *Moodle* constituíram parte importante desse conjunto de atividades. Além das palavras cruzadas, o programa permite a elaboração de questões de múltipla escolha, associação de colunas, preenchimento de lacunas e reordenamento de palavras ou expressões, funcionalidades todas utilizadas junto aos licenciandos de ESM e com exemplos impressos apresentados no APÊNDICE I.

Independentemente do *Hot Potatoes*, o próprio *Moodle* possui módulos, habilitados em sua instalação padrão ou por incorporação de ferramentas encontradas na “comunidade *Moodle*”, que permitem a elaboração e aplicação de atividades interativas, tais quais as apresentadas nas figuras 64 e 65: a primeira em que o clique do mouse em “Escolher” revela títulos de fenômenos dispostos à direita que devem ser associados às descrições alinhadas à esquerda (similar à associação de colunas possibilitada pelo *Hot Potatoes*); e a segunda em que se devem associar as imagens de cientistas aos contextos referentes às suas notórias contribuições ao desenvolvimento da física (alternativo ao *Hot Potatoes* no que se refere à possibilidade de arrastar algumas imagens para “dentro” de outras)³⁵.

³⁵ Diferentemente dos passatempos *Hot Potatoes*, estas ferramentas configuram-se como tipos de questões internas aos questionários disponibilizados pela instalação padrão do *Moodle*, os quais impõem restrições a qualquer tentativa de resolução por parte de visitantes, implicando que tais atividades, disponíveis para acesso interativo através do endereço <<http://fisicaemrede.com/course/view.php?id=15&topic=4>> (Acesso em 31. Mar. 2014), somente possam ser acessadas por usuários registrados no *site* e inseridos no espaço de trabalho em que elas estejam alocadas.

Associe cada fenômeno à descrição que melhor o represente

Partículas como os elétrons são férmions, não podendo ocupar o mesmo estado quântico quando confinadas em um átomo	Escolher...
Luz de frequência suficientemente alta pode arrancar elétrons de uma superfície	Escolher...
Transmutação de um elemento químico em outro por emissão de partículas desde o núcleo atômico	Escolher...
A energia liberada nas fusões e fissões nucleares corresponde à diferença de massa entre produtos e reagentes	Escolher...
Fótons de raios-X perdem energia ao produzirem espalhamento de elétrons de modo a conservar a quantidade de movimento do sistema	Escolher...
Quanto menor o comprimento de onda de um fóton incidente sobre um elétron, maior a quantidade de movimento por ele adquirida	Escolher...
A cor da luz emitida por determinados objetos (uma pequena abertura de um forno metalúrgico, por exemplo), tende ao branco azulado para temperaturas elevadas e ao vermelho-amarelado para aquecimentos moderados, independentemente do material com que seja constituído	Escolher...
Assim como a luz pode arrancar elétrons de um metal, elétrons podem sofrer difração ao atravessarem determinados materiais	Escolher...
Elementos químicos cujas distribuições eletrônicas correspondam a iguais quantidades de elétrons em seus níveis quânticos de maior energia, possuem semelhantes propriedades físico-químicas	Escolher...
Cada elemento químico tem uma distribuição eletrônica por níveis quânticos de energia que lhe é própria, com cada transição eletrônica entre dois níveis correspondendo à emissão ou absorção de um fóton de energia dada pelo correspondente desnível energético	Escolher...

Escolher...

- Dualidade onda-partícula
- Periodicidade dos elementos químicos
- Equivalência massa-energia
- Espectro descontínuo
- Problema do corpo negro
- Princípio da indeterminação
- Efeito Compton
- Efeito fotoelétrico
- Radioatividade
- Princípio da exclusão

Escolher...

Figura 64 - Questão online de associação de colunas.

Associe a imagem do cientista à figura que melhor expresse sua contribuição ao desenvolvimento da Física

(com o mouse arraste as figuras dos cientistas posicionando-as dentro de uma das imagens da faixa superior)

Einstein Louis de Broglie J.J. Thomson Bohr Rutherford Becquerel Max Planck Marie Curie

Figura 65 - Questão online de associação de imagens.

Ainda resgatando ações previamente anunciadas, o uso dos simuladores virtuais teve destacada presença em todos os semestres trabalhados com ESM. A atividade relativa ao modelo atômico de Bohr descrita no item 4.3 deste texto (ver página 121) é já um exemplo do trabalho com simulações computacionais não reproduzíveis em laboratório físico. Boa parte dos simuladores opera, no entanto, de acordo com situações que poderiam ser realizadas com

equipamentos de base material. É o caso dos aplicativos que simulam os experimentos de Franck-Hertz sobre os níveis quânticos de energia e de Millikan sobre a determinação da carga do elétron, ambos trabalhados em ESM nas versões física e virtual. Longe de uma mera repetição, enquanto a versão física propicia a visualização das reais dimensões do equipamento e exige os devidos cuidados com seu manuseio e com eventuais erros de medida, a versão virtual geralmente permite trabalhar com mais variáveis, ampliar as dimensões do objeto de estudo e simular movimentos não perceptíveis no experimento.

É, por exemplo, bem conhecido o trabalhoso processo da contagem de tempo de subida e de descida das gotas de óleo na câmara de Millikan que, para ser bem sucedido, exige condições como ambiente escuro, mesa de trabalho nivelada horizontalmente e sem trepidações, controle da temperatura e da iluminação internas à câmara e escolha de uma gota, dentre as milhares disponíveis, que seja adequada ao seguimento de seu movimento por atentos olhos que, acoplados à lente ocular do equipamento, determinarão o preciso momento do disparo e do desligamento do cronômetro, associados ao controle do seletor de voltagem. No uso do simulador utilizado em ESM todo esse trabalhoso processo é evitado, com apenas uma gota entrando por vez na câmara ao clicar do mouse, em uma sala plenamente iluminada, com ou sem trepidações, com o *software* já fornecendo um gráfico representativo do movimento realizado pela gota e, a depender da versão utilizada, permitindo observações com e sem ar dentro da câmara.

Não há demérito em nenhuma das duas atividades. Pelo contrário, sua combinação, concretizada pelos roteiros disponibilizados no APÊNDICE J, permitiram melhor orientar o licenciando em seu processo de aprendizado. Houve, sim, escolha quanto ao recorte dos assuntos trabalhados ao longo do curso. A opção em se trabalhar nesta via dupla com algumas atividades provocou a necessidade de conscientemente selecionar para as práticas de laboratório apenas alguns dos diversos fenômenos que compõem o campo de estudo de ESM.

Atividade não citada anteriormente, embora baseada em texto já apresentado, é o jogral realizado com o capítulo “*Átomos no Vácuo*” de *Alice no País do Quantum* (ver também página 107). Distribuindo entre os licenciandos os trechos correspondentes às falas dos elétrons, fótons e outros personagens, lia-se dinamicamente o texto para depois realizar ampla discussão sobre as diversas analogias utilizadas pelo autor. Aplicada na segunda metade do curso, objetivava-se utilizar a narrativa de Gilmore (1998) como uma espécie de revisão e síntese das discussões realizadas nas aulas precedentes sobre as características quânticas dos átomos e elementos químicos.

Como forma de avaliar a compreensão alcançada pelos licenciandos, a atividade se encerrava com a aplicação de questões que exploravam a relação entre determinados trechos do texto e algumas daquelas características. O seguinte trecho era, por exemplo, realçado a fim de que o licenciando elaborasse um texto a fim de demonstrar seu aprendizado sobre como a incrível unicidade de elétrons, prótons e nêutrons se relaciona com a também incrível diversidade de cheiros, cores, sabores e texturas que nos brinda a natureza:

“Parece que há muita cooperação entre os dois lados”, concordou Alice, com diplomacia. “Qual de vocês é o elétron que veio do átomo de sódio?”, ela perguntou.

“Sou eu”, gritaram todos ao mesmo tempo. Por um momento, todos fizeram silêncio e olharam-se entre si. “Não, é ele”, disseram todos, em perfeito uníssono. Alice percebeu que não havia por que fazer perguntas que tentavam diferenciar elétrons idênticos.

Outro trecho explorado na atividade é o que segue, sobre o qual se solicitava a explicação do significado da expressão “ $\Delta x \Delta p \geq h/4\pi$ ” vinculada ao princípio da incerteza:

Perto dela estavam dois elétrons, imersos em intensa e agitada atividade. Em volta deles, ela pôde distinguir o leve contorno de um escritório pequeno e lotado. “Com licença”, ela disse. “Será que poderiam parar por um momento e me dizer onde estou?”

“Não há espaço, não há espaço”, eles responderam.

“Desculpe-me, mas não entendi”, ela reclamou, sem achar sentido na resposta que tinha recebido.

“Não há espaço aqui para diminuirmos a atividade, muito menos para parar” eles responderam. “Como você sabe, quando a posição de uma partícula é restrita, a relação de Heisenberg faz com que seu momentum seja grande, e está tão apertado aqui dentro que não temos escolha a não ser continuar a nos movermos. Se tivéssemos tanto espaço quanto nos níveis superiores, poderíamos nos movimentar mais livremente, mas aqui é impossível. Este é o nível mais baixo e por isso espera-se que estejamos sempre muito ocupados.”

A expressão “ $E = -13,6/n^2$ ”, que determina as energias permitidas aos níveis eletrônicos, era também revisitada a partir de três perspectivas: (a) o aumento das diferenças de energia entre os estados quânticos eletrônicos de um átomo conforme diminuem os valores dos números quânticos principais ($E_2 - E_1 > E_3 - E_2$, por exemplo); (b) o valor negativo atribuído às energias potenciais dos elétrons internos ao átomo; (c) a emissão ou absorção de fótons por elétrons que saltam entre os níveis quânticos de energia do átomo, cujos *gaps* energéticos determinam a frequência daqueles fótons. Tais perspectivas estão respectivamente associadas aos três parágrafos abaixo:

Ao cair, Alice percebeu que tinha bastante tempo para olhar à sua volta. Os lados do poço iam ficando cada vez mais inclinados e se aproximavam dela. Alice logo percebeu que estava caindo através do contorno transparente de uma série de salas com pés-direitos muito baixos. As primeiras salas eram bem baixas mesmo, baixas

demais até para uma casa de bonecas, mas quanto mais ela caía, as salas iam ficando gradualmente mais altas. No começo, estavam totalmente vazias e desertas, mas, depois, ela viu uma sala que tinha uma grande mesa redonda, cercada de cadeiras. No chão, viu escrivaninhas e prateleiras, como se estivesse passando por um tipo de escritório.

“A fonte do potencial, é claro. É preciso ter uma fonte para fornecer a água de um poço no jardim. Aqui, no poço de potencial, uma carga elétrica é a fonte de potencial elétrico. Você já deveria saber o que há no poço. Ele contém fótons virtuais. Eles fornecem a atração elétrica que faz a energia potencial de uma carga negativa ficar cada vez mais abaixo do nível do vácuo que a cerca, enquanto se move na direção da fonte potencial no centro de um átomo. É a fonte potencial que cria o poço, na verdade.”

A essa altura a conversa foi interrompida por um grito que veio de debaixo deles, passou através do nível de valência e, ao final, parou em algum lugar acima deles. Alice olhou para cima e viu que o grito tinha vindo de um elétron, que aparentemente tinha sido excitado por um fóton, saiu de sua posição em um nível mais baixo e, agora, parecia estar muito desconfortável, isolado em um dos níveis de energia mais altos. Ele ficou lá, vagando lentamente pela amplidão do nível até que acabou dando um grito curto e caiu para o nível logo abaixo. Quando isso aconteceu, um fóton saiu correndo do átomo, levando com ele a energia liberada pela queda. Alice observou com interesse que, enquanto o elétron ia caindo de nível, fótons iam sendo emitidos. Porque os níveis de energia mais baixos eram mais separados dos outros, cada queda era maior do que a anterior, e os fótons criados tinham cada vez mais energia, liberada pelas quedas sucessivas. Quanto maior a energia dos fótons, mais sua luz tendia para o lado azul do espectro.

As atividades “*Investigando a inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*” (ver também página 148) e “*Ritmo e consequências da inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*” (ver página 148), aplicadas originalmente nas OFICINAS, foram também trabalhadas em ESM com resultados similares quanto à boa qualidade das reflexões apresentadas pelos licenciandos.

As radiações nas atividades humanas é o título de outro instrumento aplicado em ESM que visava a postagem em fórum do ambiente *fisicaemrede.com* de exemplos do uso de radiações eletromagnéticas nas atividades humanas condicionados a não estarem presentes em *Radiações, materiais, átomos e núcleos* e não terem sido citados por postagens anteriormente realizadas no mesmo fórum. Ou seja, quanto mais tarde a tarefa era realizada, mais desafiante ela se tornava, pois caberia ao licenciando ler as postagens anteriores a fim de se certificar da originalidade de sua própria postagem. Como representação do bom resultado desta atividade, o quadro 17 apresenta exemplos na época desconhecidos deste pesquisador e que o auxiliaram na ampliação de sua percepção quanto ao “poder de fogo” das radiações no estabelecimento de pontes conceituais. A atividade *As radiações nas atividades humanas* apresentou, assim, algo em comum com a atividade com as *perguntas quânticas* descrita no item anterior: o desenvolvimento das pesquisas pelos alunos retroalimentava minha compreensão relativa às respectivas temáticas.

Quadro 17 – Exemplos de usos das radiações eletromagnéticas nas atividades humanas, conforme postagem em fórum do *fisicaemrede.com* por licenciandos participantes de ESM_2013_01.

- (a) Transmissão de dados *wi-fi* na faixa dos terahertz (“raios T”), entre as micro-ondas e o infravermelho, com promissor uso biomédico na geração de imagens do corpo humano;
- (b) Utilização da radiação ultravioleta na colagem de vidros e na remoção de dados armazenados em memórias EPROM (Electrically Programmable Read-Only Memory);
- (c) Presença em alguns detergentes de impurezas luminescentes que absorvem a radiação solar invisível na faixa do ultravioleta e emitem fótons de luz visível, permitindo uma reação visual de um branco mais intenso após a lavagem;
- (d) Invenção do laser super-radiante de estabilidade até mil vezes maior do que os lasers convencionais com potencial uso no aumento de precisão de relógios atômicos e na otimização das comunicações e sistemas de posicionamento por satélites;
- (e) Determinação da densidade de madeiras por radiação gama de baixa energia;
- (f) Desenvolvimento de sensores ópticos a partir de pesquisa biomimética sobre a capacidade de alguns animais em detectar determinadas faixas de radiação do espectro eletromagnético;
- (g) Uso da gamaespectrometria por empresas e agências agropecuárias na monitoração dos efeitos de processos continuados de fertilização a partir da detecção da radiação gama emitida pela concentração de potássio, urânio e tório em rochas e solos.

Vale, por fim, ponderar quanto ao risco em se superestimar a qualidade das próprias ações e, por isso, não pretender focar as atenções na originalidade ou eficácia das atividades promovidas em ESM. O argumento central que aqui se defende é que na perspectiva do conhecimento como rede, a aposta nas radiações como tecido das conexões internas à física quântica pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem relativo a este campo de conhecimento, algo semelhante com a discussão apresentada no item 4.4 acerca do papel que a quântica pode cumprir no ensino e aprendizagem da física como um todo.

5.3 UM AMBIENTE VIRTUAL

Tendo-se apresentado no Capítulo 4 o histórico e características básicas do *fisicaemrede.com*, além da descrição no presente capítulo de algumas atividades nele realizadas, intenciona-se agora expor as ferramentas alternativas disponíveis no ambiente que o destacam frente a instalações padronizadas do *Moodle*.

Duas destas ferramentas são os módulos *Tabdisplay* e *Reflection*, ambos utilizados nas atividades “*Investigando a inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*” e “*Ritmo e consequências da inserção da teoria quântica no cotidiano da vida moderna*”, anteriormente já comentadas (ver página 148). Por meio do *Tabdisplay*, orientações de uma sequência de procedimentos podem ser organizadas em abas (*tabs*), conforme ilustrado na figura 66: a partir das orientações internas à aba “Instruções”, os alunos leem o texto de referência apresentado na aba “Contexto”, refletem sobre as questões inseridas na aba

“Problema” e por meio da aba “Reflexões” têm acesso ao *link* para a postagem de suas respostas em fóruns automaticamente organizados pelo sistema.

Figura 66 - Apresentação de uma sequência de procedimentos por meio do recurso *Tabdisplay*.

A automatização na organização dos fóruns é possibilitada pela ferramenta *Reflection*, um módulo *Moodle* que possibilita uma interessante interação assíncrona. Por meio dela, após a inserção de suas reflexões, os alunos são automaticamente agrupados e encaminhados a fóruns onde devem analisar e comentar as respostas de seus colegas, sendo que tais fóruns são visíveis somente ao professor e aos integrantes de cada grupo, cujo número de participantes é definido pelo professor (figura 67).

Figura 67 – Cópia de parte da tela do ambiente virtual, com usuário na função de professor, mostrando os fóruns automaticamente criados pela atividade *Reflection* para uma turma com 21 alunos distribuídos em grupos de três participantes. Usuários na função de aluno do curso, enxergam apenas o fórum de seu grupo.

A tarefa somente é encerrada após a inserção de pelo menos um comentário à reflexão de cada colega, sendo livre a postagem de réplicas e tréplicas. Se achar por bem, o professor também participa da discussão, inserindo sua própria postagem interna ao grupo. Outra opção é proporcionar uma reflexão final coletiva de toda a turma através da abertura a todos os alunos do conjunto dos fóruns criados durante o desenvolvimento da atividade. Com esta atividade esquia-se, portanto, da sequência aberta de postagens com que tradicionalmente se caracterizam os fóruns e por meio dos quais a elaboração de novos textos acaba viciada pela visualização dos comentários anteriores.

A fim de facilitar a “usabilidade” e poder comunicativo do ambiente, diversos módulos alternativos à instalação padrão têm sido utilizados. Exemplo disso é o uso do recurso *Accordion*, um módulo que permite a inserção de barras horizontais que se expandem ao clique do mouse e que podem conter textos, apresentações, simulações e vídeos, inclusive na forma *embeded*, isto é, apresentado a partir de outro *website* embora aparente ser parte da página atualmente exposta (figura 68). Aplicação interessante utilizada com alunos de ESM tem sido o uso deste recurso em atividades envolvendo simulações computacionais de física quântica. Em um único *Accordion*, se insere um documento em *pdf* contendo um roteiro dos procedimentos a serem seguidos, um espaço para a simulação rodar e outro espaço para o aluno anotar suas observações. Não fosse isso, já seriam três as janelas abertas no navegador, dificultando a organização do usuário.

Figura 68 - Exemplo de *Accordion*, barra horizontal que se expande ao ser clicada com o mouse revelando textos, apresentações e vídeos nela embutidos.

Outra ferramenta alternativa instalada no *fisicaemrede.com* é o *Onetopic*, módulo que permite a exposição dos diversos tópicos de uma sala virtual em abas visualizadas a partir do clique do *mouse* sobre elas (figura 69). Na instalação padrão do *Moodle*, os conteúdos podem ser organizados apenas por tópicos ou semanas, aparecendo expostos em uma sequência vertical que, a depender da quantidade de recursos e atividades alocados pelo professor ou da extensão temporal do curso, pode dificultar em muito a visualização do usuário.

Figura 69 - Sala virtual configurada no formato *onetopic*, contendo três abas e estando exposta a aba “atividades”.

A fim de preservar o sigilo de algumas informações (como a publicação de uma planilha de notas), mas sem impedir a visão global do ambiente por parte do visitante, tem-se utilizado o *FN sitegroups*, módulo alternativo que permite a formação de agrupamentos válidos para todo o ambiente e não para apenas um de seus espaços. Assim, formado um determinado *sitegroup* por uso desse módulo, com um simples clique do *mouse*, seus integrantes podem ser inscritos de uma só vez em uma sala virtual, sendo que nessa sala podem coexistir diversos *sitegroups*, cada um com a liberdade de visualização restringida conforme determinação do professor. Tal restrição, aliás, é disponibilizada por meio da ativação da funcionalidade *groupings* ou “agrupamento de grupos”, ferramenta que a instalação padrão do *Moodle* deixa desabilitada.

A comunicação interna via *Quickmail* (correio rápido) é outra versatilidade incorporada ao *fisicaemrede.com*. Por meio deste módulo, tem-se ampliada a capacidade de envio de mensagens eletrônicas por dentro do *Moodle*, funcionando como um verdadeiro cliente de email, inclusive com o reconhecimento dos agrupamentos de usuários existentes no ambiente e possibilitando que se selecione um determinado grupo para envio de uma mensagem específica a esse coletivo.

O *design* do ambiente também foi trabalhado a fim de facilitar sua navegação interna, com a instalação e customização do tema *Aardvark-Liteheaded* que permite o uso de menus suspensos disponíveis na parte superior de todas as páginas do *website* e com o aprendizado de códigos da linguagem HTML (*HyperText Markup Language*) que possibilitaram boa flexibilidade no trato de tabelas e ícones dispostos na página de entrada do ambiente (figura 70).

Figura 70 – Menus suspensos (na figura ativado o menu “Passatempos e jogos”) e ícones são facilitadores da navegação interna ao *fisicaemrede.com*.

Vale notar que o *fisicaemrede.com* tal qual aqui descrito tem como base a versão 1.9.15+ do *Moodle*, encontrando-se desatualizado frente a diversas modificações presentes nas versões 2.0 e superiores, sendo a necessária atualização um dos desafios que se apresenta

para este ambiente virtual. Desafio, pois, embora as versões mais recentes do *Moodle* contenham diversas funcionalidades inovadoras incompatíveis com as versões anteriores, muitos dos módulos acima descritos são, por sua vez, incompatíveis com tais novas versões.

Tais incompatibilidades revelam bem, aliás, uma contradição presente no desenvolvimento do *Moodle*. Sendo de estrutura modular e de código aberto, possibilita e incentiva a existência de inúmeras contribuições de *moodlers* espalhados ao redor do mundo que além de identificarem *bugs* e sugerirem modificações no código fonte do programa, elaboram e disponibilizam para *download* gratuito diversos módulos alternativos aos presentes na instalação padrão do programa, permitindo grande liberdade aos administradores de ambientes *Moodle* na escolha dos módulos que melhor atendam às suas necessidades e preferências. No entanto, tais módulos alternativos nem sempre são atualizados, levando *sites* que amplamente os utilizam a um maior distanciamento para com as modificações contidas nas novas versões do *Moodle* frequentemente lançadas no *website* oficial do programa. Reflexo disso é que embora as versões “2.x” existam desde 2010, as versões “1.9.x” ainda predominam nos *sites Moodle* oficialmente registrados (ver figura 71).

Figura 71 – Apesar de disponíveis desde 2010, as versões “2.x” ainda se apresentam restritas a uma parte minoritária dos cerca de 70 mil sites *Moodle* oficialmente registrados (conforme dados apresentados em <<https://moodle.org/stats/>>, Acesso em 05 Mar. 2014)

Desafio talvez ainda maior reservado ao *fisicaemrede.com* seja sua melhor adequação aos aportes teóricos vinculados às pesquisas sobre aprendizagem em rede, tais como as

características interativas propostas por Franco e Lessa (2012) comentadas no Capítulo 4 (ver página 127). É bem verdade que algum percurso já se fez nesse trilha, com o ambiente apresentando razoável liberdade de navegação interna, tendo uma topologia muito mais distribuída do que centralizada e possuindo um *design* que facilita o acesso do usuário registrado (e mesmo ao visitante não registrado) ao assunto por ele desejado. A exemplo do módulo *Reflection* há pouco descrito, o ambiente conta também com algumas ferramentas que potencializam atividades educacionais que visem a colaboração e interação entre os estudantes.

Apesar dessas características e do intenso uso que tenho feito do ambiente junto aos licenciandos do IFSP-SP participantes dos cursos por mim ministrados, tem sido dificultoso o convencimento quanto a um maior engajamento destes mesmos estudantes em uma utilização do ambiente que extrapole as atividades específicas de cada curso. Experiências planejadas e até mesmo iniciadas, inclusive visando parcerias com professores de escolas públicas vinculadas ao PIBID, não se mostram até o momento com perspectivas de concretização.

Além da natural objetividade do estudante em focar seus interesses naquilo que lhe seja decisivo para o bom aproveitamento das disciplinas cursadas e de sua inserção nas múltiplas atividades que marcam o acelerado ritmo da vivência contemporânea, o necessário aprendizado da “linguagem *Moodle*” certamente está entre um dos motivos de sua resistência a um uso mais abrangente do ambiente. O manejo de um ambiente *Moodle* não é tão simples quanto o dos populares *blogs* ou das páginas eletrônicas componentes de redes sociais como o *facebook*, havendo a necessidade de certa dedicação à configuração de cada espaço virtual de trabalho. Assim, a elaboração de tutoriais contextualizados ao ambiente, bem como a continuidade da pesquisa por módulos alternativos, já sob a base das novas versões “2.x” do *Moodle*, são tarefas que se colocam para tornar o manejo do ambiente mais intuitivo.

Em paralelo a isso, talvez seja também importante apostar em interações com usuários que têm visitado o *fisicaemrede.com* e mesmo nele se cadastrado “por fora dos muros do IFSP-SP”, haja vista as estatísticas fornecidas pelo *Google Analytics*³⁶ que indicam que o ambiente tem sido acessado a partir de diversas regiões brasileiras e mesmo internacionais (figuras 72 e 73) e que o número de pessoas voluntariamente cadastradas (cerca de 450 até março de 2014) já ultrapassa o dobro dos alunos que cursaram disciplinas por mim ministradas no IFSP-SP.

³⁶ *Google Analytics* (<https://www.google.com/intl/pt/analytics/features/index.html>) é um serviço gratuito do Google que fornece estatísticas sobre o modo como os visitantes utilizam um *website*.

Figura 72 - Acessos ao fisicaemrede.com de 29/01/2013 a 28/01/2014 classificados pelas cidades a partir das quais estava o computador acessado pelo usuário. Dados fornecidos por *SeeTheStats*, <<http://www.seethestats.com/site/fisicaemrede.com>> (Acesso em 28. Jan. 2014), serviço gratuito que permite a visualização pública de dados disponibilizados pelo *Google Analytics*.

Figura 73 - Acessos ao fisicaemrede.com de 29/01/2013 a 28/01/2014 classificados por países a partir dos quais estava o computador acessado pelo usuário. Dados fornecidos por *SeeTheStats* <<http://www.seethestats.com/site/fisicaemrede.com>> (Acesso em 28. Jan. 2014), serviço gratuito que permite a visualização pública de dados disponibilizados pelo *Google Analytics*.

O mesmo *Google Analytics* mostra, no entanto, que os acessos ao ambiente virtual têm sido de pequena duração e profundidade, dados que se harmonizam com as estatísticas internas fornecidas pelo próprio *Moodle* que indicam que a grande maioria desses usuários cadastrados e não vinculados a disciplinas do IFSP-SP fazem *login* no sistema apenas esporadicamente ou mesmo uma única vez³⁷. Ainda que essa volatilidade pareça ser algo comum aos *websites* em geral, experimentos que visem o incentivo à maior interação do administrador do ambiente para com os usuários e entre os próprios usuários merecem ser elaborados.

Ao mesmo tempo em que o *fisicaemrede.com* expandiu-se para “fora do IFSP-SP”, minha atuação na coordenação EaD em parceria com a equipe EaD do IFSP (Reitoria) provocou a importação de muitas de suas características para dentro dos ambientes virtuais desta instituição³⁸ que atualmente também têm como base versões “1.9.x” do *Moodle*, customizados com *design* que incorporam menus suspensos, ícones facilitadores de navegação interna e módulos como os há pouco citados *Accordion*, *Tab Display* e *Site Groups*. Por razões de segurança e direitos autorais dos professores, tais *websites* não contam, no entanto, com automatização no cadastro de novos usuários e possuem a maioria de seus espaços virtuais de trabalho fechado ao público visitante. Sem dúvida, a recíproca também é verdadeira, com algumas aprendizagens obtidas no trato de tais ambientes virtuais institucionais, especialmente no que se refere às tarefas administrativas, tendo sido incorporadas ao *fisicaemrede.com*.

Fechando a discussão, vale reconhecer a evolução do *fisicaemrede.com* como mais uma face dos enredamentos envolvidos nessa pesquisa de doutoramento: de uma única sala virtual voltada ao objetivo específico de tornar mais dinâmica a reposição de minhas aulas no EE Alberto Levy quando do surto da gripe suína de 2009, o ambiente virtual tornou-se instrumento fundamental para o desenvolvimento das práticas descritas e analisadas no presente capítulo, bem como para o conjunto de minhas aulas no IFSP, além de abrir as portas

³⁷ Há muitas diferenças entre as estatísticas fornecidas pelo *Google Analytics* e pelas ferramentas internas ao *Moodle*, com a principal delas sendo o acompanhamento individual do uso que cada usuário faz do ambiente, realizado apenas pelo *Moodle*. Ou seja, pelo *Moodle* se identificam todas as ações desenvolvidas por cada pessoa que o acessa com nome de usuário e senha (acessos com *login*), com as visitas (acessos sem *login*) sendo contabilizadas em seu conjunto, como se correspondessem a um único usuário de nome “*Guest User*”. Por sua vez, o *Google Analytics* não acessa a base de dados do *Moodle*, tratando todos os acessos como visitas, cujos percursos pelo site são acompanhados. Nos dois casos, o rastreamento é feito pelo IP do computador por onde se faz o acesso ao *website*, dado revelado pelo *Moodle* ao administrador do ambiente virtual e mantido em sigilo pelo *Google Analytics*.

³⁸ São dois os ambientes virtuais hoje mantidos pelo IFSP-SP, um vinculado aos cursos EaD oferecidos pela instituição, <eadspo.ifsp.edu.br>, e outro aos seus cursos presenciais, <eadcampus.ifsp.edu.br> (Acessos em 31. Mar. 2014).

para contribuições junto a *websites* desta instituição e vislumbrar possibilidades de interação sobre ensino e aprendizagem de física, assim como sobre *Moodle*, com usuários espalhados pelo Brasil e mesmo no exterior. Se não é nada fácil perceber o quanto as ações desenvolvidas via *fisicaemrede.com* possam ter influenciado positivamente na formação dos licenciandos que com ele se envolveram ou foram por ele envolvidos, a evolução acima identificada ao menos torna nítido o rico aprendizado adquirido por quem escreve estas linhas.

6 (IN)CONCLUSÃO: REDES ABERTAS

A confluência de quatro redes que se entretecem com a física quântica foi vivida em programa efetivo de formação de professores, ao mesmo tempo em que constituiu o panorama em torno do qual se desenvolveu este trabalho de doutoramento. Vale sintetizar porque redes e porque quântica, como prólogo desse fecho de tese, naturalmente inconclusivo, pois trata de algo tão aberto antes quanto estará depois deste trabalho.

Outros setores da física ou da ciência poderiam ter ambientado este estudo, a exemplo da mecânica e da termodinâmica, presentes em qualquer fenômeno e processo, mas a quântica já tem um papel pivotal como reformulação da mecânica surgida, aliás, da termoestatística das radiações eletromagnéticas. Além disso, a física quântica fundamenta a compreensão dos materiais e da vida nas baixas energias, das partículas elementares e suas conexões cosmológicas nas altas energias, da química e da biologia molecular, assim como da microeletrônica que é a alma da terceira revolução industrial. Noutras palavras, a quântica por si só integra várias redes conceituais e práticas.

A presença das redes nesta tese também não é casual nem independente da quântica, pois a informática, desta dependente, é base de todas as atividades da chamada sociedade em rede e, em associação com as redes complexas, já altera a compreensão de processos naturais, tecnológicos e sociais. Em particular, a educação já se desenvolve com recursos em rede e já é percebida como processo complexo, não como um depositar de conteúdos em sequência linear. Isso é verdade de forma ampla e difusa nas práticas sociais, mas na escola é ainda embrionária, demandando assim um esforço para uma nova preparação dos educadores. Eis o que constituiu o cenário mais amplo desta tese: redes, física quântica e formação de professores.

Foi preciso esboçar uma visão panorâmica da teoria de redes e do conhecimento como rede de significados, assim como levantar exemplos dessa abordagem nas pesquisas educacionais, antes de ousar trabalhar em um só texto esses distintos conceitos, explorando suas conexões, para enfim sinalizar com exercício real de tais confluências na formação de professores. A relativa superficialidade no trato de algumas especificidades de cada uma das redes envolvidas se justifica por seu papel mais de exemplificação conceitual. Mesmo no tecer desse enredamento como norteador de práticas na formação de professores, a linha de

articulação não foi contínua todo o tempo. Como já dito, foram ações concomitantes, ou seja, prática e teoria em paralelo e em contínua troca, não uma diretamente decorrente da outra.

O que se revelou indiscutivelmente essencial nessa relação de dupla mão entre teoria e prática, na formação de professores, foi a confirmação da possibilidade de trabalhar a física quântica na formação superior, em especial numa licenciatura, com ostensiva apresentação em rede complexa, com seus traços hipertextuais e rizomáticos que lhe são próprios. Isso também norteia e motiva a abordagem adotada. Se a quântica, através do desenvolvimento da microeletrônica, condicionou a emergência da atual sociedade em rede, e se a impregnação da microeletrônica nos objetos e processos de uso cotidiano condiciona hoje a emergência de um papel de destaque para a quântica na tecedura de redes de conhecimento, não faz sentido formar professores sem descortinar tais relações.

Por certo, isso convoca questões de método, pois formação acadêmica e formação científica são campos consagrados e, por isso, com práticas relativamente bem estabelecidas, frequentemente pouco receptivas a abordagens radicalmente inovadoras. Por sorte, há nesses campos ideias novas que inspiram e orientam quem ousa se aventurar em percursos pioneiros. Nesse fecho cabe retomar sinalizações que foram importantes na jornada descrita nessa tese, não no sentido de pretender divulgar um roteiro, mas principalmente para apontar instrumentos que servirão a outras jornadas.

Uma delas se refere ao terreno das histórias contrafactuais, com a investigação de possíveis caminhos alternativos para o desenvolvimento da física quântica ao longo do século XX podendo auxiliar na melhor caracterização dos enredamentos construídos pela quântica conforme analisados neste trabalho. Enredamentos que decerto podem ser expandidos, com a prática na formação de professores constituindo-se como importante elemento de retroalimentação da própria pesquisa teórica quanto ao protagonismo da quântica no tecer de redes conceituais.

Outra questão que merece aprofundamento é a caracterização do conhecimento e da aprendizagem como algo complexo, bem como as implicações que isso traz à prática docente. Assim também a importância do mapeamento de relevâncias e da narrativa enquanto ações docentes na perspectiva do conhecimento como rede de significados é prática a ser refinada no planejamento de novos experimentos na formação de professores. Nesse sentido, outros enredamentos além daqueles tecidos pela quântica podem ser trabalhados. Afinal, a concepção do conhecimento e da aprendizagem como algo complexo e em rede é válida para qualquer campo conceitual.

A melhor compreensão do processo de “mineração de texto” e outras técnicas envolvidas na construção de redes conceituais, bem como de toda a teoria das redes complexas é também objeto pertinente para futuros estudos. A própria emergência do campo teórico das redes complexas a partir das investigações de processos envolvendo a teoria do caos e das transições de fase, é outro possível caminho para nova pesquisa. Nessa via, o construto teórico de Prigogine, transcendente à física quântica, demanda atenção mais atenta do que a que foi aqui exposta.

No campo da virtualidade, valeria mais bem explorar o uso dos ambientes virtuais no processo de ensino e aprendizagem, especialmente no que se refere a práticas que fomentem a interação entre seus usuários e que inclusive possam fornecer pistas quanto à validade das hipóteses que circulam entre os pesquisadores da aprendizagem em rede e do conectivismo.

Tal leque de perspectivas não é indicativo de que este trabalho não tenha apresentado resultado algum. Seja pela argumentação apresentada, seja pela descrição de práticas na formação de professores, espera-se ter evidenciado com suficiente clareza que a inserção da física quântica no ensino médio, feita em rede com os demais conteúdos, não é apenas possível, mas é processo facilitador da aprendizagem de conteúdos em geral. Da mesma forma, faz-se necessário repensar reformulações curriculares dos cursos superiores de física no sentido de apostar em tal processo também nesse nível de ensino.

No contexto das pesquisas sobre a teoria de redes, o uso ainda incipiente da técnica de “mineração de textos” e subsequente construção de “nuvens de palavras”, aplicada em escalas progressivamente mais amplas de eliminação de palavras, já revelou grande potencial na identificação dos assuntos focados em um texto. Exemplo disso é a evidência permitida por esta técnica do papel de enredamento interno à quântica cumprido pelas radiações no texto “*Radiações, materiais, átomos e núcleos*”, papel esse argumentado neste trabalho como sendo similar àquele desempenhado pela quântica ao enredar diferentes campos de conhecimento.

Além das “nuvens de palavras”, a “mineração de textos” associada ao uso de *softwares* de análise de redes, possibilitou visualizar textos como redes que, unificadas em uma grande rede global, permitiram analisar a distribuição dos nós relativos a determinado texto, tendo como pano de fundo os nós tecidos pela rede global. Processo similar se fez com a visualização como rede de um conjunto de mapeamentos conceituais. Respectivamente contextualizados na experimentação de licenciandos de física na identificação da presença da quântica no cotidiano escolar e na elaboração de redes conceituais tecidas pela quântica, em ambos os casos revelou-se a preponderância de elementos relacionados à temática das radiações nos nós com maior número de *links* e de maior importância para a coesão da rede.

Vale também resgatar os indícios do ganho de novas percepções sobre a quântica e seu ensino por parte de um grupo de licenciandos que realizou não apenas os experimentos indicados no parágrafo anterior, mas todo um espectro de atividades que dialoga com a concepção do conhecimento como feixe de relações entre os nós de uma rede de significados e com a necessidade de uma avaliação processual focada no incentivo ao desenvolvimento de pesquisas e autorias.

Por fim, tendo em vista tanto os resultados parciais encontrados quanto a diversidade de perspectivas abertas, pode-se dizer que esta tese ora se apresentou como ensaio sobre o caráter complexo da educação, ora como descrição do exercício de uma proposta para formação docente. Em qualquer dessas acepções, não só se mostrou como a confluência de várias redes, como também fonte de novas redes a serem futuramente tecidas e analisadas. O caráter inconclusivo do que seria a conclusão de uma tese, a ausência de um CQD (“*como queríamos demonstrar*”), se compreende neste caso por sua natureza da confluência de redes.

Não é demais apontar que só conflui o que flui, e as redes de que tratamos não partem da física quântica nem se encerram nesta: são fluxos abertos em sua origem e seu prosseguimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, C; MOUATT, S. The information revolution, information systems and the 6th Kondratieff cycle. In: MCIS 2010 **Proceedings**, Paper 3. Tel-Aviv-Yafo, Israel, 2010.

AHMAD, K.; GILLAM, L. Automatic Ontology Extraction from Unstructured Texts. In: 2005 OTM CONFEDERATED INTERNATIONAL CONFERENCE ON ON THE MOVE TO MEANINGFUL INTERNET SYSTEMS: COOPIS, COA, AND ODBASE **Proceedings** – v.II, p. 1330-1346. Disponível em: <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F11575801_25> Acesso em: 31 Mar. 2014.

ALLIANZ GLOBAL INVESTORS. **The sixth Kondratieff – long waves of prosperity**. Frankfurt: Allianz, 2010. Disponível em: <https://www.allianz.com/v_1339501901000/media/press/document/kondratieff_en.pdf>. Acesso em: 31 Mar. 2014.

ANTIQUEIRA, L. et al. Modelando Textos como Redes Complexas. In: XXV CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO III WORKSHOP EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E DA LINGUAGEM HUMANA – TIL. **Anais**, p.2089-2098, São Leopoldo, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/til/2005/008.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BAGGOTT, J. **The quantum story: a history in 40 moments**. Oxford: Oxford University Press, 2011.

BARABASI, A.L. **Linked: The new science of networks**. Cambridge, Mass: Perseus Pub, 2002.

BARABASI, A.L et al. Lethality and centrality in protein networks. **Nature**, London, n.411, p. 41-42, 2001. Disponível em: <http://www.barabasilab.com/pubs/CCNR-ALB_Publications/200105-03_Nature-ProteinNetworks/200105-03_Nature-ProteinNetworks.pdf> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BARABÁSI, A.-L. & ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, Washington, v. 286, n. 5439 pp. 509-512, 1999. Disponível em <<http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9910332.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BASSET et al. Dynamic reconfiguration of human brain networks during learning. **PNAS**, Washington, v.108, n.18, p.7641-7646, 2011. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/1010.3775v2>> Acessado em: 31 Mar. 2014

BENIGER, J. R. **The control revolution: technological and economic origins of the information society**. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1986.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.

_____. Ministério da Educação. **Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física**. Brasília: Ministério da Educação/Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior, 2001.

_____. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica, 2002.

_____. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica, 2006.

_____. Ministério da Educação. **Programa Ensino Médio Inovador. Documento Orientador**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2009.

_____. Ministério da Educação. **Matriz de Referência para o ENEM 2009**. Brasília: Ministério da Educação/Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2009.

_____. Ministério da Educação. **Guia de livros didáticos: PNLD 2012 : Física**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica, 2011.

BRODER, A. et al. Graph structure in the web. In: 9th International World Wide Web Conference, **Proceedings**. Amsterdam, 2000. Disponível em <<http://www9.org/w9cdrom/160/160.html>> Acesso em 31 Mar. 2014.

BRUNER, J. S. **O processo da educação**. São Paulo: Nacional, 1973.

BRUNN, J. **Networks in Physics Education Research – A Theoretical Methodological and Didactical Exploration Study**. 2012. 192 f. Tese (Science Education PhD) - Department of Science Education, University of Copenhagen, Copenhagen, 2012. Disponível em: <http://www.academia.edu/4269588/Networks_in_Physics_Education_Research_-_A_Theoretical_Methodological_and_Didactical_Exploration_Study> Acesso em: 31 Mar. 2014.

BUCHANAN, M. **O Átomo Social** São Paulo: Leopardo Editora, 2010.

CAÑAS, A. J. et al. **A Summary of Literature Pertaining to the Use of Concept Mapping Techniques and Technologies for Education and Performance Support**. The Institute for Human and Machine Cognition. Pensacola, EUA, 2003. Disponível em <<http://www.ihmc.us/users/acanas/Publications/ConceptMapLitReview/IHMC%20Literature%20Review%20on%20Concept%20Mapping.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014

CANATO JR., O. **Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - modalidade Física). Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

_____. Integração de atividades virtuais e presenciais no ensino de Física. MOODLE MOOT BRASIL 2010. **Anais**. São Paulo, 2010. Disponível em

<http://www.moodlemoot.com.br/2012/wp-content/uploads/2012/08/MoodleMoot_Brasil_2010.pdf> Acesso em 31 Mar. 2014

_____. Construindo redes de conhecimento a partir da Física Moderna e Contemporânea em estágios orientados. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA. **Anais**. Foz do Iguaçu, Brasil, 2011.

CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

_____. A Física Moderna e Contemporânea como facilitadora do aprendizado em rede. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. **Anais**. Florianópolis, Brasil, 2009. Disponível em <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/590.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

_____. Física Moderna e Contemporânea e aprendizado em rede. In: VI ENCONTRO DA PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Anais**. São Paulo, 2011. Disponível em <http://web.if.usp.br/cpgi/sites/default/files/Caderno_VIEPPGEC_2011.pdf> Acesso: 31 Mar. 2014.

_____. A Física Quântica como conhecimento em rede no ensino de física. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA. **Anais**. Maresias, Brasil, 2012.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede. (A era da informação: economia, sociedade e cultura)**. São Paulo: Paz e Terra, 1999, v.1.

_____. **Comunicación y poder**. Madri: Alianza Editorial, 2009.

CHRISPINO, A. et al. A área CTS no Brasil vista como rede social: onde aprendemos? **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v.19, n.2, 2013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132013000200015&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 31 Mar. 2014.

CISCO. Connections Counter: The Internet of Everything in Motion. **The Network, Cisco's Technology News Site, 2013**. Disponível em: <<http://newsroom.cisco.com/feature-content?type=webcontent&articleId=1208342>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

DELEUZE, G.; GUATTARI, F. **Mil platôs: capitalismo e esquizofrenia**. São Paulo: Ed. 34, 1995, v.1.

DEMO, P. **Complexidade e aprendizagem: a dinâmica não linear do conhecimento**. São Paulo, SP: Atlas, 2002.

_____. **Visões e fundamentos da aprendizagem em rede**. Blog do Prof. Pedro Demo, 2011. Disponível em <<http://pedrodemo.blogspot.com.br/2014/01/alter28-visoes-e-fundamentos-da.html>> Acesso em 31 Mar. 2014.

_____. **Educação, Avaliação Qualitativa e Inovação - I**. Textos para Discussão. Brasília, DF: INEP, 2012. Disponível em

<http://www.publicacoes.inep.gov.br/arquivos/%7B9CE8A069-41E9-42BC-BF85-32CF01E43CB8%7D_Td%2036.pdf>. Acesso em 31 Mar. 2014.

FRANCO, A.; LESSA, N. **Porque as plataformas de aprendizagem não são boas e o que fazer para melhorá-las**. Escola de Redes, 2012. Disponível em <<http://escoladeredes.net/group/plataformas-de-aprendizagem/page/por-que-as-plataformas-de-aprendizagem-nao-sao-boas>> Acesso em 31 Mar. 2014

GALLO, S. Transversalidade e educação: pensando uma educação não-disciplinar. In: ALVES, N.; GARCIA, R. L. (orgs.). **O Sentido da Escola**. Rio de Janeiro: DP&A, 2000. Disponível em <http://www.lite.fae.unicamp.br/papet/2003/ep403/transversalidade_e_educacao.htm> Acesso em: 31 Mar. 2014.

GILMORE, R. **Alice no país do quantum**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

GRF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). **Leituras de Física**. São Paulo: USP/MEC-FNDE, CAPES, FAPESP/MEC, CENP - Programa Pró-Ciência, 1998. 3v

KELLY, K. **Out of control: the new biology of machines, social systems, and the economic world**. Reading, Mass: Perseus Books, 1994.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1998

KRAGH, H. Photon: New light on an old name. **ArXiv**:1401.0293, 2014. Disponível em <<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1401/1401.0293.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

_____. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

LI, S. et al. A map of the interactome network of the metazoan *C. elegans*. **Science**, Washington, v. 303, n. 5657 pp. 540-543, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/303/5657/540.full>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

LOBATO, T; GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do Ensino Médio. Baurú, **Ciência & Educação**, UNESP, v. 11, n. 1, p. 119-132, 2005. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/10.pdf> > Acesso em 31Mar.2014.

MA, H.; ZENG, A.-P. Reconstruction of metabolic networks from genome data and analysis of their global structure for various organisms. **Bioinformatics**, Oxford University Press, v.19, n.2, p.270–277, 2003. Disponível em: <http://bioinformatics.oxfordjournals.org/content/19/2/270.full.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014

MACEDO, A. L. **Rede de conceitos: uma ferramenta para contribuir com a prática pedagógica no acompanhamento da produção textual coletiva**. 2010. 206 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação). Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MACHADO, N. J. **Epistemologia e Didática: as concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente**. São Paulo: Cortez, 1995.

_____. **Conhecimento e valor**. São Paulo: Moderna, 2004.

_____. **Tópicos de Epistemologia**. São Paulo: Universidade Virtual do Estado de São Paulo, 2012. Disponível em
<<http://www.youtube.com/playlist?list=PL3607D2A0360CD002>> Acesso em: 31 Mar. 2014

MASUCCI, A.P.; RODGERS, G. J. Network properties of written human language. **Physical Review E**, v. 74, n.2, 2006. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/physics/0605071v1.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014

MENEZES, L.C. **A Matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

MENEZES, L.C. et al. **Toda a Física: hoje e através de sua história**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

_____. **Coleção Quanta Física**. São Paulo: Editora PD, 2010, 3 v.

MICHEL, J.-B. et al. Quantitative Analysis of Culture Using Millions of Digitized Books. **Science**, Washington, v. 331, n. 6014, pp. 176-182, 2010 Disponível em:
<<http://www.sciencemag.org/content/331/6014/176.full.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

MILGRAM, S. The Small World Problem. **Psychology Today**, New York, v. 2, p. 60-67, 1967.

MONTEIRO, M. A. et al. A sistemática incompreensão da Teoria Quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Bauru, **Ciência & Educação**, UNESP, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. Disponível em
<<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v15n3/07.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014.

MORETI, F. **Network Theory, Plot Analysis**. Stanford Literary Lab, Pamphlet 2, Stanford, 2011. Disponível em <<http://litlab.stanford.edu/LiteraryLabPamphlet2.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

OBSERVATORIO CTS. **La nanotecnología en Iberoamérica situación actual y tendencias**: documento de trabalho. Madrid: OEI, 2011. Disponível em
<<http://www.oei.es/DocTrabajo4vf.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014.

OLIVEIRA, F. F. et al. A. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. São Paulo, **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Sociedade Brasileira de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454. 2007. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a16v29n3.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014.

OLIVEIRA, L. A. O Rizoma e a Metáfora do Hipertexto: sobre a educação e a(s) estrutura(s) do conhecimento no polo mediático-informático. São Paulo, **Revista Anagrama**, Universidade de São Paulo. Escola de Comunicações e Artes, v.6, n.1. 2012. Disponível em
<<http://revistas.usp.br/anagrama/article/view/46372>> Acesso em 31 Mar. 2014.

PÉREZ, C. **Revoluciones tecnológicas y capital financiero: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza**. México, D. F.: Siglo Veintiuno (México), 2004.

PESSOA JR., O. F. O problema da medição em mecânica quântica: um exame atualizado. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, São Paulo, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Universidade de Campinas, (série 3) 2(2): 177-217, jul-dez 1992. Disponível em <<http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/Prob-Med-1.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

_____. **Conceitos de Física Quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, vol. I, 1996.

_____. F. Histórias contrafactuais: o surgimento da física quântica. **Estudos avançados**, São Paulo, Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, n.42, p.175-204. 2000. Disponível em <<http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/Est-Avan-00.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

_____. **Misticismo ou espiritualidade quântica?** Vya Estelar, 2010. Disponível em <http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica_misticismo.htm> Acesso em 31 Mar. 2014.

PRIGOGINE, I. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo: Unesp, 1996.

PRIGOGINE, I; STENGERS, I. **Order out of chaos man's new dialogue with nature**. New York: Bantam Books, 1984.

ROSENSTIEHL, P. Rede. **Enciclopédia Einaudi**. Porto: Imprensa Nacional - Casa da Moeda, v. 13, Lógica – Combinatória, p. 228-246, 1988.

RYBERG, T., BUUS, L., GEORGEN, M. 2011. Differences in Understanding of Networked Learning Theory: Connectivity or Collaboration? In: Dirckinck-Holmfeld, L., Hodgson, V., McConnell, D. (Eds.). 2011. **Exploring the Theory, Pedagogy, and Practice of networked learning**. Springer, London, p. 43-58. Pre-proof version disponível em <http://vbn.aau.dk/files/58639828/Differences_in_Understandings_of_Networked_Learning_Theory_Connectivity_or_Collaboration_pre_proof_and_typeset_version.pdf> Acesso em 31 Mar. 2014.

SANCHES, M. B. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: qual sua presença em sala de aula?** Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006. Disponível em <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/fisica/dissertacoes/fisica_moderna.pdf> Acesso em 31 Mar. 2014.

SÃO PAULO. Secretaria da Educação. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Física**. São Paulo: Secretaria da Educação/ Coordenação do Desenvolvimento dos Conteúdos Programáticos e dos Cadernos dos Professores, 2008.

SEGRÈ, E. **Dos raios X aos quarks. Físicos modernos e suas descobertas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1980.

SILVA, J. A; PINTO, A. C.; LEITE, C. **Projeto Escola e Cidadania: Física**. São Paulo: Editora do Brasil, 2000.

SPORNS, O. **Networks of the brain**. Cambridge: MIT Press, 2011

SIEMENS, G. **Knowing Knowledge**. Vancouver, BC, Canada: Lulu Press, 2006. Disponível em: <http://www.elearnspace.org/KnowingKnowledge_LowRes.pdf> Acesso em 31 Mar. 2014

SIEMENS, G. **Learning and Knowing in Networks: Changing roles for educators and Designers**. ITFORUM, 2008. Disponível em: <<http://itforum.coe.uga.edu/Paper105/Siemens.pdf>> Acesso em 31 Mar. 2014

TOFFLER, A. **A Terceira Onda**. Rio de Janeiro: Distribuidora Record de Serviços de Imprensa S. A., 1980.

TORI, Romero. Cursos híbridos ou blended learning. In: LITTO, Frederic M; FORMIGA, Marcos M. **Educação a distância: o estado da arte**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009. pp 121-128.

WATTS, D. J. **Seis graus de separação: a evolução da ciência de redes em uma era conectada**. São Paulo: Leopardo, 2009.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of 'small-world' networks. **Nature**, London, n.393, p. 440-442 1998. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v393/n6684/pdf/393440a0.pdf>> Acesso em: 31 Mar. 2014.

WONGLIMPIYARAT, J. The nano-revolution of Schumpeter's Kondratieff cycle. **Technovation**, Amsterdam, Elsevier, n. 25, p. 1349–1354. 2005. Disponível em: <http://eprints.port.ac.uk/4519/1/viewcontent_2.pdf> Acesso em: 31 Mar. 2014.

APÊNDICE A - EXEMPLOS DE INSERÇÕES DA QUÂNTICA COMO REDE

A.1 – Fotografia, radiografia e grãos de luz

Fotografia, radiografia e grãos de luz

Perguntas problematizadoras

- *Quais as diferenças de procedimento para ver uma fotografia e para ver uma radiografia?*
- *Quais as diferenças de procedimento para tirar uma fotografia e para tirar uma radiografia?*
- *O que é Raio-X e porque conseguimos enxergar ossos e órgãos com ele?*

Fotografia e radiografia - IFSP/SP - PE3 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.1-1

A produção de uma fotografia

Uma máquina fotográfica é, essencialmente, uma câmara escura de orifício.

O processo:

- 1) Ilumina-se o objeto com luz branca comum.
- 2) De cada ponto iluminado do objeto um único raio de luz atravessa o orifício da câmara e incide sobre o filme.
- 3) A incidência de luz sobre o filme provoca modificações na estrutura atômica da emulsão gelatinosa que o recobre. Luz mais intensa, sensibiliza mais o filme.
- 4) Com uso de produtos químicos, revela-se o filme e cria-se o negativo da imagem, cujas regiões mais escuras correspondem a maiores incidências de luz do que nas regiões mais claras.
- 5) O uso de novos produtos químicos produzem o "branqueamento" do filme, permitindo a transformação do negativo em positivo.

OBS: embora nas câmaras digitais não exista o filme fotográfico, a comparação com a câmara escura continua válida, com a correspondência um a um entre pontos do objeto e da imagem.

Fotografia e radiografia - IFSP/SP - PE3 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.1-2

Figura A.1-3

Figura A.1-4

Figura A.1-5

Figura A.1-6

Figura A.1-7

Figura A.1-8

Figura A.1-9

Figura A.1-10

A.2 – Ondas, música e quântica

Ondas, música e quântica

Perguntas problematizadoras

- Qual a diferença entre um som alto (agudo) e um som baixo (grave)?
- Analise a seguinte afirmação: a voz fina está para a luz azul assim como a voz grossa está para a luz vermelha.
- O que é uma onda estacionária e por que ela é assim chamada se, como onda, implica a necessária propagação de uma perturbação?
- Como se faz para produzir sons mais altos (mais agudos) e sons mais baixos (mais graves) em um instrumento musical de corda?
- Qual o significado de uma frequência fundamental e de seus harmônicos?
- De que forma um átomo se assemelha a um violão ou a um tamborim?

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-1

As ondas e suas frequências

GRANDEZAS QUE CARACTERIZAM UMA ONDA

Frequência (f): número de oscilações que ocorrem em uma unidade de tempo. Uma unidade de frequência muito usada é o hertz (Hz), que indica o número de oscilações por segundo.

Período (T): intervalo de tempo para que haja uma oscilação completa.

Comprimento de onda (λ): distância entre dois pontos consecutivos e equivalentes da onda, que oscilam "em fase", ou seja, têm mesmo deslocamento relativamente ao equilíbrio e crescem ou decrescem juntos.

Amplitude (A): máximo deslocamento de um ponto em relação a sua posição de equilíbrio.

Uma onda periódica percorre uma distância igual a seu comprimento de onda no intervalo de tempo igual a seu período, de modo que a velocidade de propagação da onda é dada por $V = \frac{\lambda}{T}$ ou $V = \lambda \cdot f$, uma vez que $f = \frac{1}{T}$.

CONEXÃO

A figura A mostra a representação temporal de uma onda: a ordenada d indica a posição de um ponto em função do tempo, t; o maior deslocamento em relação ao ponto de equilíbrio é a amplitude da onda, A; o intervalo de tempo entre dois máximos é o período da onda, T. A figura B apresenta a mesma onda, porém em uma representação espacial: o gráfico relaciona a posição de um ponto, d, quanto a sua localização, x, no espaço; a amplitude ainda é a mesma, A, mas a distância entre dois máximos agora representa o comprimento de onda, λ .

ESCOLAS ASSOCIADAS
ENSINO MÉDIO

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-2

Luz e som

Ondas, música e quântica - IFSP/SP - PE3 - 2011/02 - Prof. Osvaldo Canato Jr

Figura A.2-3

Figura A.2-4

Figura A.2-5

Figura A.2-6

Figura A.2-7

Figura A.2-8

Figura A.2-9

Figura A.2-10

Figura A.2-11

Figura A.2-12

Figura A.2-13

A.3 – Goiânia – o nuclear na terra do Sol

1. O nuclear na terra do Sol

Excerto de CANATO JR., O. **Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - modalidade Física). Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003

Hoje, ao mesmo tempo em que projetos de colonização de Marte são idealizados e a formação do Universo é investigada, através de modernos aceleradores de partículas, vivemos na lembrança de Hiroxima e Nagasaki e temos medo da autodestruição da raça humana. Um medo que só tende a crescer, pois as núcleo-elétricas são uma alternativa concreta às outras usinas elétricas de grande porte e, mesmo que se evitem vazamentos radiativos, há produção de plutônio, cujo destino quase certo é o armamento nuclear. É claro que, nem sempre, se evitam vazamentos e não há garantias de que acidentes como o de Chernobil não voltem a acontecer.

Aliás, vazamentos radiativos não ocorrem apenas em usinas nucleares. Vale lembrar o triste episódio brasileiro da inocente violação, por sucateiros, de uma pequena cápsula de elemento radiativo - cerca de 2 cm de comprimento e 0,2 cm de diâmetro - encontrado dentro de uma bomba de cézio-137 abandonada pelo *Instituto Goiano de Radiologia*, em um terreno baldio da Rua 57 do Bairro Popular de Goiânia, em setembro de 1987. O relato de Gabeira (1987)¹ expressa de forma rica e comovente o drama da população de uma cidade que, pela ausência de usinas ou centros de pesquisas nucleares, parecia escapar de qualquer risco de acidente nuclear:

¹ GABEIRA, F. **Goiânia, rua 57: O nuclear na terra do sol**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara S. A., 1987.

Tudo o que se conhece é que Roberto e Wagner [dois catadores de papel] retiraram a enorme peça num carrinho de mão e venderam o cabeçote de chumbo num ferro-velho. O preço foi de mil e seiscentos cruzados, pouco mais de vinte dólares. O dono do ferro-velho e os próprios catadores ficaram curiosos. Queriam, evidentemente, romper o chumbo para vendê-lo em partes, mas também queriam ver o que havia dentro. Era para eles uma espécie de raio X. Se a máquina pode ver dentro das pessoas, por que as pessoas não podem ver dentro da máquina?

Quando, aos golpes de marreta, chegaram à brilhante pedra azul, ficaram maravilhados. [...] Um dos catadores tentou traçar uma cruz no peito e o dono do ferro-velho quis reparti-la entre os amigos, gratuitamente, para que fizessem anéis. Um deles levou um pedaço para casa. [...] A pedra brilhava tanto que incomodava o sono da mulher com quem vivia. Ele chegou com a pedra no bolso da calça, quase em contato direto com ela. [...] O mais trágico dos movimentos aconteceu na casa do outro dono do ferro-velho, Ivo. Sua filha Leide, de seis anos, brincou próxima do pó de cézio, tocou nele comendo um pedaço de pão com ovo e se contaminou internamente. [Ela morreria um mês depois]

[...] Os primeiros sintomas começaram a aparecer -vômitos, queimaduras na pele, queda de cabelo. Como qualquer pessoa numa circunstância dessas, os catadores de papel e o dono do ferro-velho começaram a se interrogar sobre o que comeram. Um deles chegou a levantar uma hipótese forte: leite com manga ou manga com sal. [...] A essa altura das indagações, não estavam apenas contaminados, mas estavam também emitindo radiações. Fizeram de tudo o que estava ao seu alcance. Foram ao farmacêutico e compraram pomada, foram ao pronto-socorro e se medicaram como vítimas de queimadura, e um dos catadores de papel, mais atingido, chegou a ser internado no hospital especializado em doenças tropicais.

Foi no auge dessa busca que a pedra começou a ficar sob suspeita e o veterinário Paulo Roberto Monteiro formulou, pela primeira vez, a descoberta do acidente. [...] A partir daí, o mistério se desfez, o mundo desencantou e o pedaço azul do céu se transformou num pedaço azul do inferno.

[...] Cerca de 43 técnicos desembarcaram em Goiânia. [...] O cézio-137 estava em forma de pó. A primeira tarefa urgente era encontrá-lo. [...] Exatamente porque era invisível, a radiatividade estava em toda a parte e em nenhum lugar. Cinco mil pessoas, por dia, no princípio, acorriam ao Estádio Olímpico, onde foi instalada uma equipe incumbida de testar a contaminação.

[...] Assim que foram detectados, os catadores de papel e seus corpos tornaram-se um segredo de estado. As instalações do Hospital Naval [no Rio de Janeiro, para onde alguns pacientes foram levados] foram fechadas à imprensa, que só poderia acompanhar os acontecimentos do outro lado da rua. Qualquer tentativa de furar o bloqueio era respondida a tiro.

[...] Desde o momento em que os pacientes foram examinados no Estádio Olímpico até o momento de seu enterro [...] o nuclear revelou a capacidade de militarizar cada passo da medicina, transformando-a numa atividade secreta, protegida por guardas armados que só desaparecem de perto dos corpos quando sepultados em caixões de chumbo, recobertos por uma camada de concreto.

[...] O trato com os animais contaminados revelou-se também confuso e cheio de contradições. [...] Goiânia tem mais de mil pombos e eles voavam para todos os bairros, inclusive o Popular. [...] No seu sofrimento silencioso, Sheik [um cachorro abandonado na casa de um dos catadores de papel] já se havia transformado num cachorro atômico, seu corpo era uma transição do animal para o mineral, como se os fragmentos de chumbo e concreto que iriam compactá-lo para sempre já estivessem colados no seu corpo.

[...] Mas foi chegando o momento em que o verdadeiro calcanhar-de-aquiles de todo projeto nuclear iria aparecer para todos, com luminosidade mais intensa que a do

próprio céσιο-137. Esse momento se deu quando começou a discussão em torno do lixo atômico [as roupas recolhidas no Estádio Olímpico, por exemplo].

[...] Diante dessa realidade [recusa do Governo estadual em guardar o lixo atômico em Goiás], o Governo federal resolveu indicar um lugar definitivo para o lixo atômico: a Serra do Cachimbo, no sul do Pará.

[...] De todas as demonstrações [contrárias à decisão do Governo federal], a mais popular foi a realizada durante o Círio de Nazaré, a grande festa religiosa do norte do país. Uma centena de manifestantes entrou na procissão com cartazes e máscaras de protesto e foi, progressivamente, ganhando o apoio dos fiéis, estimulados também pelas declarações das autoridades católicas do Pará, contrárias ao depósito de lixo atômico. Os participantes do Círio de Nazaré viveram na realidade a grande cerimônia política do ano, porque manifestantes que protestavam contra a violência dos latifundiários do Pará também estavam presentes. Os dois movimentos se uniram ao longo do caminho, simbolizando dramaticamente as contradições de um Brasil incapaz de realizar ao mesmo tempo uma aspiração do século passado, a reforma agrária, e uma aspiração do século XX, a superação do projeto nuclear (GABEIRA, 1987, excertos p.13-46).

Independentemente da avaliação política ou técnica que se faça das implicações do episódio de Goiânia, fato é que, repentinamente, a Física atômica virou “conversa de botequim” naquela cidade e que um mínimo conhecimento científico desse assunto por parte da população poderia ter amenizado ou, quem sabe, evitado o acidente. Aspecto interessante é que o intenso brilho daquela pedra azul também teve seu reflexo na produção artística, com o goiano Siron Franco descobrindo uma nova técnica de trabalho com a terra, em especial misturada à tinta de tom prateado, e tendo projetado sua carreira nacional e internacionalmente:

É que, na época do acidente, eu fui fazendo braços, pés, membros de chumbo toda vez que amputavam alguém que tinha sido contaminado com Césio. Foi uma forma de executar as imagens das notícias. Elas me levavam a fazer isso, porque foi uma coisa que me impressionou bastante, já que eu passei toda minha infância ali. Além disso, eu fui chamado pelo pessoal do bairro para interferir com o governador, porque não estavam nem recolhendo o lixo mais, achavam que tudo estava contaminado. Virou uma paranóia. Aí eu comecei a trabalhar com a terra de Goiânia e levei a exposição para São Paulo, para mostrar que a terra da cidade não estava contaminada. Mas no início todo mundo tinha medo da exposição, porque pensavam que aquilo podia estar contaminado (FUNDAÇÃO IBERÊ CAMARGO, 2003²).

2. Síntese sobre a constituição nuclear e a radioatividade natural³

- Os núcleos atômicos são constituídos de prótons e de nêutrons.
- O número de prótons é a carga total do núcleo, denominado número atômico (Z) do elemento químico e define suas propriedades químicas. Em um átomo neutro, o número de elétrons na eletrosfera é igual ao número de prótons no núcleo.
- Como os elétrons são muito leves, a massa atômica é praticamente igual à massa do núcleo do átomo.
- Devido à repulsão elétrica entre os prótons, a explosão de qualquer núcleo complexo seria inevitável, se a repulsão não fosse compensada pelas interações nucleares fortes, que são atrativas.
- A soma do número de prótons com o número de nêutrons define o número de massa (A) do núcleo.

² FUNDAÇÃO IBERÊ CAMARGO. **A arte como libertação**. 24 jan. 2003. Disponível em <<http://iberecamargo.uol.com.br/content/revista/entrevistas.asp?codent=38>>. Acesso em: 02 mai. 2003.

³ Texto formulado a partir do exposto nas páginas 26 e 27 de CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

- Um conjunto de prótons e nêutrons livres tem massa maior do que um núcleo atômico formado pelo mesmo número de prótons e nêutrons; a diferença entre as massas equivale à energia de ligação internuclear, igual à energia necessária para desintegrar por completo o núcleo atômico.
- O número de nêutrons pode variar, para um mesmo elemento, sem alterar suas propriedades químicas, correspondendo a seus diferentes isótopos.
- Alguns isótopos não são estáveis, ou seja, dependendo do número de nêutrons, são radiativos, mas todos os elementos com carga nuclear menor que a do urânio (número atômico $Z = 92$) têm pelo menos um isótopo estável.
- A radiação α , que é a expulsão de um conjunto de dois nêutrons e dois prótons, deixa o núcleo com número de massa quatro unidades menor e com número atômico duas unidades menor.
- A radiação β corresponde à expulsão de um elétron gerado dentro do núcleo pela conversão de um nêutron em próton, na interação nuclear fraca, deixando o núcleo com praticamente a mesma massa, mas com número atômico uma unidade maior.
- A radiação γ , que é a emissão de um fóton de alta frequência, é a forma pela qual um núcleo previamente excitado, por exemplo, em consequência de uma emissão α ou β , se acomoda em um nível de menor energia.
- As radiações cósmicas, originadas de processos nucleares em outras partes do Universo, também podem interagir com substâncias na atmosfera tornando-as radiativas.

3. Atividade sobre as famílias radioativas naturais⁴

Os elementos naturalmente radiativos constituem séries ou “famílias”, no sentido específico de que, do decaimento radiativo de um deles, resulta outro elemento também radiativo, seu “descendente”, que também decai gerando mais outro, e assim por diante, até chegar a um elemento estável, um dos isótopos do chumbo (Pb).

A tabela abaixo apresenta três famílias radioativas; duas delas começando por um isótopo do urânio (U) e a outra, por um de tório (Th).

Observe que na tabela estão representadas apenas as emissões α e β , já que a γ não muda a espécie química. Perceba que há isótopos que tanto podem emitir radiação α como β , não simultaneamente, causando ramificações dentro das séries, que, depois, se reúnem em outro isótopo, como fica claro no diagrama abaixo da tabela, em que se representa a família I. Realize, então, as seguintes atividades:

- 1) Construa um diagrama semelhante ao da família I para a família III.
- 2) Observe o tipo de desintegração das famílias I e III e, copiando em seu caderno os dados apresentados para a família II, indique o tipo de emissão radiativa, α ou β , responsável pelas transmutações dessa família, sabendo que não há outros isótopos que possam causar ramificações além dos já representados. Construa, também, um diagrama para essa família.
- 4) Há uma emissão γ , não mostrada na tabela, entre quaisquer duas diferentes desintegrações; discuta por que é razoável que um núcleo que acabou de se transmutar “precise” emitir um ou mais fótons, ou seja, emitir radiação γ .

⁴ Atividade formulada a partir do exposto nas páginas 27 e 28 de CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003.

FAMÍLIAS RADIATIVAS NATURAIS								
FAMÍLIA I			FAMÍLIA II			FAMÍLIA III		
ELEMENTO	ISÓTOPO	DESINTEGRAÇÃO	ELEMENTO	ISÓTOPO	DESINTEGRAÇÃO	ELEMENTO	ISÓTOPO	DESINTEGRAÇÃO
Urânio	${}_{92}\text{U}^{235}$	α	Urânio	${}_{92}\text{U}^{238}$	?	Tório	${}_{90}\text{Th}^{232}$	α
Tório	${}_{90}\text{Th}^{231}$	β	Tório	${}_{90}\text{Th}^{234}$	?	Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{228}$	β
Protactínio	${}_{91}\text{Pa}^{231}$	α	Protactínio	${}_{91}\text{Pa}^{234}$	?	Actínio	${}_{89}\text{Ac}^{228}$	β
Actínio	${}_{89}\text{Ac}^{227}$	α, β	Urânio	${}_{92}\text{U}^{234}$	?	Tório	${}_{90}\text{Th}^{228}$	α
Tório	${}_{90}\text{Th}^{227}$	α	Tório	${}_{90}\text{Th}^{230}$	?	Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{224}$	α
Frâncio	${}_{87}\text{Fr}^{223}$	α, β	Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	?	Radônio	${}_{86}\text{Rn}^{220}$	α
Rádio	${}_{88}\text{Ra}^{223}$	α	Radônio	${}_{86}\text{Rn}^{222}$	?	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{216}$	α, β
Astato	${}_{85}\text{At}^{219}$	α, β	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{218}$	α, β	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{212}$	β
Radônio	${}_{86}\text{Rn}^{219}$	α	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{214}$	?	Astato	${}_{85}\text{At}^{216}$	α
Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{215}$	β	Astato	${}_{85}\text{At}^{218}$	?	Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{212}$	α, β
Polônio	${}_{84}\text{Po}^{215}$	α, β	Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{214}$	α, β	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{212}$	α
Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{211}$	β	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{214}$	?	Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{208}$	β
Astato	${}_{85}\text{At}^{215}$	α	Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{210}$	?	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	Estável
Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	α, β	Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{210}$	?			
Polônio	${}_{84}\text{Po}^{211}$	α	Bismuto	${}_{83}\text{Bi}^{210}$	α, β			
Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{207}$	β	Polônio	${}_{84}\text{Po}^{210}$	?			
Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	Estável	Tálio	${}_{81}\text{Tl}^{206}$	?			
			Chumbo	${}_{82}\text{Pb}^{206}$	Estável			

Figura A3 - 1

Figura A3 - 2

4. E o Césio-137?⁵

As mortes, doenças e danos materiais ocorridos no acidente de Goiânia foram causados por um isótopo radioativo, o césio-137. Por este motivo o césio (Cs), seus isótopos, seu decaimento e suas emissões radioativas serão analisados neste texto.

CÉSIO (Cs) - é um metal alcalino, altamente eletropositivo, que não existe livre na natureza, devido à sua grande atividade química, superior à do rubídio e do potássio, pertencentes ao mesmo grupo da tabela periódica. É encontrado na polucita, um silicato de césio e alumínio.

Tem ponto de fusão a 26°C e ponto de ebulição a 670°C. É o mais eletropositivo dos metais; tem cor branca prateada, é dúctil, oxida-se rapidamente no ar; com umidade inflama-se espontaneamente, produzindo chama não-luminosa de cor violeta-avermelhada; é solúvel no hidróxido de amônio e deve ser guardado em óleo mineral. Seu número atômico 55 e tem 35 isótopos, dos quais somente um é estável, o de massa nuclear igual a 133 u.m.a.. Dos seus muitos isótopos, vários apresentam meias-vidas muito pequenas, de frações de segundos a poucos segundos.

Meia-vida é o tempo que uma certa massa de isótopo radioativo leva para cair à metade da massa original. Quando as meias-vidas são muito pequenas, significa que há uma grande quantidade de partículas emitidas por unidade de tempo. Diz-se então que os isótopos de meia-vida pequena possuem uma grande atividade radioativa. No entanto, esta grande atividade de muitos isótopos do césio não chega a ser problemática, visto que, por apresentarem meias-vidas muito curtas, estes isótopos não existem naturalmente na Terra, já se desintegraram. Sua ocorrência é puramente artificial

A Figura ao lado [abaixo] permite verificar como ocorre o decaimento do isótopo de massa 137 do césio.

⁵ Extraído de Eichler, M. L., Calvete, M. H. H., Salgado, T. D. M. **Módulos para o ensino de radioatividade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Instituto de Química. pp. 75-77.
Disponível em: <http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/radio.pdf>

O céσιο decai por emissão de partículas beta. Isótopos com massas menores que a do isótopo estável, céσιο-133, decaem por emissão de partículas beta positivas (β^+), pósitrons. Para massas nucleares maiores que a do isótopo estável, como é o caso do céσιο-137, o decaimento se dá através de partículas beta negativas (β^-). A meia-vida do céσιο-137 é de 30 anos.

Do decaimento do céσιο se origina o bário (Ba) com mesma massa nuclear (a partícula β^- mantém a massa nuclear, A, constante e acrescenta uma unidade ao número atômico, Z):

BÁRIO - 137

O bário possui 31 isótopos, dos quais 7 são estáveis. O de maior abundância na natureza é o isótopo de massa nuclear igual a 138 u.m.a.. O bário-137, originado pela emissão de partículas β^- do céσιο-137 participa com 11,32% na composição ponderal isotópica do bário natural, no entanto este isótopo do bário é metaestável.

Estável é o átomo ou isótopo que não decai por emissão de partículas radioativas ou energia eletromagnética. Para manter este estado de estabilidade, cada átomo ou isótopo possui uma quantidade própria de energia armazenada.

Quando é aumentada esta quantidade de energia, ocorre um fenômeno chamado excitação. O estado metaestável é aquele no qual o átomo ou isótopo encontra-se no estado excitado. Para retornar à estabilidade, é necessário que ocorra uma desexcitação do átomo ou isótopo, que se dá com a liberação de energia eletromagnética na forma de fótons.

A excitação pode ocorrer tanto na eletrosfera como no núcleo. Quando a excitação se processa na eletrosfera, a desexcitação é feita pela emissão de raios X. Já a desexcitação no núcleo é feita através da emissão de um fóton gama (radiação γ). O céσιο-137 pode decair para o bário-137 em seu nível fundamental de energia, ou pode decair para um estado excitado, metaestável. Neste último caso o bário-137 é radioativo, com meia-vida de 2,6 minutos e decai com emissão de raios γ para o próprio bário-137, somente que agora no estado estável.

Assim, numa amostra contendo céσιο-137, observa-se a emissão de dois tipos de radiação: partículas β , emitidas pelo ^{137}Cs , e fótons γ , emitidos pelo ^{137}Ba .

APÊNDICE B – TEXTOS REFLEXIVOS DE LICENCIANDOS - OFICINAS_V4

B.1 - Grupo formado pelos alunos 01, 02 e 03:

Reflexão postada pelo ALUNO 01:

“O conhecimento pode ser adquirido de diversas formas, atualmente o ensino convencional é requerido através das gerações, mas apenas nestes últimos anos o conhecimento tecnológico foi inserido como uma nova área a ser estudada, o homem desenvolve continuamente extensões de seu corpo, como por exemplo: telescópio como extensões de seus olhos, caminhões de carga aumentando o poder de transporte, transmissão de dados em código binário para comunicação com o computador. Tornando assim essencial além do letramento a alfabetização tecnológica, necessidades criadas pelo homem para sua evolução.

Atualmente, não seria possível desvincular o binômio física clássica e física moderna, pois ambas se completam, contudo estudado separadamente é possível apresentar saltos quantizados, subníveis de energia, mas o conjunto (entende-se aparelho) possui ambos.

A possibilidade de criar recursos como aceleradores (sincrotron) permite a obtenção por exemplo de novos tipos de diagnósticos prevenindo e combatendo doenças que antes eram o mal da época, convém destacar que estamos ainda em desenvolvimento, baseando-se no computador que revolucionou diversas áreas e no momento que o computador quântico estiver à venda, a grandeza frequência do processador não terá apenas alguns gigahertz, mas será a própria luz, o que se pode esperar?

Apesar da realidade apresentada no texto sobre a opacidade conceitual entre a tecnologia envolvida em uma máquina de escrever e um teclado de computador, convém destacar o ambiente onde se apresenta tal assunto, pois uma escola tradicionalista exigirá que o professor continue apresentando a física nos livros destinados aos exames vestibulares, eliminando a necessidade de tal conhecimento, entretanto a construtivista permitirá a apresentação sobre o cotidiano dos alunos e suas indagações sobre o que o cerca, exigindo professor o conhecimento descrito inicialmente.

Resposta postada pelo ALUNO 02:

“Gostei da forma com que aborda o tema, me parece ter propriedade do que diz... mas hoje contextualizar as "duas físicas" de forma a prover o conhecimento tecnológico dos avanços da física é inconcebível. ainda, digo que com a grade de física que temos no estado é impossível fazer tal prática. mas concordo com vc sobre ser possível em meios de aprendizagem coerente, fazer o processo ensino aprendizagem acontecer em ambientes hostis, visto que a física classica por si só não esgota assuntos e a inserção de física moderna só faz com que o alunado perca mais o interesse”.

Resposta postada pelo ALUNO 03:

“Achei o texto bom, articulando a física quântica na vida cotidiana junto com a física clássica. Com alguns exemplos do seu uso na vida atual. Gostei também do apontamento levantado sobre o ensino de física quântica na sala de aula. Porém vejo a necessidade de

especificar melhor cada ponto destacado pelo professor, ou seja, falar de forma mais detalhada sobre cada tópico:

- a alfabetização científica,
- funcionamento de aparelho que requerem leis da física quântica e clássica
- aceleração na criação de novas tecnologias
- conhecimento sobre o funcionamento de aparelhos que funcionam através da física quântica.

B.2 – Grupo formado pelos alunos 04, 05 e 06

Reflexão postada pelo ALUNO 04:

“Foi a partir do século XIX que o avanço tecnológico se iniciou e desde então não parou mais. Hoje quem não consegue se adaptar ao uso do computador, por exemplo, não está preparado para o mercado de trabalho. Tudo gira em torno do conhecimento tecnológico. Por isso é de grande importância a alfabetização tecnico-científica. Mas não basta apenas sua inserção desconexa num currículo escolar, mas conforme diversos textos e teses já estudados é preciso uma inserção interligada com a física clássica. Primordialmente é necessário a capacitação dos professores, pois muitos deles não conhecem a Teoria Quântica devido sua formação ultrapassada atrelada ao comodismo de não estar atualizado. Isso gera um desconforto ao vermos uma física newtoniana fazer parte de grande parte dos anos médios. O uso dos aparelhos tecnológicos é uma grande janela para uma discussão da física presente no seus dispositivos, funcionamento e uso”.

Resposta postada pelo ALUNO 05

“De fato, os aparelhos propiciam uma porta de entrada para a física moderna na sala de aula. Porém, como bem sabemos, no Brasil nos deparamos com ensino sucateado, com professores sobrecarregados e sem tempo para fazer cursos de aperfeiçoamento. Diante desse quadro é difícil que os professores, que já estão na rede pública, tenha acesso às metodologias envolvidas no ensino de física quântica”.

Resposta postada pelo ALUNO 06

“Concordo com a colega quando diz que é de grande importância a alfabetização científica/tecnológica e que é preciso uma interligação dos temas da física clássica com a física moderna, mas acredito que ensinar apenas os conteúdos referentes às inovações não basta, acho que é preciso que fiquem claras as implicações dessas tecnologias no contexto social: mostrar como funciona uma usina nuclear, por exemplo, não pode vir somente com conceitos físicos mas também com uma discussão sobre suas problemáticas, vantagens e desvantagens.”

APÊNDICE C – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA – OFICINAS_V5 - 2012_01

Olá,

Encare essa atividade como uma via de mão dupla. Em um sentido, suas respostas serão valiosas para o professor conhecer algumas características da turma e melhor adequar as atividades que darão sequência ao curso. Para o aluno será uma primeira oportunidade de refletir sobre algumas das problematizações que estarão presentes no curso e que deverão nortear a elaboração de seu projeto de regência em PE3. Além disso, no contexto das Oficinas de Projetos de Ensino como espaços de incentivo às iniciativas autorais de alunos e docentes, suas ações neste curso, incluídas as respostas a esse questionário, em muito contribuirão à atual investigação acadêmica em andamento acerca da temática da presente oficina.

São quatro as partes em que se agrupam as questões: Profissão, Formação, Polêmicas e Relações. Há questões gerais e obrigatórias (sinalizadas com um asterísco vermelho) e outras mais específicas que somente deverão ser respondidas por aqueles que se enquadrarem na situação ali descrita.

Isso posto, mãos à obra. Clique em mostrar questões e avance passo a passo, sem pressa. Se precisar fechar o questionário e depois reabri-lo, não há problema. As respostas parciais, desde que já gravadas, não serão perdidas.

Vale por fim informar que suas respostas não estarão visíveis aos demais colegas.

Att,

Prof. Osvaldo Canato Jr

I - Profissão

1. Em caso de atualmente ocupar função de professor de Ensino Médio ou Fund II ou já tê-la ocupado, indique-a, esclarecendo a rede escolar (privada/pública), modalidade (EJA, regular, técnico), disciplina(s) lecionada(s) e tempo de experiência.
2. Em caso de atualmente ocupar outra função no mercado de trabalho, ou de já ter tido considerável experiência em outra profissão, indique-a e explique o porquê da busca pelo curso de Licenciatura em Física.

II - Formação

1. Onde cursou o Ensino Médio?
() Ensino Médio Regular
() EJA
() Ensino Técnico
2. Em caso de já ter formação em outra área (superior, técnico ou tecnológico), indique-a, esclarecendo área e certificação envolvidas.
3. Em caso de já ter formação em cursos de especialização ou pós graduação indique-o, esclarecendo área e certificação envolvidas.

III – IFSP

1. Informe o semestre/ano de seu ingresso na Licenciatura em Física do IFSP-SP

2. Em caso de já ter participado de outras oficinas (PE1, PE2, PE4), indique-as e apresente uma breve descrição da temática nela(s) desenvolvida(s).
3. Das disciplinas listadas ao lado indique aquelas em que você já foi aprovado.
 - () FMO (Introdução à Física Moderna)
 - () ESM (Estrutura da Matéria)
 - () FAM (Física Atômica e Molecular)
 - () FNP (Física Nuclear e de Partículas)
 - () FES (Física do estado Sólido)
 - () AST (Astronomia)
 - () PEE (Política e Estrutura do ensino no Brasil)
 - () ESS (Escola e Sociedade)
 - () CI1 (Educação Científica e Prática de Ensino I)
 - () CI2 (Educação Científica e Prática de Ensino II)
4. Caso já tenha participado de projetos (PIBID, PIBIC, monitoria) vinculados à Licenciatura em Física, indique-os, esclarecendo a temática envolvida.
5. Caso já tenha participado de eventos científicos (Congressos, Simpósios, etc), indique-os, esclarecendo o nome do evento e, se aplicável, o título do trabalho apresentado.

IV - Polêmicas

Nas questões a seguir, escolha um número de 1 a 5 de forma a indicar seu acordo ou desacordo com a afirmação. Números maiores correspondem à maior afinidade com a afirmação.

1. O ensino de cinemática deve anteceder o ensino de dinâmica.
2. O ensino de ondulatória e óptica deve anteceder o ensino de eletromagnetismo.
3. O ensino dos fundamentos da Física Clássica deve anteceder o ensino da Física Quântica.
4. Devido à sua inerente abstração matemática, a Física Quântica somente deve ser ensinada após razoável consolidação na aprendizagem em cálculos e representações matemáticas.
5. Um curso de Física no Ensino Médio poderia iniciar com o aprendizado da Física Quântica.
6. A vida moderna é impregnada de elementos tecnológicos, sendo a alfabetização científica e tecnológica quase tão imprescindível quanto a alfabetização vinculada ao letramento.
7. Diversos objetos/aparelhos de uso cotidiano são complexos, com seu funcionamento vinculado a ambos os contextos clássico e quântico.
8. O desenvolvimento da Física Quântica tem proporcionado uma aceleração do uso tecnológico em nosso cotidiano qualitativamente superior a qualquer outra época da história humana.
9. Apesar de intimamente impregnados em nosso cotidiano e contexto social, esses “objetos/aparelhos quânticos” apresentam grande opacidade conceitual, sendo poucos os professores de Física, mesmo universitários, que saberiam, por exemplo, apontar a função dos diversos elementos que compõem um aparelho de telefonia celular ou um aparelho de CD. No entanto, há cerca de uma década, ainda era comum no Brasil o uso de aparelhos de telefone em que os transdutores podiam ser retirados com facilidade e, eventualmente, reparados de alguma avaria. A mesma comparação pode ser feita entre uma máquina de escrever e o teclado dos computadores ou entre um antigo rádio a válvulas e os modernos aparelhos de som, com seus vários circuitos integrados.
10. A observação das radiações e de seus efeitos tem sido um de nossos principais veículos, senão o principal, para a revelação da constituição da matéria e de sua organização.
11. Os campos de conhecimento historicamente construídos pela física podem ser visualizados como nós de uma rede em que a FMC ocupa um de seus mais importantes

centros.

12. O desenvolvimento dos chips e outros circuitos microeletrônicos tornaram possível a digitalização da informação e, em decorrência, sua presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida, condicionando a estruturação da sociedade contemporânea em redes globais que configuram e controlam as atividades humanas em cada rincão do planeta.

13. Refletida no campo educacional, a 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.

V - Relações

1. Indique ao menos um exemplo de conceito ou fenômeno quântico que relacione diferentes campos conceituais da Física (Mecânica, Termodinâmica, etc). Se, depois de muito refletir, não conseguir encontrar nenhum exemplo, escreva "não sei".

2. Indique ao menos um exemplo de conceito ou fenômeno quântico que relacione a Física com a Química ou com a Biologia ou com a Matemática. Se, depois de muito refletir, não conseguir encontrar nenhum exemplo, escreva "não sei".

3. Indique ao menos um exemplo de conceito ou fenômeno quântico que relacione a Física com outras disciplinas e/ou áreas de conhecimento (História, Geografia, Medicina, Arqueologia, etc). Se, depois de muito refletir, não conseguir encontrar nenhum exemplo, escreva "não sei".

4. Indique ao menos um exemplo (ainda não citado ao longo desse questionário) de impregnação da Física Quântica na vivência da sociedade contemporânea.

APÊNDICE D - MACROS DESENVOLVIDAS NO *WORD*

D.1 – Macro-I para eliminação de acentos e sinais gráficos¹:

```
Sub A0_Deletar_Acentos()  
,  
' AddNamespaceToMathMLInTextOnClipboard Macro  
,  
,  
  
With ActiveDocument.Content.Find  
  
.Text = "á"  
.Replacement.Text = "a"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "é"  
.Replacement.Text = "e"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "í"  
.Replacement.Text = "i"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "ó"  
.Replacement.Text = "o"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "ú"  
.Replacement.Text = "u"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
.Text = "ê"  
.Replacement.Text = "e"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll  
  
End With  
End Sub
```

D.2 – Macro-II para composição da lista de palavras a serem excluídas

```
Sub A0_Deletar_Palavras_Criar_Lista()  
  
Selection.Copy  
Selection.Cut
```

¹ Aqui apresentada apenas como um recorte das linhas de código componentes da macro; a cada novo caractere que se deseje excluir, basta “copiar e colar” antes do código que encerra a macro a instrução

```
.Text = "caractere_a_ser_excluido"  
.Replacement.Text = " caractere_a_ser_excluido"  
.Execute Replace:=wdReplaceAll
```

```
Documents.Open
FileName:="D:\Documents\IFSP\Cursos\PE3\2013_ANX4_I_original\Automap\deletar_palavras.txt"
Selection.PasteAndFormat (wdPasteDefault)
With Selection
    .Collapse Direction:=wdCollapseEnd
    .TypeParagraph
End With

End Sub
```

D.3 – Macro III para composição da lista de associação de palavras

```
Sub A0_Associar_Palavras_Criar_Lista()
Selection.Copy
Selection.Cut
Documents.Open FileName:="D:\Documents\IFSP\Cursos\PE3\juntar_palavras.txt"
Selection.GoTo What:=wdGoToBookmark, Name:="\EndOfDoc"
With Selection
    .Collapse Direction:=wdCollapseEnd
    .TypeParagraph
Selection.PasteAndFormat (wdPasteDefault)
Dim Text1 As String
Text1 = ","
Selection.TypeText (Text1)
End With
With Selection
    .Collapse Direction:=wdCollapseEnd
    .TypeParagraph
End With
Selection.PasteAndFormat (wdPasteDefault)
Selection.GoTo What:=wdGoToBookmark, Name:="\Para"
With Selection.Find
    .Forward = False
    .Text = " "
    .ClearFormatting
    .Replacement.Text = "_"
    .Execute Replace:=wdReplaceAll
End With
Selection.HomeKey Unit:=wdLine
Selection.TypeBackspace

End Sub
```

APÊNDICE E - CLASSIFICAÇÃO DOS NÓS DA REDE CONCEITUAL - OFICINAS_V7

E.1 – Distribuição nas disciplinas e áreas

Nós	Classificação
<p>Aceleradores de partículas, temperatura critica alta, Atomo de Bohr, temperatura critica baixa, Calor, Campo eletrico, Campo magnetico, Campo Magnetico critico, Campo magnetico da terra, cargas eletricas, Celsius, Circuitos eletricos, Condutores eletricos, Corrente eletrica, Diferenca de Potencial, Efeito fotoeletrico, Efeito Meissner, Eletrons, Energia Nuclear, grandeza escalar, Escalas Termometricas, exclusao do campo magnetico no material, Farenheit, Forca eletrica, Fotons, frequencia e energia, Supercondutor Tipo I e Tipo II, Ima, Isolantes eletricos, Kelvin, metais, neutrons, particulas atomicas, Potencial eletrico, Primeira lei de Ohm, protons, alta resistencia eletrica, resistencia eletrica nula, baixa resistencia eletrica, Resistencia Eletrica, Supercondutores, Temperatura critica menor 77K, Temperatura critica maior 77K, temperatura_critica, temperatura do planeta, grandeza vetorial, Zero absoluto, Acustica, Autofalantes, Camera Infravermelha, Celulas Termicas, Detector de ondas gravitacionais, Detector Mario Schenberg, Efeito Hall, Eletromagnetismo, Exame SEM de amostras, Mecanica, Microfone, Optica, Pastilhas de Peltier, Radiacoes, Semicondutores, Termofisica, agitacao das particulas, alta_temperatura_critica, campo magnetico nulo, baixa_temperatura_critica, Baixa Temperatura, Comportamento dos supercondutores, condensado_de Bose Einstein, Diamagnetismo Perfeito, Eletroimas ampliadores de campo magnetico, Energia, energia de gap, exceto_cobre_prata_ouro, fenomeno_eletromagnetico, fenomeno_termico, fenomeno_quantico, fluidez de carga eletrica, flutuacao magnetica, fonon, perda_de_calor, Geradores de Eletricidade e cabos de transmissao, Hg 4 2K MgB2 39 2K, linhas de campo, liquefacao do helio e supercondutores, magnetico, medida de temperatura, Meios de propagacao, rede_cristalina, Pares de Cooper, barreira de potencial, preso no fonon, sem_efeito_joule, Sem resistividade, supercondutividade e superfluidez, superfluidez, temperatura abaixo da critica, Teoria BCS, teoria da supercondutividade_teorias BCS, Supercondutor_Tipo_I, Supercondutor_Tipo_II, tipos de supercondutores, Tunelamento, tunelamento nos supercondutores e semicondutores, vence repulsao de Coulomb, particula alfa, atomo, particula beta, Eletricidade, Fisica, fisica classica, fisica moderna, Fisica_Nuclear, Fissao nuclear, Fusao Nuclear, raios gama, meia_vida, Nucleo Atomico, obtencao de energia, Ondas eletromagneticas, Ondulatória, probabilidades, Radiatividade, Raio_X, raios catodicos, Termodinamica, absorcao de energia, Aquecimento de um gas, Arco_iris, colisao de eletrons, coloracao amarelada, coloracao vermelha, cores brilhantes, cores, emissao de fotons, Espectro Descontínuo, Espectro Solar, estrutura de materiais, feixe de luz solar, feixes de luz coerente, Lampada Fluorescente, fornos, Graos de Energia, Lampadas Incandescentes, luz incidente na pele, opaco ao infravermelho, ionizacao do gas Hg, Lampadas, Linhas espectrais, absorcao de luz ultravioleta, luz vermelha amarelada, luz visivel, Temperatura, ondas luminosas absorvidas e refletidas, filamento de tungstenio, eletrodos, tubos com mistura de Hg e Ne, passagem de ondas eletromagneticas, Planck, Prisma, radiacao eletromagnetica, Radiacao Solar, reacao em cadeia, Refracao da Luz, Saltos quanticos, opacos a luz, transparentes a luz, substancia fosforescente, radiacao emitida para a superficie terrestre, temperatura e cor da luz, Lampada de vapor de sodio, comprimento de onda, Detector Piroeletrico, Fotodiodo, Frequencias, Lampadas de Mercurio, Lampadas de Xenonio, Linhas de Fraunhofer, Newton e a espectroscopia, Radiacao do Corpo Negro, aparelhos eletricos, dilatacao termica, Espectro Eletromagnetico, forca eletromotriz, Forcas fundamentais, geradores eletricos, Gravitacao, inducao magnetica, Lei de Lenz e Faraday, Segunda lei de Newton, Leis de Newton, luz, Magnetismo, Maquinas Termicas, Motor mecanico, motores eletricos, estado_fisico, ondas, pilhas,</p>	Física

potencia eletrica, processos de eletrizacao, reacoes nucleares, relatividade, tensao eletrica, Trabalho, voltagem, Campos, Coesao das particulas subatomicas, Forca Eletromagnetica, Energia Potencial Gravitacional, Fisica Atomica, Fisica de Particulas, Forca Gravitacional, Gregos: Atomistica, Interacoes Fundamentais, Massa e Materia, Mecanica Newtoniana, Mecanica Quantica, Forca_Nuclear_Forte, Forca_Nuclear_Fraca, carga eletrica positiva, carga eletrica negativa, antenas de transmissao, bluetooth, onda classica, colapso da funcao de onda, onda de Schrodinger, decaimento nuclear, eletromagnetica, emissao de eletron, equacao de onda, espectro de cores, forno de micro_ondas, funcao de onda, infravermelho, ionizacao de celulas, massageadores, Micro_ondas, ondas de radio, oscilacao, partícula, quanta, corpo negro, radio, radio am fm, ultravioleta, wifi, Aparelhos de telefonia movel, Campos magneticos de alta intensidade, Datacao Radioativa, dominio antropomorfo, dominio astronomico, dominio nuclear, Dominio Quantico, Eletrodinamica Quantica, Energia eletrica, Interacao eletrica, Interacao eletrofraca, Interacao magnetica, Particulas fundamentais, Resistividade, Supercorrentes, Tempo, Controles remotos, EINSTEIN, Emissao e Absorcao, Espectro de emissao, Modelo Atomico de Dalton, Modelo Atomico de Thomson, Modelos atomicos, Ondas curtas medias e longas, Ressonancia, Rutherford	
Biologia, ceramica, efeito estufa, Elementos quimicos, materiais, Quimica, Sentido magnetico em animais, ligacoes_quimicas, Astrofisica, Biofisica, Nanocristais de Alta Fotoluminescencia, ceramicos, composto nao metalico, materiais ceramicos supercondutores, fontes de emissao artificial, idade de fosseis e planetas, linguagem unica, matematica, Seres vivos, Astronomia, atomos de Hidrogenio, atomos de Na, atomos de Neonio, bronzamento natural, CO2 na atmosfera, elementos quimicos diferentes, escurecimento de pele, Espectroscopia, Fogos de Artificios, Fotossintese, liberacao de melanina, macromoleculas, plantas e algas, Teste de Chama, vidro, Astrobiologia, Biociencias, Biologia Molecular, Bioquimica, Caracterizacao de bacterias, carbono e diamantes, Ciencia dos materiais, Composicao da atmosfera de planetas, Cosmologia, Descoberta de elementos quimicos, Estrelas, Identificacao de microorganismos, Identificacao de Substancias, Nanotecnologia, Sol, corpo humano, visao, composicao de corpos, espectrometria, sintese de vitamina D, satelites artificiais, Celulas, Corpos celestes, satelites naturais, Olhos, Reino vegetal, Satelites, Tabela periodica	Ciências da Natureza
barragens, Bombas nucleares, Chernobyl, Acidentes nucleares, discussao, geracao de energia eletrica, Fukushima, Geografia, Guerra mundial, Hiroshima, Historia, Impactos ambientais, Medicina, mudancas climaticas, Nagasaki, relevo geografico, Ressonancia Magnetica Nuclear, Sociologia, Trens MAGLEV, Usina eolica, Hidreletricas, Usinas nucleares, termoeletrica, Usinas eletricas, Diodos, visao noturna, Geologia, Industria Belica, Microprocessadores, Minas Terrestres, Misseis, MOSFET, Paleomagnetismo, Proteeses, Supercomputadores, Tiristor, Transistor, PREMIO NOBEL, goiania, alternativa para o futuro, antropologia, armas nucleares, bomba atomica, bomba hidrogenio, cintilografia, degradacao do meio ambiente, doencas, esterilizacao alimentos, incertezas, poder, preservacao do meio ambiente, Reatores nucleares, tratamento, deteccao e prevencao de doencas, aquecimento global, iluminacao de shows, iluminacao publica, iluminacao residencial e industrial, Lasers, Metalurgia, Aplicacoes tecnologicas, Geociencias, Industria, Industria farmaceutica, Belicismo Nuclear, Eletromiografia, esporte, Historia e Geografia, Kung Fu, sensores, Diagnosticos Exames e Terapias, Eletroeletronicos e Comunicacao, Energia no Brasil, Engenheiros Fisicos Cientistas Especilistas Professores e Tecnicos, Geracao e Consumo Energetico, Meio Ambiente Impactos, Pesquisa Cientifica Desenvolvimento Tecnologico, Pros e Beneficios Contrastes e Riscos, Usinas e Reatores Nucleares, cancer de pele, cancerigeno, celular, comunicacao de baixa distancia, diagnostico medico, esterilizacao, sensores de calor, telefone, telefone sem fio, tomografia, transmissao via saetile, Dominio territorial topografico, Estudo dos acontecimentos, Radiofarmacos, Sociedade, Tecnologias, Telecomunicacoes, Equipamentos e dispositivos de comunicacao, Evolucao da Transmissao de informacoes e seus impactos sociais, Influencia na sociedade, Sensores de elevadores, Sensores iluminacao de Rua	Outras áreas

E.2 – Termos contextualizados no desenvolvimento da física quântica

Nanocristais de Alta Fotoluminescencia, materiais ceramicos supercondutores, idade de fosséis e planetas, atomos de Hidrogenio, atomos de Na, atomos de Neonio, Espectroscopia, Teste de Chama, Identificacao de microorganismos, Identificacao de Substancias, Nanotecnologia, espectrometria, Tabela periodica, Aceleradores de particulas, temperatura critica alta, Atomo de Bohr, temperatura critica baixa, Efeito fotoeletrico, Efeito Meissner, Energia Nuclear, Fotons, Supercondutor Tipo I e Tipo II, neutrons, particulas atomicas, protons, Supercondutores, Temperatura critica menor 77K, Temperatura critica maior 77K, temperatura_critica, Camera Infravermelha, Detector de ondas gravitacionais, Detector Mario Schenberg, Efeito Hall, Exame SEM de amostras, Pastilhas de Peltier, Radiacoes, Semicondutores, Comportamento dos supercondutores, condensado_de Bose_Einstein, energia de gap, fenomeno_quantico, flutuacao magnetica, fonon, Hg 4 2K MgB2 39 2K, liquefacao do helio e supercondutores, rede_cristalina, Pares de Cooper, barreira de potencial, preso no fonon, supercondutividade e superfluidez, superfluidez, temperatura abaixo da critica, Teoria BCS, teoria da supercondutividade_teorias BCS, Supercondutor_Tipo_I, Supercondutor_Tipo_II, tipos de supercondutores, Tunelamento, tunelamento nos supercondutores e semicondutores, partícula alfa, atomo, partícula beta, fisica moderna, Fisica_Nuclear, Fissao nuclear, Fusao Nuclear, raios gama, meia_vida, Nucleo Atomico, Radiatividade, Raio_X, raios catodicos, colisao de eletrons, coloracao amarelada, coloracao vermelha, cores brilhantes, cores, emissao de fotons, Espectro Descontínuo, feixes de luz coerente, Lampada Fluorescente, Graos de Energia, Linhas espectrais, absorcao de luz ultravioleta, tubos com mistura de Hg e Ne, Planck, reacao em cadeia, Saltos quanticos, substancia fosforescente, Lampada de vapor de sodio, Detector Piroeletrico, Fotodiodo, Lampadas de Mercurio, Lampadas de Xenonio, Newton e a espectroscopia, Radiação do Corpo Negro, Forças fundamentais, reacoes nucleares, Coesao das particulas subatomicas, Fisica Atomica, Fisica de Particulas, Interacoes Fundamentais, Mecanica Quantica, Força Nuclear_Forte, Força Nuclear_Fraca, bluetooth, colapso da funcao de onda, onda de Schrodinger, decaimento nuclear, emissao de eletron, equacao de onda, espectro de cores, forno de micro_ondas, funcao de onda, infravermelho, Micro_ondas, quanta, corpo negro, ultravioleta, wifi, Datacao Radioativa, dominio nuclear, Dominio Quantico, Eletrodinamica Quantica, Interacao eletrofraca, Particulas fundamentais, Supercorrentes, EINSTEIN, Espectro de emissao, Bombas nucleares, Chernobyl, Acidentes nucleares, Fukushima, Hiroshima, Nagasaki, Ressonancia Magnetica Nuclear, Usinas nucleares, Diodos, visao noturna, Microprocessadores, Mísseis, MOSFET, Supercomputadores, Tiristor, Transistor, goiania, alternativa para o futuro, armas nucleares, bomba atomica, bomba hidrogenio, cintilografia, esterilizacao alimentos, Reatores nucleares, Lasers, Belicismo Nuclear, sensores, Pros e Benefícios Contrastes e Riscos, Usinas e Reatores Nucleares, celular, esterilizacao, sensores de calor, telefone sem fio, transmissao via satelite, Sensores de elevadores, Sensores iluminacao de Rua.

APÊNDICE F – RESPOSTAS DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA APLICADA NA OFICINAS V_7

F.1 – Distribuição estatística das respostas apresentadas no início do curso (a escolha de um número maior, desde 1 até 5, indica maior afinidade com a afirmação).

O ensino de cinemática deve anteceder o ensino de dinâmica.

O ensino de ondulatória e óptica deve anteceder o ensino de eletromagnetismo.

O ensino dos fundamentos da Física Clássica deve anteceder o ensino da Física Quântica.

Devido à sua inerente abstração matemática, a Física Quântica somente deve ser ensinada após razoável consolidação na aprendizagem em cálculos e representações matemáticas.

Um curso de Física no Ensino Médio poderia iniciar com o aprendizado da Física Quântica.

A vida moderna é impregnada de elementos tecnológicos, sendo a alfabetização científica e tecnológica quase tão imprescindível quanto a alfabetização vinculada ao letramento.

Diversos objetos/aparelhos de uso cotidiano são complexos, com seu funcionamento vinculado a ambos os contextos clássico e quântico.

O desenvolvimento da Física Quântica tem proporcionado uma aceleração do uso tecnológico em nosso cotidiano qualitativamente superior a qualquer outra época da história humana.

Apesar de intimamente impregnados em nosso cotidiano e contexto social, esses “objetos/aparelhos quânticos” apresentam grande opacidade conceitual, sendo poucos os professores de Física, mesmo universitários, que saberiam, por exemplo, apontar a função dos diversos elementos que compõem um aparelho de telefonia celular ou um aparelho de CD.

A observação das radiações e de seus efeitos tem sido um de nossos principais veículos, senão o principal, para a revelação da constituição da matéria e de sua organização.

Os campos de conhecimento historicamente construídos pela física (Mecânica, Física Térmica, Óptica, etc.) podem ser visualizados como nós de uma rede tecida pela Física Quântica.

O desenvolvimento dos chips e outros circuitos microeletrônicos tornaram possível a digitalização da informação e, em decorrência, sua presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida, condicionando a estruturação da sociedade contemporânea em redes globais que configuram e controlam as atividades humanas em cada rincão do planeta.

Refletida no campo educacional, a 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 como norteadores da estrutura curricular.

A Física Quântica tem potencial para ser elemento essencial na textura de redes conceituais no ensino de física.

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.

F.2 – Distribuição estatística das respostas apresentadas no final do curso (a escolha de um número maior, desde 1 até 5, indica maior afinidade com a afirmação).

O ensino de cinemática deve anteceder o ensino de dinâmica.

O ensino de ondulatória e óptica deve anteceder o ensino de eletromagnetismo.

O ensino dos fundamentos da Física Clássica deve anteceder o ensino da Física Quântica.

Devido à sua inerente abstração matemática, a Física Quântica somente deve ser ensinada após razoável consolidação na aprendizagem em cálculos e representações matemáticas.

Um curso de Física no Ensino Médio poderia iniciar com o aprendizado da Física Quântica.

A vida moderna é impregnada de elementos tecnológicos, sendo a alfabetização científica e tecnológica quase tão imprescindível quanto a alfabetização vinculada ao letramento.

Diversos objetos/aparelhos de uso cotidiano são complexos, com seu funcionamento vinculado a ambos os contextos clássico e quântico.

O desenvolvimento da Física Quântica tem proporcionado uma aceleração do uso tecnológico em nosso cotidiano qualitativamente superior a qualquer outra época da história humana.

Apesar de intimamente impregnados em nosso cotidiano e contexto social, esses “objetos/aparelhos quânticos” apresentam grande opacidade conceitual, sendo poucos os professores de Física, mesmo universitários, que saberiam, por exemplo, apontar a função dos diversos elementos que compõem um aparelho de telefonia celular ou um aparelho de CD.

A observação das radiações e de seus efeitos tem sido um de nossos principais veículos, senão o principal, para a revelação da constituição da matéria e de sua organização.

Os campos de conhecimento historicamente construídos pela física (Mecânica, Física Térmica, Óptica, etc.) podem ser visualizados como nós de uma rede tecida pela Física Quântica.

O desenvolvimento dos chips e outros circuitos microeletrônicos tornaram possível a digitalização da informação e, em decorrência, sua presença virtual em qualquer nó da rede em que estiver contida, condicionando a estruturação da sociedade contemporânea em redes globais que configuram e controlam as atividades humanas em cada rincão do planeta.

Refletida no campo educacional, a 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 como norteadores da estrutura curricular.

- 1: 0
- 2: 1 (10,00 %)
- 3: 5 (50,00 %)
- 4: 3 (30,00 %)
- 5: 1 (10,00 %)

A Física Quântica tem potencial para ser elemento essencial na textura de redes conceituais no ensino de física.

- 1: 0
- 2: 0
- 3: 0
- 4: 5 (50,00 %)
- 5: 5 (50,00 %)

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.

- 1: 0
- 2: 0
- 3: 0
- 4: 3 (30,00 %)
- 5: 7 (70,00 %)

APÊNDICE G - EXEMPLO DE TEXTO UTILIZADO EM ESM

GASES INCANDESCENTES: ESPECTRO DESCONTÍNUO¹

A ideia de Einstein de que a luz é constituída por fótons com determinados *quanta* de energia serviu para resolver um mistério que intrigava muitos cientistas há vários anos envolvendo a luz emitida por gases superaquecidos (esse fenômeno é utilizado nas lâmpadas da iluminação pública como as amarelas, e sódio, ou azuladas, de mercúrio). Se a luz emitida pelo gás for feita passar por um prisma, o espectro produzido não é contínuo como o arco-íris: linhas brilhantes separadas por faixas escuras, formando um espectro fatiado. Por quê?

Um prisma separa as cores do feixe de luz que nele incide. Isso ocorre devido à refração da luz no prisma, que produz desvio maior sobre a radiação luminosa de maior frequência; assim, o que era um feixe único de cores torna-se um feixe espalhado com diversos ângulos de saída de diferentes cores. O arco-íris também resulta desse fenômeno, só que produzido pela refração da luz solar em gotículas de água em suspensão, após a chuva. O mistério, que somente foi resolvido pela teoria quântica, era que o arco-íris tem espectro contínuo de cores (e, portanto de frequências), mas um gás aquecido produz um arco-íris “fatiado”, o que é denominado espectro descontínuo.

Conhecidos desde o século XIX, os espectros descontínuos eram comumente usados como uma técnica para a identificação da presença de elementos químicos em compostos. Já se sabia que cada substância tem seu espectro característico, mas não havia uma explicação para o fenômeno da descontinuidade do espectro e das linhas espectrais, também denominadas *raias*.

Utilizando a ideia dos grãos de energia quânticos, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1962) propôs que um elétron, para perder energia, ao decair de uma órbita ao redor do núcleo de maior energia para outra de menor energia, emitia um quantum de luz.

O átomo se assemelharia a um sistema planetário, com elétrons girando ao redor do núcleo, sendo a própria energia do elétron no átomo também quantizada, podendo ocupar apenas certas órbitas. A diferença de energia entre duas órbitas seria igual ao quantum hf da luz emitida ($\Delta E = hf$), quando elétrons de uma órbita fossem para outra. Saltos entre órbitas mais distantes corresponderiam à absorção ou emissão de radiações eletromagnéticas de maior frequência (absorção: salto de órbita com menor energia para outra com maior energia; emissão: salto de órbita com maior energia para outra com menor energia). Com $\Delta E = hf$ acima de certos valores, a radiação emitida ou absorvida já não seria luz visível, podendo ser de ultravioleta até raios X.

O espectro do hidrogênio e os átomos de Rutherford e Bohr

No início do século XX, fizeram-se muitos estudos sobre os espectros dos elementos químicos. Como historiadores tentando decifrar hieróglifos, cientistas procuravam encontrar algum padrão que explicasse as linhas espectrais, por exemplo, das Séries do Hidrogênio, nome dado às sequências de linhas espectrais do hidrogênio que apresentam um padrão comum. .

O átomo pensado como um “sistema planetário” de elétrons circulando em torno de núcleos positivos, como propôs Rutherford, explicaria um espectro contínuo. O espectro discreto,

¹ Texto formulado a partir do exposto nas páginas 14-16 de CANATO JR., O.; MENEZES, L.C. **Radiações, materiais, átomos e núcleos**. São Paulo: Pueri Domus Escolas Associadas, 2003

“fatiado”, teve uma primeira explicação dada por Bohr, que propôs a existência de órbitas eletrônicas “fixas”.

De um estado de menor energia, E_1 , o elétron poderia saltar para órbitas mais externas, de maior energia, E_2 , ao absorver a energia de um fóton.

Ao retornar à órbita original, o elétron perderia a energia absorvida, emitindo um fóton de frequência proporcional à diferença de energia entre as órbitas: $hf = E_2 - E_1 = \Delta E$.

Bohr calculou que a energia de cada órbita teria um valor dado pela expressão $E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}$,

em que n é o número da órbita, também denominado número quântico principal de cada elétron.

Assim, a energia do elétron em cada órbita seria:

- no estado fundamental ($n = 1$) seria: $E_1 = -\frac{13,6 \text{ eV}}{1^2} = -13,6 \text{ eV}$;
- no segundo nível de energia ($n = 2$): $E_2 = -\frac{13,6 \text{ eV}}{2^2} = -3,4 \text{ eV}$;
- no terceiro nível de energia ($n = 3$): $E_3 = -\frac{13,6 \text{ eV}}{3^2} = -1,51 \text{ eV}$;

... e assim sucessivamente, com os valores dos níveis de energia cada vez menos negativo até chegar ao valor nulo, quando o elétron escaparia do átomo, podendo assumir qualquer valor de energia.

Apesar de ser um sucesso para a explicação de todas as séries espectrais do hidrogênio, o modelo atômico quântico de Bohr tinha de ser constantemente reajustado para explicar o espectro de outros átomos com maior número de elétrons.

Da órbita circular, determinada pelo número quântico principal n , derivaram-se órbitas elípticas com diferentes inclinações, dadas por outros números quânticos. Mais tarde, uma verdadeira teoria quântica seria formulada, descartando as ideias clássicas, de trajetórias de elétrons circulando em torno do núcleo, sejam elas circulares ou elípticas.

Questões:

1. No modelo de átomo de Bohr (modelo planetário do átomo), os elétrons estariam em camadas definidas (numeradas de 1 até ∞), das quais poderiam saltar conforme ganhassem ou perdessem energia. Qual o valor mínimo da energia dos fótons para excitar o átomo de hidrogênio nas seguintes transições?

- a) do nível fundamental ($n = 1$) para o segundo nível energético ($n = 2$);
- b) do nível fundamental ($n = 1$) para o terceiro nível energético ($n = 3$);
- c) do nível fundamental ($n = 1$) para o quarto nível energético ($n = 4$);
- d) do segundo nível energético ($n = 2$) para o terceiro nível energético ($n = 3$);
- e) do terceiro nível energético ($n = 3$) para o quarto nível energético ($n = 4$);

2. Qual(is) das transições acima poderia(m) ser realizada(s) pela luz visível (de $f = 4,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ até $f = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$)?

3. (UFMG) Para produzir fogos de artifício de diferentes cores, misturam-se diferentes compostos químicos à pólvora. Os compostos à base de sódio produzem luz amarela e os à base de bário, luz verde. Sabe-se que a frequência da luz amarela é menor que a da verde. Sejam E_{Na} e E_{Ba} as diferenças de energia entre os níveis de energia envolvidos na emissão de luz pelos átomos de sódio e de bário, respectivamente, e v_{Na} e v_{Ba} as velocidades dos fótons emitidos, também respectivamente. Assim sendo, é correto afirmar que:

- a) $E_{\text{Na}} < E_{\text{Ba}}$ e $v_{\text{Na}} = v_{\text{Ba}}$; b) $E_{\text{Na}} < E_{\text{Ba}}$ e $v_{\text{Na}} \neq v_{\text{Ba}}$; c) $E_{\text{Na}} > E_{\text{Ba}}$ e $v_{\text{Na}} = v_{\text{Ba}}$;

d) $E_{\text{Na}} > E_{\text{Ba}}$ e $v_{\text{Na}} \neq v_{\text{Ba}}$.

4. (ITA) O diagrama ao lado mostra os níveis de energia (n) de um elétron em certo átomo. Qual das transições mostradas na figura representa a emissão de um fóton com o menor comprimento de onda?

- I.
- II.
- III.
- IV.
- V.

5. Qual o nível de menor energia do átomo de hidrogênio que deve estar um elétron para que ao saltar para o nível $n = 2$, emita um fóton que provoque o efeito fotoelétrico em um material cuja função trabalho vale $2,7 \text{ eV}$?

6. (UFJF) A figura ao lado mostra os níveis de energia do átomo de hidrogênio. Se inicialmente o elétron está no estado quântico fundamental (de menor energia), qual a sua energia cinética após o átomo ter sido ionizado por um fóton de energia 20 eV ?

- $33,6 \text{ eV}$.
- $13,6 \text{ eV}$.
- $6,4 \text{ eV}$.
- $10,2 \text{ eV}$.

7. Suponha que um elétron tenha saltado do nível 4 para o nível 2 do átomo de hidrogênio.

- Calcule a energia e a frequência do fóton emitido;
- Determine para quais dos materiais listados abaixo esse fóton poderá provocar o efeito fotoelétrico;

platina: $E_{\text{mínima}} = 6,35 \text{ eV}$; prata: $E_{\text{mínima}} = 4,74 \text{ eV}$; antimônio: $E_{\text{mínima}} = 2,4 \text{ eV}$; potássio: $E_{\text{mínima}} = 2,20 \text{ eV}$; célio: $E_{\text{mínima}} = 1,90 \text{ eV}$

8. Uma linha do espectro de raios X do ouro tem comprimento de onda $0,18 \text{ \AA}$. Determine a energia do estado estacionário inferior, sabendo que a energia do estado superior, cuja transição resulta na linha observada é $-13,7 \text{ keV}$. OBS: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

9. Mostre, num diagrama de níveis de energia do hidrogênio, os números quânticos que correspondem a uma transição em que o fóton emitido tem o comprimento de onda $121,6 \text{ nm}$.

10. Suponha que um átomo de hidrogênio seja excitado de um estado com $n = 1$ até um estado com $n = 4$.

- Calcule a energia que deve ser absorvida pelo átomo.
- Calcule as diferentes energias dos fótons que podem ser emitidos se o átomo retornar ao estado $n = 1$.
- Desenhe um diagrama destes níveis de energia.
- Classifique os fótons identificados no item “b” como correspondentes à luz infravermelha, à luz visível ou à luz ultravioleta. Para tal, observe os seguintes dados relacionados ao espectro eletromagnético: luz infravermelha: de 1 mm a 700 nm ; luz visível: de 700 nm a 400 nm .

nm; Luz ultravioleta: de 400 nm a 1 nm.

11. De forma simplificada, o cálculo dos níveis quânticos de energia do átomo de Hélio ionizado pode ser efetuado pela seguinte expressão: $E_n = \frac{-54,4}{n^2}$, onde n é o número quântico correspondente a cada nível energético, com $n = 1$ correspondendo ao estado de menor energia, ou fundamental. Qual o nível de menor energia do átomo de Hélio ionizado para que um elétron ao saltar para o nível $n = 2$ emita um fóton que provoque o efeito fotoelétrico no tântalo de função trabalho 4,2 eV?

APÊNDICE H – PERGUNTAS QUÂNTICAS

H.1 – As *perguntas quânticas* e questões delas decorrentes conforme trabalhadas junto aos licenciandos de ESM, 2013_01

- A) *Quais as principais diferenças se imagina haver entre a atmosfera primitiva e a de hoje e como isso interferiu na origem da vida e no tipo de radiação que hoje nos atinge?*
- A1) Por que a camada de ozônio absorve radiações UV?
 - A2) Por que o dióxido de carbono é transparente à luz visível emitida pelo Sol mas opaco à luz infravermelha emitida pela superfície terrestre?
 - A3) Por que o nitrogênio presente na atmosfera não pode ser diretamente utilizado pelos organismos vivos e de que forma ele é convertido para formas químicas que tornam tal uso possível?
 - A4) Por que a ação da radiação solar destruiu boa parte das moléculas de metano e de amoníaco presentes na atmosfera primitiva?
- B) *Por que a luz solar provoca a fotossíntese nas folhagens, o bronzeamento na pele e a opacidade na lente fotocromática?*
- B1) Qual a explicação dada pela Teoria Quântica para a propriedade manifestada pelos sais de prata presentes nas lentes fotocromáticas de serem sensíveis à luz, especialmente à luz ultravioleta?
 - B2) Qual exatamente o processo físico-químico característico às lentes fotocromáticas que promove a conversão dos sais de prata em prata metálica e a posterior reconversão?
 - B3) Qual a explicação dada pela Teoria Quântica para a propriedade manifestada pela melanina de absorver a luz solar?
 - B4) Que processo físico-químico ocorre quando a melanina absorve a luz solar e por que uma exposição intensa à luz solar pode originar um câncer de pele?
 - B5) Qual a explicação dada pela Teoria Quântica para a propriedade manifestada pela clorofila de absorver a luz solar?
 - B6) Qual a explicação quântica para a transformação da energia luminosa em energia química que caracteriza o processo da fotossíntese?
- C) *Por que a técnica da difração de raios X foi fundamental na descoberta da estrutura do DNA e quais suas diferenças para com a técnica envolvida com a microscopia eletrônica e óptica?*
- Em virtude de recorrentes ausências do licenciando nas aulas relativas ao trabalho com as *perguntas quânticas*, não foram formuladas questões decorrentes a essa pergunta.
- D) *Por que as folhagens de quase todas as plantas são verdes, enquanto suas flores têm diversidade tão grande de cores?*
- D1) Qual a explicação quântica para a cor característica dos pigmentos geralmente encontrados nas flores, bem como para o verde que caracteriza a clorofila?
 - D2) Por que as abelhas enxergam UV e não vêem o vermelho enquanto nós vemos o vermelho mas não vemos o UV?
 - D3) De que maneira a coloração da clorofila se relaciona com o processo energético da fotossíntese?
 - D4) Por que algumas folhas mudam de cor ao longo do ano?
- E) *Por que o carbono é tão importante para a vida e o silício tão importante para a microeletrônica?*

- E1) De que forma a configuração eletrônica do carbono explica a existência dos cerca de 10 milhões de compostos de carbono, sua presença em todas as formas de vida, sendo um dos elementos mais importantes para a estrutura dos seres vivos?
- E2) Além de compor a estrutura dos seres vivos, a presença de compostos gasosos de carbono na atmosfera impedem a perda para o espaço sideral de parte do calor emitido pela superfície terrestre, garantindo uma temperatura adequada para a formação e manutenção da vida. Qual a explicação quântica para esse processo?
- E3) De que forma a configuração eletrônica do carbono e de seus compostos explica sua absorção pelas plantas e pelos oceanos?
- E4) De que forma a configuração eletrônica do silício explica sua abundante presença na microeletrônica?
- F) *O que é luz síncrotron e como ela é utilizada para investigação da estrutura de proteínas e biotecnologia em geral?*
- F1) Por que é necessário que os elétrons ganhem velocidade próxima à da luz para que a luz síncrotron seja emitida?
- F2) O acelerador síncrotron pode ser classificado como um tipo de cíclotron. O que é um cíclotron e quais seus diferentes tipos?
- F3) Uma das vantagens da utilização da luz síncrotron frente a outras técnicas é sua grande intensidade. Por que a luz síncrotron é tão intensa e quais outras vantagens podem ser indicadas para o uso da luz síncrotron?
- F4) Além da cristalografia molecular, que outras aplicações se faz com o uso dos raios X produzidos por um acelerador síncrotron?
- F5) E quanto às demais faixas de frequência por ele produzidas? Onde são utilizadas e por que se utilizam diferentes tipos de luz a depender do que se pretende investigar?
- G) *Como funcionam os sensores que controlam a iluminação automática de ruas, corredores e escadas de edifício, a abertura de portas de lojas, aeroportos e elevadores e o acionamento pelo controle remoto de recursos de uma televisão?*
- Em virtude de recorrentes ausências do licenciando nas aulas relativas ao trabalho com as perguntas quânticas, não foram formuladas questões decorrentes a essa pergunta.

H.2 – Questões propostas como forma de verificar a apreensão de cada licenciando para com as respostas apresentadas pelos demais colegas, bem como para com a percepção do enredamento conceitual inerente ao conjunto das perguntas quânticas.

- I) Escolha uma pergunta que não tenha sido seu próprio tema de pesquisa para, com base na apresentação do colega e em seus próprios conhecimentos, respondê-la de forma a mais objetiva, clara e completa possível, tendo por base o tempo médio de uma questão de uma tradicional prova escrita;
- II) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de conceitos ou fenômenos quânticos que relacionem diferentes campos conceituais da Física (Mecânica, Termodinâmica, etc), com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um outro que não tenha sido abordado em nenhum seminário;
- III) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de conceitos ou fenômenos quânticos que relacionem a Física com outra(s) área(s) das Ciências da Natureza (Química, Biologia, Matemática, Astronomia), com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um

- outro que não tenha sido abordado em nenhum seminário;
- IV) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de conceitos ou fenômenos quânticos que relacionem as Ciências da Natureza com outros campos de conhecimento (História, Geografia, Medicina, Arqueologia, etc), com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um outro que não tenha sido abordado por nenhum seminário;
- V) Descreva (e não apenas cite!) ao menos dois exemplos de impregnação da Física Quântica na vivência da sociedade contemporânea, com (a) um deles tendo sido abordado (mesmo que indiretamente) em algum dos seminários (indique o seminarista) e (b) um outro que não tenha sido abordado em nenhum seminário.

H.3 – Respostas das questões apresentadas no item anterior pelos 5 licenciandos que realizaram a tarefa.

H.3.1 - Pergunta I:

➤ Licenciando 1

Pergunta quântica escolhida: D (*Por que as folhagens de quase todas as plantas são verdes, enquanto suas flores têm diversidade tão grande de cores*).

Resposta: Pelo que entendi, ainda não temos uma explicação completa a respeito deste assunto..porém a mais aceitável até o momento é que as cores servem para chamar mais a atenção dos insetos para ajudar na polinização (reprodução das plantas), pois a visão dos insetos é bem limitada...e a cor verde, viabiliza a fotossíntese....devido o espectro luminoso que chega nas folhagens ser absorvido na maior parte das frequências e reflete o verde....facilitando este processo....

➤ Licenciando 2

Pergunta quântica escolhida: B (*Por que a luz solar provoca a fotossíntese nas folhagens, o bronzeamento na pele e a opacidade na lente fotocromática?*).

Resposta: Nas lentes fotocromáticas ocorrem reações químicas onde a lente "queima" com a passagem de luz forte e as lentes escurecem. Ao ser atingida pela luz a folha recebe também ondas de alta energia, essa energia é suficiente para excitar o elétron e levá-lo a uma região de maior energia, quando esse elétron perde energia ele volta a sua camada original e emite um fóton nesse caminho de volta, no caso das folhas esse elétron carrega também as substâncias necessárias para a vegetação, servindo para o transporte de nutrientes. Na nossa pele existe uma substância chamada melanina, ela se ativa com raios de alta frequência vindos de qualquer fonte no nosso caso a maior parte vem do sol, ao ser atingida pela luz essas células se ativam e escurecem ao serem queimadas, pessoas que possuem mais melanina se queimam com maior facilidade, pessoas que possuem menos não apresentam alterações de cores.

➤ Licenciando 3

Pergunta quântica escolhida: E (*Por que o carbono é tão importante para a vida e o silício tão importante para a microeletrônica?*).

Resposta: porque o carbono tem a capacidade de formar cadeias, e com isso é possível a existência de macromoléculas como proteínas ou o mesmo DNA, enquanto o silício forma estruturas hexagonais que se associam pela sua vez formando lamelas cristalinas de elevada dureza, as quais podem ser modeladas em forma de pastilhas, que depois são fatiadas para dar a base de montagem dos microchips.

➤ Licenciando 4

Pergunta quântica escolhida: D (*Por que as folhagens de quase todas as plantas são verdes, enquanto suas flores têm diversidade tão grande de cores?*).

Resposta: Porque folhagem e flores tem estruturas moleculares diferentes. Quando o raio solar incide na folhagem ou na flor, as mesmas tem uma reação química, isto é, com a excitação dos elétrons, a mesma sai do seu nível estável de energia e emite um fóton. A energia dessa reação química refletirá uma luz que corresponderá a um determinado pigmento. No caso das folhagens, seu pigmento verde vem da característica da clorofila, que tem como atributo principal tal coloração e, portanto, ao reagir com a intensidade da luz solar, o elétron da clorofila se agita, altera seu nível energético e reflete a coloração verde. O mesmo processo ocorre com as flores, mas como cada flor tem uma estrutura, ao "interagir" com a intensidade solar, altera-se seu nível energético e assim parte da luz é absorvida e parte é refletida com uma determinada coloração. O pigmento das flores, portanto, é diretamente ligada a reação química em tais estruturas moleculares.

➤ Licenciando 5

Pergunta quântica escolhida: B (*Por que a luz solar provoca a fotossíntese nas folhagens, o bronzeamento na pele e a opacidade na lente fotocromática?*).

Resposta: Nas folhagens os fótons da luz solar vão excitar os cloroplastos, mais especificamente a clorofila, e aí então se iniciará processo de síntese de glicose e gás oxigênio por dióxido de carbono água e luz. Na pele humana os fótons vão excitar a ativar o pigmento melanina, que caracteriza o tom de pele que cada um possui, uma pessoa que possui mais melanina terá mais facilidade para se bronzear do que uma pessoa com menos. Nas lentes fotossensíveis, a disposição das moléculas que as constituem é que serão responsáveis pela alteração de cor das lentes quando expostas ao Sol, seus elétrons alteram seus níveis quânticos de energia pela exposição à luz, porém os mesmos não retornam as suas posições devido à exposição aos fótons, o que deixa as lentes escuras...

H.3.2 - Pergunta II, III, IV e V:

➤ Licenciando 1

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

A entrada de raios luminosos e o bloqueio de raios ultravioleta que se dá devido o nível de energia necessária para atravessar a camada de ozônio, que causa um filtro (seminário da pergunta A).

Pergunta III (Relação entre física e demais ciências da natureza):

Raios ultravioletas que entram na nossa atmosfera e após absorção são refletidos como raios infravermelhos que acabam gerando calor para nosso planeta....pois devido seu nível de energia ser baixo não conseguem voltar para o espaço (seminário da pergunta E).

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

A utilização da luz sincronon para mapear / verificar fósseis sem destruir rochas (seminário da pergunta F).

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

A presença de silício na maioria dos componetes eletrônicos que permite uma mudança de frequencias na transmissão de dados (seminário da pergunta E)

➤ Licenciando 2

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

O efeito fotoelétrico mistura física quântica na parte que ao se emitir um fóton, ou seja ao se colocar pacotes de energia em qualquer material, pode-se arrancar seu elétron, e surge a parte da elétrica ao se alterar a voltagem e conseguir trazer esse elétron de volta, alterando seu movimento. o que aparece no seminário da pergunta B na parte da fotossíntese e no da pergunta E na explicação do efeito estufa. Na parte da radiação do corpo negro, a termodinâmica aparece na parte do aquecimento de corpos, agitação molecular. E a quântica explica a radiação, faixa de intensidade luminosa emitida.

Pergunta III (Relação entre física e demais ciências da natureza):

No seminário da pergunta D esteve bem clara a relação dos fenômenos quânticos de alteração de nível energético de um elétron dentro de reações químicas que acontecem em um ser vivo, misturando física, química e biologia. A física quântica explica a radiação do corpo negro e isto pode ser relacionado com astronomia ao passo que isto ocorre com as estrelas, estando o sol incluso.

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

No seminário da pergunta A aparece a relação da quântica com a arqueologia e a história, pois ao tentar decifrar como era a atmosfera nos tempo primitivos e também a relação química das moléculas dos gases. No seminário da pergunta B aparece também a relação da medicina com os fenômenos quânticos do bronzeamento e o câncer de pele e no seminário da pergunta C a utilização da quântica nos raios x pela medicina.

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

Atualmente utilizamos a física quântica na emissão de raios x, onde com frequências acima da luz ultravioleta é possível marcar chapas fotográficas, sendo muito utilizada na medicina para verificar os ossos uma vez que esses raios não passam os ossos e não marcam a chapa, assunto abordado no seminário da pergunta C. Um tema que não foi abordado é o das comunicações como por exemplo as ondas emitidas por um telefone móvel e sua transmissão.

➤ Licenciando 3

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

O fenômeno de difração de raios x, e a criação de imagens usando a deflexão de elétrons no microscópio eletrônico. na difração os raios x geram padrões de interferência reconhecíveis macroscopicamente, ao passar pela estrutura cristalina das moléculas, enquanto na microscopia eletrônica os elétrons defletidos geram imagens ou superfícies de nível que são interpretadas no computador como ares de luz e sombra (seminário da pergunta C).

Pergunta III (Relação entre física e demais ciências da natureza):

O fenômeno da fotossíntese e sua relação com o salto quântico gerado pelo impacto do fóton na molécula de clorofila, e a ativação do ciclo de Krebs pelo elétron desprendido. A atmosfera primitiva e sua diferente capacidade de absorção de radiações, vinculadas ao efeito estufa (seminários das perguntas A e B).

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

O uso de radiações x e gama na formação de imagens do corpo humano invisíveis com luz visível, e a marcação de orgaos internos com sais que são fluorescentes com os raios x. O conhecimento dos fenômenos atômico- nucleares que permitiu a dominação das atuais potenciais mundiais pela criação de armas de vasto poder letal (seminário da pergunta C).

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

A crença de que a física quântica pode ter influência em fenômenos psicológicos, o estar diretamente relacionada com a existência do espírito humano imaterial.

➤ Licenciando 4

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

(A) No seminário da pergunta C, o tema sobre raio-x é bastante atrelado a óptica, que estuda fenômenos da luz através de ondas eletromagnéticas, pois o raio-x é uma eletromagnética carregada por fótons. (B) Não foi abordado em nenhum seminário o conceito da termodinâmica, onde relaciona temperatura x comprimento de onda, que estudamos no experimento de radiação do corpo negro. Associando os conhecimento de termodinâmica, à temperatura constante, um corpo negro ideal irradia energia na mesma taxa que a absorve, sendo essa uma das propriedades que o tornam uma fonte ideal de radiação térmica.

Pergunta III (Relação entre física e demais ciências da natureza):

(A) Nos seminários das perguntas B e D houve a relação entre a quântica e a química e a biologia, expondo as reações necessárias para que com a intensidade da luz, haja uma reação química e justifique a pigmentação das folhagens e das flores e o efeito da fotossíntese. O principal conceito abordado foi o de nível energética da molécula, onde o mesmo é alterado com a incidência da luz solar, ou seja, é agregar o conceito que Bohr utilizou para descrever os diferentes níveis energéticos causados ao emitir uma luz no sistema. (B) É possível relacionar a matemática e a física quântica por meio da estatística. Toda vez que se faz um gráfico ou estima-se a energia necessário para a emissão de um fóton há uma relação matemática com a quântica.

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

(A) Seminário da pergunta A: há características de estudo arqueólogo e histórico, pois o mesmo nos expôs que, houve alteração na composição da atmosfera e como consequência, houve o surgimento da camada de ozônio e os estudos feitos sobre a radiação de ultravioleta e da luz infravermelha. (B) Um estudo bem interessante que não foi abordado, seria o estudo da formação da terra e a explicação quântica deste efeito. Até mesmo sobre o Big Bang. Interagir a teoria da relatividade (estudada em FMO) com a mecânica quântica (estudada em ESM) é um tema bem complexo mas envolvente.

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

(A) Me interessou bastante o tema do seminário da pergunta D e a explicação quântica para a coloração das flores. Entender a alteração dos níveis de energia, causado pela luz solar, reagi nas flores de diferentes intensidades e com diferentes reações e associar este mesmo processo a produção de melanina, que gera o bronzeamento na pele (explicado no seminário da pergunta B). São processos físicos-químicos que ocorrem sempre e de passam despercebidos. Conceito que até mesmo que pode ser utilizado em sala de aula. (B) A física quântica também se mostra bem presente na área hospitalar, em equipamento de ressonância magnética, por exemplo. A ressonância é o correlacionamento da energia absorvida contra a frequência, na faixa de megahertz (MHz) do espectro magnético, caracterizando-se como sendo uma espectroscopia. Espectropia é o estudo da interação entre radiação e matéria como uma função do comprimento de onda (λ).

➤ Licenciando 5

Pergunta II (relação entre diferentes campos da física):

Modelo atômico de Bohr: abordado no seminário da pergunta B, energia e quantidade de movimento, o modelo atômico de Bohr diz que para existir a excitação de elétrons

de um órbita, para outra do átomo, é necessário que um fóton de energia exata ou superior à necessária para transferi-lo, o atinja. Dualidade onda partícula: aborda cinemática e ondulatória, um feixe de partículas quando arremessado a uma pequena fenda, deve, ao transpassá-la, se houver um anteparo, nele veremos impresso um padrão de interferência de ondas causado por partículas, esse é apenas um dos indícios.

Pergunta III (Relação entre física e demais ciências da natureza):

Espectro atômico/molecular – Botânica: seminário da pergunta D onde foram tratados os pigmentos dos vegetais, eles tem característica de cor de acordo com a sua configuração geométrica e eletrônica, quando os elétrons excitados retornam ao seu local de origem emitem fótons, eles chegarão aos nossos olhos e nos darão a noção de cor da cada um dos vegetais. Espectro atômico – Modelo de Bohr – Astronomia: na Astronomia, utiliza-se esse conceito de emissão de fótons e de espectro de emissão respectivo, para identificar a composição química das estrelas, e assim estimar como deve ser sua vizinhança.

Pergunta IV (relação das ciências da natureza com outras áreas):

Decaimento radioativo – Paleontologia (no seminário da pergunta E): Além das propriedades do carbono para a existência e manutenção da vida, um dos isótopos dele o carbono-14, é utilizado no ramo da paleontologia para detectar, por meio de emissão de radiação, a idades dos fósseis como, por exemplo, os de dinossauros. Radiações eletromagnéticas – Medicina: na medicina utilizam a física quântica para, por meio de radiações eletromagnéticas, alterar a estabilidade energética de células cancerígenas, e assim destruí-las, isso na radioterapia por exemplo.

Pergunta V (quântica e vivência contemporânea):

Partículas elementares – Acelerador de partículas (seminário da pergunta F): Os aceleradores de partículas da atualidade buscam formas de encontrar as partículas elementares do modelo padrão, um exemplo é o Bóson de Higs que vem sendo procurado no CERN, lá partículas são colocadas em altas velocidades para que se choquem e novas partículas sejam criadas. Raios catódicos – Televisões de tubo: Hoje não são tão utilizadas, mas os televisores de tubo utilizam o disparo de elétrons que percorrem um campo elétrico e outro magnético e atingem uma região fotossensível que por sua vez aparecerá para nós como um ponto de luz na tela, se forem diversos elétrons e diversos pontos de luz teremos uma imagem formada na tela.

APÊNDICE I – CRUZADAS E OUTROS PASSATEMPOS ONLINE UTILIZADOS EM ESM.

I.1 – Cruzadas sobre a tabela periódica¹:

Horizontais:

1. Elemento que atua como ponte entre átomos e moléculas em determinado tipo de ligação química.
3. Gás cujas moléculas são formadas pelo compartilhamento de elétrons de um mesmo elemento químico.
4. Quanto maior o número de elétrons nele presente, mais complexa é sua configuração quântica.
5. Palavra associada ao princípio que estabelece que diferentes elétrons nunca ocupam um mesmo estado quântico.
8. Tipo de ligação química que explica a estabilidade de moléculas entre elementos químicos de valências de sinais opostos.
9. Elementos químicos que apresentam baixa energia de ionização.
12. É como são chamados os elétrons constituintes da nuvem eletrônica compartilhada por átomos associados via ligação metálica.
14. Mantida entre partículas de gases devido fundamentalmente à ligação de Van der Waals.
16. É como são chamados os gases que por terem completa sua última camada eletrônica são pouco reativos.
17. Elemento químico altamente reativo e presente no sal de cozinha.
18. Elementos químicos pertencentes a um mesmo _____ têm o mesmo número de elétrons na última camada.

Verticais:

1. Elementos químicos como o cloro e o fluor.
2. Valoração associada à tendência dos átomos em ter completa sua última camada.
6. Agregado ordenado de átomos, em geral com valências +1, +2 e +3.
7. Partículas que, como os elétrons, "se excluem", nunca ocupando um mesmo estado quântico em determinado sistema.
10. Tipo de luz vinculada à propriedade associativa dos fótons.
11. Partícula cuja quantidade presente no núcleo determina o número atômico de um elemento químico.
13. Classificação que pode ser atribuída aos fótons.
15. Elemento químico estável que possui dois elétrons em sua última camada eletrônica.
19. Elementos químicos pertencentes a um mesmo _____ têm em comum o mesmo número quântico principal, n , que determina a energia de seu elétron mais externo.

¹ Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=2150>

I.2 – Reordenamento de expressões – espectro eletromagnético²:

Espectro eletromagnético
 Coloque em ordem crescente de frequência os citados usos das radiações eletromagnéticas.

Checar
Desfazer
Recomeçar
Dica

Sintonização de sinais de rádio e TV. Ondas eletromagnéticas associadas a uma rede elétrica residencial. Diagnósticos por cintilografia. Aquecimento de alimentos por um forno microondas. Disparo de alarme pelo calor emitido pelo corpo de uma pessoa. Luz branca emitida por lâmpadas fluorescentes. Radioterapia.

I.3 – Associação de colunas – descarga elétrica nos gases³:

Instruções:

Arraste os elementos da esquerda sobre os elementos da direita de maneira a formar um conjunto de 10 associações um a um.

Raios cósmicos	Majoritariamente constituído por moléculas gasosas ionizadas que, atraídas pelo cátodo, provocam canais luminosos por trás dele.
Ionização	Condição para que um gás seja condutor.
Metais	Descarga contínua com emissão de luz branca e brilhante e que provoca grande elevação de temperatura dos eletrodos.
Raios catódicos	Responsável pela alta tensão necessária para o tubo de Crookes.
Ânodo	Quando condutores, não obedecem à Lei de Ohm.
Arco voltaico	Alto poder de penetração.
Gases	Placa positiva.
Raios canais	Estudo de descargas elétricas no vácuo.
Bobina de Rumkhorff	Condutores ôhmicos.
Tubos de Geissler	Estudo de descargas elétricas em gases rarefeitos.
Tubos de Crookes	Placa negativa.
Televisão CRT (convencional)	Elétrons.
Cátodo	Tubo de raios catódicos.

² Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=2151>

³ Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=2152>

I.4 – Preenchimento de lacunas – descarga elétrica nos gases⁴:

Um pouco de história sobre a estrutura da matéria

Passatempo de preenchimento de lacunas

Uma indicação da existência de partículas [?] surgiu, em meados do século XIX, com o estudo de descargas elétricas em tubos de [?], precursores dos modernos tubos de imagem de TVs e monitores de computador.

Quando um gás rarefeito era submetido a elevada tensão elétrica, o eletrodo [?], ou isto é, o cátodo, emitia um feixe de raios que se propagava em linha reta e atingia a parede oposta do tubo, tornando-a [?]. Outros experimentos mostrariam que esses raios [?], eram desviados tanto por [?] quanto por placas eletrizadas, constituindo-se de partículas com carga elétrica negativa, até então desconhecidas. Em 1897, o físico inglês Joseph John Thomson mediu a relação entre a carga elétrica e a [?] dessas partículas, observando que o resultado obtido não dependia nem do tipo de eletrodo ou nem do gás utilizado no tubo. Descobria-se assim a existência do [?], partícula subatômica constituinte universal da matéria, cuja [?] elétrica seria, em 1910, medida por Robert Millikan em seu famoso experimento com gotas de óleo eletrizadas.

Pouco depois, Ernest Rutherford revelaria que o átomo possui um núcleo [?] e positivo envolvido, supostamente rodeado por uma eletrosfera organizada de forma semelhante a um sistema solar. Reinterpretando essa descoberta Niels Bohr apresentou, em 1913, um modelo atômico em que as órbitas eletrônicas corresponderiam a níveis quânticos de energia entre os quais elétrons saltariam sempre que e somente quando absorvessem ou emitissem [?] de energia igual à diferença energética entre os níveis de origem e destino.

Apesar de hoje já não mais se pensar apropriada a ideia de que elétrons descrevam órbitas circulares ou mesmo elípticas em torno de núcleos atômicos, a proposição dos saltos quânticos se manteve, mas com os níveis energéticos imaginados como nuvens eletrônicas, regiões com determinadas [?] de abrigarem elétrons.

⁴ Acesso interativo disponível em: <http://fisicaemrede.com/mod/hotpot/view.php?id=350>

APÊNDICE J – ROTEIROS REFERENTE AO EXPERIMENTO DE MILLIKAN

J.1 – Roteiro para uso do simulador

Licenciatura em Física
Estrutura da Matéria (ESMZ5)
Professor Osvaldo Canato Júnior

EXPLORANDO O EXPERIMENTO DE MILLIKAN SOBRE A CARGA DO ELÉTRON

Roteiro para utilizar a simulação computacional sobre o experimento de Millikan disponível pelo KCVS da University of Alberta¹

Introdução

O objetivo desta atividade é o de familiarizar-se com a simulação de uma versão simplificada do experimento de Millikan de observação do movimento de gotas de óleo eletrizadas, com a consequente determinação da carga do elétron e de rever os princípios da física necessários para compreender esse experimento.

Nota: A simulação é um modelo e, como todos os modelos, tem algumas limitações. A experiência original de Millikan é tediosa e consome muito tempo. Esta simulação inclui uma série de simplificações:

- apenas uma gota é observada, em vez de muitas gotas;
- cada gota tem uma carga aleatória dada por algum método de carregamento; no caso de Millikan, as gotas foram carregadas a partir do atrito entre elas após serem emitidas por um pulverizador atômico e uso da ionização por raios X;
- as gotas caem no vácuo e não no ar, mas o princípio de uma força resultante nula ainda se aplica como no experimento original;
- são fornecidos gráficos instantâneos da velocidade de uma gota em função do tempo decorrido em seu percurso, para cima ou para baixo, através de uma determinada distância;
- as massas das gotas já são diretamente fornecidas, ao passo que Millikan tinha que calculá-las a partir da medida da velocidade terminal e da utilização da densidade do óleo e da lei de Stoke;

Procedimentos e questões

A) Gota em queda livre (1,0)

Contexto: Millikan teria pulverizado numerosas gotas de óleo na câmara superior e observado muitas gotas caindo através da abertura. Parte do experimento de Millikan envolveu a observação da queda de uma gota de óleo na ausência de campo elétrico.

Procedimento: Selecione *Force Directions* no menu *Options* e com a tensão selecionada em 0 V, clique em *Start*.

Questões:

1. Nomeie a(s) força(s) que atua(m) sobre a gota de óleo. Que equação(ões) seria(m) usada(s) para calcular o(s) valor(es) desta(s) força(s)?

Procedimento: Clique em *Rewind*, selecione *vt Graph* no menu *Options* e clique novamente em *Start*.

Questões:

2. Descreva e explique a forma do gráfico.

¹ Adaptação de *Millikan's Oil-Drop Experiment* (http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/millikan/millikanlike.swf)

3. Clique no ícone da ferramenta de inclinação *slope tool* disponível no menu do gráfico e clique em vários pontos ao longo da linha. Quais são e o que representa(m) o(s) valor(es) indicado(s)?

B) Efeito de um campo elétrico (1,0)

Procedimento: Clique em *Reset* e certifique-se que no menu *Options* estejam selecionados tanto *Force Directions* como *v-t Graph*. Mova o controle deslizante de tensão para cerca de metade do valor máximo e clique em *Start*.

Questões:

4. Descreva a forma do gráfico. Como parte dessa descrição, use a ferramenta de inclinação para obter algumas observações quantitativas.
5. Qual é o sinal da carga da gota de óleo? Por quê?
6. Por que não há força elétrica atuando na gota na câmara superior? Verifique sua resposta selecionando *Electric Field Direction*, no menu *Options*.
7. Supondo conhecida a distância, d , entre as placas eletricamente carregadas, que equação seria usada para calcular a intensidade da força elétrica agindo na gota de óleo na câmara inferior?

C) Forças Equilibradas (2,0)

Contexto: Na experiência original de Millikan e nesta simulação, a tensão entre as placas é ajustada para produzir forças equilibradas sobre uma gota de óleo eletricamente carregada, ou seja, $F_R = 0$.

Questões:

8. Se as forças elétricas e gravitacionais estiverem equilibradas, qual será a inclinação da linha traçada no gráfico $v \times t$? Por quê?

Procedimento: Clique em "*Reset*" e certifique-se que no menu *Options* estejam selecionados tanto *Force Directions* como *v-t Graph*. Mova o controle deslizante de tensão para cerca de metade do valor máximo, clique em *Start* e quando a gota de óleo tiver caído cerca de metade da distância entre as placas clique em *Pause*.

Questões:

9. A intensidade da força elétrica é maior ou menor que a intensidade da força gravitacional? Qual o valor da aceleração da gota de óleo dentro da câmara inferior? Ela é maior ou menor que a aceleração da gravidade?

10. Demonstre que essa aceleração poderia ser calculada pela expressão $a = g - \frac{qU}{md}$ ou

$$a = \frac{qU}{md} - g \text{ a depender do sentido da força resultante.}$$

11. A tensão tem que ser aumentada ou diminuída para fazer com que a intensidade da força elétrica se iguale à intensidade da força gravitacional? Justifique sua resposta com o apropriado equacionamento.

12. Quando as forças elétricas e gravitacionais estiverem equilibradas, mostre que é válida a expressão $q = \frac{mgd}{U}$.

Procedimento: Mova o controle deslizante de tensão de modo que os vetores que representam as forças pareçam ter o mesmo comprimento. Clique em *Start* para observar a continuidade da queda da gota e, logo em seguida, clique em *Pause*. Verifique a inclinação do gráfico para se certificar de que as forças estejam equilibradas.

Continue a mover o cursor de tensão e, com o auxílio da ferramenta de "ajuste fino" (disponível a partir do ícone de jogo da velha, "#") obtenha no gráfico uma inclinação igual a zero. Quando você conseguir o equilíbrio das forças, clique em *Record Data* para registrar os resultados na tabela de Evidências (*Evidence* no menu *Options*).

Nota: Se a qualquer momento a gota atingir o fundo da câmara inferior antes de ter ocorrido o equilíbrio das forças, clique em *Rewind* a fim de manter inalterada a carga elétrica da gota e o ajuste da tensão. Não clique em *Reset*, pois nesse caso o simulador entenderá que você solicitou o trabalho

com uma gota de diferente carga elétrica, alterando o valor da força elétrica por ela recebida e a inclinação do gráfico velocidade x tempo.

Questões:

13. Informe os valores registrados na tabela de Evidências.

D) Determinação da menor unidade de carga elétrica (2,0)

Contexto: O experimento de Millikan levou muitos anos de trabalho. Mediram-se milhares de gotas de óleo de vários tamanhos e cargas elétricas e utilizaram-se diferentes óleos. A observação do movimento das gotas de óleo imersas em um campo elétrico mostra claramente que elas são carregadas, mas não há nenhuma maneira de saber quantas unidades de carga estão presentes em uma gota de óleo em particular. Millikan sabia disso e propositadamente alterava as cargas elétricas de determinadas gotas de óleo irradiando-as com raios X. Em última análise, seu objetivo era obter um conjunto de resultados a partir do qual um padrão poderia ser deduzido.

Millikan suspeitava de que os valores das cargas que ele obtinha eram múltiplos da menor unidade de carga elétrica existente. No entanto, como eram valores muito maiores do que essa carga elementar, não era nada fácil perceber tal coisa.

Procedimento:

Para entender como Millikan fez sua análise, considere a seguinte analogia: suponha um grupo de caixas seladas com cada caixa contendo um número desconhecido de bolas de metal idênticas; a massa de cada caixa é medida com o resultado abaixo exposto; conhecendo-se apenas estes dados, pergunta-se: qual é a massa de uma bola de metal?

Caixa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Massa (g)	32,2	16,1	25,3	29,9	9,2	41,4	13,8	23,0	6,9	34,5

A solução é perceber que a diferença entre as massas de duas caixas provavelmente representa um menor número de bolas de metal do que aquelas existentes dentro de qualquer uma das caixas.

Questões:

14. Para fazer essa análise ainda mais evidente, reorganize a tabela ordenando as massas do maior para o menor valor.

15. Subtraia as massas adjacentes (por exemplo, 41,4 g - 34,5 g) para obter nove diferenças de massa.

16. Qual é a massa provável de uma bola de metal? Por quê?

17. Teste esta conclusão através da determinação do número de bolas presente em cada caixa. São os resultados consistentes com a menor massa encontrada na questão anterior?

18. Que inferência está sendo feita a respeito da carga elétrica de um objeto nessa analogia?

E) Colhendo os dados para análise (2,0)

Questões:

19. Seguindo o procedimento descrito no item C para gotas submetidas a forças equilibradas, obtenha pelo menos 10 registros de dados “experimentais” organizados na tabela da ferramenta *Evidence*, no menu *Options*. Lembre-se que o botão *Rewind* reinicia o experimento com a mesma carga, ao passo que o botão *Reset* força a troca da carga, iniciando um novo dado experimental. Informe os 10 registros obtidos tanto no documento Word contendo o conjunto de suas respostas como na planilha Excel a ser utilizada na solução da próxima questão.

OBS: Uma vez que o simulador até aqui utilizado fornece apenas possibilidade de trabalho em torno de 4 valores de tensão elétrica capazes de permitir o movimento uniforme descendente das gotas de óleo, a fim de atender aos requisitados 10 registros, utilize a variante do simulador disponibilizada no seguinte endereço:

http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/millikan/MillikanLike.swf.

F) Análise dos dados obtidos (2,0)

Contexto: Na época dos experimentos de Millikan, ainda havia desacordo generalizado sobre a existência de partículas subatômicas e muitos cientistas também pensavam que a carga elétrica era uma variável contínua. O experimento de Millikan com as gotas de óleo, juntamente com os resultados de Thomson para o valor de e/m , ajudaram consideravelmente no estabelecimento do elétron enquanto uma partícula subatômica com carga elétrica definida.

O experimento de Millikan foi a primeira determinação confiável e inequívoca da carga de um elétron, hoje conhecida como a carga elementar. A carga elementar é agora reconhecida como uma das constantes físicas fundamentais.

Questões:

20. Levando em conta os dados obtidos na questão anterior e a técnica discutida no item D deste roteiro, estime o valor da carga do elétron e compare-o com o valor atualmente conhecido. Justifique sua resposta por meio de cálculos realizados via planilha Excel.

OBS: Cuidado especial deve ser tomado com o uso de aproximações no tratamento dos dados. Estar em torno de certo valor não significa ter exatamente aquele valor, tratando-se, no contexto do experimento de Millikan, de um sério erro conceitual aproximar valores como $12,78 \cdot 10^{-19}$ C para $12,8 \cdot 10^{-19}$ C ou $11,19 \cdot 10^{-19}$ C para $11,2 \cdot 10^{-19}$ C. Tais aproximações pressupõe o conhecimento antecipado daquilo que motiva o cálculo: encontrar o valor da carga elétrica elementar. Se você assim proceder, concluirá que o valor da carga elementar dado pela simulação concorda plenamente com o tradicional valor teórico de $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Mas, pudera...devido à aproximação feita não haveria mesmo como não ser assim! Se Millikan já soubesse para qual valor ele deveria aproximar...!!! Assim, a técnica indicada de comparação entre as massas das bolinhas de metal dentro das 10 caixas não deve ser aplicada de forma descontextualizada aos valores das cargas elétricas fornecidos pela simulação. A técnica é a mesma, mas a complexidade não! Uma coisa é trabalhar com 10 valores pré-estabelecidos, “palpáveis” (que permitem o cálculo imediato, “de cabeça”) e múltiplos de um valor “palpável”, facilmente identificável. Outra coisa é trabalhar com uma infinidade de valores experimentais que possuem ordens de grandeza como 10^{-16} ou 10^{-19} e que “giram” em torno do múltiplo de um valor desconhecido. Exemplo concreto: se a menor diferença entre dois valores experimentais dados pela simulação for de $0,039 \cdot 10^{-19}$ C, deve-se adotar esse valor como sendo o da carga elementar procurada ou deve ser descartado, já que indicaria duas gotas com a mesma carga elétrica? Só é possível responder corretamente a questão testando a divisibilidade por esse valor dos outros valores coletados. Para entender melhor a “brincadeira”, clique aqui e analise o exemplo “Descubra o número”, arquivo Excel disponibilizado no [fisicaemrede](#).

J.2 – Roteiro para uso do equipamento

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SÃO PAULO

Licenciatura em Física
Estrutura da matéria (ESMZ5) - LAB
Professor Osvaldo Canato Júnior

EXPERIMENTO DE MILLIKAN

1) Verificar montagem:

- Fonte e lâmpada de iluminação interna conectadas na rede elétrica, mantendo a fonte configurada como desligada (não há interruptor na lâmpada, implicando que ela ficará sempre ligada durante o experimento).
- Mesa nivelada horizontalmente.
- Controlador da voltagem no capacitor configurado na posição desligado.
- Multímetro conectado no aparelho de Millikan e configurado para medidas de resistência elétrica na escala de 20 M Ω .
- Toalhas de papel, borrifador de óleo e pano de limpeza prontos para uso.

2) Procedimento inicial:

- Limpeza do capacitor de forma suave com o pano disponibilizado.
OBS: manusear cada peça do capacitor com muito cuidado, sempre apoiando as peças que não estiverem sendo instantaneamente utilizadas nas tochas de papel dispostas na mesa.
- Medir com o paquímetro a espessura interna do dielétrico (material isolante) que separa as placas do capacitor.
- Medir com o micrômetro a espessura da agulha que servirá de referência para o conhecimento da espessura dos quadradinhos da grade quadriculada.
- Inserir com muito cuidado a agulha no capacitor e, com a calibração adequada da lâmpada de iluminação interna, medir a espessura dos quadradinhos da grade quadriculada.
- Retirar a agulha do capacitor e reposicioná-la em seu local de origem.
- Remontar o capacitor com o dispositivo de redução do volume de entrada óleo corretamente posicionado.
- Ligar a fonte e configurá-la para uma tensão em torno de 400-450 V.
- Borrifar um pouco de óleo no ar a fim de verificar se o borrifador está com boa pressão.
- Reconhecer a tabela inscrita no aparelho de Millikan que indica a relação entre temperatura interna e a resistência elétrica, prevendo valores razoáveis a serem indicados pelo multímetro de acordo com a temperatura ambiente.
- Reconhecer a alavanca de configuração do aparelho de Millikan que indica as posições “fechado”, “spray” e “reionização”.

3) Procedimento para obtenção dos tempos de queda e subida das gotas de óleo:

- **Funções do Aluno A:**
 - Sempre que solicitado pelo aluno C, posicionar a alavanca de configuração do aparelho de Millikan na posição “spray”, borrifar óleo na câmara do capacitor e, em seguida, reposicionar a alavanca para a posição “fechado”.
 - Verificar a cada 5 minutos a leitura da resistência elétrica, sempre se certificando de que as pontas do multímetro estejam bem conectadas nos terminais do aparelho de Millikan (geralmente a má conexão provoca valores absurdos na medida da resistência elétrica).
- **Funções do aluno B:** trabalhar em “parceria extrema” com o aluno C, de modo a:
 - Montar tabela para o registro de 10 tempos de subida e 10 tempos de descida das gotas de óleo.
 - Preencher a tabela com os valores do tempo de subida e descida das gotas de óleo a cada toque no cronômetro dado pelo aluno C.

- Registrar o número de quadradinhos escolhido pelo aluno C para efetuar as medidas.
- Registrar eventuais trocas de gotas de óleo observadas pelo aluno C.
- Funções do aluno C: trabalhar em “extrema parceira” com o aluno B, de modo a:
 - controlar com uma das mãos o cronômetro.
 - controlar com a outra mão o controle da voltagem no capacitor.
 - observar, através da ocular, as gotas de óleo no interior do capacitor e escolher uma gota adequada para realizar as medidas do tempo de queda (com o capacitor descarregado) e subida (com o capacitor carregado).
 - escolhida a gota e “sem tirar o olho dela”, medir 10 tempos de queda e de subida, deixando o cronômetro no campo de visão do aluno B. Em caso de não ser possível efetuar 10 medidas com a mesma gota, continuar o experimento com outra gota (caso em que se deve orientar o aluno B a registrar o fato). Vale lembrar que sempre estará disponível o processo de reionização a fim de permitir que a gota volte a subir em caso da perda da carga elétrica inicial.

OBS: a fim de evitar perturbações no interior do capacitor, durante o experimento nenhum dos três alunos deve se apoiar na mesa.

J.3 – Roteiro para trabalho com dados extraídos do experimento

<p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SÃO PAULO</p>	<p>Licenciatura em Física Estrutura da matéria (ESMZ5) - LAB Professor Osvaldo Canato Júnior</p>
--	--

Experimento de Millikan – Roteiro para entrega

Com base nos procedimentos, expressões e tabelas indicadas, cada dupla/trio deve entregar um arquivo Word (.doc) contendo os seguintes itens:

- 1) Tabelas dos tempos de descida e subida colhidos no experimento, com todas as informações necessárias para o cálculo dos correspondentes valores das cargas elétricas (seguir o modelo de tabela apresentado pelo professor).
- 2) Cálculo da carga elétrica das gotas observadas (explicitar os cálculos, passo a passo);
- 3) Verificação quanto aos valores encontrados serem ou não múltiplos da carga elétrica elementar com a discussão dos possíveis erros experimentais em caso de resultados discrepantes com o teoricamente esperado (explicitar os cálculos);
- 4) Resposta às seguintes questões:
 - a) A expressão para o cálculo dos raios das gotas de óleo apresentada no documento "tabelas e fórmulas" só é válida para gotas em queda com o capacitor descarregado. Por quê?
 - b) Com base na análise das forças envolvidas durante a queda (com o capacitor desligado) e subida (com o capacitor ligado) de uma gota de óleo de massa m , demonstre a expressão para o cálculo do valor da carga elétrica apresentada no documento "tabelas e fórmulas".
 - c) No manual do equipamento fornecido pela Pasco, há o relato de uma variante no procedimento experimental em que um terceiro dado é colhido: o tempo de queda com o capacitor carregado. Nesse caso, como ficaria a expressão para o cálculo do valor da carga elétrica de uma gota de óleo de massa m ? Explicitar a demonstração.

ÍNDICE DOS AUTORES CITADOS

Adams, C, 42
Ahmad, K, 72, 73
Allianz Global Investors, 42
Antiqueira, I., 76, 150
Baggott, J., 20
Barabási, A.L, 49, 53, 54, 61, 62
Basset, 59
Beniger, J. R., 43
Broder, A., 61, 62
Bruner, J. S., 101
Brunn, J., 75, 150
Buchanan, M., 33
Canãs, A. J., 78
Canato Jr., O., 8, 108, 140, 142, 173, 214, 216, 217, 236
Castells, M., 40, 41, 63, 64, 65
Chrispino, A., 70
Cisco, 60
Deleuze, G., 93, 94, 95
Demo, P., 95, 96, 97, 111, 112, 113, 114, 115, 122, 123, 124, 125, 177
Franco, A., 123, 191
Gallo, S., 93
Gilmore, R., 103, 104, 182
Kelly, K., 45
Khun, t., 39
Kragh, H., 21
Lévy, P., 90, 91, 93, 95, 115, 116, 117, 118, 120
Li, S., 54, 55
Lobato, T., 133
Ma, H., 18, 36, 42, 43, 49, 54, 55, 68, 71, 104, 237
Macedo, A. L., 76, 77, 150
Machado, N. J., 89, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 110, 111, 113, 114, 129, 173, 176, 177
Masucci, A.P., 74
Menezes, L. C., 8, 10, 16, 17, 21, 34, 90, 108, 127, 128, 216, 217, 236
Michel, J.B., 71
Milgram, S., 47
Monteiro, M. A., 131, 132, 133
Moreti, F., 79, 80, 81
Observatorio CTS, 65, 66, 68, 69
Oliveira, F. F, 131
Oliveira, I. A., 95, 131
Pérez, C., 39
Pessoa Jr, O. F., 24, 26, 27, 33, 39, 83, 84
Prigogine, Y., 18, 19, 20, 27, 28, 197
Rosenstiehl, P., 45
Ryberg, T., 124
Sanches, M. B., 130
SÃO PAULO, 140
Segrè, E., 17, 18, 20
Siemens, G., 124
Sporns, O., 58, 59
Tofler, A., 43
Tori, R., 119
Watts, D. J., 27, 28, 47, 49
Wonglimpiyarat, J., 42