



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,
FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS



EVERSON COUTINHO DA SILVA

AS RADIAÇÕES IONIZANTES NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR DE FÍSICA: UM
OLHAR NAS REVISTAS ESPECIALIZADAS

Salvador
2011

EVERSON COUTINHO DA SILVA

AS RADIAÇÕES IONIZANTES NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR DE FÍSICA: UM
OLHAR NAS REVISTAS ESPECIALIZADAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Ciências

Orientadora: Profa. Dra. M^a Cristina M. Penido

Salvador
2011

L****

Silva, Everson Coutinho da

As radiações ionizantes na formação do professor de física: um olhar nas revistas especializadas

/ Everson Coutinho da Silva - Salvador: UFBA, 2011.

91 f.

Orientador: Profa. Dra. Maria Cristina Martins Penido.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia.
Instituto de Física: Programa de Pós-Graduação em Ensino,
Filosofia e História das Ciências, Salvador, BR-BA, 2011.

1. Ensino de Física . 2. Radiações Ionizantes. 3. Formação de Professores. I. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Física. II. Penido, Maria Cristina Martins. III. Título.

CDU *****



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,
FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS



EVERSON COUTINHO DA SILVA

AS RADIAÇÕES IONIZANTES NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR DE FÍSICA: UM
OLHAR NAS REVISTAS ESPECIALIZADAS

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências –
UFBA/UEFS

Salvador, 20 de Outubro de 2011

Banca Examinadora:

Walter Antônio Bazzo _____
Doutor em Educação, UFSC
Universidade Federal de Santa Catarina

Aurino Ribeiro Filho _____
Doutor em Física Teórica, University Of Essex
Universidade Federal da Bahia

Maria Cristina Martins Penido _____
Doutora em Educação, USP
Universidade Federal da Bahia

Salvador
2011

AGRADECIMENTOS

O espaço para agradecimento é pequeno em comparação a quantidade de pessoas que deram suporte para eu construir esse trabalho. Entretanto, não posso deixar de agradecer a algumas pessoas fundamentais nessa jornada.

À minha mãe, Helite Alves Coutinho Santana, que sempre me incentivou aos estudos, me ensinou a procurar ser sempre justo e quando tudo estiver em um estado caótico lembrar que “no final tudo dá certo”.

Ao meu pai, Adson Dantas da Silva, que me ensinou desde pequeno o valor da humildade.

A Inês Regina que me acompanha por longos anos apoiando meus projetos e compartilhando todos meus momentos.

À minha orientadora e segunda mãe, Dra. Maria Cristina Martins Penido que, além de ser uma conselheira pessoal, abraçou o meu projeto e me ensinou pacientemente a ser um pesquisador.

Aos colegas do NEPDC Jancarlos Lapa, Dielson Hohenfeld, Pedro Javier, Cleber Sousa e Ricardo Macêdo pelas sugestões e críticas ao meu trabalho;

Aos meus amigos e familiares que em um gesto, palavra ou silêncio apoiaram meu trabalho e que entenderam a minha ausência durante essa pesquisa.

RESUMO

Pode-se dizer que a formação de professores ganhou visibilidade entre os pesquisadores da área de ensino desde a década de 90 do século passado. A questão do ensino, pautado no desenvolvimento do cidadão atuante em sua comunidade, passou por uma apreciável reformulação, tendo como um dos resultados a elaboração da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) em 1996 e dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) em 1997. A partir delas cabe direcionar o olhar para os saberes que os professores carregam para sala de aula. Tais saberes, influenciados de maneira direta pelas novas necessidades sociais, tornou-se parte das justificativas para mudanças curriculares no Ensino Médio (EM). Além disso, pesquisas apontam para o descompasso entre a escola atual e o público que a frequenta. Como resultado, o estudante sente dificuldades para perceber a relação entre o que é aprendido na escola com o seu cotidiano, restringindo, em alguns casos, o conhecimento escolar a resolução de problemas propostos nos vestibulares. Com o desenvolvimento de armas nucleares, usinas term nucleares, inspeção de peças, esterilização de alimentos e com a expansão dos métodos de diagnóstico e tratamento médico, o uso de fontes emissoras de radiação ionizante passou a ocupar um papel importante na sociedade. Além disso, seus riscos servem de alerta para sua manipulação responsável. No caso do ensino de Física é discutido as possibilidades de inserção de tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Alguns pesquisadores defendem que tal inserção pode aproximar os estudantes dos fenômenos apresentados e/ou discutidos no seu cotidiano. Dessa forma, neste trabalho discutimos qualitativamente a importância do ensino de Radiações Ionizantes nos cursos de formação de professores e em que medida os artigos publicados nas principais revistas em ensino de ciências tratam este tema. Para desenvolver esse trabalho pesquisamos buscamos apoio nas pesquisas que discutem as relações entre ciência tecnologia e sociedade, formação de professores e trabalhos que discutem a inserção de tópicos de FMC. Em seguida selecionamos algumas revistas especializadas em ensino de ciências com a finalidade de fazer um levantamento dos artigos que tratam do tema radiações ionizantes e sua correlação com a formação de professores e abordagem CTS. Observamos que existe uma escassez de trabalhos sobre RI e formação de professores. A situação é mais crítica no que diz respeito a trabalhos que correlacionam RI, formação de professores e CTS. Através dessa pesquisa percebemos a necessidade de maiores estudos sobre RI como tema para ser inserido no EM e nos cursos de formação de professores.

Palavras Chave: Radiações Ionizantes, Ensino de Física, Formação de professores.

ABSTRACT

We can say that teacher education has gained visibility among researchers in the field of education since the 90s of last century. The question of education, based on the development of an active citizen in your community, underwent a considerable overhaul, and as a result of the drafting of the Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) in 1996 and the Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) in 1997. From them it is direct look at the knowledge that teachers carry into the classroom. This knowledge, in a direct way influenced by new social needs, became part of the justifications for curricular changes in high school. Furthermore, studies show the gap between the current school and the public that attends. As a result, the student feels difficulty in understanding the relationship between what is learned in school with their daily lives, restricting, in some cases, school knowledge to solve problems proposed in the vestibular. With the development of nuclear weapons, nuclear power plants, part inspection, sterilization of food and the expansion of diagnostic and medical treatment, use of sources emitting ionizing radiation has come to occupy an important role in society. Moreover, its risks serve as a warning for his handling charge. In the case of physics teaching is discussed the possibility of inclusion of topics of Modern and Contemporary Physics (MCF). Some researchers argue that such integration can bring the students of the phenomena presented and / or discussed in their daily lives. Thus, in this paper we discuss qualitatively the importance of the teaching of Ionizing Radiation (IR) in training courses for teachers and the extent to which articles published in leading journals in science education address this issue. To develop this work we investigate sought support in researches that discuss the relationship between science technology and society, teacher training and studies that discuss the inclusion of topics MCF. Then select some journals in science education for the purpose of conducting a survey of articles dealing with the issue ionizing radiation and its correlation with the training of teachers and STS approach. We note that there is a lack of studies on IR and teacher training. The situation is more critical with respect to works that correlate IR, teacher training and STS. Through this research we realized the need for studies on bathing suits RI theme to be inserted in MS and in training courses for teachers.

Keywords: Ionizing Radiation, Physics Education, Teacher Education.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTS - Ciência, Tecnologia, Sociedade.

EM - Ensino Médio.

FMC - Física Moderna e Contemporânea.

IF-UFBA - Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais

RI - Radiações Ionizantes

UFBA – Universidade Federal da Bahia.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	POR QUE RADIAÇÕES IONIZANTES?	20
2.1	Importância histórica do conhecimento sobre RI.....	20
2.2	Importância do conhecimento conceitual sobre RI.....	28
2.3	Implicações das radiações ionizantes na contemporaneidade.....	32
3	DISCUTINDO CTS NO CURRÍCULO DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES.	39
3.1	CTS e educação.....	39
3.2	A Inserção de tópicos de Física moderna no Ensino de Física.....	45
4	METODOLOGIA.....	49
4.1	Onde se insere meu projeto metodológico?.....	49
4.2	Desenho metodológico.....	51
5	PREPARAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	55
5.1	Artigos Comentados.....	55
5.2	Análise dos artigos.....	75
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
7	REFERÊNCIAS.....	80
	ANEXOS.....	90

1 INTRODUÇÃO

Muito se tem produzido em pesquisas relacionadas a formação de professores de ciências. Nos últimos 30 anos as pesquisas na área têm tomado corpo e fomentado discussões sobre avaliação, concepções prévias dos professores, seqüências didáticas e etc. Dentro dessas discussões encontra-se à inserção de novos temas e mudança de postura educacional no ensino de ciências (FREIRE, 1978; FREIRE, SHOR, 2008; BRASIL, 2000; GOBARA; GARCIA, 2007; CORTELA; NARDIR, 2004; OSTERMANN; MOREIRA, 2001; ROSA, 1999; WOU, 2005). É nesse grupo de discussão que nosso trabalho está mais bem situado.

Paralelo a isso, as discussões sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), apesar de não possuir origem no âmbito educacional, tem aparecido como subáreas em eventos relacionados a ensino de ciências nas mais diversas linhas de pesquisa. Os frutos desta pesquisa têm sido utilizados como justificativa para propostas de mudanças curriculares tanto em nível médio quanto nos cursos de formação de professores e uma das vertentes utiliza as discussões em CTS para alinhar o desenvolvimento científico e seus desdobramentos sociais. Nesse caminho, Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007), afirmam que as discussões em CTS, iniciadas em 1970, tem sido “base para construir currículos em vários países, em especial os de ciências, dando prioridade a uma alfabetização em ciência e tecnologia interligada ao contexto social” (p.74). Interligado a esse debate, encontramos esse movimento de mudança curricular quando olhamos para as principais fontes legais sobre educação. As competências em Física esperadas ao final da escolaridade básica listada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) dão ênfase as relações entre ciência e tecnologia na história, na cultura contemporânea, na atualidade e ética e cidadania.

Para o nosso trabalho, escolhemos o tema Radiações Ionizantes (RI). Trata-se de um tema pouco abordado no ensino médio porém relevante para a formação do cidadão ,visto que, a utilização de fontes emissoras de Ris vem sendo empregada em larga escala em indústrias, unidades hospitalares, centros de pesquisas e na agricultura. Segundo Almeida (1990, p.12), o termo radiações tornou-se família “com o advento das armas nucleares, dos reatores, das máquinas de raios x e de outras maravilhas tecnológicas”.

Em relação à pesquisa em ensino de ciências as radiações ionizantes encontram respaldo dentro das discussões sobre inserção de temas de FMC no Ensino Médio (EM) e conseqüentemente nas produções acadêmicas sobre ensino de Ciências.

Ao longo do tempo, as revolucionárias descobertas dos raios-x e da radioatividade ocorridas ao final do século XIX passaram a ocupar gradativamente um papel fundamental na sociedade. Com o conhecimento das potencialidades das RI, o homem construiu equipamentos que melhoram a qualidade de vida do cidadão sendo a medicina um dos setores mais beneficiados com essa nova descoberta. Posteriormente a agricultura, indústria e setor de produção energética se valeram dos benefícios das RIs. Por outro lado, o setor bélico lançou mão dessas mesmas potencialidades criando armas que utilizam energia nuclear para destruição em massa. Nesse momento podemos notar que existem aspectos maléficos e benéficos acerca das RI o que a torna um tópico rico em debate tanto para a formação do professor de Física quanto para os estudantes do EM.

No que tange o uso dos equipamentos emissões de RI encontra-se uma lacuna entre o conhecimento do seu funcionamento e conhecimento tecnológico por detrás dele e seus riscos. Com isso, o conhecimento dos conceitos Físicos sobre RI e interação com a matéria é posto, na maioria dos casos, em segundo plano nos locais onde se faz uso destes, o que resulta segundo Vieira (2007) no negligenciamento dos requisitos de radioproteção ao longo do tempo ocasionando exposições desnecessárias à radiação. A deficiência conceitual foi observada na Irlanda por McCusker et al (2009) através de uma pesquisa com 269 participantes incluindo médicos, residentes, secretárias e estagiários que, de alguma forma, tinham contato com fontes de RI, seja no manuseio de fontes emissoras ou estando próximo à regiões em que se fazia uso destas fontes.

Se o diagnóstico entre profissionais mostra um grau significativo de desconhecimento sobre o tema em questão, podemos supor que os cidadãos, de maneira geral, desconhecem os conceitos básicos sobre RI e seus reais efeitos deletérios. Nesse momento a escola exerce um papel fundamental. Ela é um dos locais mais importantes para a formação do cidadão. Deste modo, precisamos rever como a escola se enquadra na formação do cidadão compatível com a sociedade contemporânea.

Se valendo das discussões em CTS no âmbito educacional, especialistas defendem que o cidadão precisa de um conhecimento mínimo para se posicionar sobre questões que vão desde um simples exame médico radiológico até opinar a construção de uma usina nuclear em sua cidade.

Nesse contexto a escola exerce um papel fundamental por ser um dos principais centros de desenvolvimento do conhecimento, apesar de notoriamente estar em processo de transformação. Mudanças essas que são influenciadas pelas revoluções enfrentadas

pela sociedade. Nos dias atuais sua finalidade não se restringe a formação propedêutica, mas tem como objetivo “construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade” (BRASIL, 2002, p.56). O público, que a frequenta nesse início de século, traz consigo diferenças acentuadas, com relação ao acesso a informação, quando comparado ao público que a frequentava há 20 anos. As notícias das mais variadas fontes transitam a passos largos deixando os cidadãos contemporâneos com possibilidades de maiores informações.

Associado a isso, atualmente há um novo público nas universidades brasileiras. Ataíde e colaboradores (2006) diagnosticaram a heterogeneidade existente e o crescente contingente de alunos que chegam à universidade, oriundos de classes sociais de menor renda. Em primeira análise podemos notar que a abertura educacional não se restringe somente ao EM. Há, também, uma crescente mudança do público ingresso nas universidades. Dessa forma as universidades deixam de ser somente privilégio da classe dominante. Em tese, o público formado pelas universidades possui uma visão mais ampla do que é discutido nas disciplinas. Os constructos teóricos podem ser “aplicados” em diversos contextos e situações.

Trazendo essa discussão para a formação do professor de Física, a demanda por novas estratégias de ensino torna-se essencial para a sua formação. Entretanto, não basta para a formação plena do professor somente ter conhecimento acadêmico sobre o assunto, deve-se ter em vista a criticidade sobre o objeto de estudo, sintonia com sua comunidade, com o papel da escola e seus condicionantes e as relações de poder trazidas pelos avanços tecno-científica.

Olhando para o curso de graduação de Licenciatura em Física da Universidade Federal da Bahia observam-se dificuldades para encontrar os conceitos relacionados ao tema RI nas disciplinas oferecidas pelo curso. Por outro lado, vale ressaltar que o tópico RI encontra-se diluída em algumas disciplinas, porém sem uma abordagem explícita, como no caso das às disciplinas: eletromagnetismo e estrutura da matéria. Não pretendemos atribuir toda responsabilidade à universidade, mas podemos sinalizar inicialmente para sua importância nos cursos de formação de professores.

Outro ponto que alimenta a discussão sobre as RI na formação de professores e que merece um uma reflexão é a crise que vivenciamos enquanto educadores. Segundo Fourez (2003), essa crise tem como responsáveis quatro atores: alunos, professores de ciências, dirigentes de nosso mundo econômico e industrial e cidadãos pais de alunos.

Em outras palavras o autor retira a responsabilidade de um único ponto e chama toda a sociedade para rediscutir a escola. Neste cenário, o autor questiona se “não seria a hora de a universidade e as escolas superiores formarem professores de ciências para a análise das implicações sociais no ensino de suas disciplinas” (FOUREZ, p.123). Dessa forma colocasse em pauta uma mudança na concepção de como os novos professores devem ser formados.

Nosso trabalho vai por esse viés, ou seja, centra-se no professor e, por acreditar que ele está na linha de frente do processo educacional em Física, defendemos que ele precisa de conhecimentos pedagógicos e específicos necessários enfrentar os desafios educacionais da escola.

Pretendemos também contribuir para a discussão sobre a inserção de novos tópicos de FMC no currículo escolar de maneira democrática e de modo a englobar fatores sociais, políticos e econômicos. Por isso escolhemos as RIs como objeto de nosso estudo. Pesquisadores em ensino de ciências apontam para a necessidade de ampliarmos os estudos sobre novos temas, visto que, “nas últimas décadas os avanços científicos e tecnológicos têm despertado nos jovens olhares mais atentos sobre temas relacionados às ciências de uma forma geral” (OLIVEIRA; MIRANDA; GERBASSI, 2007, p.447) e “a física, em particular, tem contribuído de forma significativa nesse sentido, principalmente para o desenvolvimento da medicina e das engenharias.” (idem, p.447).

Além disso, no que diz respeito a formação do cidadão, Pinheiro Silveira e Bazzo (2007) apontam para a dificuldade que muitos têm para entender e participar de questões preocupantes no que diz respeito à ciência e à tecnologia. Essas pesquisas servem como suporte para as pesquisas sobre mudança curricular no ensino de ciências. Segundo Ostermann e Moreira (2001, p.135), “há uma tendência nacional e internacional de atualização dos currículos de Física no EM”. Entretanto uma mudança curricular satisfatória sem um olhar adequado para a formação de professores possivelmente encontrará dificuldades, visto que, o professor mal formado encontrará dificuldades para dar conta desses novos temas que de maneira geral são impostas para eles sem uma discussão inicial. A partir daí notamos que uma mudança curricular no Ensino Médio reflete-se na formação do professor de Física. Consequentemente, modificar o ensino médio sem olhar para a formação do professor de Física pode não colher bons frutos.

O tema Radiações Ionizantes, apesar de está presente em diversos setores da humanidade, é exemplo de um conhecimento que é ainda obscuro para o cidadão e também para o professor de Física. Este tema abrange tanto discussões conceituais sobre raios-x, radiação gama, alfa, beta, fusão e fissão nuclear entre outros, quanto temas que perpassam por assuntos como radiodiagnóstico, qualidade de vida, guerra, geração de energia entre outros.

Desde as descobertas dos raios-x, em 1895, por Wilhelm Röntgen, da radioatividade natural, em 1896, por Becquerel e, da descoberta do polônio e do rádio pelo casal Curie, em 1898, as aplicações das radiações ionizantes em diversas áreas não param de expandir. Atualmente encontramos essas aplicações na indústria (inspeção de peças), na agricultura (esterilização de alimentos e combate a pragas na lavoura), em aeroportos (inspeção de bagagens) e na medicina (terapia e diagnóstico) entre outras áreas (OKUNO, 1982).

Retomando a discussão sobre inserção de novos temas na formação do professor de ciências podemos colocar as RI dentro do grupo de tópicos de FMC a serem inseridos na formação de professores e, portanto, estão presente entre os temas de pesquisas em ensino de ciências. Ostermann e Moreira (2001) endossam essa lacuna ao afirmarem que há uma maior concentração de referências em relatividade, partículas elementares e mecânica quântica e que “muitas áreas importantes de FMC estão pouco exploradas nas publicações e ainda não há consenso sobre quais tópicos deveriam ser contemplados na escola média” (OSTERMANN; MOREIRA, p.136). Por isso, mudanças curriculares no que diz respeito ao estudo específico das radiações ionizantes nos cursos de formação de professores estão de acordo com a inserção de temas da FMC no Ensino Médio. Terrazzan (1994) atribuiu essas tendências como consequência das mudanças sócio-culturais e produtivas do final do século passado. Mais tarde, Ostermann e Moreira (2001) apontavam para a tendência de inclusão de tópicos de FM entre os conteúdos curriculares no nível médio no Brasil. Além disso, por ser um tema que demanda tempo para reflexão, deve-se ser introduzido o mais cedo possível para uma análise pertinente em suas implicações no mundo moderno ao contrário do que normalmente é posto nas escolas: colocar o conteúdo de FMC como conteúdo facultativo no final do EM. Ou seja, os conhecimentos produzidos pela ciência moderna e contemporânea ocupam um espaço muito pequeno na formação do cidadão. Isso compromete a formação do sujeito dentro dos parâmetros legais trazidos pela LDB e pelos PCN's.

Sobre isso, podemos dizer que a discussão sobre mudanças curriculares deve estar em paralelo à discussão sobre a finalidade da escola atual. Em relação à educação básica a Lei nº 9.394/96 afirma que: “tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores” (Art.22). Em outras palavras, o conhecimento discutido em sala de aula deve está vinculado com a sociedade moderna e contemporânea. Dessa forma, disponibilizar quase que a totalidade do Ensino Médio para discutir somente a Física Clássica em detrimento da FMC pode ser uma das causas do baixo interesse dos estudantes pela Física.

Esse posicionamento dos PCN apresenta uma visão diferente da escola de tempos atrás. A educação básica, como nós conhecemos hoje, possui um público diferente de há 20 anos. A finalidade da educação básica nos dias de hoje é transcende a formação propedêutica para a formação de cidadão atuante (MENEZES, 2001; TERRAZZAN, 1994; WOU, 2005). Sobre isso, Menezes (2001, p.202) já sinalizava que

mais de dois terços dos alunos terão outra destinação que não o ensino superior, ou seja, sairão da escola média para o trabalho autônomo ou empregado, imediatamente ou após etapa de profissionalização, quando não para o desemprego ou subemprego.

Ainda sobre essa questão, Ataíde, Lima e Alves (2006, p.1), afirmam que “a educação tornou-se um vetor estratégico para o desenvolvimento sustentável e equitativo. Além disso, o grau de escolaridade constitui-se um dos principais fatores que determinam o nível de empregabilidade dos indivíduos”. Nesse sentido, a educação apresentasse como um agente político para o desenvolvimento de uma nação.

Diante disso, a escola de hoje deve suprir as necessidades dos que querem continuar os seus estudos ingressando nos cursos superiores e dos que querem entrar no mercado de trabalho após o término do ensino básico. A procura por cursos técnicos corresponde a mais uma opção para aqueles que completaram o ensino médio. Nessa perspectiva, nos últimos 20 anos intensificaram-se as discussões sobre a finalidade da educação e os rumos que a escola deve tomar (TERRAZZAN, 1994; BRASIL, 2002; GOBARA, 2007). As críticas à educação puramente tradicional, em que o professor é o transmissor de conhecimento e o estudante é o receptor de informações, representam pontos comuns em diversos trabalhos sobre ensino de ciência (BORGES, 2009; HEINECK, 1999). Por outro lado, a Física ensinada nas escolas permanece

aproximadamente àquela produzida entre 1600 e 1850 (TERRAZZAN, 1994), segregando boa parte da evolução dos conhecimentos da Física.

Essa discrepância pode ser utilizada como uma das justificativas para a necessidade de se estudar física. O aluno ainda não vê a Física como um conhecimento que faz parte da sua formação enquanto cidadão, visto que, no que se refere a escola, ele ainda está imerso em um ambiente cuja prática pedagógica está desvinculada e descontextualizada da sua realidade; e, por outro lado, o professor sente dificuldades para abordar temas modernos e contemporâneos em sala de aula, visto que, em sua formação, de maneira geral, não teve contato com tais conteúdos ou quando teve foi de maneira inadequada. Isso nos leva a refletir sobre as influências das mudanças curriculares no EM na mudança curricular dos cursos de formação de professores. O problema não está no que se ensina, mas como se ensina. Sobre isso, Carvalho e Vannucchi (1996, p.7) pontuavam que “a procura de novas formas de ensinar, tanto em nível metodológico como em nível curricular, não são somente no primeiro e segundo graus, mas principalmente na formação de professores”. Completando o argumento, Ostermann, Prado e Ricci (2008, p.39) afirmam que a “formação de professores deverá contemplar, desde seu início, a atualização curricular, passando a priorizar conteúdos mais atuais da Física, ‘enxugando’ o tempo dedicado aos temas clássicos. Sem respeitar esse princípio não se pode esperar que a renovação ocorra nas escolas”. Ou seja, uma reformulação curricular no EM encontrará dificuldades na medida em que os cursos de formação de professores não acompanham as novas tendências curriculares.

Terrazzan (1994) aponta, de maneira mais aguda, para um consenso entre os pesquisadores em educação, de que

o problema da qualidade ‘no e do’ ensino deve ser atacado pela via do professor e não especificamente do aluno, como era procedimento em décadas passadas. Pensa-se, no momento, que a melhoria da atuação dos professores deverá refletir na aprendizagem dos alunos, contribuindo para a melhoria do processo como um todo. (TERRAZZAN, 1994, p.40).

Isso mostra que a preocupação entre os pesquisadores com a formação do futuro professor de Física e a importância de discutir novos temas para a reestruturação curricular. Nosso trabalho traz contribuições nessa área por trazer as RI como um tema rico e informações. Nas linhas que se seguem iremos abordar melhor o tema.

Estamos imersos em um “mundo usuário” das RIs, porém não estamos inseridos criticamente nesta realidade. Segundo Freire (1978), o sujeito imerso encontra-se impotente em face da realidade opressora, como situação limite, que lhes parece

intransponível enquanto na inserção crítica, os sujeitos objetivam a atuação sobre a realidade e “quanto mais às massas populares desvelam a realidade objetiva e desafiadora sobre a qual elas devem incidir sua ação transformadora, tanto mais se inserem nela criticamente” (FREIRE, 1978, p.42). O ensino de RI pode ser utilizado nessa via. Pode ser utilizado como tema motivador de debates por se tratar de um tema rico e controverso. Rico por trazer discussões conceituais no que se refere a radiações alfa, beta, gama, raios-x e sua aplicabilidade na medicina, indústria, agricultura; e controverso em razão dos benefícios e malefícios da utilização das fontes emissoras de RI coexistir na sociedade, por isso, corresponde a um tema instigador para debates sobre ciência, tecnologia, sociedade, história da ciência, política, economia entre outros. Discutir tais pontos na escola vão a favor da assertiva de Menezes (2001) em que a escola consciente tem como objetivo promover a emancipação do aluno para a participação crítica das questões de sua comunidade.

O ensino de Física deve romper com a metodologia cujo foco é somente para a transmissão de seus conceitos intrínsecos. Sobre isso, Andrade, Nascimento e Germano (2007, p. 402) afirmaram que

as fronteiras disciplinares, com suas linguagens específicas e conceitos próprios, isolam a disciplina científica em relação às demais e produzem uma trágica ruptura cultural: se por um lado todos reconhecem que a ciência faz parte da cultura, por outro lado, cria-se a falsa imagem de que a ciência é uma tarefa alheia a outras atividades humanas.

Por se tratar de um tema que suscita diversas discussões relacionadas diretamente a questões atuais da ciência e, não menos, no cotidiano das pessoas, defenderemos a hipótese de que é importante o conhecimento das Radiações Ionizantes (RI) para a formação inicial e continuada dos professores de Física. Acreditamos que a academia é uma via importante para tal discussão e por isso buscaremos neste trabalho responder a seguinte questão central: Qual a importância do tema radiações ionizantes na formação de professores e em que medida os artigos publicados nas principais revistas em ensino de ciências tratam este tema? Nosso trabalho visa diagnosticar de que maneira os artigos publicados nas principais revistas de ensino de ciências tratam o tema RI. Pesquisamos nas principais revistas voltadas para o ensino de ciências artigos que estejam relacionados ao tema RI e formação de professores. De maneira a sistematizar nosso diagnóstico, utilizaremos como recurso metodológico as seguintes perguntas norteadoras:

- a) Quais contribuições epistemológicas os artigos selecionados trazem para o professor de Física.
- b) Quais contribuições o estudo sobre RI pode propiciar para a formação de cidadãos atuantes?
- c) Quais foram as principais implicações das RI na contemporaneidade?

Para nortear nossa visão, utilizaremos como um dos suportes teóricos as contribuições das discussões em CTS. Nossa proposta está de acordo com a mudança da visão tradicional, tecnicista e acrítica do ensino de Física pela visão do ensino e aprendizagem de Física como meio para evolução científica associado à mudança de percepção sobre o mundo no sentido fenomenológico quanto social. Sobre a visão tecnicista dos conteúdos de Física, Wu (2005) tece críticas à prioridade dos resultados em detrimento ao processo histórico, problemas e questões relacionadas à construção dos conceitos e teorias. Cabe então um ensino de ciências voltado para a formação do cidadão atuante nas questões que envolvem sua comunidade. Nesse sentido, o ensino de ciências atualmente objetiva a alfabetização científica do cidadão. Fourez (1995 apud MORTIMER; SANTOS, 2002, p.3) já dizia que alfabetizar cientificamente o cidadão “não se trata de mostrar as maravilhas da ciência, como a mídia já o faz, mas de disponibilizar as representações que permitam ao cidadão agir, tomar decisão e compreender o que está em jogo no discurso dos especialistas”.

A preocupação com a alfabetização do cidadão não se restringe unicamente ao Ensino Médio. Sobre isso, a declaração sobre a ciência e o uso do conhecimento científico, apresentada em um de julho 1999, na Conferência de Budapeste, deixa claro que o “papel das universidades é particularmente importante na promoção e na modernização do ensino da ciência e na sua coordenação em todos os níveis da educação” (UNESCO, 1999, p.5). Entretanto, anos antes TERRAZZAN (1994, p.39) já sinalizava que

Atualmente os professores de escola média têm saído dos seus cursos de licenciatura com uma formação extremamente precária, seja do ponto de vista dos conteúdos aprendidos, seja pelas metodologias com as quais tiveram contato, seja enfim pela formação filosófica geral enquanto educador.

Em resumo podemos observar que a escola contemporânea possui concepções diferentes quando comparadas a escola de tempos atrás. Pesquisas apontam para a mudança do ensino médio e o ensino superior deve acompanhar tais mudanças. Cabe buscar como a academia pensa as RIs e a formação do professor de Física.

O projeto metodológico da pesquisa consiste em buscar na literatura da área de ensino de ciências e áreas afins¹, indícios que corroborem com a inserção das RI nos cursos de formação de professores de Física e, por conseguinte, no Ensino Médio.

Temos consciência de que não conseguiremos esgotar o assunto e reconhecemos a amplitude do tema. Entretanto, procuraremos trilhar um caminho em que possamos encontrar respostas para nosso objetivo principal. As perguntas norteadoras e a análise dos dados foram elaboradas seguindo critérios metodológicos próprios. Acreditamos que dessa forma o leitor poderá situar-se melhor diante da importância do conhecimento de RI na formação do professor de Física.

Para a apresentação do nosso trabalho, dividimo-lo em 6 capítulos, sendo o primeiro dedicado à introdução onde apresentamos o tema com suas respectivas justificativas. O segundo capítulo está destinado à discussão dos vieses históricos, conceituais e as contribuições dadas ao conhecimento sobre RI. Levantamos os argumentos através de um breve histórico destacando os tipos e conceitos relevantes e como esse tema se insere em áreas do conhecimento atual. No terceiro capítulo discutimos os nossos referenciais teóricos e sua influência na Formação de Professores de maneira a explicitar alguns fatores em que essas áreas se cruzam. Ainda nesse capítulo, fizemos um panorama dos trabalhos, sobre ensino de ciências, relacionados com FMC de modo a conhecermos os principais estudos desenvolvidos na área. No quarto capítulo descrevemos a metodologia que utilizamos durante este estudo. No quinto capítulo diagnosticamos o estado da arte sobre o tema através dos artigos publicados em revistas especializadas em ensino de ciências. No sexto capítulo escrevemos as nossas conclusões e considerações finais.

¹ Procuramos aproximar o presente trabalho aos estudos das radiações ionizantes na medicina e na química.

2 POR QUE RADIAÇÕES IONIZANTES?

Nesse capítulo discutiremos quais os pontos torna o conhecimento sobre RI importante para o professor de Física. Apresentaremos as contribuições dadas pelo viés histórico, conceitual e como suas implicações refletem-se no mundo contemporâneo. A apresentação de questões históricas e locais pode auxiliar para a

construção de uma concepção de Ciência não dogmática, apresentando rupturas e não se constituindo meramente pelo acúmulo linear de dados, na qual a elaboração de um quadro teórico é essencial para a realização de experimentos (MACHADO, NARDI, 2008, p.475)

Discutiremos tais questões através de um breve histórico destacando os tipos e conceitos relevantes e como esse tema se insere em algumas áreas do conhecimento atualmente. Chamamos de temas relacionados com RI a tudo que está relacionado a radiações que têm o poder de ionizar átomos, os seja, os raios-x, as radiações alfa beta e gama, a interação da radiação com a matéria, acidente radioativo, usinas termonucleares, bomba nuclear e radioproteção.

A meta desse capítulo é inserir o leitor ao tema de maneira a traçar um panorama histórico e conceitual. Dessa forma poderemos possibilitar uma reflexão sobre a imagem da ciência e das interferências políticas econômicas e sociais envolvidas. Alguns exemplos em que as RI estão presentes serão apresentadas e sua atual influência social, política e econômica. Acreditamos que tal discussão pode favorecer um ensino de física mais contextual cuja abordagem deixa de lado uma visão de ciência ahistórica, concluída, feita por gênios e longe do alcance do estudante.

2.1 Importância histórica do conhecimento sobre RI

Os anos de 1895 a 1897 foram fundamentais para por em xeque os fundamentos da Física Clássica em razão de quatro grandes descobertas: o elétron, o efeito Zeeman, os raios X, e a radioatividade. (SEGRÈ, 1987). Segundo esse autor, os anos imediatamente anteriores e posteriores à descoberta dos raios-x representaram um divisor de águas para as ciências, especialmente para a Física. Essas descobertas abriram caminho para o início de um novo paradigma: A Física Moderna. Acreditamos que a discussão sobre os principais pontos históricos relacionados a RI propicia uma maior compreensão da importância do seu conhecimento. Sobre isso o PCN+ (1999, p.18) afirma que

esse exercício histórico daria aos estudantes uma oportunidade de questionar e compreender melhor processos sociais, econômicos e culturais passados e contemporâneos e, além disso, auxiliaria a construir uma visão das Ciências da Natureza associada a outras dimensões da vida humana.

As descobertas dos Raios-x por Wilhelm Conrad Röntgen em 1895, a descoberta da radiação natural por Henri Becquerel em 1896, dos elementos radioativos naturais, em 1898 pelo, casal Marie e Pierre Curie e da radioatividade artificial encontrada anos mais tarde pela sua filha Irene Curie e seu genro Frédéric Joliot-Curie fizeram parte do embrião daquilo que hoje chamamos de Física Moderna e Contemporânea.

As descobertas relativas às RI possuem estreita ligação com as concepções de ciência da época. O Positivismo e a situação político-econômica dos principais países, na época, da Europa foram favoráveis para as pesquisas experimentais daquele período. No século XIX o paradigma filosófico vigente era do Iluminismo. Esse paradigma abriu caminho para o pensamento humano voltado para a crença de que através da força da racionalidade se constrói saberes que podem nos libertar daqueles transmitidos pelas religiões. Para isso, as ciências naturais se valeram da experimentação associada ao suporte lógico-matemático com o intuito de distanciar-se de questões metafísicas. Deu-se início então ao que chamamos de Positivismo. Nesse período intensificaram-se o número de descobertas científicas no século XIX (LAVILLE; DIONNE, 1997).

A ascensão do positivismo lógico na Europa ocorreu no final do século XIX e início do século XX. Seu apelo experimental é evidenciado por Chalmers (1993, p.21) que considera como uma forma extrema de empirismo segundo a qual

as teorias não apenas devem ser justificadas, na medida em que podem ser verificadas mediante um apelo aos fatos adquiridos através da observação, mas também são consideradas como tendo significado apenas até onde elas possam ser assim derivadas.

Dessa maneira o positivismo tem como característica a valorização de um método empirista e quantitativo, pela defesa da experiência sensível como fonte principal do conhecimento.

Outro ponto que apresentamos anteriormente diz respeito os líderes nas pesquisas científicas da Europa: Inglaterra, França e Alemanha. Tais países estavam em momentos históricos que interferiram no desenvolvimento das pesquisas científica dessas nações: a) A Inglaterra estava no auge do império da Rainha Vitória que se tornou imperatriz da Inglaterra em 1837 e da Índia em 1887. Dessa maneira, a Inglaterra tornou-se um grande império “dominador dos mares” em esplêndido isolamento e desenvolvimento econômico; b) A França buscava se recuperar das derrotas sofridas na

guerra franco-prussiana de 1870 e 1871 através de um forte investimento nas ciências. Seus principais cientistas atribuíram às derrotas na guerra “à atitude de negligência quanto às ciências nos cinquenta anos anteriores e lembraram com orgulho o papel desempenhado pelas ciências na defesa do país durante a Revolução e durante as guerras napoleônicas” (SEGRÈ, 1987, p.3); c) a Alemanha, em 1890, estava sob dominação militar e estava em rápido processo de ascensão científica.

Sobre os laboratórios da época podemos dizer que não dispunham de aparatos sofisticados quando comparados com os laboratórios contemporâneos. Em geral havia somente um professor, que quase sempre morava no próprio laboratório. A sociedade praticamente não dispunha de telefones e a eletricidade era muito precária e a principal forma de comunicação era o correio (SEGRE, 1987).

A descoberta dos raios-x e da radioatividade somente foram possíveis porque os físicos da época se valeram de alguns conhecimentos teóricos e práticos descobertos anteriormente. Além disso, a disputa pelo pioneirismo de novas descobertas entre os laboratórios fizeram com que vários cientistas focassem seus experimentos para o que era mais novo em pesquisa científica da época. Nesse período as pesquisas de ponta estavam centradas no estudo da “descarga de eletricidade em tubos de ‘vácuo’”, porém “a condutividade elétrica através de gases tinha sua investigação sob a dependência da obtenção de gases puros, de conseguirem produzir um bom vácuo e manter fontes de alta voltagem” (SEGRÈ, 1987, p.11). Vale lembrar que atualmente conseguimos vácuos muito bons ao contrário do que acontecia no do século XIX. Em 1879, William Crookes conseguiu atingir um vácuo em que a “pressão interna era de $40 \times 10^{-3} \text{ mmhg}$, cerca de um milhão de vezes maior que a de que dispomos nos grandes aceleradores modernos” (SEGRÈ, 1987, p.12).

Essa limitação forçou os cientistas a aperfeiçoar as bombas de vácuo que possibilitaram experimentos mais acurados e, com isso, a descoberta dos raios-x estava “aguardando” por algum pesquisador astuto. Além do vácuo, um laboratório precisava dispor de baterias para realizar experiências com gases. A bateria utilizada era constituída por uma série de pilhas aperfeiçoadas a partir da “pilha elétrica” de Volta, criada em 1800 sendo que o status de um laboratório da época era baseado na capacidade da bateria que esse laboratório possuía (SEGRÈ, 1987). Entre 1858 e 1859, Julius Plucker descobriu os raios catódicos ao submeter à descarga elétrica produzida por uma bateria cuja tensão alcançava 1,95 V a um campo magnético de um imã. Após

a publicação das observações de Plucker outros cientistas focaram seus estudos para esse misterioso fenômeno. Entretanto, não se poderia ir muito além com seus experimentos porque o vácuo utilizado era muito pequeno.

A discussão sobre a natureza dos raios catódicos tornou-se tema principal entre os pesquisadores da época. Segundo SEGRÈ (1987, p.10),

por estranho que possa parecer, as opiniões se dividiam segundo as nacionalidades. Em 1892, Hertz afirmou ter prova experimental de que os raios catódicos não podiam ser partículas, logo, tinham de serem ondas. Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899), Goldstein e todos os físicos alemães concordavam. Mas na Inglaterra, Crookes insistia em que esses raios eram partículas carregadas eletricamente (...) e alguns físicos ingleses – Kelvin, J.J. Thompson, entre outros- insistiam em afirmar que eram “partículas”.

Em 1895, o francês Jean Baptiste Perrin descobriu suficientes provas de que os raios catódicos eram partículas carregadas negativamente (SEGRÈ 1987, p.12). O nome *elétrons* foi dado por G. Johnstone Stoney em 1894 (SEGRÈ, 1987). O elétron foi descoberto por Pieter Zeeman em decorrência da descoberta do “efeito Zeeman”.

A idéia fundamental é que a luz era emitida por partículas carregadas (elétrons) que se moviam no átomo. O movimento dessas partículas era influenciado pelo campo magnético correspondente às leis clássicas do eletromagnetismo. A partir da mudança de frequência da luz emitida, Zeeman e Lorentz puderam determinar e/m , a carga específica das partículas que provocam a emissão de luz, bem como o símbolo da carga (SEGRÈ, 1987, p.13)

Somente dois anos após a descoberta dos raios-x J. J. Thompson atribuiu tal efeito ao movimento de elétrons após observar que os raios catódicos desviavam-se de sua trajetória retilínea quando submetidos a forças elétricas. A deflexão magnética já tinha sido observada, mas J.J. Thompson foi o primeiro a observar a deflexão elétrica dos raios catódicos. Thompson “comprovou a natureza corpuscular dos raios catódicos e mediu a velocidade e a relação entre carga e massa dos corpúsculos” (SEGRÈ, 1987, p.16). Hoje sabemos que os raios catódicos são elétrons que se movem rapidamente, mas naquela época ninguém tinha qualquer conhecimento da própria existência do elétron. (SEGRÈ, 1987).

Como dito anteriormente, o estudo dos raios catódicos fazia parte dos trabalhos da maioria dos cientistas europeus. Entre eles estava o físico Wilhelm Conrad Röntgen que até então era diretor do Instituto de Física da Universidade de Wurzburg. Segundo Segrè (1987), Röntgen era “um bom físico, mas não extraordinário”.

Entretanto, no dia 8 de novembro de 1895, Röntgen descobriria um novo tipo de raio que além de laureá-lo com o primeiro Prêmio Nobel de Física, em 1900, mudaria

sensivelmente a visão de mundo dos cientistas. Entretanto, “costuma-se dizer que essa descoberta foi feita por acaso, e a contribuição de Röntgen é comumente minimizada – como se ele nada mais tivesse feito além de perceber a existência de um novo tipo de radiação” (MARTINS, 1998, p. 373). Essa ideia errônea sobre Röntgen é segundo Martins (1998) comum em alguns livros que apresentam o tema. Louis Pasteur (apud MOSLEY; LYNCH, 2010) afirmou que “o acaso favorece quem está intelectualmente preparado” (p.13). Dessa forma não poderia ser “qualquer um” o descobridor dos raios-x.

Estudando as propriedades dos raios catódicos, Röntgen observou que um papel de platino cianeto de bário apresentava linhas transversais (RON, 2007). Porém, Röntgen não atribuiu tal fenômeno aos raios catódicos, visto que, o tubo estava coberto por uma cartolina preta que serviria de blindagem para os raios catódicos (MARTINS, 1996). Após observação de tal fenômeno, Röntgen mudou seu foco de pesquisa para explicar a natureza e as propriedades dessa radiação misteriosa que foi chamada de raios-x sendo que “X” do termo tem sua origem no símbolo matemático que representa algo desconhecido.

Desconfiado da própria descoberta, Röntgen isolou-se em seu laboratório, passando a se dedicar ao trabalho em seu laboratório. Segundo Segrè (1987, p.21) “sua incredulidade era tal, que sentira necessidade de convencer-se a si mesmo muitas outras vezes a respeito da existência daqueles novos raios”, repetindo os experimentos sob diversas condições e ficando durante semanas em seu laboratório pesquisando as propriedades dos raios-x.

A descoberta dos raios-x provocou uma grande agitação entre os cientistas da época. Em 28 de Dezembro de 1895, Röntgen descreveu as descobertas relatando os seguintes aspectos:

os objetos tornavam-se transparentes diante de seus ‘novos raios’ em diferentes graus; as chapas fotográficas eram sensíveis aos raios X; ele não conseguia ver qualquer reflexo ou retração dos raios dignos de nota, nem podia desviá-los com um campo magnético; os raios X originavam-se na área da ampola de descarga onde os raios catódicos colidem com a parede da ampola de vidro (SEGRÈ, 1987, p.22).

Em 1º de janeiro de 1896 distribuiu o relatório preliminar com fotografias radiográficas de suas mãos. Dessa forma refutações eram menos fáceis. Após ler os escritos de Röntgen, os cientistas da época correram para seus laboratórios e, com sucesso, repetiram o experimento (SEGRÈ, 1987). Entre seus experimentos, Röntgen expôs diversos tipos de objetos à radiação registrando tal exposição em radiografias.

Sendo uma dessas radiografias a mão de sua mulher Bertha que ele expôs durante 15 min. A natureza dos raios-x foi intensamente debatida desde o princípio, como no exemplo dos raios catódicos. Parte dos físicos como, por exemplo, o próprio Röntgen, pensavam os raios-x como radiação eletromagnética enquanto outros como William Henry Bragg e Henri Poincaré, defendiam a hipótese corpuscular dos raios-x.

Segundo Bushong (2004, p.7), existem algumas características importantes a respeito da descoberta dos raios-x que a coloca em um bom posicionamento dentro dos eventos históricos da humanidade: a descoberta foi acidental; não menos que uma dúzia de contemporâneos de Röntgen tinha observado anteriormente esta radiação-X, entretanto nenhum destes tinha reconhecido o seu significado ou investigado o fenômeno; o vigor que Röntgen prosseguiu em seus estudos resultou na descrição quase completa de todas as propriedades que nós reconhecemos hoje, o que aconteceu dentro de pouco mais de um mês após a descoberta.

Em relação à natureza eletromagnética dos raios-x, Röntgen levantava três hipóteses: I- os raios-x tal como a luz, propagavam-se em linha reta; II- não se desviava em campos elétricos ou magnéticos e III- não era absorvida de forma linear ao interagir com a matéria. Sobre a natureza ondulatória dos raios-x a controvérsia somente foi confirmada pelo trabalho de difração de raios-x por um cristal, em 1912, por Max Von Laue, Friedrich e Knipping (SEGRÈ, 1982; RON, 2007)

A descoberta dos raios-x desencadeou várias outras descobertas. Pode-se a partir dos raios-x “ver” o interior do corpo humano por um método não invasivo. Quase que imediatamente, a possibilidade de aplicações práticas atraiu os profissionais da área médica. Dessa forma deu-se início a investigação dos raios-x para fins de diagnóstico que se tornou fundamental até os dias de hoje.

Dentre os cientistas que se interessaram pela descoberta de Röntgen estava o físico francês Henri Becquerel (1852-1908). Tal interesse iniciou-se a partir de uma sessão semanal, em 1896, da Académie des Sciences, quando o matemático Henri Poincaré apresentou fotografias dos raios-x de Röntgen e “quando Henri Becquerel perguntou-lhe de que parte da válvula emergia os raios, Poincaré respondeu que aparentemente os raios eram emitidos da área da válvula oposta ao catodo, a área em que o vidro se tornara fluorescente” (SEGRÈ, 1987, p. 27). Podemos dizer que a descoberta da radioatividade está intimamente associada ao anúncio de Röntgen sobre a existência dos raios X.

Henri Becquerel representava naquela época, a terceira geração da dinastia Becquerel no estudo sobre fosforescência e fluorescência de materiais na *École Polytechnique* iniciada pelo seu avô Antoine Cesar Becquerel (1788-1878). A *École Polytechnique* representou para a França uma rica fonte de especialistas nas áreas técnicas, científicas e militares. Alguns dos grandes físicos da história compuseram seu quadro docente como, por exemplo, Arago, Ampère, Poisson, Fourier, Cauchy, Fresnel, Monge, Becquerel e outros (SEGRÈ, 1987). Seu pai, Edmond Becquerel (1820-1891), foi um grande especialista em fosforescência e fluorescência, sendo o urânio o material que ele mais conhecia (SEGRÈ, 1987). Edmond Becquerel media a intensidade e a duração da fluorescência do urânio sob a ação de diversas luzes. Henri Becquerel continuou o legado da família e publicou estudos sobre fluorescência e fosforescência. Ao tomar conhecimento dos raios de Röntgen, Becquerel, tão logo quanto possível, tentou comprovar que os raios-x estavam associados ao fenômeno de fluorescência e fosforescência do urânio. Apesar dos primeiros resultados serem negativos, Becquerel insistiu em seu experimento utilizando sais de urânio (RON, 2007). Becquerel não teve êxito na comprovação da relação entre os sais de Urânio e os raios-x. Hoje sabemos que apesar de serem ondas eletromagnéticas, os raios-x e radiação gama possuem origens distintas. Esse fato apresentado contradiz a ideia de infalibilidade da ciência em que o cientista não comete equívocos

O experimento de Becquerel consistia em utilizar pitchblendo (U_2O_8) (HOLLADAY; OLDENBERG, 1971) e chapas radiográficas e entre os dois uma espessa camada de papel. O aparato era colocado exposto ao sol e, depois de algum tempo de exposição, a chapa fotográfica era revelada. Em 24 de fevereiro comunicou a Academia de Ciências que os “raios emitidos pelo sal de urânio exposto a luz do sol impressionavam, através de uma espessa envoltória de papel, uma placa fotográfica. No dia 26 desse mesmo mês, viu-se obrigado a interromper seus experimentos em função de variações climáticas (que persistiram durante dias). Em 1º de março optou por revelar a chapa radiográfica e, para sua surpresa, encontrou silhuetas muito fortes. A partir daí a hipótese de que os raios emitidos pelo sal de urânio eram devido à fluorescência do material e a luz do sol, caiu por terra. Não restavam evidências para atribuir tal fenômeno ao sal de urânio. Nos próximos experimentos, Becquerel encontrou que além de escurecer chapas radiográficas, a nova radiação atravessava materiais e ionizava gases sendo dessa forma possível medir sua atividade.

As atenções naquela época estavam focadas essencialmente para a descoberta dos raios-x e, a popularidade do descobrimento de Becquerel somente ganhou força através das descobertas do casal Curie.

No final do ano de 1897, a polonesa Marie Sklodowska-Curie (1867-1934) entusiasmada com as descobertas de Röntgen e, em especial, com os raios de Becquerel, elegeu como sua tese de doutorado o estudo dos raios urânicos de Becquerel (RON, 2007). O primeiro passo da pesquisa foi determinar se existiam outros elementos capazes de, como o urânio, emitir radiação. Com o auxílio de um eletrômetro e um quartzo piezelétrico, construído pelo seu marido e companheiro de projeto Pierre Curie e seu cunhado Jacques Curie, Marie Curie passou a testar substâncias puras e outros minerais. (SEGRÈ, 1987)

Foi Marie Curie quem utilizou o termo “radioativo” pela primeira vez ao se referir ao tório. Em nota, Marie Curie notou uma atividade radioativa mais intensa em dois minérios de urânio em comparação ao próprio urânio. Esse fato a levou a crê que esses minerais poderiam conter um elemento muito mais ativo do que o urânio. Unindo suas forças na pesquisa (Pierre ocupando-se preferencialmente com os aspectos físicos: propriedades das radiações; e Marie com os químicos: separação e purificação dos elementos químicos) conseguiram, em 18 de julho de 1898, anunciar a descoberta do polônio e em 11 de dezembro do mesmo ano a descoberta do rádio.

A descoberta dos raios-x e da radioatividade apresentam pontos que vão a favor de Andrade, Nascimento e Germano (2007) de que a ciência, antes de ser um conhecimento desconexo, é uma construção de homens que estão imersos numa determinada realidade histórica onde afetividades, subjetividades e especulações filosóficas interferem diretamente no seu desenvolvimento. Além disso, encontramos algumas características do desenvolvimento científico. Por exemplo, Becquerel, ao perceber seu equívoco ao atribuir a emissão de radiação em decorrência da interação do sol com os sais de urânio reestruturou sua pesquisa e deu início às investigações dos elementos radioativos sendo retomado e renovado por Marie Curie. Segundo Demo (1995), o erro na ciência é salutar por que gera um movimento de renovação, abandono, reinvenção e continuidade da ciência. Dessa forma, o desenvolvimento científico é “resultado e instrumento da evolução social e econômica, na atualidade e ao longo da história” (BRASIL, 2002, p.23).

Com a descoberta das RI associadas a outras pesquisas, “problemas” surgiram e entraram em choque com a visão de mundo herdado da física clássica onde o futuro

podia ser previsto ao analisar as condições iniciais de um sistema. Para solucionar tais “anomalias” os cientistas foram “obrigados” a abandonar velhas concepções em favor de novas e radicais. A concepção filosófica do tempo contínuo dá vez à possibilidade de sua dilatação. O mesmo aconteceu para a concepção de energia que deixa de ser contínua e passa a conceber a possibilidade de ser tratada como pacotes de energia através dos trabalhos de Planck.

O surgimento da Física Moderna através das descobertas dos raios-x e da radioatividade e, em seguida, o surgimento da Física Contemporânea com a criação dos aceleradores de partículas nos anos 40 do século XX (OSTERMANN; MOREIRA, 2001), promoveram uma nova forma de “ver” o mundo que até então era regido pela Mecânica Clássica (MC). A rigidez metodológica, centrada na experiência deu vez à possibilidade de caminhos alternativos para a explicação de um determinado fenômeno. O mundo determinístico deu vez ao mundo das probabilidades e das possibilidades. Segundo Oliveira (2009), o golpe forte na MC foi aplicado, em 1900, por Max Planck através do seu trabalho intitulado *Sobre a Teoria da Distribuição de Energia do Espectro Normal* e pela teoria da Relatividade proposta por Albert Einstein em 1905. Sem anular-se, as leis determinísticas da mecânica newtoniana deram espaço às leis probabilísticas da mecânica quântica. Surgia assim, um novo paradigma na física: a Física Moderna e Contemporânea.

2.2 Importância do conhecimento conceitual sobre RI.

As radiações ionizantes estão presentes em nossas vidas desde o início (OKUNO, 1982, p.10). Apesar do seu poder deletério, precisamos delas pelos seus inúmeros benefícios e também para garantir nossa existência. Nesta seção procuraremos apresentar a importância conceitual sobre o tema de modo que o leitor possa posicionar-se em relação ao tema. Deixaremos de lado o aprofundamento matemático para futuros trabalhos, visto que esse aprofundamento não faz parte do objetivo central do trabalho. Entretanto, tentaremos trazer os constructos principais sobre as RI.

Segundo Okuno (1982, p.2), “radiação é a propagação de energia sob várias formas”. Entretanto, toda radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas é denominada Radiação Ionizante, caso contrário chamamos de radiação não ionizantes. Dessa forma as RI são ondas eletromagnéticas ou partículas que são capazes de ionizar átomos, ou seja, podem de maneira direta ou indireta arrancar elétrons da eletrosfera atômica.

Dependendo do que se estuda sobre as RI elas são divididas em grupos diversos:

a) Por exemplo, buscando sistematizar os procedimentos de radioproteção as RI são subdivididas em radiação natural, radiação de fundo e radiação artificial. O primeiro se refere as RI que são emitidas por átomos instáveis enviadas do espaço cósmico, das minas de urânio, do trítio que precipitam com a chuva etc (OKUNO, 1982). O segundo refere-se a toda radiação que não interessa quando se faz um estudo radiométrico em um local. O terceiro grupo está relacionado às radiações que são emitidas de fontes artificiais, por exemplo, os equipamentos de emissões de raios-x. b) Podemos subdividir as radiações no que se refere ao tipo de radiação: radiação corpuscular e radiação eletromagnética. O primeiro é formado por feixes de partículas elementares que se propagam em alta velocidade e que podem ser produzidas tanto de fontes naturais quanto de fontes artificiais (OKUNO, 1982). São exemplos de radiações corpusculares: elétrons, pósitrons, prótons, nêutrons, mésons π , deuteron, partículas alfa (OKUNO, 1982, p.2). O outro grupo corresponde às radiações eletromagnéticas. São campos elétricos oscilantes que se propagam com a velocidade constante c no vácuo; c) Uma terceira divisão para as RI consiste na criação de dois grandes grupos relacionados ao tipo de ionização que ocorrerá após a interação da radiação com a matéria. Em um dos grupos teremos as radiações que realizam ionizações diretas e o outro grupo consiste nas radiações que provocam ionizações indiretas. Sobre ionização direta e indireta Okuno (1982, p.9) diz que: “quando partículas carregadas em alta velocidade interagem diretamente com a estrutura poderá realizar ionização direta; no caso da ionização indireta partículas não carregadas e/ou fótons a energia dessas radiações serão transferidas para outras partículas carregadas que, por sua vez, poderá produzir ionização”. Dessa maneira, dependendo do que se estuda podemos dividir as RI de diversas maneiras.

No que tange à energia, as radiações corpusculares, por possuírem massa de repouso m e estarem em movimento com velocidade \vec{v} , possuem energia cinética K . Já para as radiações eletromagnéticas, podemos calcular sua energia através da equação para fótons pela equação de Planck. É através dessa energia e do tipo de estrutura irradiada que ocorrerá ou não a ionização. Em outras palavras para ocorrer ionização precisa-se de radiação ionizante com energia adequada e uma substância ionizável.

Por exemplo, para a radiólise da água, são necessários 32eV (SEGRETO e SEGRETO, 2006, p.243). Partículas alfa emitidas pelo rádio-226 possuem energia

cinética inicial de 4,8 MeV (OKUNO, 1982, p.2). Então ao interagir com a água provocará aproximadamente

$$\frac{4,8 \times 10^6}{32} \cong 150000$$

radiólises antes de parar. O feixe de raios-x produzidos por um equipamento de radiodiagnóstico operado em 80kVp² produz energias que variam de 0 a 80keV (BUSHONG, 2004, p.65).

Uma das características importantes das RI é o seu *poder de penetração*. Para as RI corpusculares a distância percorrida antes de parar é chamada de *alcance* (OKUNO, 1982, p.8). Entretanto, para as RI eletromagnéticas não é possível prever a distância percorrida antes da primeira interação. Entretanto, a energia da radiação é um dos fatores que determina o seu poder de penetração. Quanto maior a energia maior será o seu poder de penetração. Uma RI eletromagnética pode perder toda ou quase toda energia numa única interação (OKUNO, 1982). O que pode ser previsto, contudo, é a distância em que ele tem 50% de chance de interagir. Essa distância chamamos de camada semi-redutora (CSR) (OKUNO, 1982, p.9). Essa camada varia de acordo com a energia máxima da radiação que será utilizada em um local específico. Por exemplo, sabendo que um feixe de raios-x contendo um valor máximo de energia de 0,05MeV perderá, probabilisticamente, 50% da sua intensidade ao atravessar 8×10^{-2} cm de chumbo. Então dizemos que 8×10^{-2} corresponde a Camada Semi-Redutora (CSR) para um feixe de raios X com energia de 0,05MeV.

Sobre as radiações ionizantes corpusculares podemos citar as mais comuns: partículas alfa (α) e beta (β). Ambas foram descobertas por Rutherford, em 1898, no Laboratório Cavendish (SEGRÈ, 1987, p.51) como consequência do desenvolvimento das pesquisas sobre modelo atômico e radioatividade. Atualmente, sabe-se que as partículas alfa são bem definidas estruturalmente como dois prótons e dois nêutrons, ou seja, são núcleos de Hélio expelidos de um átomo instável com excesso de núcleons (prótons e nêutrons) (BITELLI, 2006). Seu alcance é muito pequeno, pois perde facilmente sua energia cinética em cada interação com elétrons orbitais de outros átomos (BUSHONG, 2004) e, conseqüentemente podem ser facilmente blindados. Por exemplo, a penetração de um feixe de radiação alfa com energia valendo 5,0 MeV é de aproximadamente 0,021 cm. Por outro lado, o pequeno poder de penetração está

² Quilovolt pico

relacionado com o inverso do poder de ionização. Dessa maneira a ingestão, inalação ou absorção da pele de fontes alfa-emissor poderá causar danos profundos a certas partes do corpo (OKUNO, 1982).

As partículas beta diferem das partículas alfa pelo seu tamanho e sua carga. Surgem da transformação de um próton em nêutron, ou um nêutron em um próton. “São elétrons (e^-) e pósitrons (e^+)³, que são muito mais penetrantes que as partículas alfa” (OKUNO, 1982, p.9). Isso ocorre quando a razão entre o número de massa e o número atômico é muito maior que um, ou seja, quando “o núcleo apresenta um excesso de massa em relação a carga” (BITELLI, 2006, p.20). As partículas beta saem do núcleo com velocidades até 99% da velocidade da luz. Por isso para descobrir as partículas beta foi necessário a correção relativística da massa. Inicialmente, quando os pesquisadores determinaram pela primeira vez a energia das partículas beta, surpreenderam-se com o fato do espectro obtido ser contínuo indo de um valor de energia muito baixo até um valor de energia bem definido (BITELLI, 2006, p.20). Entretanto, havia um problema na conservação da energia do sistema. Em 1934 alguns admitiram (erroneamente) a possibilidade de o princípio da conservação da energia não ser aplicável a esse processo de desintegração. Esse problema somente foi resolvido pela hipótese de Fermi, em que além das partículas beta, são emitidas uma ou mais partículas denominadas neutrinos cuja massa é desprezível, carga elétrica nula e $spin = 1/2$

Dentre as radiações eletromagnéticas ionizantes temos os raios-x e raios gama (γ). A discussão teórica sobre elas é semelhante à presente na discussão sobre ondas eletromagnéticas. Entretanto, a característica que distingue elas dos outros tipos de radiação é o seu poder de ionização. A radiação gama e os raios-x diferenciam-se enquanto à sua origem: enquanto os raios-x originam-se na eletrosfera atômica os raios gama originam-se no núcleo atômico (BUSHONG, 2004). Nos primórdios da radiologia a energia das fontes emissoras de raios-x não alcançava os valores de energia produzidos por fontes de radiação gama. Mas com o desenvolvimento dos aceleradores lineares essa limitação foi superada. Atualmente podemos obter raios-x com energias iguais ou maiores que os raios gama (BUSHONG, 2004). Além disso, as radiações ionizantes eletromagnéticas possuem taxa de ionização no ar de aproximadamente 100 *pares de íons/cm*, igual à taxa de ionização das partículas beta. São bastante penetrantes

³ Partículas idênticas ao elétron, exceto no sinal de carga (OKUNO, 1982 p.9)

e interagem com a matéria via efeito fotoelétrico, pelo efeito Compton ou pela produção de pares emitindo elétrons ou pares elétrons-pósitrons (OKUNO, 1982, p.9).

A interação da radiação ionizante com a matéria é uma área bem específica da biologia: a radiobiologia. Os constructos da Física das radiações ionizantes servem de suporte para as pesquisas dessa área. Taxas de absorção das RI no tecido estão relacionadas a mudanças estruturais, como por exemplo, queimaduras (radiodermites), mudança na estrutura do DNA (mutações), danos na medula óssea comprometendo a produção de hemácias, plaquetas e leucócitos. Tais efeitos foram detectados logo no início da pesquisa com raios-x e passaram a despertar interesse nos pesquisadores do mundo todo. Atualmente existem órgãos internacionais como a IAEA (Agência Internacional de Energia Nuclear- símbolo em inglês) e a ICRP (Comissão Internacional de Radioproteção) que geram normas internacionais sobre o uso das RI. No Brasil existe a CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), o IPEN (Instituto de Pesquisas em Energia Nuclear) e a IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria). A consequência disso foi a publicação de normas e recomendações que visavam estabelecer formas de quantificar as radiações para evitar os efeitos advindos do seu uso (OKUNO, 1998 apud VIEIRA, 2007)

2.3 Implicações das radiações ionizantes na contemporaneidade

Nessa seção discutiremos como e onde as RI estão presentes na contemporaneidade. Priorizamos discutir as implicações sociais e políticas, porque elas estão de acordo com os nossos objetivos descritos anteriormente.

Cada vez mais elementos do mundo científico estão presentes em um amplo conjunto de manifestações sociais. (ANDRADE; NASCIMENTO; GERMANO, 2007, p. 402). Especificamente, a educação em ciências como as outras deve ajudar o estudante entender como as ciências são relacionadas à cultura originando um conhecimento necessário para participação na cultura científica quando preciso.

A potencial utilização dos raios-x foi percebida logo após a sua descoberta pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen em 1895 (OKUNO, 1982). A figura 1 apresenta o primeiro exame radiológico produzido nos Estados Unidos em fevereiro de 1896 (BUSHONG, 2001)

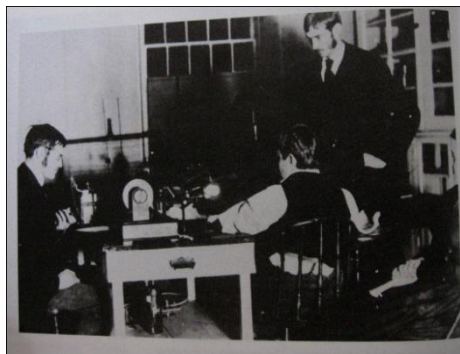


Figura 1 – Primeira radiografia médica dos EUA.

Fonte: Radiologic Science for Technologists

No Brasil se descobriu as potencialidades dos raios-x em 12 de março de 1897 quando Dr. Alfredo Britto, ao retornar de viagem à Europa, trouxe um pequeno aparelho de raios-x para o Brasil, e pôde introduzir na Bahia os trabalhos com raios-x (BARP, 2006).

A descoberta dos raios-x foi bem acolhida pela sociedade científica (físicos, químicos e médicos principalmente) e civil. A notícia da nova descoberta correu o mundo. Vários cientistas àquela época procuraram reproduzir o experimento de Röntgen em congressos e em seus próprios laboratórios. Para alguns, como por exemplo, Arthur Schuster, citado por Ron (2007), as consequências não foram muito boas: “... meu laboratório se viu inundado por médicos que traziam seus pacientes, que suspeitava ter agulhas em diversas partes do corpo, e durante uma semana tive que disponibilizar parte de três manhãs para localizar uma agulha na pele de uma bailarina”

O próprio kaiser Guilherme II solicitou uma demonstração na corte, que o próprio Röntgen efetuou no dia 13 de janeiro de 1896 (RON, 2007).

A agitação da nova descoberta e sua potencialidade não tomou conta somente dos cientistas como também da população européia.

Em janeiro de 1896, a notícia da descoberta dos raios-X já tinha criado em todo o mundo uma enorme comoção. Podemos imaginar o deslumbramento em relação a esses raios aos quais quase tudo se tornava transparente e por meio dos quais todos podiam ver seus próprios ossos. Podiam-se ver também bala alojada no corpo. As consequências para a medicina foram imediatamente percebidas. Não precisava ser um cientista para valorizar a descoberta. (SEGRÈ, 1987, p.22).

O uso dos raios-x foi além do uso na medicina. Em alguns locais utilizava-se o novo equipamento para fins inusitados, como por exemplo, para visualização dos pés dentro de um sapato (Figura 2 e 3).

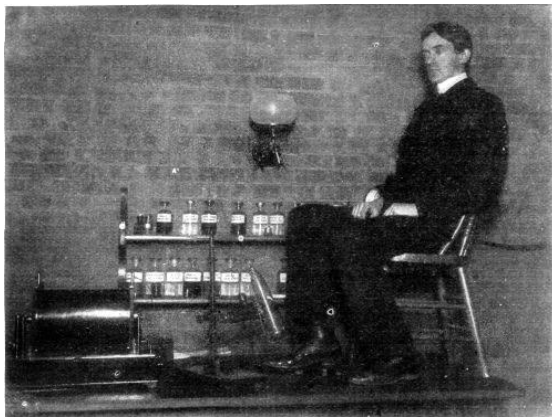


Figura 2 – radiografia de um sapato

Fonte:
http://3.bp.blogspot.com/_cM2l6Y3Ulgg/TNhe2ffXUeI/AAAAAE9k/Ut1PRstXQPY/s1600/sapatariaRX.jpg

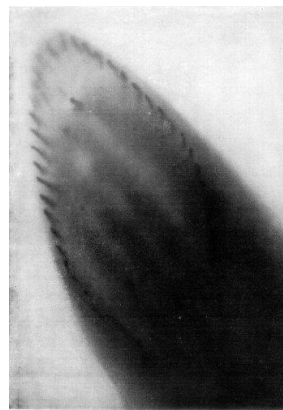


Figura 3 – radiografia de um sapato.

Fonte:
http://1.bp.blogspot.com/_cM2l6Y3Ulgg/TNhfDQ3p-GI/AAAAAAAE9s/inciNZzCYxg/s1600/sapatoRX.jpg

Atualmente diversas áreas da ciência utilizam as radiações ionizantes (RI) para, de alguma forma, satisfazer as necessidades do homem. Seja em aplicações industriais, na agricultura, na medicina, em aeroportos ou para pesquisas (OKUNO; CALDAS; CHOW, 1982; CRUZ 1987), as RI estão presentes. A medicina é uma das áreas que mais se beneficia com o uso das RI. "Os raios X vêm sendo empregados em grande escala na Medicina para fins terapêuticos e diagnósticos em contribuição ao desenvolvimento tecnológico da área" (SUTTON, 2002 apud VIEIRA 2007 p.14).

Estamos expostos a fontes de RI naturais a todo o momento: do solo e de materiais de construção (OKUNO; CALDAS; CHOW, 1982); no nosso corpo e nos alimentos, encontramos materiais radioativos como potássio-40, carbono-14, urânio, tório (CRUZ, 1987, OKUNO; CALDAS; CHOW, 1982); da radiação cósmica e em locais próximos a minas de tório e de urânio (OKUNO; CALDAS; CHOW, 1982). Até a descoberta dos raios-x e da radioatividade, o homem estava exposto, sem saber, às RI. Entretanto, poucas pessoas atingem a fase adulta sem nunca ter realizado radiografia de uma parte do corpo ou de um dente (OKUNO; CALDAS; CHOW, 1982, p.49). Podemos dizer que as RI são agentes importantes para a própria existência humana basta saber que o calor gerado pelo Sol surge através de fusões nucleares em seu interior e que sem ele não seria possivelmente vida na Terra.

Essas características as tornam valiosas para diversos fins. Tomemos como exemplo os benefícios para a produção energética: atualmente as usinas nucleares representam 5% da produção energética primária do mundo (HELENE, 2008, p.36). Isso representa a produção energética total de todas as outras fontes de origem não nuclear em 1957 (idem, 2008, p.38). Ou seja, nesses 53 anos que se passaram, o

aumento na demanda de energia refletiu na construção de mais usinas termonucleares. Além disso, Regiões onde há escassez de fontes energéticas naturais utilizam-se dos benefícios da energia elétrica gerada a partir da energia nuclear. Dados da IAEA (International Atomic Energy Agency) mostram que, atualmente, 33 países possuem usinas nucleares, totalizando 436 usinas em operação e 56 em construção. A mesma agência reporta a construção de 8 novas usinas nucleares na China. No Brasil temos 2 usinas nucleares (Angra 1 e Angra 2) e uma terceira (Angra 3) está em processo de construção (ELETRONUCLEAR, 2009). Apesar da contribuição para o aumento da matriz energética nacional, essas usinas representam riscos potenciais à saúde humana e por isso é fonte de grandes debates sobre a sua construção ou não.

Quando o uso da energia nuclear para fins pacíficos foi iniciado pelas sociedades atuais, ficaram bem claras as suas vantagens: ampliação da capacidade instalada de geração elétrica (produção de mais energia elétrica), custo menor (hoje não mais) que a energia termoelétrica (queima de combustível fosseis), menor índice de poluição atmosférica por unidade de energia gerada, etc. Mas sobre o subproduto desse conforto energético – o lixo nuclear - pouco se falou, restringindo a escolha pela energia nuclear apenas às suas vantagens. (HELENE, 2008, p.44).

Esse debate está longe de ter uma representatividade expressiva, visto que, se restringe a um pequeno grupo de pessoas que detém o conhecimento sobre radiações ionizantes e seus impactos ambientais deixando de fora da discussão maior parte da população.

Podemos afirmar que a área da saúde é um dos setores que mais se beneficia com os avanços relacionados às RI. A medicina teve, graças aos raios X, um avanço significativo no tocante ao diagnóstico e a terapia de doenças (MEDEIROS, 2006). Segundo Soares, Pereira e Flôr (2011, p.97),

No Brasil, essa utilização vem crescendo a taxas próximas de 10% ao ano, e os exames de diagnóstico por imagem, segundo dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus), tiveram acréscimo de 45,27%(1) entre dezembro de 2000 e 2006 .

A utilização dos raios-x para o diagnóstico de patologias é, praticamente, rotina no setor de saúde. O tratamento de tumores com radiação gama e raios-x, produzido por aceleradores lineares, passou a ser um dos recursos utilizados no combate ao câncer. “A produção de quantidades suficientes de radionuclídeos para uso médico só se iniciou com o advento dos reatores nucleares desenvolvidos durante a Segunda Guerra Mundial” (ROBILOTTA, 2006, p.135). O desenvolvimento de novos aparelhos que

utilizam RI, como por exemplo, a PET⁴ (Tomografia por Emissão e Pósitron) ajudam na detecção de neoplasias em seu estágio inicial e com isso permite um diagnóstico precoce de muitas doenças (ROBILOTTA, 2006).

A Química é outro exemplo de área que se beneficiou com o uso dos raios-x. A difração dos raios-x representa uma das importantes técnicas na análise de estruturas cristalinas. A partir do conhecimento dos raios-x foi possível usar novos métodos de ionização de gases e estudar o comportamento dos íons gasosos, trabalho efetuado por J. J. Thompson, que o levou ao estudo dos elétrons livres (MARTINS, 1996)



Figura 4 – Thomas Edison visualizando a mão de seu assistente.

Fonte: Stewart Bushong, p.9

Por outro lado é sabido que as fontes emissoras de RI representam perigos para o meio ambiente e para o homem. Os prejuízos à saúde devido à exposição crônica ou aguda às radiações ionizantes somente foram percebidos anos depois de sua descoberta. A figura 4 mostra Thomas Edison observando a mão do seu assistente e amigo, Clarence Dally, submetida à exposição aos raios-x. Thomas Edison abandonou suas pesquisas após Clarence apresentar queimaduras devido à exposição aguda às radiações. Tais danos conduziram para a amputação dos dois braços de Clarence.(BUSHONG, 2001)

No que diz respeito a algumas fontes de RI a contaminação e a produção de rejeitos radioativos corresponde a um dos problemas que a humanidade enfrenta. O lixo nuclear, ou seja, “as sobras de materiais radioativos que não mais serão utilizados e tudo o que estiver contaminado por eles” (HELENE, 2008, p.12), possuem um futuro incerto. Predizer sobre o futuro das áreas adjacentes aos aterros sanitários destinados ao confinamento de resíduos radioativos é uma tarefa difícil para os cientistas. “Nenhum cientista ou engenheiro pode oferecer garantia absoluta de que o lixo nuclear não vazará algum dia em quantidades perigosas até mesmo dos melhores depósitos” (KRAUSKOPH, 1992, p.82 apud HELENE, 2008, p.65). As gerações futuras herdaram os problemas da atualidade em relação ao armazenamento do lixo radioativo. Porém, mesmo com todo o risco (OLIVEIRA, 2009, p.239) do lixo radioativo e devido ao

⁴ Ferramenta que capta os fótons de radiação gama produzidos pelo aniquilamento do choque entre um elétron e um pósitron.

crescimento demográfico acelerado, a utilização de usinas nucleares dificilmente deixará de ser utilizada.

Os efeitos das radiações ionizantes, causados pelas bombas atômicas lançadas nas cidades de Hiroshima e Nagasaky, no final da Segunda Guerra Mundial, e pelo acidente radiológico da usina nuclear de Chernobyl, na cidade Kiev, em 1986, são sentidos até hoje (ORUNO, 1998). Em 1987 o Brasil foi surpreendido com seu primeiro desastre radiológico. A contaminação e irradiação de moradores da cidade de Goiânia, em Goiás, por uma fonte de césio-137 abandonada em uma clínica de radioterapia desativada evidenciou a fragilidade do país para questões relacionadas à proteção e gerenciamento de fontes nucleares e informações para a população. Passaram-se duas décadas e, no Brasil, o assunto ainda fica restrito a especialistas e interessados no assunto. Ao pesquisar sobre “Concepções Dos Estudantes Sobre Radiações” Prestes, Cappelletto e Santos (2008) concluíram que, “antes da instrução formal, os estudantes do ensino médio têm pouco conhecimento sobre o tema radiações, apenas idéias vagas e desarticuladas”.

Esta relação dialética, ou seja, a coexistência de um objeto beneficia e prejudica o homem, torna as RI um tema instigador e importante para ser debatido em sala. Corroborando com nossa afirmação, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) destacam uma das competências em Física esperadas ao final da escolaridade básica:

reconhecer que, se de um lado a tecnologia melhora a qualidade de vida do homem, do outro ela pode trazer efeitos que precisam ser ponderados para um posicionamento responsável. Por exemplo, o uso de radiações ionizantes apresenta tanto benefícios quanto riscos para a vida humana. (BRASIL, 1999, p. 68).

A LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional) publicada como Lei nº 9394 em 20 de dezembro de 1996 diz sobre a finalidade da educação: “desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho” (LDB, 1996, art.2º) e que o educando ao final do ensino médio deve demonstrar domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna. Domínio e cidadania voltados para a conscientização, que lhe possibilita inserir-se no processo histórico, como sujeito (FREIRE, 1987).

Entretanto, as pesquisas apontam que uma visão deformada, descontextualizada e socialmente neutra da ciência contribui muito pouco para a formação do cidadão (FREIRE Jr, 2004). Na conferência da entrega do Nobel, em 1903, Pierre Curie, encerra a sua conferência falando que a radioatividade, utilizada com más intenções, pode ser maléfica para a humanidade. Mas que ele acreditava (como o próprio Nobel acreditou)

que suas descobertas têm mais a oferecer para o bem do que para o mal (CORDEIRO; PEDUZZI, 2009). Essa previsão pode ser observada no clima de tensão coexistente entre os EUA, Irã e a Coreia do Norte no que diz respeito à utilização de fontes radioativas para fins bélicos.

Essa tensão que permeia o mundo contemporâneo é reflexo do poder devastador das armas nucleares que o mundo conheceu após os Estados Unidos lançarem a primeira bomba nuclear, em território habitado, nas cidades de Hiroshima e Nagasaki logo após o fim da Segunda Grande Guerra. Segundo Barros (2008, p.1)

a evidência do poder de destruição da arma atômica obtida com os lançamentos de duas bombas sobre cidades do Japão é apontada como o marco inicial da corrida nuclear durante a Guerra Fria entre os Estados Unidos e a União Soviética.

A corrida armamentista do pós-guerra encabeçada por esses dois países teve como consequência o surgimento de programas nucleares por diversas nações. Segundo BARROS (2008) esses programas surgem como “um atalho para projeção política desses países no cenário internacional, sem implicações benéficas para os seus problemas sociais” (p.1) e “não há grandes impedimentos técnicos para a aquisição do “*know-how*” e produção de armas atômicas rudimentares para um grande número de nações” (2008, p.5). Tendo como objetivo limitar a proliferação de armas nucleares, e para a redução do risco de uma guerra nuclear foi-se aprovado na Assembléia geral da ONU (Organização das Nações Unidas) o (TNP) Tratado de Não Proliferação de armas nucleares em 1968 (BARROS, 2008).

Após a instituição do TNP houve uma diminuição de projetos nucleares no início da década de 70. Entretanto, ao longo dos anos o tratado está gradualmente perdendo força devido ao não cumprimento dos compromissos assumidos pelas cinco potencias nucleares de eliminação dos seus arsenais bélicos (BARROS, 2008, p.4). Podemos ver claramente a influência direta da ciência nas questões políticas.

Essas controvérsias podem conduzir para uma visão equivocada sobre as RI que conduz a sua existência mais para os danos do que para os seus benefícios.

As discussões sobre a natureza dos raios catódicos bem como a descoberta do elétron, dos raios x e da radioatividade, podem contribuir para desmistificar a ideia da construção científica através de um gênio solitário em seu laboratório alheio às questões que o rodeia. Além disso, encontramos elementos que mostram que, apesar de estarem interligadas, as descobertas científicas não seguem uma linearidade e que são influenciadas sensivelmente pela sociedade.

3 DISCUTINDO CTS E A FORMAÇÃO DE PROFESSORES

As RI trazem inúmeros benefícios para a sociedade contemporânea tanto no desenvolvimento tecnológico e científico posto que ela seja indispensável, por exemplo, na utilização e na pesquisa industrial, agrária e médica. Pensando nisso, apresentaremos nesse capítulo algumas considerações sobre a influência cíclica entre ciência, tecnologia e sociedade o que chamamos de interações CTS.

As discussões em CTS tiveram sua origem nos anos 60 nas discussões em tecnologias. Posteriormente, tais discussões agregaram-se às pesquisas em educação como justificava para a inserção de novos tópicos, estratégias curriculares e estudos de ensino e aprendizagem. A partir daí se insere a “abordagem CTS para o ensino de ciências”. López e Cerezo (1996 apud MORTIMER; SANTOS, 2000, p.2). discutem a proposta curricular de CTS como

a uma integração entre educação científica, tecnológica e social, em que os conteúdos científicos e tecnológicos são estudados juntamente com a discussão de seus aspectos históricos, éticos, políticos e sócio-econômicos.

Desse modo, o estudo das RI pode promover um ambiente onde esses aspectos podem ser discutidos em sua totalidade. Nesse capítulo pretendemos discutir as interações CTS com relação à formação de professores através da inserção de tópicos de Física moderna no Ensino de Física, em particular, a inserção de RI.

3.1 CTS e educação

A influência da ciência e da tecnologia no mundo contemporâneo é de tal ordem que falam sobre uma “autonomização da razão científica” (MORTIMER; SANTOS; 2002). Essa *autonomização*, segundo os autores, “... resultou em uma verdadeira fé no homem, na ciência, na razão, enfim, uma fé no progresso” (MORTIMER; SANTOS; 2002, p.2). Dessa supervalorização da ciência surgiram as ideias equivocadas sobre sua neutralidade (mito da neutralidade), sobre sua infalibilidade e que resolveria todos os problemas da sociedade (mito da salvação) (MORTIMER; SANTOS, 2002). Além disso, segundo Bazzo (2002), existe um paradoxo da nossa era que corresponde às atraentes promessas dos desenvolvimentos científicos e às “questões sociais como a fome, as guerras, as aviltantes distribuições de renda e as fortes degradações ambientais, continuam se agravando dia a dia” (BAZZO, 2002, p.88).

Neste contexto as discussões sobre CTS tomaram fôlego por volta de 1960-1970 tendo como estopim a degradação ambiental e as guerras que ocorriam naquele período. Segundo Auler e Delizoicov (2006, P.340) esses acontecimentos “fizeram com que Ciência [e] Tecnologia (CT) se tornassem alvo de um olhar mais crítico” tendo um especial destaque “... para o fato de que CT foram "deslocadas" do espaço da suposta neutralidade para o campo do debate político”. Esse deslocamento acontece através da reorganização da sociedade capitalista do final do século XX. Loureiro (2008, p.193) atribui essa reorganização como consequência da ruptura com o período da chamada “Grande Indústria”

reproduzindo-se com forte ênfase nos processos especulativos financeiros e na utilização das ciências, do conhecimento, da tecnologia e da informação como poderosas forças produtivas, lideradas pelo complexo empresarial-militar, destacadamente o dos Estados Unidos.

Essa mudança de concepção da relação C&T proporcionou uma maior mobilização da sociedade civil organizada principalmente nas questões ambientais. Souza (2008, p.13) refere-se a sociedade civil como sendo

a esfera de ação das pessoas de uma sociedade. Algumas pessoas estão na sociedade civil e na sociedade política, quando são representantes políticos, por exemplo. Existe a sociedade civil organizada que é entendida como o conjunto de sujeitos ou fatores organizados, a exemplo de associações ou organizações não governamentais, movimentos sociais, sindicatos entre outros. Todos nós, isoladamente, fazemos parte da sociedade civil. Mas quando estamos organizados em um grupo, passamos a pertencer à denominada sociedade civil organizada.

Em outras palavras, é na sociedade onde as pessoas devem intervir no âmbito da educação ambiental. Segundo MACHADO E NARDI(2006), na época atual, Ciência e Tecnologia apresentam-se fortemente associadas, possibilitando a obtenção de aplicações que resultam em maior controle dos fenômenos naturais e permitem gerar benefícios para as pessoas. Por outro lado, os conflitos socioambientais, os problemas decorrentes dos usos e apropriação da natureza e os interesses e necessidades em disputa são alguns dos pontos que emergem da relação entre educação ambiental e os movimentos sociais (LOUREIRO, 2008).

Nesse contexto, as características na educação com enfoque em CTS encontram ressonância na necessidade de posicionamento do sujeito que é forçado a buscar soluções através da comunicação oral, da escrita e do pensamento lógico e racional. Outro fator é o exercício da flexibilidade cognitiva, da responsabilidade social e da

cidadania através da discussão e da tomada de decisão em relação aos diferentes aspectos da ciência e do incremento do interesse em atuar em questões sociais através da verificação dos resultados dessas decisões no cotidiano mundial.

Entretanto, em meio a essa discussão surge uma questão: como e onde formar cidadãos com as características citadas acima? Essa questão abre frente para uma análise sobre a finalidade da nova escola e o novo público que a frequenta. No mundo contemporâneo a escola busca deixar seu viés propedêutico e passa a acrescentar o caráter de formador de cidadãos críticos. Terrazzan, em 1994, já sinalizava para a necessidade dessa mudança e, também, muitas pesquisas apontavam para a o ensino de física voltada para uma consciência cidadã.

Podemos dizer também que a presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se da construção da visão de ciência voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na sua realidade (BRASIL, 2002). A ciência deve ser vista como um empreendimento humano influenciado pela sociedade ao mesmo tempo em que a influencia. Cabe então à escola o papel de prover aos cidadãos conhecimentos relacionados o seu contexto de maneira afinada com a contemporaneidade, com a construção de competências básicas, que situem o educando como sujeito produtor de conhecimento e participante do mundo do trabalho e com o desenvolvimento da pessoa, como cidadão (BRASIL, 2000). Ou seja, a física desenvolvida na escola média deve permitir aos estudantes pensar e interpretar o mundo que os cerca (TERRAZZAN, 1994, p.38) e “é essencial que o currículo escolar propicie saberes para os estudantes poderem acompanhar criticamente os desdobramentos dessas interações mesmo após a conclusão de sua educação formal” (MACHADO; NARDI, 2008, p.475).

Sua presença nos planos de curso dos professores de física serão de grande valia para a formação de um indivíduo com espírito crítico (cidadão). Sobre isso, os PCN apresentam que

a presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar da realidade (BRASIL, 2002, p. 59).

Essa afirmação está em consonância com as finalidades da educação básica proposta pelo no artigo 22 da Lei de Diretrizes e Bases (LDB) que conclui que

a educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores.

Entretanto, segundo Cortela e Nardi (2003, p.4) a forma com que as ações pós LDB foram implantadas nas escolas públicas levou a “um empobrecimento da qualidade de ensino oferecida, gerando novos problemas para a formação de professores”. Os autores atribuem o motivo desse empobrecimento ao “crescente movimento no sentido de colocar na escola fundamental e média, o maior número possível de alunos; a implantação de classes de aceleração; a progressão continuada e a proposta da inclusão de alunos com necessidades especiais” (CORTELA; NARDI, 2003, p.4). Como consequência disso surge um estrangulamento no contingente de professores.

Retomando as questões de CTS, Auler e Delizoicov (2006, p.340) afirmam que

há uma tendência em encarar a sociedade como um mundo externo à escola. Ao considerá-la como um “mundo lá fora”, os elementos da prática social raramente irão adentrar no espaço escolar. A prática social do aluno acontece fora da escola ou num futuro próximo.

Em outras palavras a escola, de maneira geral, ainda está distante do cotidiano do aluno. Ou como nos diz Wieman (2004 apud BROGES, 2006, p.136),

Nossa diversificada população de estudante merece uma educação de ciências capaz de dotá-los de uma apreciação significativa dos métodos e capacidades da ciência e das amplamente úteis habilidades de resolução de problemas.

Então podemos dizer que a escola precisa prover ferramentas epistemológicas para que o sujeito tenha a possibilidade de inserção nos debates de forma consciente. Para isso o sujeito deve adquirir conhecimentos de diversas áreas. Entretanto, como a escola ainda é o lócus da socialização do conhecimento, deve-se discutir com seus participantes as implicações desses conhecimentos na sociedade ao contrário da exposição hermética dos conteúdos que comumente é apresentada aos estudantes do ensino médio. Segundo Machado e Nardi (2008, p.475),

uma das principais funções da escola é permitir que os jovens se apossam de elementos culturais compartilhados pelos membros da Sociedade na qual pertencem, facultando sua plena integração ao meio social.

Entretanto, o que se verifica em pesquisas é uma inércia na renovação de currículos e práticas pedagógicas que pode acabar por deixar os alunos na margem da cultura científica e tecnológica do mundo moderno, devido à defasagem existente entre o que é aprendido na escola e os fatos em andamento na Sociedade (MACHADO;

NARDI, 2008). Esse tipo de abordagem não está compatível com a visão atual da ciência. A exposição ao conhecimento de maneira descontextualizada está nos moldes educacionais via educação bancária onde os estudantes “são os depositários e o educador o depositante” (FREIRE, 1987, p. 66). Dessa maneira não há saber, nem criatividade, não há transformação, não há busca nem reflexão (FREIRE, 1987).

Isso está de acordo com o sentido do cientista contemporâneo que deve ter “uma maior reflexão e, sobretudo, a capacidade de dialogar com outras áreas para participar da análise de tais problemas em uma perspectiva multidisciplinar” (MORTIMER; SANTOS, 2002, p.3).

Então cabe nesse contexto uma reflexão sobre o caminho que a escola percorreu até os dias de hoje.

Menezes (2001, p.201) ao se reportar às décadas de 50 a 70 diz que

a função central das escolas públicas de ensino médio regular, não-profissionalizante, era principalmente a de preparar, para as universidades, jovens de uma elite cultural, originários da elite econômica e de classes médias em ascensão.

Para suprir o aumento da quantidade de alunos que buscam o ensino médio houve uma tendência em aumentar a quantidade de licenciados em Física. Borges (2006, p.135) fez críticas a essa postura e afirmou que não bastava somente aumentar a quantidade de professores de física, deve-se formar melhor. Dessa forma, Ataíde, Lima e Alves (2006, p.1) sinalizavam que “a universidade, formadora da mão-de-obra qualificada, está sendo convocada a repensar e a transformar seus vínculos com a sociedade”

Para isso tem-se discutido mudanças curriculares para o ensino de Física em busca de temas atuais que estejam presentes no cotidiano dos estudantes. Segundo Terrazan:

A física desenvolvida na escola média deve permitir aos estudantes pensar e interpretar o mundo que os cerca. Aqui, o cotidiano vivido pelos alunos assume um papel fundamental na definição da forma de abordagens dos conteúdos previamente definidos como relevantes. (1994, p. 38).

Sobre as habilidades desenvolvidas pelo professor, Tricárico (1989, p.145) enfatizava que o professor deve desenvolver

o processo educativo no sentido de permitir aos estudantes o desenvolvimento de sua inteligência e de sua personalidade e não, como é tão comum, limitá-los à reprodução de conhecimentos elaborados por outros, apresentando fórmulas e raciocínios pré-fabricados.

Em consequência, Wuo (2005, p.59), afirmava que diversas propostas curriculares foram elaboradas a partir de 1980 destacando

...a importância de se abordar o ensino de ciência sob múltiplos aspectos, buscando com isso mostrar um desenvolvimento científico como produto histórico e dependente das condições sócio-culturais das sociedades que elaboraram esses conhecimentos.

Entretanto, Bazzo (2002) aponta para uma mudança cultural epistemológica como os primeiros passos para a reestruturação curricular. Cortela e Nardi (2004) afirmavam que somente novas estruturas curriculares implantadas pela universidade não garantem as mudanças esperadas na formação de futuros professores. Entretanto uma articulação adequada entre os aspectos pedagógicos, histórico filosófico e conceitual pode influenciar na formação do professor consciente das implicações sociais do conteúdo que ele ensina.

Sobre o ensino de FMC podemos destacar a mobilização para o ensino de novos temas em FMC. É consensual que os temas que envolvem FMC são pertinentes e devem ser ensinados no nível médio. Um dos fatores para isso decorre do fato dos “jovens de hoje parecem não aceitar mais se engajar em um processo que se lhes quer impor sem que tenham sido antes convencidos de que esta via é interessante para eles ou para a sociedade” (FOUREZ, 2003, p. 110) e “para perceber o que é relevante para sua participação efetiva mundo em constante e acelerada transformação de conceitos e valores” (PAULA; MOREIRA, 2004, p.65-66). Dessa forma, o ensino de RI, como tema da FMC pode contribuir para a aproximação da Física para o cotidiano de maneira crítica.

Contudo, onde está inserido o tema RI? Quais são as dificuldades encontradas na sua inserção?

Dessa forma, no âmbito do ensino de Física cabe a seguinte questão relativa ao nosso trabalho: A importância das RI como tópico para o ensino está na pauta das discussões sobre ensino de ciências?

3.2 A Inserção de tópicos de Física moderna no Ensino de Física

Parece existir consenso hoje, em nível internacional, quanto à necessidade de introduzir conteúdos de Física Moderna e Contemporânea nos currículos de Física das escolas (OLIVEIRA, 1999). Além disso, tal inserção representa objeto de estudo para diversos pesquisadores em ensino de ciências a partir dos anos 90 (TERRAZZAN, 1994; PEREIRA; OSTERMMAN, 2009; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; VALADARES, 1998) e de nível médio. Torres (1998 apud MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009) apresenta, partindo do pressuposto de que o conhecimento é uma produção cultural, razões para a introdução da FMC na Educação Básica. Razões essas que abrem possibilidade para: concepção do estudante com sua história; preservação do estudante dos obscurantismos pós-modernos; localização correta do ser humano na escala temporal e espacial da natureza; entendimento sobre as múltiplas e evidentes conseqüências tecnológicas da FMC.

Essa nova perspectiva abre espaço para uma reflexão sobre como os cursos de formação de professores estão preparando os futuros professores de Física. Monteiro; Nardi; Bastos Filho (2009, p.576) defendem que “para a FMC ser introduzida no Nível médio da Educação Básica, é imprescindível se discutirem, urgentemente, outras perspectivas para a formação de professores de Física”. A mudança curricular proposta em algumas universidades apresenta posições divergentes em relação a mudança curricular encontrada nos cursos de formação de professores influenciada:

- pela Lei nº 9.394 (LDB), de 20/12/1996 que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional;
- pela Resolução 01/2002–CP/CNE, de 18/02/02 que institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores de Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura e de graduação plena;
- pela Resolução 02/2002–CP/CNE, de 19/02/02 que institui a duração e a carga horária dos cursos de licenciatura, de graduação plena e de formação de professores da Educação Básica em nível superior;
- e pela Resolução 09/02–CES/CNE, de 11/03/02 que estabelece as Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física.

Essas modificações segundo LAWALL (2005) representaram uma mudança significativa na filosofia de formação de profissionais da educação no Brasil. Em relação ao ensino de ciências, as pesquisas apontam que a visão deformada,

descontextualizada e socialmente neutra da ciência contribui muito pouco para a formação do cidadão (JUNIOR, 2004).

Dessa forma, a discussão sobre a presença ou não de disciplinas relacionadas à FMC para o futuro professor de física aquece os debates sobre a seguinte questão: Será que o professor de Física adquire na formação inicial suficiente conhecimento da Física desenvolvida a partir do final do século XIX? Essa pergunta amplia a responsabilidade das instituições formadoras de professor de Física. Sobre essa temática, Terrazzan (1994, p.40) crê que o esforço para a melhoria do Ensino Médio deve ser concentrado sobre os professores. Segundo o autor, tal melhoria pode acontecer sob duas frentes: enquanto aluno de graduação, futuro licenciado e durante a sua atuação profissional, em programas de educação continuada.

Além disso, as modificações que ocorreram na ciência no século XX repercutem até hoje. Entretanto, segregamos boa parte do conteúdo de FMC ainda que a mecânica newtoniana não dá conta de grande parte dos fenômenos vivenciados por nossos alunos. Para situar o período em que vamos desenvolver nossa pesquisa consideraremos a Física Clássica como aquela desenvolvida até o final do século XIX, a Física Moderna (FM) compreendida entre o final do século XIX e a década de quarenta do século XX e a contemporânea como a Física dos aceleradores de partículas (OSTERMANN; MOREIRA, 2001)

Na literatura podemos encontrar variadas propostas pedagógicas relacionadas a tópicos de FM. Arruda e Filho (1991) descreveram alguns experimentos relacionados à FM em caráter demonstrativo que podem ser utilizados no EM: a produção de altas tensões com a bobina de Tesla; montagem de redes de difração com CDs; a utilização de lâmpadas comerciais para a obtenção de espectros; o efeito fotoelétrico com lâmpadas comerciais de mercúrio. Cavalcante, Jardim e Barros (1999), apresentam experimento construído a partir de material caseiro de fácil acesso sobre difração de um laser como pré-requisito para entendimento adequado do princípio da dualidade. Ostermann e Moreira (2001) realizaram um estudo em que levantaram tópicos da pesquisa atual em Física a serem incorporados ao currículo das escolas. Como um dos resultados da pesquisa os autores apresentaram uma lista dos professores do EM sobre quais tópicos de FMC deveriam ser abordados em sala de aula e revelou os seguintes tópicos:

efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores,

partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas. (OSTERMANN; MOREIRA, 2001, p.10)

Além disso, a pesquisa sinalizou para uma urgência nas mudanças necessárias aos currículos para formação de professores de Física.

Pereira e Ostermann (2009) realizaram uma segunda revisão de literatura sobre o ensino de FMC através da consulta de artigos publicados entre 2001 e 2006 em periódicos em ensino de ciências. Dentre os resultados classificaram 102 artigos encontrados em quatro categorias: 1) proposta didática testadas em sala de aula; 2) levantamento de concepções; 3) bibliografia de consulta para professores; 4) análise curricular. O resultado da pesquisa apontou para um aumento significativo das pesquisas relacionadas à inserção de tópicos de FMC no EM (PEREIRA, OSTERMANN, 2009, p.394).

A proposta de trazer temas relacionados a RI para a formação do professor de Física traz como pano de fundo a ideia de que o ensino e aprendizagem de Física não devem estar alheios a questões políticas e sociais, visto que, a ciência, como toda forma de conhecimento é inconclusa (FREIRE, 1978). Essa “inconclusão” decorre do fato dela ser elaborada por homens enquanto “seres inconclusos” (FREIRE, 1978). Essa assertiva é contrária à visão da ciência como

sendo basicamente cumulativa e linear, consistindo em um processo, freqüentemente comparado com adição de tijolos em uma construção. Nesta concepção, a ciência teria alcançado seu estado atual através de uma série de descobertas e invenções individuais, as quais, uma vez reunidas, constituíram a coleção moderna dos conhecimentos científicos (OSTERMANN, 1996, p.194).

Essa visão distorcida da ciência sinalizada por Ostermann constitui um dos pontos que são combatidos fortemente em pesquisas em ensino de ciências. Algumas pesquisas discutem tópicos de FMC em diversas frentes. Cordera (2003) publicou um artigo sobre Física quântica apresentando a visão do Professor Bunge chamando atenção aos seguintes tópicos: “(1) wave function collapse and conservation laws; (2) the ‘Copenhagen Interpretation’; (3) the cat paradox; (4) the ‘quantum Zeno effect’; and (5) realism about quantum theory”(p.503).

Discutir a importância do ensino de RI em moldes diferentes do tradicional deve ter como meta as articulações dos conceitos atrelados a sua construção histórica e implicações sociais. Dessa forma podemos dizer que ela estará a favor de um ensino voltado para a formação do cidadão pleno.

4 METODOLOGIA

Realizamos uma pesquisa qualitativa, do tipo análise documental para investigar a importância do tema Radiações Ionizantes (RI) e como as revistas especializadas discutem o tema na formação do professor de Física. Estruturamos nosso trabalho em dois momentos essenciais: discutiremos os aspectos teóricos, históricos e sociais acerca do tema e, em seguida, faremos uma pesquisa nas revistas especializadas em ensino de ciências sobre a articulação entre FMC, o ensino de RI e abordagem CTS. Buscaremos nessa articulação, elementos que favoreçam uma formação mais contextualizada dos professores de Física.

4.1 Onde se insere meu projeto metodológico?

É mister, nesse momento, apresentar ao leitor qual abordagem metodológica esse trabalho se aproxima. Entretanto, a escolha de tal abordagem deverá ser entendida como meio para desenvolvermos nosso trabalho e não como uma “camisa de força”. Utilizamos como norteador metodológico os pressupostos consensuais da Teoria crítica (TC). Sobre a variedade de correntes que compõe a TC, Guba (1990 apud MAZZOTTI, 1996) afirmava que “é inadequado enquadrar todas as alternativas incluídas nessa categoria” (p. 19). Entretanto, as correntes possuem pontos convergentes. “Todas partem do princípio de que, se os valores estão presentes em qualquer investigação, então, é indispensável indagar a quem estas servem” (MAZZOTTI, 1996, p.19). Dessa forma a intencionalidade e o caráter político da pesquisa científica são apresentados. Kincheloe e McLaren (1994, p. 139-40 apud CROTTY, 1998, p.157) alargam esses pontos de intersecção e listam os traços comuns entre os grupos da TC:

1. Fatos nunca podem ser isolados dos valores dominantes ou removidos de uma ideologia;
2. Relação entre conceito e objeto, entre significado e significante, nunca é estável e é freqüentemente mediada pelas questões sociais da produção capitalista e consumo;
3. Certos grupos na sociedade são privilegiados em relação a outros, constituindo uma opressão que é mais forte quando os subordinados aceitam o seu status social como natural necessário ou inevitável;
4. A opressão tem muitas faces, e a preocupação com apenas uma forma de opressão, à custa das outras, pode ser contraproducente por causa das conexões entre elas.

Nossa discussão sobre RI ao longo do trabalho convergirá para esses pontos. Acreditamos que o professor pode levar para sua sala de aula as implicações acerca do uso das RI. Tal postura encontrará maior facilidade caso o professor tenha o contato no seu curso de formação. A parte histórica apresentada no capítulo 2 apresenta algumas nuances da pesquisa em RI e sua influência na sociedade. Desenvolver esse pensamento é fundamentalmente mediado por uma relação de poder que é naturalmente social e constituída historicamente. Dessa forma, as aulas de Física do Ensino Médio poderão ser enriquecidas no seu conteúdo com um tema que contribuirá para uma maior reflexão sobre o mundo, visto que, “tendo conhecimento, o indivíduo toma decisões, faz políticas, sobrevive cotidianamente e engaja-se ativamente” (FREIRE, 1987).

Reconhecer as relações de poder e ideologias presentes na ciência é perceber que ela é permeada de intencionalidades. Ou seja, pensar a ciência como um empreendimento humano e sensível às relações de poder é reconhecer que “toda discussão metodológica guarda em si uma proposta, até porque é impossível não ter posição” (DEMO, 1995, p.13). Essa postura recusa sua neutralidade e seu caráter enquanto verdade absoluta, visto que, é construída em um meio essencialmente político e mutável. Dessa forma, seguindo esse viés o sujeito passa da condição ingênua frente a ciência para uma visão sensível a sua relação com a ciência. Identificamos nosso trabalho de pesquisa dentro da teoria crítica Freiriana ao considerarmos “o homem *com* o mundo e não *no* mundo” (FREIRE, 1987). Dessa maneira analisamos e relacionamos nossos dados sobre a importância do tema RI para a formação do professor com o olhar nas implicações sociais e tecnológicas relacionadas ao tema.

Sobre os objetivos de uma boa revisão de literatura, Strike e Posner (1983, p. 356-357 apud BOOTE; BEILE, 2005, p.6) sugerem que “deve clarificar ou resolver problemas dentro do campo de estudo”; pode proporcionar uma mudança de problema que encaminha para uma nova perspectiva e satisfazer os critérios formais de uma boa teoria. Creswell (1994, p.37 apud BOOTE; BEILE, 2005, p.5) sugerem que devem “apresentar resultados similares; relatar o diálogo com o presente estudo dos estudos na literatura; e prover um quadro comparando um estudo com os outros”. Creswell (2002, p.86 apud BOOTE; BEILE, 2005, p.5) recomenda cinco passos: “identificar termos tipicamente utilizados em sua pesquisa literária; ler e checar a relevância da literatura; organizar a literatura selecionada; escrever a revisão da literatura.”

4.2 Desenho Metodológico

Como as RI fazem parte da FMC, iniciamos nossa pesquisa através da leitura de textos relacionados a FMC nas revistas em ensino de ciências de modo a nos inserir na área. Encontramos muitos artigos sobre o tema. Entretanto, grande parte desses artigos está relacionada ao ensino de tópicos de FMC nos cursos de Física. Por isso, focamos nosso olhar para o ensino de FMC na formação do professor de Física e, para isso, buscamos artigos que contenham no seu corpo as palavras que estejam relacionadas com nosso tema. Após a leitura desses artigos percebemos uma pequena quantidade de materiais sobre RI e menos ainda sobre RI e formação de professor de Física. Encontramos também materiais relevantes para nosso trabalho em artigos em outras áreas do conhecimento tais como na sociologia, engenharia nuclear e artigos relacionados à área de saúde. Essa abrangência se deu por acreditarmos que o tema está relacionado a diversos enfoques e aplicações. Os artigos referentes ao ensino médio foram selecionados para sabermos como os pesquisadores discutem o tema nesse local.

Com esses dados e seguindo o desenho metodológico apresentado na figura 2, buscamos indícios sobre a importância das RI na história, nos conceitos físicos e na sua influência na contemporaneidade e como os artigos publicados nas principais revistas que tratam de ensino de ciências articulam o tema a abordagem CTS, formação de professor e FMC. Na figura 2 apresentamos o nosso desenho metodológico.

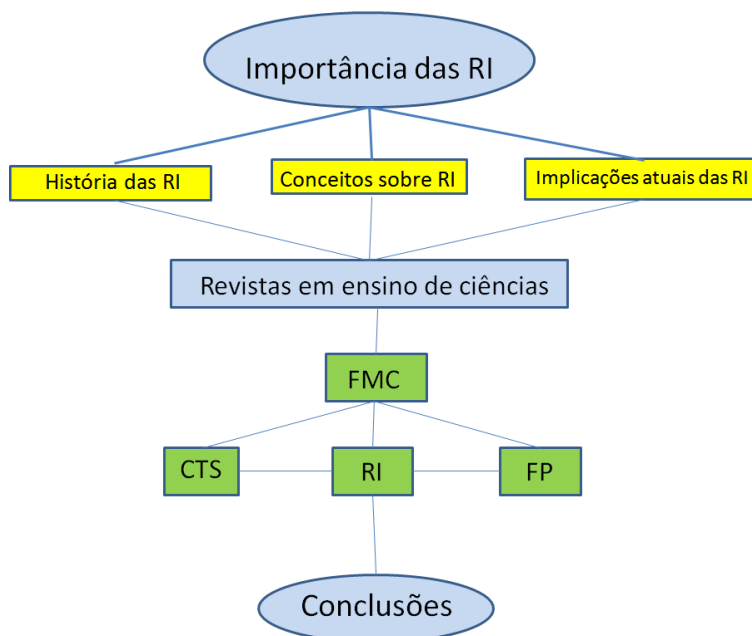


Figura 5 – Desenho metodológico

A primeira parte da pesquisa teve como objetivo elaborar uma visão panorâmica das pesquisas sobre RI desenvolvidas pela comunidade científica em ensino de ciências. Delineamos um quadro teórico baseado nas contribuições epistemológicas sobre o tema, sua contribuição para a formação de cidadãos e justificativas para a inserção de RI na formação do professor de Física com o objetivo de propiciar a formação de cidadãos atuantes.

Em busca dessas respostas naveguei pelos periódicos relacionados ao ensino de ciências pelo portal da Capes utilizando os seguintes termos: *radiações ionizantes, física moderna e contemporânea, FMC, formação de professores e ensino de ciências, CTS e educação*. Utilizando esses termos, encontramos um total de 145 artigos. Entretanto, o foco da nossa pesquisa está nos trabalhos voltados para o Ensino de Física. e por isso o número de artigos selecionados reduziu-se para 44. Encontramos também artigos relacionados ao ensino de ciências em revistas de áreas afins como é o caso da química e da medicina. Utilizar trabalhos de outras áreas do conhecimento, que em primeira instância são distintas, em uma pesquisa em ensino de Física é a favor da perspectiva interdisciplinar e, além disso, corrobora a ideia de que as descobertas científicas, de modo geral, possuem um caráter transversal mostrando que as áreas da ciência são interligadas umas com as outras e não compartmentadas em disciplinas como apresentada na maioria das vezes no Ensino Médio.

O segundo momento da pesquisa buscou analisar artigos, relacionados com o tema RI, formação de professores, CTS e FMC presentes em seis revistas especialidades em ensino de ciências no período de 1990 a 2009. Através da leitura desses artigos buscamos mapear a produção acadêmica sobre o tema RI presente nos trabalhos em FMC sob a perspectiva CTS para a formação do professor de Física. Enumeramos os artigos e elaboramos uma tabela com as seguintes categorias:

- I. Física Moderna e Contemporânea + Ciência Tecnologia e Sociedade (FMC + CTS): artigos que tratam do ensino de FMC e sua interação com a tecnologia e sociedade.
- II. Física Moderna e Contemporânea + Formação de professores (FMC + FP): artigos que trazem contribuições diretas sobre, metodologias, sequências didáticas, concepções prévias e ou formação de conceitos professores de Física no que tange a FMC.
- III. Física Moderna e Contemporânea + Formação de professores + Ciência Tecnologia e Sociedade (FMC+FP+CTS): Essa categoria se diferencia da categoria FMC+CTS por selecionar os trabalhos que utilizam a interação CTS como motivação para o

ensino de FMC na formação do professor. Também escolhemos os artigos que trazem contribuições de maneira que os professores possam utilizá-los como suporte para sua prática pedagógica.

- IV. Física Moderna e Contemporânea, Ciência Tecnologia e Sociedade, Formação de professores e Radiações Ionizantes (FMC+FP+RI): artigos que trazem os RI como tema relevante da FMC para a formação do professor de Física e que possua em seu corpo características da abordagem CTS de ensino.
- V. Física Moderna e Contemporânea, Ciência Tecnologia e Sociedade e Radiações Ionizantes (FMC+CTS+RI): Os artigos enquadrados nessa categoria trazem o tema RI, sua interação com a sociedade e seu papel na formação de professores.
- VI. Física Moderna e Contemporânea, Formação de professores, Ciência Tecnologia e Sociedade e Radiações Ionizantes (FMC+ FP + CTS+RI): Nessa categoria encontramos os artigos voltados para a discussão sobre o tema RI na formação de professores tendo como enfoque a discussão de suas implicações na sociedade contemporânea.

Essas categorias foram surgindo à medida que líamos os artigos e após esta organizamos as categorias definitivas. No início da nossa pesquisa procuramos os artigos que falassem diretamente sobre RI+FP+CTS. Entretanto, percebemos outras categorias que, sistematizada de maneira adequada, contribuiria para responder nossas perguntas iniciais. As categorias que possuem RI tem por objetivo destacar o tema dos outros temas constantes da FMC.

Em um primeiro momento apresentaremos as ideias principais dos artigos publicados entre 1990 e 2009. Em seguida selecionaremos os artigos relacionados explicitamente para a formação de professores de Física com o enfoque direcionado para FMC, CTS e RI.

Para isso as leituras e os comentários dos artigos foram enviados seguindo os seguintes critérios:

- a) Qual a natureza do artigo;
- b) Em qual categoria se insere tal artigo?
- c) Quais são as contribuições relevantes para nosso trabalho?

Selecionamos cinco das principais revistas voltadas para o ensino de ciências Brasileira e duas internacionais de acordo com seu *Qualis* (Quadro 1) divulgado pelo portal da CAPES. A importância do *Qualis* é pelo fato dele aferir “a qualidade dos artigos e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de

divulgação, ou seja, periódicos científicos [e] ...são enquadrados em estratos indicativos da qualidade - A1, o mais elevado; A2; B1; B2; B3; B4; B5; C - com peso zero.” (CAPES, 2010)⁵.

QUADRO 1 - REVISTAS SELECIONADAS PARA A PESQUISA

Título	Qualis	Primeiras publicações online
Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	B1	1987 ⁶
Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	B1	1979 ⁷
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciênciass (REEC)	A2	2002
Science & Education	A1	1992
Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)	A2	1996
Ciência & Educação (C&E)	A1	1998 ⁸
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	A2	2001

Para encontrar artigos relacionados a RI utilizamos o sistema de busca⁹ de cada revista. Os termos utilizados na busca foram: radiation, radiação, radiations, modern, moderna, ionising, ionizante, radioatividade e radioactivity. A motivação para o uso desses termos é o fato deles serem comuns quando se trata em RI. Os termos em inglês objetivam aumentar a amostra dos artigos. Para as revistas que não possuíam tal recurso pesquisamos diretamente pelo banco de dados disponível on-line visitando cada ano de publicação e lendo os títulos em busca de indícios sobre FMC e formação de professores. Alguns artigos possuíam dois ou mais termos e por isso apareciam mais que uma vez. Os artigos repetidos foram desconsiderados. Após essa primeira triagem encontramos uma amostra bruta de 145 artigos.

O próximo passo consistiu em selecionar, via leitura dos resumos, textos que trazem alguma discussão sobre tópicos de Física Moderna e formação do professor no ensino de ciências. Dessa forma a quantidade de artigos reduziu-se para 44 artigos.

⁵ Disponível em:

<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YoqlEOtdhPAJ:www.capes.gov.br/avaliacao/qualis+%22a+qualidade+dos+artigos+e+de+outros+tipos+de+produ%C3%A7%C3%A3o,+a+partir+da+an%C3%A1lise+da+qualidade+dos+ve%C3%ADculos+de+divulga%C3%A7%C3%A3o,+ou+seja,+peri%C3%B3dicos+cient%C3%ADficos%22&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>

⁶ Somente em 1994 disponibilizou por completo todos os artigos online.

⁷ Somente em 1995 disponibilizou por completo todos os artigos online.

⁸ A partir do volume 5

⁹ As Revistas da ABRAPEC e a REEC não possuem sistema de busca interno. Por isso tivemos que procurar em cada volume por títulos relacionados a RI.

Iniciamos a leitura completa dos artigos e a partir dessa leitura amostra e apresentamos o resumo do texto pontuando onde cada um se insere no nosso trabalho. Catalogamos os artigos dentro das categorias descritas anteriormente e analisamos os artigos publicados nessa temática no período de 1990 a 2009.

5 PREPARAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.

Organizamos os artigos seguindo o ano de publicação e os enumeramos para facilitar a análise dos dados. Os nomes dos artigos e os respectivos autores estão no anexo 1. Escolhemos os textos que estejam relacionados diretamente com a Física moderna e contemporânea, formação de professores e/ou CTS. Abaixo segue a descrição dos textos selecionados. Procuramos discutir os pontos principais dos textos no que diz respeito a formação do professor, CTS e RI.

5.1 Artigos comentados

1990		
n	Revista	Título
1	REBEF	A, B, C e X das radiações

1. Esse artigo representa a primeira publicação, como divulgação científica, na discussão sobre Radiações Ionizantes. O autor apresentou, de maneira geral, aspectos conceituais relacionado às RI. Segundo a autora, A motivação para a elaboração desse artigo esteve no crescente uso do termo “radiação” no cotidiano das pessoas a partir do “advento das armas nucleares, dos reatores, das máquinas de raios x” (p.12). Discutem-se algumas afirmações erradas relacionada às radiações como, por exemplo, “fontes de radiação feitas pelo homem tem causado novas doenças, nunca antes encontradas na ciência médica”. Apresenta diversas fontes naturais que corresponde à exposição à radiação desde os primórdios e que as exposições às RI na medicina e na exploração de urânio é fruto do avanço tecnológico e com isso traz aspectos relacionados ao benefício e malefício acerca da utilização das RI. Utiliza o termo “radiações ionizantes” quando discute a interação das radiações com a matéria e seus efeitos. Encontramos trechos relacionados à CTS sobre a interferência da sociedade nas questões envolvendo RI, “a sociedade tem que pesar os riscos e os benefícios da radiação” (p.25) e sobre questões

econômicas quando diz que “O preço da segurança depende do grau de proteção que a sociedade exige. Absoluta segurança de fontes de radiação feitas pelo homem somente é possível pela eliminação total dessas fontes. Relativa segurança envolve custo relativo”. (p.25).

1999		
n	Revista	Título
2	CBEF	Física Moderna e Contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais.

2. Com o objetivo de “contribuir para a atualização do currículo de Física em escolas brasileiras” (p.281) os autores elaboraram um pôster para ser utilizado na formação de professores de Física. Esse artigo faz parte um projeto que visa à difusão das ideias sobre *partículas elementares e interações fundamentais*. “Um trabalho de preparação de materiais, em língua portuguesa, com o objetivo de proporcionar subsídios para a renovação dos currículos das escolas brasileiras de nível médio, pela via da formação do professor” (p.268). A elaboração deste pôster foi inspirada em materiais produzidos por FERMILAB (1998) e CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT (1998, p.269). Descrevem a estrutura do pôster bem como fazem uma breve discussão sobre constructos e modelos desenvolvidos pela Física de partículas elementares e interações fundamentais. Esse artigo, apesar de não explicitar o termo Radiações Ionizantes, se enquadra na categoria sobre RI, visto que, as partículas elementares compõem o tema.

2000		
n	Revista	Título
3	REBEF	Estudo do Acidente radiológico de Goiânia no Ensino de Física Moderna
4	IENCI	Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física moderna e contemporânea no Ensino Médio".

3. Trabalho sobre os impactos do acidente radiológico ocorrido na Cidade de Goiânia em 1987. O objetivo do estudo foi analisar o solo das principais áreas contaminadas e com isso avaliar o aprendizado de fenômenos de interação da radiação com a matéria. “... tem como objetivo despertar o interesse e a motivação dos alunos para prosseguirem seus estudos de Pós-Graduação nas várias áreas de pesquisa do Instituto de Física da UFF” (p.60). Descreve como foi o acidente e suas conseqüências ambientais. Apesar do público alvo não ser professores de Física, o texto pode ser útil no que tange aos impactos relativos a RI na sociedade.

4. Nesse artigo os autores fizeram uma revisão na produção acadêmica sobre Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio de maneira a mapear o enfoque dos trabalhos produzidos. Concluíram que a maior concentração de publicações está na “apresentação de um tema de FMC” em relação a “concepções alternativas sobre FMC” e “propostas testadas em sala de aula”. Observaram que há muitas justificativas em favor da atualização curricular e até uma bibliografia que apresenta temas modernos. “Entretanto, colocar todas estas reflexões na prática da sala de aula é ainda um desafio” (p.43). Ao entrevistar alguns professores de física sobre a atualização curricular construíram uma lista de temas sobre FMC. Entre eles encontraram radioatividade, fissão e fusão nuclear

efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas.

2001		
n	Revista	Título
5	CBEF	Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino médio.

5. Os autores defendem a inserção de Física Moderna. Para isso eles apresentaram uma sequência didática utilizando materiais didáticos de baixo custo para discutir o tema *comportamento dual*. Discutem como a MQ modificou as concepções de mundo e postura do homem contemporâneo. Desenvolveram uma oficina para mostrar o nascimento da Mecânica Quântica e a sua importância na mudança de concepção de mundo e de postura diante da vida do homem moderno. Com isso concluíram que é possível uma inserção gradativa dos estudantes “permitindo-lhes uma conquista das inovações tecnológicas do século XX e sua interferência no cotidiano do homem moderno” (CAVALCANTE; TAVALARO, 2001, p.314).

6. Texto que trata o experimento de Einstein-Podolsky-Rosen (EPR), a percepção da natureza antiga sob o viés da filosofia das ciências e busca com isso trazer elementos para a relevância da teoria quântica para a mudança de paradigma para os professores. Segundo os autores, a reflexão filosófica sobre o quanta se iniciou a partir da antiguidade: “Especially, Aristotle shows forms of thinking that might be a help in understanding and visualizing the structures of quantum theory” (p.565). Considera que o experimento EPR serve como referência para todas as pesquisas sobre os fundamentos da Física Quântica Apresenta uma possível forma de abordagem do experimento EPR a forma como cada tema poderia ser inserido. Considera que a filosofia das ciências pode atuar na dificuldade em grande medida encontrada na “mudança conceitual da física clássica e um realismo ingênuo aos conceitos quânticos”(p.562, tradução nossa). Para isso apresenta, em sala de aula do ensino médio, um diálogo fictício entre 3 filósofos de épocas diferentes: da antiguidade, do iluminismo, e da contemporaneidade. Como resultado, o autor percebeu que os alunos foram estimulados a perguntar, discutir e refletir sobre suas ideias. Conclui que o trabalho foi um bom caminho para aproximar a Física da Filosofia e sugere que essa abordagem poderia estar inserida nos cursos de formação de professores sendo de especial importância para os professores de ciência perceber a Física como parte da cultura.

7. O autor apresenta uma resenha do artigo “Twenty-Five Centuries of Quantum Physics: From Pythagoras to Us, and from Subjectivism to Realism” escrito por Mario Bunge. Inicia o texto falando sobre as dificuldades para o ensino de Física Quântica sofridas pelos professores de ciências. Ao longo do texto apresenta os pontos principais do trabalho de Bunge tais como: Função de Onda, Colapso e Conservação da Energia, Interpretação de Copenhague, Gato de Schrödinger, Paradoxo quântico de Zeno e Realismo. Esse texto é uma boa referência para o professor iniciar suas pesquisas em Física Quântica.

8. O texto apresenta de maneira conceitual as entidades quânticas. O texto faz uma introdução sobre as raízes da FMC discutindo os aspectos fundamentais sobre quantum; a característica dual das ondas; sobre as características do quantum quando analisado individualmente ou de maneira coletiva; equação de Schrödinger e a ideia de “entanglement” (emaranhamento). Sobre esse último termo, o autor apresenta o termo implexis (do verbo grego plakô que quer dizer tecelagem) utilizados para o mesmo

fenômeno com uma maneira de evitar distorções Podemos dizer que esse texto encontra-se em um ponto intermediário no entendimento da Física Quântica, visto que, explora e relaciona vários temas entre si. Por outro lado, apresenta um panorama geral da natureza dos quantas e com isso pode incentivar o aprofundamento do tema pelo leitor.

2004		
n	Revista	Título
9	S & E	The Pendulum as a Vehicle for Transitioning from Classical to Quantum Physics: History, Quantum Concepts, and Educational Challenges.
10	REEC	Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo polimodal: Dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual.
11	RBPEC	Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica do nível médio.
12	C & E	Uma experiência com o projeto Manhattan no ensino fundamental
13	REBEF	Relendo Einstein sobre radiação

9. O autor argumenta que é possível, utilizando os conceitos do pêndulo, transitar da Mecânica Clássica para a Mecânica Quântica (MQ). Considera o pêndulo quântico como um excelente veículo para o entendimento da MQ uma vez que os conhecimentos dos alunos sobre o pêndulo clássico pode ser generalizado para todos os osciladores harmônicos. Propõe que uma análise quântica do pêndulo pode levar os alunos sobre as consequências imprevistas dos fenômenos quânticos em nível atômico. Ilustra como as ideias determinísticas da Física Clássica são substituídas por um ponto de vista que contém aspectos tanto determinísticos e probabilísticos. Argumenta que a transição do clássico para o pensamento quântico é historicamente fundamentada no trabalho de físicos do século XX, que desenvolveram a ideia dos quanta. Apresenta exemplos no cotidiano sobre a aplicação da ciência em algumas áreas como semicondutores, óptica, sistemas de GPS, e supercondutividade. esse artigo traz marcas CTS ao partir da ideia de que um público cientificamente alfabetizado deve ter conhecimento amplo sobre conceitos da física moderna e da física clássica. Discute os desafios e estratégias educacionais ligados à inclusão da teoria quântica em um curso geral de Física e abre perspectivas para a aplicação nas escolas secundárias.

10. Trabalho as dificuldades que os docentes do ensino médio enfrentam quando abordam em sala de aula a teoria da relatividade restrita (RE). Os autores procuram explicitar as concepções prévias que esses professores esperam dos seus

alunos e os textos que consultam para preparar suas aulas e quais textos eles recomendam para seus alunos. Como resultado os autores afirmam que os docentes consideram que a RE é um tema relevante e deveria ser incorporado em seus planos de estudo de Física do ensino médio. Entretanto, carecem de uma compreensão profunda dos conceitos relevantes para o entendimento correto do tema e suas implicações. Sugerem a elaboração de material didático que apresente uma discussão aprofundada sobre o tema que possa ser utilizado tanto para os docentes quanto para os alunos. Encontramos nesse trabalho sobre formação de professores aspectos relevantes no que diz respeito à posição dos professores sobre a inserção de temas em FMC bem como sua visão de mundo sobre o tema.

11. Analisam de que maneira ocorre na construção de alguns importantes conceitos quânticos na mente dos estudantes do Ensino Médio. Os autores apresentam uma importante conclusão, para a formação do professor de Física, ao perceber que os alunos não apresentaram dificuldades em aprender os conceitos quânticos abordados que sejam maiores que as dificuldades em aprender conceitos clássicos. Entretanto, os autores advertem para o aumento da responsabilidade dos educadores ao “tentar implementar novos tópicos no currículo escolar, visto que, pode-se perder a cientificidade em detrimento de abordagens cotidianas, novamente, reforçamos a necessidade de melhor selecionar conteúdos curriculares e a real necessidade da abordagem de alguns tópicos da Física” (PAULO; MOREIRA, 2004, p.72).

12. Abordam a importância de uma nova prática escolar sob a perspectiva CTS utilizando o projeto Manhattan. Para isso montou-se um módulo de ensino problematizando um evento importante vinculado à Física moderna: o desenvolvimento e utilização das bombas nucleares que destruíram Hiroshima e Nagasaki (SAMAGAIA; PEDUZZI, 2004, p.261). Utilizaram a técnica RPG (Role Play Game) para a confecção do módulo. Pois segundo os autores

“trata-se de uma atividade interativa, um jogo de papéis, em que uma história orienta os acontecimentos, mas recebe, a todo o momento, interferências dos participantes através das reações e posicionamentos de cada personagem”.

Apresentam em suas conclusões que uma prática participativa pode superar o “mau desempenho e a reclamação freqüente dos professores nas aulas expositivas” (SAMAGAIA; PEDUZZI, 2004, p.273), sinalizam que a escola deve valorizar “as

preocupações éticas mais facilmente encontradas nas crianças, antes que o mercado se encarregue de devorá-las”. A atividade desenvolvida apresentou indícios de que os alunos abandonaram o ganho qualitativo de nota para “repousar sobre a realização de tarefas que implicam na aquisição e discussão contextualizada do conhecimento científico” (SAMAGAIA; PEDUZZI, 2004, p.274). Segundo os autores, “os participantes tiveram ganhos conceituais, independente de a origem ser o conhecimento científico, a ética, a história, a geografia, a língua portuguesa ou estar vinculada ao exercício de concatenação desses saberes” (SAMAGAIA; PEDUZZI, 2004, p.274).

13. Esse artigo descreve de maneira apaixonada as contribuições de Albert Einstein em diversas áreas de pesquisa como o desenvolvimento da relatividade especial, quantização dos campos de energia, estados estacionários. O autor considera a teoria de Einstein sobre a radiação como um tesouro da Física e que somente após a publicação de Einstein os osciladores para os quais Planck havia proposto a quantização de energia deixaram de ser fictícios e precários de conseqüências óbvias. Discute os trabalhos de Einstein sobre absorção e emissão e sobre o fóton. O texto tem característica de uma biografia acadêmica de Einstein.

2005		
n	Revista	Título
14	C&E	Hipóteses e Interpretação experimental: A conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson
15	CBEF	Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais.
16	CBEF	Albert Einstein e a Física Quântica
17	C & E	Análise da inserção de conteúdos de teoria quântica nos currículos de Física do Ensino Médio.
18	REBEF	Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio.
19	RBPEC	Superposição linear em ensino de mecânica quântica.
20	REBEF	Einstein e a teoria quântica de gases

14. Descreve as pesquisas sobre a radioatividade realizadas por Henri Becquerel e por Silvanus Thompson. O autor procura no texto mostrar que, ao contrário do que dizem, “a descoberta emitida pelo urânio não se deram ao acaso, mas sim foram guiadas por hipóteses que atualmente consideramos errôneas” (p.502). O texto traz na sua introdução um relato da descoberta dos raios-x e em seguida apresenta a hipótese apresentada por Henri Poincaré. Em seguida apresenta o estado de pesquisa sobre esse tema na época. Segundo o autor, os cientistas da época não estavam muito interessados

nas pesquisas de Becquerel e, segundo o autor, ele próprio parece não ter acreditado que se tratava de um assunto muito interessante. “Nessa época, qualquer físico descreveria o que Becquerel e Thompson haviam feito como sendo a descoberta da hiperfosforescência, um fenômeno curioso, porém de forma nenhuma revolucionário ou importante” (p.512). Importância essa que foi estabelecida depois dos trabalhos de Schmidt e Curie que claramente interpretaram as radiações emitidas pelo urânio (e tório). Podemos dizer que esse texto pode ser utilizado como ferramenta para contextualizar aulas sobre radiatividade e, também, podemos notar que ele mostra a “íntima relação entre o trabalho de laboratório e as hipóteses aceitas pelos pesquisadores” (p.512). Segundo o autor, exemplos como este podem ser utilizados no ensino para mostrar a real complexidade da pesquisa experimental e o modo como os pressupostos teóricos servem para orientar a experimentação e para interpretar aquilo que o pesquisador pensa estar observando.

15. Esse artigo relata como evoluiu a concepção didática sobre Física Quântica envolvendo alunos-professores de ensino médio, em exercício, de um curso de Mestrado Profissionalizante utilizando o uso de novas tecnologias. Observaram no final do estudo que foi possível promover mudanças nas concepções dos participantes principalmente as que se referem às diferenças entre objetos clássicos e quânticos. Trata de um artigo sobre inserção de temas de FMC na formação de professor de Física

16. Mostra as principais contribuições de Einstein na solução dos principais problemas enfrentados no início do século XX. Apresenta a proposta de Einstein sobre o problema da radiação de corpo negro, uma solução diferente e independente da apresentada por Max Planck o que se pode considerar, então, como uma segunda fundação da Física Quântica. O autor inicia o texto apresentando os três fenômenos que, segundo ele, representaram os grandes desafios para a Física Clássica: a radiação de corpo negro, o efeito fotoelétrico e o espectro de raios dos elementos. Em seguida, descreve a solução de Planck para a radiação de cavidade, a proposta de Einstein sobre os quanta de luz, compara sua concepção com a de Maxwell e apresenta a proposta de Einstein sobre a radiação de cavidade. Depois disso chegou à seguinte conclusão:

ao abordarem o mesmo problema, Planck e Einstein encontraram, cada um, uma solução inteiramente original, independente uma da outra, sem qualquer

implicação mútua ou recíproca, embora não incompatíveis. Hoje, sabe-se que ambas se realizam simultaneamente. (DIONÍSIO, 2005, p.159)

Conclui o artigo apresentando algumas reflexões sobre as contribuições da Relatividade e da Física Quântica para uma mudança nas ideias e na vida das pessoas. Dessa forma o texto torna-se uma ferramenta útil para o professor no que diz respeito à influência da ciência na sociedade seja no sentido filosófico quanto tecnológico. Por fim, o autor sugere uma pequena alteração nos cursos de física moderna, no que diz respeito à introdução do conceito de fóton. Esse artigo pode ser utilizado como ferramenta para o professor de Física para introduzi-la os conceitos da Física Moderna confrontando as ideias dos cientistas de maneira a apresentar as diversas concepções na elaboração de um constructo da ciência.

17. Estudo sobre a inserção de conteúdos de Teoria Quântica no Ensino Médio nos currículos de Física para o ensino secundário tentando identificar os conteúdos selecionados e a maneira como estes se integram nas orientações curriculares gerais. Analisa o currículo de diversos países destacando aquelas referidas a conteúdos de teoria quântica. Os países analisados foram Portugal, Espanha, França, Reino Unido, Dinamarca, Suécia, Canadá e Austrália. Destacamos alguns países no que diz respeito à inserção de tópicos sobre RI: (a) A Espanha traz uma concepção de ensino de Física com marcas CTS e tem como temas transversais a educação ambiental, para a saúde, do consumidor e não sexista (LOBATO; GRECA, 2005), estuda-se aplicações da Física Moderna, enfatizando, entre outras, a radioatividade, suas aplicações e riscos. (b) A Dinamarca pensa o ensino de Física como “meio de entender o mundo que os rodeia” (LOBATO; GRECA, 2005, p.123). No que tange a FMC, o currículo de Física deste país é dividido em dois grupos: (a) *B-level* e *A-level*. O primeiro é nível obrigatório e trazem os temas a composição do átomo e dos núcleos atômicos, a emissão e absorção de radiação pelos fótons, decaimento radioativo, reações nucleares e radiações ionizantes como temas a serem trabalhados. O segundo grupo corresponde ao nível superior traz os temas equivalência massa-energia, reações nucleares e processos no interior das estrelas, tratamento das leis de conservação do impulso, energia e carga. (c) A Suécia traz uma proposta de ensino de Física voltado para proporcionar conhecimento e desenvolver capacidades, necessários tanto para o estudo superior em ciências naturais e tecnológicas quanto para estudo de atividades de outras áreas. Além disso, busca contribuir para que os alunos adquiram conhecimentos que lhes permitam

entender e intervir publicamente em questões relacionadas com as ciências naturais. Tal implica a análise e o desenvolvimento de pontos de vista importantes, quer a nível individual, quer a nível social, de que são exemplos os que dizem respeito a assuntos energéticos, ambientais e éticos (LOBATO; GRECA, 2005, p.124)

Segundo os autores, não foi possível observar os materiais didáticos que estes currículos teriam originado e que o estudo permite tirar algumas conclusões acerca da maneira com se pretende que os alunos do Ensino Médio estudem os conteúdos de TQ nos países envolvidos no estudo. De maneira geral, os autores, apontam a Dinamarca, Suécia, Canadá e Austrália como país que adotam uma abordagem da TQ de maneira integrada entre “experimentação e modelação teórica e nas conseqüências para a sociedade e meio ambiente” (LOBATO; GRECA, 2005, p.129). Os autores concluíram o texto questionando qual seria a melhor maneira de abordar o tema sinaliza quem as tentativas de se trazer TQ a curso introdutório tanto no nível médio quanto superior traz conceitos errôneos e por isso as pesquisas futuras devem focalizar na melhor maneira de ensinar o tema, especialmente, no nível médio de maneira que, no ensino superior, os alunos detenham conceitos mais de acordo com a perspectiva científica; e, por fim, trazem as pesquisas que tratam das concepções quânticas entre professores e alunos do nível superior como justificativa para a “necessidade de organizar trabalhos de investigação com o objetivo de melhorar a preparação científica de professores que venham a dedicar-se ao ensino da TQ” (LOBATO; GRECA, 2005, p.130)

18. Os autores utilizam o átomo de Bohr para tratar da inserção de FMC no Ensino Médio. Investigaram inicialmente a forma com que o tema é abordado nos livros didáticos de Física do Ensino Médio. Constataram que a maioria dos livros textos não contextualiza adequadamente o tema. Em seguida, se valem da perspectiva de Imre Lakatos e do texto, produzido por um de seus autores, para desenvolver um questionário para nove professores de Física do ensino médio. Esse questionário foi respondido após a leitura do texto. Segundo os autores, o texto apresentado contextualiza historicamente o modelo atômico de Bohr sendo de grande utilidade para o professor. Apesar disso, reconhecem que a transposição didática para a sala de aula fica sob a responsabilidade do professor. Nas conclusões, os autores apresentam algumas sugestões de estratégias para o ensino do átomo de Bohr no Ensino Médio. Sinalizam também para a resistência de alguns professores para a inserção de FMC no Ensino médio. Atribuem essa resistência ao despreparo dos professores de Física.

19. Analisa a aprendizagem dos conceitos fundamentais da Física quântica por estudantes do quarto semestre do curso de ciências exatas. Os autores elaboraram um sequência didática diferente da abordagem tradicional para o tema superposição linear. Como resultado, os autores perceberam que é pequeno o número de estudantes dos outros grupos, que não o experimental, que respondem corretamente à questão proposta. Além disso, Trazem uma grande contribuição na discussão sobre o ensino de FMC ao sinalizar que, em princípio, a aproximação dos conceitos clássicos conhecidos à FMC não parece uma boa tática e, ao contrário disso, parece preferível, segundo os autores, “propiciar aos estudantes a apreensão das novas relações de percepção, trazendo à luz as concepções ocultas nos significados dos enunciados da teoria. Ou seja, é preciso, antes de tudo, uma mudança perceptual.” (p.7)

20. O autor atribui a comemoração do centenário do Annus Mirabilis como o motivador para escrever esse texto. Esse texto possui uma riqueza de detalhes e, apesar de utilizar termos próprios da Física Quântica, apresenta as ideias de maneira clara. Apresenta as contribuições dos cinco artigos publicados por Einstein em 1905. Esse texto pode ser útil para a formação do professor mesmo que não tenha sido pensado isso.

2006		
n	Revista	Título
21	REBEF	Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia.
22	CBEF	Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos.
23	REBEF	Tempo relativístico no início do Ensino Médio.
24	S & E	The Heisenberg Microscope: A Powerful Instructional Tool for Promoting Meta-Cognitive and Meta-Scientific Thinking on Quantum Mechanics and the Nature of Science.

21. Esse texto apresenta os resultados de uma pesquisa sobre a construção de conceitos de Física Moderna e sobre a natureza da Ciência com o apoio da hipermídia. Os autores introduzem o trabalho através de da discussão sobre a importância da mudança curricular para o Ensino Médio. Apresenta as dificuldades apresentadas tanto na formação do professor quanto na estrutura curricular que o mesmo está exposto. Apresenta uma posição interessante quando trata da importância da alfabetização científica para que os estudantes possam “acompanhar criticamente os desdobramentos dessas interações mesmo após a conclusão de sua educação formal” (MACHADO;

NARDI, 2008, p.475). Prepararam um software para introduzir a física moderna com ênfase em conceitos básicos da teoria da relatividade e fenômenos nucleares. Aplicou o software a 10 estudantes que estavam completando o terceiro ano do Ensino Médio em uma escola pública voluntários de um curso sobre o software Tópicos de física moderna. Os autores ficaram satisfeitos com os resultados ao perceberem que o curso contribuiu para a construção de conceitos científicos e sobre a natureza da Ciência por estudantes do Ensino Médio. Esse artigo pode servir para o professor de Física discutir com seus pares sobre a inserção de FMC no ensino médio.

22. Resenha sobre o livro Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos escrito por Francisco Caruso e Vitor Oguri. O autor da resenha (José Maria Filardo Bassalo) considera o livro como o mais completo material sobre Física Moderna. Descrevem o que os autores tratam em cada capítulo pontuando a metodologia aplicada em cada capítulo. Conclui a resenha comentando a vasta bibliografia presente no livro e encerra a resenha afirmando que é o “livro no qual os estudantes de Física e áreas afins terão prazer de estudar os fundamentos da Física Moderna e, portanto, não deveria faltar nas nossas bibliotecas” (BASSALO, 2006, p.449). Não encontramos traços nessa resenha de nenhuma das categorias.

23. Este artigo relata a aplicação de uma sequência didática abordando tópicos da Relatividade Restrita, em especial, à noção de tempo relativístico com alunos do primeiro ano do Ensino Médio tendo com aporte teórico o perfil conceitual definido por Mortimer. Para esse trabalho, os autores optaram em descrever somente os aspectos relativos à discussão sobre o conceito de tempo e à construção da noção relativística. Um dos pontos importantes do trabalho é a escolha de uma turma de primeiro ano. Com o objetivo de abordar tópicos da teoria da relatividade restrita, imediatamente após o estudo da cinemática usual. Fazem uma discussão filosófica sobre a noção de tempo. Entre outras conclusões atribuem a noção absoluta de tempo reforçada pela cinemática clássica foi caracterizado por eles como um obstáculo para a noção relativística, visto que, “os estudantes manifestaram resistência para aceitar o tempo relativístico, elucidando suas concepções clássicas e evidenciando o processo de conflito” (KARAM; CRUZ; COIMBRA, 2006, p.383).

24. Esse artigo apresenta algumas limitações da Física Clássica para explicar fenômenos macroscópicos. Propõe uma discussão sobre a natureza das ciências através da discussão da Filosofia acerca do experimento de pensamento de Heisenberg sobre o microscópio de raios gama durante o nascimento da mecânica quântica. Apesar de mencionar um tipo de radiação ionizante (radiação gama) ele não tem por objetivo trabalhar com tal tema sob a perspectiva do professor de Física.

2007		
n	Revista	Título
25	REBEF	Abordaje de la enseñanza de aspectos importantes de la Física moderna através del uso de un laser de xenon multi-ionico pulsado.
26	REBEF	Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores.
27	REBEF	Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula.
28	CBEF	Influências da Física Moderna na obra de Salvador Dalí.
29	REBEF	Conceitos e métodos da física moderna numa perspectiva histórica.
30	REBEF	O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da Física quântica.

25. Demonstrações práticas em laboratório utilizando laser de Xenônio para iniciar trabalhos de investigação em temas de FMC. Experimento idealizado para os cursos de graduação em Física. Por ser bastante complexo e requerer equipamentos como osciloscópio, bombas e detectores de vácuo, rede de difração, analisador de radiação luminosa e fonte de alimentação esse experimento encontra muita dificuldade para ser aplicado em sala de aula. Por outro lado, pode subsidiar ao professor material para leitura sobre a utilização dos fundamentos da FMC presentes em alguns aparelhos

26. Apresenta o resultado de uma pesquisa com os professores de física do EM, a fim de saber sua opinião sobre a introdução de tópicos de física moderna e contemporânea, particularmente os raios-X, no currículo desse segmento do ensino. Apresentam os raios-X como um tema que pode ser articulado com as concepções em CTS de maneira a facilitar o aprendizado de tópicos de FMC. Traz contribuições relevantes no que diz respeito às dificuldades que os professores enfrentam para inserção de tópicos de FMC.

27. Intervenção no ensino médio através de uma sequência didática sobre tópicos da teoria da relatividade restrita com estudantes do EM. Para isso introduziram o tema em uma turma de primeiro ano que já tiveram contato com a cinemática. Essa escolha está baseada nas pesquisas sobre inserção de Física Moderna e Contemporânea não somente

no fim do terceiro ano, mas sim organicamente incorporada à apresentação e ao desenvolvimento das teorias clássicas. As aulas foram desenvolvidas através de discussão entre os alunos e o professor de maneira a facilitar o entendimento dos conceitos trabalhados. Para avaliar o entendimento dos conceitos, aplicaram um pós-teste no final da sequência didática e constataram uma evolução conceitual dos estudantes.

28. Esse trabalho busca encontrar nas obras do pintor espanhol Salvador Dalí (1904-1989) elementos e conceitos de Física Moderna. Para a análise, utilizam as seguintes obras: A persistência da memória (1931), A desmaterialização do nariz de Nero (1947), Equilíbrio intra-atômico de uma pluma de cisne (1947), Galátea de esferas (1952), Cruz nuclear, (1952), A desintegração da persistência da memória (1952-54), Oposição (1952), Cena religiosa em partículas (1958) e Santo rodeado por três mésons π (1956). Defendem a ideia de que estas obras podem servir como recurso didático para o ensino de Física Moderna no nível médio e na formação de professores. Os autores apresentam indícios de como as ideias da FM, especialmente os constructos da teoria da Relatividade, (como por exemplo, a dilatação do tempo) interferiram nas obras surrealistas e que “seus seguidores foram bastante influenciados por novas visões da realidade apresentadas pelas teorias científicas que surgiram na época, como a Teoria da Relatividade, de Einstein, e a Mecânica Quântica” (idem, p.404). Partiram do pressuposto de que a ciência é uma construção humana e, por isso, faz parte da cultura humana. “Resultado de uma construção humana, inserido num processo histórico e social” (PCN+, 2002 apud ANDRADE; NASCIMENTO; GERMANO, 2007, p.401). Dessa forma, o texto procurou aproximar a física da cultura, “recuperando o entendimento da ciência como cultura humana, ao mesmo tempo em que contribui para o desenvolvimento de um ensino interdisciplinar de Física no nível médio e na formação de professores” (ANDRADE; NASCIMENTO; GERMANO, 2007, p.421). Além disso, corroboram a ideia de que a ciência também recebe influência de outros ramos do conhecimento. Destacam a possibilidade de uma abordagem interdisciplinar e complementar como sendo

“uma a experiência educacional mais rica e frutífera, principalmente se for preservada a separação de conteúdos entre as duas culturas, ou seja, não apenas identificando a imaginação artística com a racionalidade científica, mas enfatizando sua complementaridade produtiva” (ANDRADE; NASCIMENTO; GERMANO, 2007, p.407).

Enquadramos esse artigo como uma proposta em CTS por trazem a Física como parte da cultura humana e como meio para a compreensão do meio que o cerca.

29. Outro artigo que analisa o livro “Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos”. Entretanto, apresenta os prós e os contras do livro. O autor ver o leitor do livro como um estudante de física ou de engenharia no último curso de física geral. Considera a análise dos fundamentos clássicos, o panorama do desenvolvimento histórico das principais ideias da física quântica apresentadas no livro como as características mais fortes do livro. Sobre os pontos fracos do livro, o autor atribui a essencialmente relacionados ao seu grande volume. Segundo ele, os autores devem dar suas recomendações de como usar o livro para ensinar, quais os capítulos que devem ser lidos pelo estudante em uma primeira leitura e considera sua bibliografia extensa e muito interessante, mas, que necessita de alguma sugestão de como utilizá-la. Conclui o texto deixando claro que o livro deve ser traduzido para o inglês contendo diferentes sugestões ajustando-as aos diferentes programas de ensino em diferentes países.

30. Analisa o tratamento matemático do fenômeno ondulatório da luz pelo interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ) operando em regime clássico o Z em regime clássico. O aparato experimental utilizado consistiu em um software educacional que simula o funcionamento de um IMZ tendo como objetivo fazer uma ponte para discussões do IMZ operando em regime quântico. Segundo os autores tal aparato parece ser mais interessante do que o da fenda dupla de Young, pois permite uma reflexão sobre o fenômeno da interferência quântica a partir do problema conceitual acerca da escolha de caminhos pelo fóton. Sobre o ensino de Física, os autores os autores dizem quem um dos principais objetivos do trabalho é dar suporte a futuras transposições para o IMZ em regime quântico. Esse experimento pode ser utilizado na formação do professor como uma alternativa para o tratamento ondulatório da luz além da dupla fenda de Young.

2008		
n	Revista	Título
31	CBEF	Proposta de ensino de tópicos sobre radiações eletromagnéticas para o ensino médio.
32	C & E	Investigando a aprendizagem de professores de Física acerca do fenômeno da interferência quântica.
33	REBEF	Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântica.

2008		
n	Revista	Título
34	REBEF	Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos
35	REEC	A radiação solar e protetores solares: conhecimentos e práticas de alunos portugueses do 9.º e 11.º anos de escolaridade.

31. Fundamentada na teoria sócio-histórica de Vygotsky os autores elaboraram uma proposta pedagógica de ensino das radiações eletromagnéticas centrados em atividades experimentais de demonstração com o Rádio roncador, Emissor-Receptor de ondas eletromagnéticas e a Gaiola de telefones celular. Todos os aparatos foram construídos com o objetivo de verificar a funcionalidade e propiciar a aprendizagem de tópicos relacionados à Física das radiações eletromagnéticas. O objeto de estudo desse trabalho foi centrada no estudante do ensino médio. Apesar disso, esse trabalho pode ser utilizado pelo professor como fonte de pesquisa em experimento de baixo custo para ser desenvolvido em sala de aula. Os autores concluíram que houve um aprendizado dos conceitos relacionados à natureza das radiações eletromagnética assim como de onde elas vêm sendo empregadas.

32. Os autores desse artigo analisaram a evolução conceitual de 14 professores de Ensino Médio que foram estudantes de uma disciplina sobre Física Quântica (FQ) no Mestrado Profissional em Ensino de Física. O artigo faz parte de um projeto maior sobre “Tópicos de Física Moderna e Contemporânea na formação de professores” (OSTERMANN; PRADO; RICCI, 2008, p.36). Aplicaram um questionário no início do curso e outro após a discussão sobre a simulação do aparato denominado Interferômetro de Mach Zehnder através de um software livre, do tipo “bancada virtual”. Uma das conclusões que os autores encontraram após a discussão dos dados foi de que “o ensino de Física Quântica está comprometido se os conhecimentos prévios em óptica ondulatória não estão devidamente consolidados”. (OSTERMANN; PRADO; RICCI, 2008, p.51)

33. Apresenta resultados relacionados ao desenvolvimento de atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física quântica com a utilização do objeto de aprendizagem (OA) chamado Pato Quântico no Ensino Médio sob o referencial da aprendizagem significativa apresentada por Ausubel. Apontam que o ensino mediado por um OA a partir da modelagem exploratória revela ser acessível ao ensino de alguns

conceitos físicos. Esse texto tem como ponto principal a utilização do suporte computacional para o ensino de tópicos em Física.

34. Resultados de um projeto para o ensino de física moderna e contemporânea para um curso de licenciatura em física. Os objetivos do projeto consistiram na construção de uma lâmpada de vapor de Hg para atividades práticas e demonstrações didáticas sobre: I) efeito fotoelétrico com o auxílio de um eletroscópio de alumínio e um gerador de Van der Graff; II) Espectroscopia de átomos utilizando um CD. Os autores descrevem a construção do experimento e os cuidados que devem ser tomados antes da exposição à radiação emitida pela lâmpada. Sobre isso, os autores sinalizaram que falta uma regulamentação sobre a utilização de lâmpadas de Hg. Esse texto pode servir para a formação do professor no que se refere ao efeito fotoelétrico e espectroscopia de átomos

35. O artigo buscou verificar que conhecimentos têm os alunos do 9.º e 11.º de escolaridade anos sobre radiação solar, efeitos desta sobre o ser humano e sobre as práticas de utilização dos protetores solares referidas pelos mesmos alunos. Notamos indícios CTS quando os autores afirmam que

muitos cidadãos são ainda incapazes de participar, de um modo informado, na discussão de problemas presentes quer na agenda pública quer mesmo no seu cotidiano. Um dos motivos para que isso aconteça deve-se ao fato de muitos desses problemas terem uma base científica e envolvem novas tecnologias que são desconhecidas ou muito pouco conhecidas do cidadão comum. (p.723)

Os autores, afirmam que a escola deve se aproximar às realidade do cotidiano de maneira a promover situações de debate e de tomada de decisões conscientes. Os autores ao longo do texto discutem sobre o início das pesquisas em protetores solares como meio complementar para a proteção da pele, malefícios da exposição solar excessiva e utilização dos bronzeadores artificiais (solarius). Aponta o aumento da exposição solar, principalmente pelos adolescentes como reflexos de um comportamento ligado a razões estéticas e sociais. As conclusões apontam para uma visão simplista sobre a finalidade do protetor solar e que não é adquirida através do ensino formal, “mas através dos meios de comunicação social e da própria família” (MARQUES, DUARTE, 2008, p.741) e sua utilização não se revela como os mais adequados (idem). Chamam a atenção dos professores para implementar intervenções “que visem motivar, incentivar e incutir estratégias de proteção nas crianças e nos

adolescentes, relativamente à exposição da radiação solar ou outras fontes de radiação UV (solários)”(idem, p. 742)

2009		
n	Revista	Título
36	CBEF	Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico.
37	CBEF	Física Moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas.
38	C & E	A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.
39	REEC	Fundamentos da física quântica à luz de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder
40	REEC	Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física
41	C & E	Física Moderna e Contemporânea na formação de licenciandos em Física.
42	S & E	The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom
43	IENCI	Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma revisão da produção acadêmica recente.

36. Descrição de aspectos relevantes do cotidiano de um moderno laboratório de Física. Os autores procuraram identificar visões dos pesquisadores sobre o seu trabalho e apresentamos algumas reflexões buscando relacionar esses achados com visões epistemológicas contemporâneas.

37. Explica através de histórias em quadrinhos o desenvolvimento da Física no século XX, no desenvolvimento tecnológico e, do ponto de vista físico-filosófico, explica as modificações nos conceitos de espaço, tempo, massa e energia. As tirinhas foram desenvolvidas. Os autores justificam tal metodologia por acreditarem que as histórias em quadrinho misturam elementos específicos e resultam em uma perfeita interação entre palavras e imagens. Esse material pode ser utilizado pelos professores de Ensino Médio como suporte para uma abordagem lúdica da Física Moderna

38. Esse artigo investiga o discurso de cinco professores de Física de um município da região Nordeste com objetivo de investigar o que consideram como mais relevante para as aulas de física; qual a importância atribuída por esses professores à introdução da FMC no Ensino Médio; Com quais obstáculos esses professores se deparam para introduzirem a FMC no Ensino Médio, e em que medida essas dificuldades estão relacionadas com suas formações profissionais. Ao longo do texto apresenta diversos autores que trazem justificativas para a inserção de FMC na Educação Básica e diferentes visões sobre a inserção de mecânica quântica. Uma das conclusões do trabalho foi a ausência, nos discursos dos professores, da FMC nos planejamento de

ensino dos professores evidenciando um “descompasso entre as intenções dos professores de Física do nível médio e as proposições dos pesquisadores, em termos de abordagens para a educação científica” (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009, p.567). Tratando-se da perspectiva em CTS os autores não identificaram possibilidades de “introduzirem a FMC no nível médio com o intuito de, a partir do diálogo com os estudantes, discutirem a ciência e a tecnologia como expressão dos interesses e criatividade humanos” nem o desencadeamento de problematização acerca dos “propósitos e implicações das tecnologias elaboradas” (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009, p.569) a partir da FMC. Os autores trazem entre outras duas conclusões que são relevantes para o nosso trabalho: (a) apesar do consenso em introduzir FMC no Ensino Médio, os professores que participaram do estudo não apresentaram tal entusiasmo; (b) para a inserção de FMC no Ensino Médio deve-se discutir, urgentemente, outras perspectiva para a formação de professores de Física.

39. Apresentar os fundamentos que sustentam o Interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ), e as possibilidades oferecidas como recurso didático para a introdução do conceito de dualidade onda-partícula e da interpretação probabilística da física quântica. Os autores defendem o argumento de que a dualidade onda-partícula deve ser o conceito central na introdução da física quântica no ensino médio.

40. Apresenta os resultados de uma investigação sobre as concepções de futuros professores de física acerca da dualidade onda-partícula através do discurso fundamentando-se “em alguns aspectos do construtivismo de L. S. Vygotsky” como, por exemplo, o constructo “zona de desenvolvimento proximal”. O texto se insere no grupo de trabalhos voltados para “contribuir para o debate sobre a inserção de fundamentos de FQ no ensino médio e na formação de professores” (PEREIRA; CAVALVANTI; OSTERMANN, 2009, p.76).

41. Discutem as perspectivas de licenciados em Física quanto à introdução de tópicos e temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, contrapondo a formação inicial desses licenciandos e a realidade escolar vivida por eles enquanto estagiários e/ou docente. O texto traz uma contribuição ao nosso trabalho no que diz respeito à preparação deles em relação a temas referentes à FMC na Educação Básica ou se, independentemente de terem uma formação adequada para tal, estariam propensos a

trabalhar e discutir, com seus atuais e/ou futuros. Segundo os autores, 67,7% dos entrevistados declararam-se preparados para tratar assuntos de FMC, 90,3% dos entrevistados mostraram-se propensos e interessados em discutirem, no EM temas e tópicos de FMC. Entretanto os entrevistados mostraram dificuldades de tratar os temas sem precisar das fórmulas. Os autores alertam que a mera tentativa de enquadrar os temas de FMC em moldes didático-metodológicos tradicionais contribuirá apenas para adicionar temas diferentes de Física, sem, contudo, tocar na parte mais sensível que é a necessidade de redefinir o objeto a ser estudado. Os autores elaboraram um questionário para saber sobre os tópicos que os professores indicariam para ser discutido em sala de aula. Dentre as sugestões, Raios-X, Laser, Partículas elementares, Radiações Nucleares, segundo os autores, formam um conjunto conceitualmente desconexo, o que dificulta a formulação de estratégias didáticas e a estruturação de propostas. Essa afirmação está de acordo com nossa proposta de unificar esses temas em um único tópico.

42. Os autores discutiram os erros apresentados na história do efeito fotoelétrico. Citou Kragh (1992) quando definiu semi-história como “a mythical history specially prepared for the indoctrination of certain methodological and didactic viewpoints” (p.351 apud KLASSEN, 2009). Discorre ao longo do texto 5 episódios chave acerca do efeito fotoelétrico: A descoberta do efeito fotoelétrico

43. Revisão da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea realizada através da consulta a artigos publicados nas principais revistas de ensino de ciências do Brasil e do exterior no período de 2001 a 2006. A partir dos resultados obtidos os autores criaram categorias para classificar os artigos em propostas didáticas testadas em sala de aula, levantamento de concepções, bibliografia de consulta para professores e análise curricular (PEREIRA; OSTERMANN, 2009)

A partir dos dados coletados e analisados os autores notaram que houve uma evolução das pesquisas sobre de tópicos de FMC na formação de professores. E encontraram uma quantidade razoável de artigos com propostas para ensino de tópicos de FMC (PEREIRA; OSTERMANN, 2009).

5.2 Análise dos dados

A partir da leitura dos artigos apresentamos a tabela 2 com as categorias.

Tabela 2						
	FMC+ CTS	FMC+ FP	FMC+FP+ CTS	FMC+FP+ RI	FMC+CTS+ RI	FMC+ FP + CTS+RI
	1	21	5	2	2	0
1					1	
2				1		
3					1	
4		1				
5			1			
6		1				
7		1				
8	X	x	x	x	X	x
9	1					
10		1				
11		1				
12			1			
13	X	x	x	x	X	x
14				1		
15		1				
16		1				
17		1				
18		1				
19		1				
20	X	x	x	x	X	x
21			1			
22	X	x	x	x	X	x
23		1				
24	X	x	x	x	X	x
25		1				
26			1			
27		1				
28		1				
29	X	x	X	x	X	x
30		1				
31	X	x	X	x	X	x
32		1				
33		1				
34		1				
35			1			
36		1				
37		1				
38		1				
39	X	x	x	x	X	x
40		1				
41				1		
42		1				
43	X	x	x	x	X	X
44		1				

Apresentamos no gráfico 1 o número de artigos publicados segundo as categorias estabelecidas. Vale ressaltar que artigos que pertencem a duas categorias diferentes foram colocados na categoria mais específica. Por exemplo, um artigo que possua em seu corpo aspectos que se enquadrem em FMC+FP+RI poderia ser adicionada na categoria FMC+FP, mas por possuir discussão sobre RI enquadrados em uma categoria mais específica.

Observa-se através na tabela que a maior parte de artigos encontra-se dentro da categoria FMC e FP representando 68% dos artigos selecionados. Isso mostra que existe produção acadêmica sobre FMC para a formação inicial e continuada para o professor de Física.

Olhando para os trabalhos sobre FMC+FP+CTS, encontramos 5 artigos o que corresponde a 16% do total. Dessa forma, percebemos que ainda são poucos trabalhos que relacionam as implicações da FMC na sociedade contemporânea apesar de ter muitos artigos relacionados a FMC + FP.

Encontramos 2 artigos (6%) na categoria FMC+FP+RI que comparada com a categoria FMC + FP nota-se que ainda existem poucos materiais sobre RI disponível para a formação do professor no que diz respeito às RI.

Encontramos também 2 artigos (6%) na categoria FMC+CTS+RI. Nota-se também nesse aspecto que existem poucos trabalhos em ensino de Física voltados para a discussão das implicações das radiações ionizantes na sociedade.

Encontramos 1 artigo dentro dos termos que pesquisamos que se enquadra na categoria FMC + CTS.

Não encontramos nenhum artigo que tratem de FMC+ FP+CTS+RI. Isso mostra que carece de artigos que tratem do tema RI na formação do professor

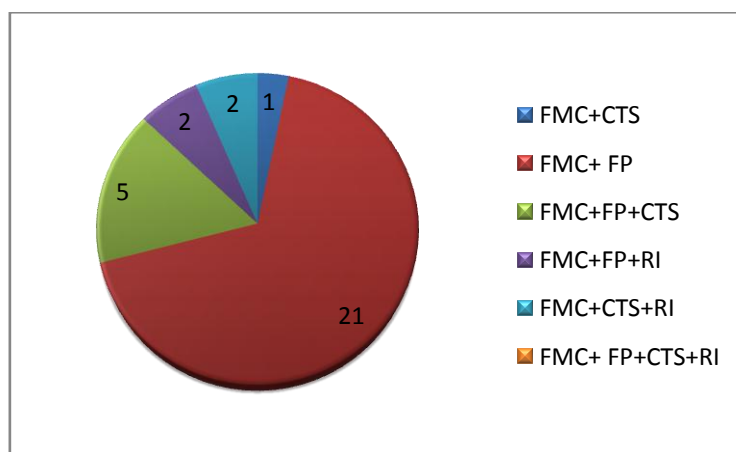


Gráfico 1 – Quantidade de publicações de cada categoria

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou discutir a inserção de tópicos de FMC na formação do professor de Física. Para isso olhou-se a produção acadêmica da área sobre o tema. Escolheu-se o tópico Radiações Ionizantes por se tratar de um tema que unifica a discussão conceitual sobre todas as radiações que ionizam átomos ao interagir com a matéria com as discussões de ordem social sobre o uso e manuseio de fontes emissoras de radiação ionizante. Em busca de saber qual a importância do tema na formação de professores, procurou-se discutir as implicações das RI na sociedade contemporânea e sua contribuição para o desenvolvimento científico. Mostrou-se na primeira parte da pesquisa a riqueza de informações que o tópico RI carrega tanto na história, nos conceitos e nas implicações na sociedade contemporânea de maneira a pontuar sua importância para a formação do cidadão contemporâneo. Este trabalho está coerente com a formação de cidadãos engajados nas questões que interferem em sua comunidade.

Apresentaram-se diversas contribuições das RIs para diversas áreas do conhecimento. A medicina, por exemplo, é uma das grandes favorecidas com o uso das RIs tanto no diagnóstico quanto na terapia de patologias. Também se notou o uso das RIs para obtenção de energia elétrica através das usinas term nucleares. Por outro lado, as RIs são utilizadas para destruição em massa quando nos referimos às bombas nucleares. Portanto, pode-se dizer que o tema RI é um tema rico em possibilidades para inserção em sala de aula. Isso está de acordo com as recomendações apresentadas pelos PCN e pela LDB. Com isso, pretende-se desenvolver no estudante uma visão da ciência como um empreendimento humano e que, como tal, está submissa a questões políticas, econômicas e interesses de classes.

Por outro lado, de maneira geral, ao longo da nossa pesquisa encontramos em outros trabalhos sobre formação de professores e FMC que nossos professores de Física concluem sua graduação sem ter contato suficiente com o tema RI. E quando o tema prioriza-se a discussão matemática em detrimento da discussão das suas implicações na sociedade. Isso serve de alerta para os cursos de formação de professores.

A escola contemporânea precisa estar adaptada às mudanças que ocorrem na sociedade. Partindo desse pressuposto, vale sinalizar para as discussões sobre mudança curricular no Ensino Médio. Mais que isso, ao longo do trabalho percebe-se que tais discussões não se limitam ao Ensino Médio, mas estendem-se os cursos de formação de

professores, visto que, a mudança curricular do ensino proposto pelos PCN encontrará maior dificuldade caso os cursos de formação permaneçam nos moldes tradicionais de ensino. Nesse sentido percebemos uma mobilização entre os pesquisadores em direção à elaboração de trabalhos focados na formação do professor de Física.

Na segunda parte do nosso trabalho diagnosticou-se em que medida os artigos publicados nas principais revistas em ensino de ciências este tratam o tema RI.

Como resultado, encontrou-se uma escassez de trabalhos dentro deste tema. Apesar de existir produção acadêmica sobre FMC para a formação inicial e continuada para o professor de Física ainda são poucos trabalhos que relacionam as implicações da FMC na sociedade contemporânea, poucos trabalhos em ensino de Física voltados para a discussão das implicações das radiações ionizantes na sociedade. Entretanto não se encontrou nenhum artigo que trate de FMC+FP+CTS+RI. Dessa forma, este trabalho evidenciou uma grande lacuna na pesquisa sobre RI e formação do professor.

A concentração dos trabalhos em FMC como suporte para a prática do professor evidencia uma preocupação com a sua inserção no Ensino médio. Entretanto poucos desses artigos estão voltados para os cursos de formação de professores de Física. Concepções prévias de professores e estudantes sobre Física Quântica, relatividade geral e restrita, partículas elementares foram os trabalhos mais recorrentes. Além disso, encontraram-se dificuldades para categorizar esses artigos visto que, grande parte desses trabalhos também pode ser utilizada na formação do professor de Física.

O resultado desta pesquisa aponta também que, apesar das pesquisas na área de ensino de ciências alertarem para a inserção de tópicos relacionados com temas contemporâneos, a literatura sobre ensino de Radiações Ionizantes ainda é escassa e com isso a formação professor de Física carece desse conhecimento.

Discutir o tema Radiações Ionizantes em sala de aula, além de concordar com o ensino de física pautado nas recomendações da LDB e PCNs, pode desenvolver a formação do espírito crítico da dupla educador/educando. Entretanto, o professorado, de maneira geral, recebe essas mudanças de duas formas: de maneira passiva ou ignorando-as. A primeira resulta em uma aula descontextualizada, sem a devida discussão sobre sua construção, como se. A segunda revela-se quando tal conteúdo nem chegam na sala de aula. O tema RI ainda carece de uma maior reflexão por parte das instituições de formação de professores de Física visto que se encontra de maneira bastante diluída ao longo do curso de formação de professores. Este trabalho não

discutiu sistematicamente esse ponto, mas encontrou indícios que corroboram essa afirmação e tais indícios podem ser utilizados para futuras pesquisas.

Esta pesquisa está a favor de uma inserção de tópicos de física no ensino médio sensível às questões sociais, e não somente a implementação de conceitos vazios e desprovidos de uma discussão crítica sobre o tema. Sobre a inserção do tópico sugiro a sua apresentação nos cursos de formação de professores dentro de uma abordagem contextual, ou seja, que traga para a sala de aula as questões que circundam o tema correlacionando-as com outras áreas. Por fim, o ensino de RIs nos cursos de formação de professores pode servir para uma mudança curricular responsável, visto que, preparará o professor para abordar o tema da melhor maneira possível no EM.

O presente trabalho abre perspectivas em sequência didática para RI, estudos das concepções dos professores sobre RI, análise curricular dos cursos de formação de professores no que tange o ensino de RI. Apesar de existir trabalhos sobre FMC e formação de professores, notamos poucos trabalhos que relacionam tal discussão com as RI e suas implicações sociais e tecnológicas.

Além disso, percebe-se ao longo da pesquisa que a necessidade do estabelecimento do tema RI, quando se tratar de radiações eletromagnéticas ou corpusculares que ionizam átomos, dentro do organograma didático da Física como subgrupo do Eletromagnetismo quântico, visto que, “a eletrodinâmica quântica surgiu... como a primeira teoria quântica de campos [e] acomoda situações em que o número de partículas não permanece constante, o que a torna extremamente conveniente para descrever, por exemplo, processos como a emissão e a absorção de fótons por átomos” (FRANCISCO, 2009).

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.S. ABC e X das RADIAÇÕES. **Revista de Ensino De Física**. Vol.12. dez.1990. Disponível em < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol12a02.pdf>>. Acesso em 23/04/2011.

ANDRADE, R. R. D.; NASCIMENTO, R. S.; GERMANO, M.G. Influências Da Física Moderna Na Obra De Salvador Dalí. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**. v.24, n3, p.400-423, dez 2007

ANJOS, R.M.; FACURE A.; K. C. MACARIO D.; YOSHIMURA, E. M.; BRAGE, J. A. P.; TERRA, E. M.; TOMPAKOW, H.; GOMES, P. R. S.; ALHANATI C. E.; CARDOSO, S. N. M.; SANTORO, M. D. N.; BOYD, A. L.. Estudo do Acidente Radiológico de Goiânia no Ensino de Física Moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v22, n1, , p. 60-68, 2000. Disponível em < http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_60.pdf>. Acessado em 15/08/2010

ARRIASSECQ, I; GRECA, I. Enseñanza de la teoría de La relatividad especial em El ciclo polimodal: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual. **Revista Eletrónica de Enseñanza de lãs Ciencias**, v. 3, n. 2, p. 211-227, 2004.

ATAÍDE, J. S. P; LIMA, L. M.; ALVES, E. de O. A Evasão Escolar e a Repetência no Curso de Licenciatura em Física:Um Estudo de Caso. **Revista Physicae**. n.6 . 2006.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Ciência-Tecnologia-Sociedade: relações estabelecidas por professores de ciências. **Revista Eletrónica de Enseñanza de lãs Ciencias**, v. 5, n. 2, p. 337-355, 2006.

BARROS, F. S. Tendências Atuais dos Projetos de Armas Nucleares **Ciência em Tela**. v. 1, n. 1, pp 1-8. 2008. Disponível em: < http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/Barros_2008_1.pdf>. Acesso em 1 de jun de 2010

BARNES, M. B.; GARNER, J. and REID, D. The Pendulum as a Vehicle for Transitioning from Classical to Quantum Physics: History, Quantum Concepts, and Educational Challenges. **Science & Education**. V.13, p. 417–436, 2004. Florida. Disponível em < <http://www.springerlink.com/content/w0262jl267573h80/fulltext.pdf>>

BAZZO, W.A. A pertinência de Abordagens CTS na Educação Tecnológica. **Revista Iberoamericana de Educación**, n28, p.83-99, Madrid, España. 2002. Disponível em < <http://www.rieoei.org/rie28a03.htm> >. Acessado em 23/08/2011

BITELLI, Thomaz. Introdução à Física Nuclear. In: BITELLI, Thomaz. **Física e Dosimetria das Radiações**. São Paulo: Atheneu, 2006.p.1-97.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União: Republica Federativa do Brasil, Brasília, DF**.

BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Republica Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2000 40p.

BRASIL. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Republica Federativa do Brasil/ Brasília: MEC/SEMTEC, Brasília, DF, 2002.144 p.

BUSHONG, Stewart C. **Concepts of Radiologic Sciene**. In: __ Radiologic Science for Technologists. 8.ed. St. Louis: Elsevier Mosby, 2004. cap. 1, p.7

BOOTE, D. N; BEILE, P.. Scholars Before Researchers: On the Centrality of the Dissertation literature Review in Research Preparation. **Education Researcher**, [sl], v. 34, n. 6, pp 3-15, aug./sep. 2005.

CARUSO, F.; OGURI, V. Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 23, n. 3: p. 444-449, 2006. Disponível em < <http://www.cbpf.br/~caruso/sitelivro/resenhas/a9.pdf>>

CARVALHO NETO,R.A. FREIRE JR, O. SILVA, J.P.B. Improving students' meaningful learning on the predictive nature of quantum mechanics. **Investigações em Ensino de Ciências**. V14, n1, p. 65-81, 2009. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID207/v14_n1_a2009.pdf>

CARVALHO,A.M.P.; VANNUCCHI A. O currículo de física: Inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências**. v1, n1, pp.3-19, 1996. Disponível em http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/diaadia/diadia/arquivos/File/conteudo/artigos_teses/fisica/artigos/curriculo_fisica.pdf Acessado em 19/12/2010.

CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, Vladimir; BARROS, José Antônio de Almeida. Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um Feixe Laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 2: p. 154-169, ago. 1999. Disponível em:

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C.R.C. Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. V.18,n.3: p.298-316,dez.2001

CHALMERS, A.F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CORDEIRO, A. Understanding Quantum Physics. **Science & Education**. v.12, p.503-511. 2003.

CORDEIRO, M.D.; PEDUZZI, L.O.Q. A radioatividade através das conferências Nobel de Marie e Pierre Curie. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, nov 2009. Disponível em <
<http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/7enpec/pdfs/1708.pdf>>

CORTELA, B.S.C.; NARDI, R. Formadores de Professores de Física: Uma análise de seus discursos e como podem influenciar na implantação de novos currículos. **Encontro de pesquisa em ensino de física**. , Jaboticatubas, MG, 2004. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/atas/posteres/po21-27.pdf>

CROTTY, M.. **The Foundations of Social Research**. St Leonards: Sage, 1998

CRUZ, F.F. de Souza. Radioatividade e o acidente de Goiânia. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.4, n.3, p.164-169, 1987. Disponível em:
<<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7842/7213>> Acesso em: 3 de out de 2009

DEITCHMAN, S e colaboradores. CDC Grand Rounds: Radiological and Nuclear Preparedness. **Morbidity and Mortality Weekly Report**. V.59,n36, set 2010. Disponível em <
http://content.ebscohost.com/pdf25_26/pdf/ddd/rzh/2010797386.pdf?T=P&P=AN&K=2010797386&S=R&D=c8h&EbscoContent=dGJyMNLr40SeqLM4yNfsOLCmr0mep7BSsq%2B4SK%2BWxWXS&ContentCustomer=dGJyMPGss1C3qbNRuePfgex44Dt6fIA>

DEMO, P.. **Metodologia Científica em Ciências Sociais**. 3ed. São Paulo: Atlas, 1995.

DEMO, P.. **Metodologia do Conhecimento Científico**. São Paulo: Atlas, 2008.

ELETRONUCLEAR. **Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto**. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/tecnologia/index.php?idSecao=2>>. Acesso em 14 de abr de 2010.

DAHMEN, S. R. Einstein e a teoria quântica de gases. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v27, n1, p.109-111. 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n1/a13v27n1.pdf>>

DIONÍSIO, P.H. Albert Einstein e a Física Quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.22, n.2, p.147-164, 2005.

ERTHAL, J.P. C.; LINHARES, M. P. A física das Radiações eletromagnéticas e o cotidiano dos alunos do ensino médio: construção de uma proposta de ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.25, n.2, p.247-265, 2008. Disponível em <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6065/5634>>

FOUREZ, Gérard. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**. v.8, n.23, p.109-123, 2003.

FRANCISCO, R.O. **Determinação da solução de vácuo para o campo escalar submetido a condições de contorno mistas**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Física), Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo. 2009. Orientador: prof. Dr. Jose Alexandre Nogueira.

FREIRE Jr, Olival. A Relevância da Filosofia e da História das Ciências para a Formação dos Professores de Ciências. In: SILVA FILHO, Waldomiro José da et al. **Epistemologia e Ensino de Ciências**. Salvador: Arcádia, 2002.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 5 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 1978.

FREIRE, Paulo; SHOR Ira. **Medo e Ousadia: o cotidiano do professor**. 12 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 2008.

GALLARDO, M.; LAQUIDARA, A.P.; REYNA ALMANDOS, J. Abordaje de la enseñanza de aspectos importantes de la física moderna através del uso de un laser de xenon multi-ionico pulsado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v29, n4, p. 532-542, 2007. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n4/a11v29n4.pdf>>.

GOBARA, Shirley Takeco; GARCIA, João Roberto Barbosa. As licenciaturas em física das universidades brasileiras: um diagnóstico da formação inicial de professores de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n4, p 519-525, 2007. Disponível

em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n4/a09v29n4.pdf> > acesso em: 05 de novembro de 2008

GRECA, I. M.; HERSCOVITZ, V.E. Superposição em ensino de mecânica quântica. **Revista Brasileira em Ensino de Ciências**. V5, n1.

HADZIDAKI, P. 'Quantum Mechanics' and 'Scientific Explanation' An Explanatory Strategy Aiming at Providing 'Understanding'. **Science & Education**. v17. p.49-73. 2006

HADZIDAKI, P. The Heisenberg Microscope: A Powerful Instructional Tool for Promoting Meta-Cognitive and Meta-Scientific Thinking on Quantum Mechanics and the Nature of Science. **Science & Education**. v.17. p.613-639. 2008

HEINECK, R. O ensino de Física na Escola e a Formação de Professores: Reflexões e Alternativas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. V.16,n.2, p.226-241, ago. 1999. Disponível em: <http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/16-2/artpdf/a8.pdf>. Acesso em 22/01/2011

HELENE, M. Elisa Marcondes. A radioatividade e O LIXO NUCLEAR. 12. imp. São Paulo: Scipione, 2008.

KARAN, R.A.S; SILVA, S.M. Tempo relativístico no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v28, n3, p. 373-386, 2006. Disponível <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060204.pdf>>

KARAN, R.A.S; SILVA, S.M. Relatividade no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v29, n1, p. 105-114, 2007. Disponível <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n1/a17v29n1.pdf>>

KLASSEN, S. The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. **Science & Education**. DOI 10.1007/s11191-009-9214-6. 2009. Disponível em < <http://www.springerlink.com/content/8061050nr6228512/fulltext.pdf> >

KLEPPNER, D. Relendo Einstein sobre radiação. **Revista Brasileira do ensino de Física**. V.27, n1, p.87-91, 2004.

LAWALL, I. T. Alteração da grade curricular do curso de licenciatura plena de

Física da udesc/Joinville. **XVI Simpósio Nacional de Ensino De Física 2005**. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0271-1.pdf>. acesso em 23/01/2011

LOBATO, T; GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de teoria quântica nos currículos de Física do Ensino Médio. **Revista Brasileira do ensino de Física**. V.11, n1, p.119-132, 2005. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/10.pdf> >

LEVIN, E. Conceitos e métodos da física moderna numa perspectiva histórica. **Revista Brasileira do ensino de Física**. v29, n3, p.305-306, 2006. Disponível em < http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v29_2_resenha2.pdf >

LÉVY-LEBLOND J.M. On the Nature of Quantons. **Science & Education**. v.12, p.495-502. 2003.

MACHADO, D.I. NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira do ensino de Física**. v28, n4, p.475-485, 2006. Disponível em < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060401.pdf> >

MARQUES, D.R.; DUARTE, M.C.A radiação solar e protectores solares: conhecimentos e práticas de alunos portugueses do 9.º e 11.º anos de escolaridade. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**.vol.7, n.3, 2008

MARTINS, M. Cristina M. Uma Perspectiva Histórica da Física Nuclear. In: **Caderno de Física da UEFS**, v1, n2, p.27-39. 1996.

MARTINS, R. A. O primeiro comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira do ensino de Física**. V20, n4, dez 1998.

MARTINS, R. A. Hipótese e Interpretação experimental: A conjectura de Poicaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v10, n3, p.501-516. 2004. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n3/13.pdf> >

MAZZOTTI, A.J.A. O debate atual sobre os paradigmas de pesquisa em educação. **Caderno de Pesquisa**. n96, p.15-23. Fevereiro 1996. São Paulo.

MEDEIROS, Regina Bitelli. Produção e Propriedades dos Raios X. In: BITELLI, Thomaz. **Física e Dosimetria das Radiações**. São Paulo: Atheneu, 2006.p.129-167.

MENEZES, Luis Carlos de. O novo público e a nova natureza do ensino médio **Estudos Avançados**. V.15, n.42, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v15n42/v15n42a08.pdf>>

MCCUSKER, M. W.; BLACAM, C. de; KEOGAN, M.; MCDERMOTT, R; BEDDY, P. Survey of medical students and junior house doctors on the effects of medical radiation: is medical education deficient? **Royal Academy of Medicine in Ireland**. 178:479–483, 2009
Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/d1j2qp4523680567/fulltext.pdf>>
acesso em: 07 de jan de 2009

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHOS, J. B. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Ciências**. v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v15n3/07.pdf>>

MASSORI, N.T. Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v26, n2, 2009. Disponível em <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/11360/10899>>

MORTIMER, E. F; SANTOS, W. L. P. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia– Sociedade) no contexto da educação brasileira. **ENSAIO- Pesquisa em Educação em Ciências** v.2/ n.2, dez 2002.

OKUNO, Emico. Aplicação das Radiações. In:_____Física para ciências biológicas e biomédicas. São Paulo: Harper & Row do Brasil. 1982. cap. 2 pag 13-20

OLIVEIRA, F. F.; MIRANDA, D. M.; GERBASSI R. S.. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n.3, p.447-454, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a16v29n3.pdf>>
Acesso em: 27 nov. 2009

OLIVEIRA, F.F.; VIANNA, D.M.. O ensino de Física Moderna, com enfoque CTS: um tópico para o Ensino Médio- Raios-x. 2006 Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/sys/resumos/T0101-2.pdf>>

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em ensino de Ciências**. v.5, n.1, p. 23-48, 2000.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, Marco Antonio. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Porto Alegre, v.18, n.2, p. 135-151, 2001.

OSTERMANN, F.; RICCI, T.S. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.22, n.1, p. 09-35, 2005. Disponível em < <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6392/5917>>

OSTERMANN, F.; PRADO, S.D.; RICCI, T.S. Investigando a aprendizagem de professores de Física acerca do fenômeno da interferência quântica. **Ciência & Educação**. v.14, n.1, p. 35-54, 2008.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C.J. H., PRADO, S.D.; RICCI, T.S. Fundamentos da física quântica à luz de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v8, n3, p.1094-1116. 2009. Disponível em < http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/art18_vol8_n3.pdf>

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F; BAZZO, W. A. Ciência-Tecnologia-Sociedade: A relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v.13, n. 1, p. 71-84, 2007.

SOARES, F.A.P; PEREIRA, A.G; FLÔR, R,C. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. **Radiologia Brasileira**. Mar/Abr;44(2):97-103. 2011

PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. Abordando conceitos fundamentais da Mecânica Quântica no nível médio. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**. v.4,n.2. Disp. em <<http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revistas/V4N2/v4n2a6.pdf>>

PARANHOS, R.R.G.P., LOPEZ-RICHARD V.; PIZANI, P.S. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 30, n. 4, 4502, 2008. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n4/v30n4a11.pdf> >

PEREIRA, A.P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.14, n. 3, p.393-420, 2009.

PEREIRA, A.P.; CAVALCANTI, C.J.H; OSTERMANN, F. Concepções relativas á dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física.

Revista Electronica de Enseñaza de las Ciencias. Vol.8, n.1.2009

PEDUZZI, L. O.Q.; BASSO, A. para o ensino do átomo de Bohr no nível médio.

Revista Brasileira do ensino de Física. v27, n4, p.545-557, 2005. Disponível em <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v27_545.pdf>

POSPIECH, G. Philosophy and Quantum Mechanics in Science Teaching. **Science & Education.** v.12. p.559-571. 2003

PRESTES M.; CAPPELLETTO, E.; SANTOS, A.C.K.. Concepções Dos Estudantes Sobre Radiações. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba. 2008. Disponível em:

<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0274-1.pdf>

REZENDE JR, M.F. and CRUZ, F.F.S. Física moderna e contemporânea formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência & Educação,** v15, n2, p. 305-21, 2009. Disponível em<

<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v15n2/a05v15n2.pdf> >

RICCI, T. F.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v29, n1, p.79-88, 2007. Disponível em < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060602.pdf>>

RICARDO, E.C.; FREIRE, J.C.A; A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** Brasília, v. 29, n. 2, p. 251-266, 2007. Disponível em:

<<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060908.pdf>>. Acesso em: 24 setembro de 2008.

ROBILOTTA C.C. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. **Rev. Panam Salud Publica.** 20(2/3):134-42. 2006.

ROSA, P.R.S. Fatores que influenciam o ensino de ciências e suas implicações sobre os currículos dos cursos de formação de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física.** v.16, n.3, p. 287-313, 1999

RON, José M Sánchez. **El Poder de la Ciencia:** História Social, Política y Económica de la Ciencia (siglos XIX y XX). Madrid: Crítica, 2007.p.311-343.

SALES, G. L.; VASCONCELOS, F.H.L., CASTRO FILHO, J.A. PEQUENO, M. C.. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 30, n. 3, 3501, 2008. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n3/3501.pdf> >

SAMAGAIA, R.; PEDUZZI, L.O.Q.Uma experiência com o projeto Manhattan no ensino fundamental. **Ciência & Educação**. v.10, n.2, p. 259-276, 2004

SEGRÈ, Emilio. **Dos Raios x aos Quarks**. Tradutor Wamberto H. Ferreira. Brasília, Editora Universidade de Brasília. 1987

SOUZA, M. A. **Movimentos sociais e sociedade civil**. IESDE Brasil S.A, Curitiba. 2008

TERRAZAN, E. A.. **Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média**. 1994. 24. Tese(Doutorado em Educação)- Faculdade de Educação , Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994. Orientador: Prof. Dr. Luis Carlos de Menezes.

TRICÁRIO, H.R. A formação dos professores de Física. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**. v.6, n.2 p.143-147. ago. 1989

UNESCO, Declaração sobre a Ciência e o uso do conhecimento científico
Versão adotada pela Conferência Budapeste, 1 de Julho de 1999

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M.. Ensinando física moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de Corpo negro.
Caderno Catarinense do Ensino de Física, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.

VIEIRA, Viviane Darrossi. **Exposição ocupacional às radiações ionizantes da equipe de cirurgia ortopédica**, 2007. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação Tecnológica em Radiologia, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Florianópolis. 77p. Disponível em <<http://florianopolis.ifsc.edu.br/producoesacademicas/tcc/Radiologia/Exposi%20o%20ocupacional%20a%20s%20radia%20e%20es%20da%20equipe%20de%20cirurgia%20ortopedica%20-%20Viviane%20Darrossi%20Vieira.pdf>> acessado em 4 de fev de 2010

WOU, W. **A Física Ensinada e a Cultura: Uma análise relacional do conhecimento de Física em escolas públicas de Ensino Médio**. 2005. 24. Tese(Doutorado em Educação)- Pontifícia Universidade Católica De São Paulo, São Paulo. 2005. Orientador: Prof. Dr. Maria das Mercês Ferreira Sampaio.

<http://www.capes.gov.br/avaliacao/qualis>. Acesso em 06/11/2010

ANEXOS

ANEXO A - relação dos 45 artigos selecionados e seus respectivos autores

Quadro 2				
	Ano	Revista	Título	Autor
1	1990	REBEF	A, B, C e X das radiações.	Elisabeth S. de Almeida,
2	1999	CBEF	Física Moderna Contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais.	Fernanda Ostermann; Cláudio J. de H. Cavalcanti
3	2000	REBEF	Estudo do Acidente radiológico de Goiânia no Ensino de Física Moderna	Anjos et al
4	2000	IENCI	Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física moderna e contemporânea no Ensino Médio".	Fernanda Ostermann; Marco A. Moreira
5	2001	CBEF	Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino médio.	Marisa Almeida Cavalcante; Cristiane R.C. Tavolaro
6	2003	S & E	Understanding Quantum Physics.	Alberto Cordero
7	2003	S & E	Philosophy and Quantum Mechanics in Science Teaching.	Gesche Pospiech
8	2003	S & E	On the Nature of Quantons.	Jean-Marc Lévy-Leblond
9	2004	REBEF	Relendo Einstein sobre radiação	Daniel Kleppner
10	2004	S & E	The Pendulum as a Vehicle for Transitioning from Classical to Quantum Physics: History, Quantum Concepts, and Educational Challenges.	Marianne B. Barnes; James G. and D Reid
11	2004	REEC	Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo polimodal: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual.	Irene Arriasecq; Ileana Greca
12	2004	RBPEC	Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica do nível médio.	Iramaia J. C. de P.; Marco A. Moreira
13	2004	C & E	Uma experiência com o projeto Manhattan no ensino fundamental.	Rafaela Samagaia; Luiz O. Q. Peduzzi
14	2004	C & E	Hipóteses e Interpretação experimental: A conjectura de Poicaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson.	Roberto de A. Martins
15	2005	CBEF	Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais.	Fernanda Ostermann; Trieste F. Ricci
16	2005	CBEF	Albert Einstein e a Física Quântica	Paulo H Dionísio
17	2005	C & E	Análise da inserção de conteúdos de teoria quântica nos currículos de Física do Ensino Médio.	Teresa Lobato; Ileana M Greca"
18	2005	REBEF	Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio.	Luiz O.Q. Peduzzi; Andreza C. Basso
19	2005	RBPEC	Superposição linear em ensino de mecânica quântica.	Ileana M. Greca; Victoria E. Herscovitz
20	2005	REBEF	Einstein e a teoria quântica de gases	Sílvio R. Dahmen
21	2006	REBEF	Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermédia.	Machado, D.I.; Nardi, R..
22	2006	CBEF	Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos.	Francisco Caruso; Vitor Oguri.
23	2006	REBEF	Tempo relativístico no início do Ensino Médio.	Ricardo A. S Karam; Sonia M. Silva
24	2006	S & E	The Heisenberg Microscope: A Powerful Instructional Tool for Promoting Meta-Cognitive and Meta-	Pandora Hadzidaki

Quadro 2				
Ano	Revista	Título	Autor	
		Scientific Thinking on Quantum Mechanics and the Nature of Science.		
25	2007	REBEF	Abordaje de la enseñanza de aspectos importantes de la física moderna através del uso de un laser de xenon multi-ionico pulsado.	Gallardo, M.; Laquidara, A.P.; Reyna Almandos, J..
26	2007	REBEF	Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores.	Oliveira, F. F.; Miranda, D. M.; Gerbassi R. S.
27	2007	REBEF	Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula.	Ricardo A. S Karam; Sonia M. Silva
28	2007	CBEF	Influências da Física Moderna na obra de Salvador Dalí.	Rodrigo R. D. de Andrade; Robson de Sousa
29	2007	REBEF	Conceitos e métodos da física moderna numa perspectiva histórica.	Eugene Levin
30	2007	REBEF	O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica.	Trieste Freire Ricci; Fernanda Ostermann; Sandra Denise Prado
31	2008	S & E	'Quantum Mechanics' and 'Scientific Explanation' An Explanatory Strategy Aiming at Providing 'Understanding'.	Pandora Hadzidaki
32	2008	CBEF	Proposta de ensino de tópicos sobre radiações eletromagnéticas para o ensino médio.	João P. C. Erthal; Marília P. Linares
33	2008	C & E	Investigando a aprendizagem de professores de Física acerca do fenômeno da interferência quântica.	Fernanda Ostermann; Sandra Denis Prado; Trieste S. F Ricci
34	2008	REBEF	Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico.	Gilvandenys Leite Sales; Francisco H. L. Vasconcelos; Jose A. de C. Filho; Mauro C. Pequeno
35	2008	REBEF	Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos	Rafael R. G. Paranhos; Victor Lopez; Paulo Sergio Pizani
36	2008	REEC	A radiação solar e protetores solares: conhecimentos e práticas de alunos portugueses do 9.º e 11.º anos de escolaridade	Diana R. Marques; Maria da C. Duarte
37	2009	CBEF	Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico.	Neusa T. Massoni
38	2009	CBEF	Física Moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas.	Francisco Caruso; Nilton de Freitas
39	2009	C & E	A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.	Maria A. Monteiro; Roberto Nardi; Jenner B. Bastos Filho
40	2009	IENCI	Improving students' meaningful learning on the predictive nature of quantum mechanics	Rodolfo A. de C. Neto; Olival Freire Júnior
41	2009	REEC	Fundamentos da física quântica à luz de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder	Fernanda Ostermann; Cláudio J. H. Cavalcanti; Sandra D. Prado; Trieste dos S. F. Ricci
42	2009	REEC	Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física	Alexsandro P de Pereira; Cláudio J. de H. Ca
43	2009	C & E	Física Moderna e Contemporânea na formação de	Mikael F. Rezende Junior;

Quadro 2				
	Ano	Revista	Título	Autor
			licenciandos em Física.	Frederico F. de S. Cruz
44	2009	S & E	The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom	Stephen Klassen
45	2009	IENCI	Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma revisão da produção acadêmica recente.	Alexsandro P. Pereira; Fernanda Ostermann