

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
EM CIÊNCIAS: QUÍMICA DA VIDA E SAÚDE**

Alcides Gilberto da Rosa Adornes

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR

Santa Maria, RS.
2017

Alcides Gilberto da Rosa Adornes

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Educação em Ciências**.

Orientador: Prof. Dr. Everton Lüdke

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Adornes, Alcides Gilberto da Rosa
Uma Proposta para o Ensino de Física Nuclear / Alcides
Gilberto da Rosa Adornes.- 2017.
111 p.; 30 cm

Orientador: Everton Lüdke
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e
Saúde, RS, 2017

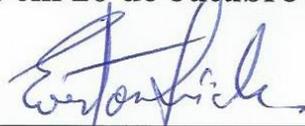
1. Física Nuclear e de Partículas 2. Componente
Curricular 3. Contextualização Social, Econômica e Política
I. Lüdke, Everton II. Título.

Alcides Gilberto da Rosa Adornes

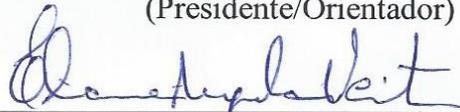
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Educação em Ciências**.

Aprovada em 20 de outubro de 2017:



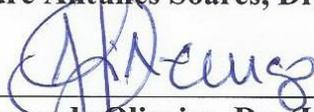
Everton Lüdke, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



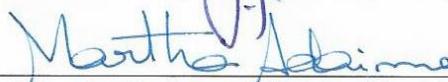
Eliane Ângela Veit, Dra. (UFRGS)



Félix Alexandre Antunes Soares, Dr. (UFSM)



Gilberto Orengo de Oliveira, Dr. (UNIFRA)



Martha Bohrer Adaime, Dra. (UFSM)

AGRADECIMENTOS

A concretização deste projeto deve-se, principalmente, pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço:

A minha esposa Rosane Bohrer Adornes pelo amor, carinho, compreensão, participação e paciência durante esta e outras jornadas;

Aos meus filhos, Ana Caroline e Matheus, razão da minha existência;

A minha mãe Wilma Pedroso da Rosa, a minha irmã Elza e aos meus irmãos Carlos Henrique e Ricardo pelo apoio e incentivo;

Ao meu orientador Prof. Dr. Everton Lüdke, que além da competência e profissionalismo, sempre foi um amigo leal;

Aos colegas do Departamento de Física Prof. Dr. Claudio O. Graça, Prof. Dr. Orimar Battistel, Prof. Dr. Paulo S. Guimarães e Prof. Dr. Cesar Lobo, que sempre me incentivaram a concluir este projeto;

Aos membros da Comissão Examinadora Profa. Dra. Eliane Veit, Profa. Dra. Martha Adaime, Prof. Dr. Gilberto Orenge e Prof. Dr. Félix A. Soares que se dispuseram a analisar e avaliar este trabalho;

Ao Professores Cesar Z. Vasconcellos e Orimar Batisttel pelas contribuições durante o Exame de Qualificação;

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação: Química da Vida e Saúde pela oportunidade de realizar este projeto.

A todos vocês, muito obrigado!

RESUMO

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR

AUTOR: Alcides Gilberto da Rosa Adornes

ORIENTADOR: Everton Lüdke

O presente trabalho trata da apresentação de defesa de Doutorado, em que abordamos uma proposta para a componente curricular Física Nuclear (FN) dos Cursos de Física da UFSM, a partir da reestruturação da disciplina Física Nuclear e de Partículas. A motivação da presente proposta vem da clara dissonância entre os objetivos atuais da disciplina e os objetivos previstos nos documentos oficiais que tratam da educação brasileira. Propomos uma reestruturação da disciplina de modo a contemplar requisitos como aplicações científicas e tecnológicas e a contextualização social, política e econômica, garantindo, ao mesmo tempo, uma formação científica de excelência, mas valorada pela conscientização da inserção dessas tecnologias no contexto social político e econômico da sociedade brasileira. A proposta que apresentamos divide a disciplina em três pilares, aplicadas de modo intercalado e contínuo. No primeiro pilar, denominado formação comum, fizemos uma revisão da Mecânica Quântica e Mecânica Quântica Relativística e discutimos a Física Nuclear. O objetivo principal era conhecer as definições, os conceitos, as leis e os modelos da FN, assim como o formalismo matemático para descrevê-las. No segundo pilar, denominado instrumentação científica, apresentamos o embasamento experimental para o estudo da Física Nuclear e de Partículas, com os diversos tipos e modelos de aceleradores e detectores, e experimentos de baixo custo. Neste pilar os objetivos são desenvolver habilidades de observação de eventos que envolvam partículas nucleares e formulação de hipóteses para explicação dos fenômenos, despertando o caráter investigativo, habilitar o aluno a analisar e interpretar dados e obter conclusões corretas a partir de análise de variáveis de medição e erros de experimentos que envolvam conceitos complexos, despertando o caráter reflexivo. No terceiro pilar, aplicações em subáreas, foram ministrados seminários sobre as diversas subáreas de interesse científico e tecnológicos modernos. Aplicações na Física Médica, discussão dos principais projetos de pesquisa desenvolvidos ou em fase de desenvolvimento com interesse científico e estratégico para o País são discutidos em um contexto social, econômica e política, a partir de artigos científicos da área de relações internacionais e documentos oficiais do governo brasileiro. Discutimos o êxito da proposta quanto aos objetivos previstos e alcançados. Como resultado concluímos que é possível trabalhar a componente curricular FN em 90 horas-aula com excelência científica e tecnológica, contemplando as exigências da legislação, mas principalmente, trabalhando uma contextualização social, política e econômica que discuta a posição do nosso País em um processo estratégico de defesa e de soberania nacional. A presente proposta pode ser aplicada para outros Cursos como Química e Engenharias, a nível de Pós-graduação ou Graduação (com alguns ajustes). Trata-se de uma pesquisa ação-qualitativa em que os dados foram coletados através de questionários, seminários/colóquios, memoriais e anotações junto aos discentes da referida disciplina. O tratamento dos dados é realizado de acordo com a análise de conteúdo de Laurence Bardin.

Palavras-chave: Física Nuclear e de Partículas. Componente Curricular. Contextualização Social, Econômica e Política.

ABSTRACT

A PROPOSAL FOR NUCLEAR PHYSICS TEACHING

AUTHOR: Alcides Gilberto da Rosa Adornes

ADVISOR: Everton Lüdke

This work is presented as a doctoral work in which we present a teaching proposal for the curricular component of nuclear physics in the UFSM Physics degrees, from an update perspective from previous courses in nuclear physics and particle phenomenology. The main motivation from the present proposal arises from the clear dissonance between the current aims of the current university courses in these fields and those predicted by the official documents which are the main guidelines which regulate the Brazilian educational system. We therefore propose a restructuring of the course in order to contemplate better relevant requisites like scientific and technological applications and social, political and economic contexts, in view of guarantee at the same time a scientific formation of Excellency under values of the insertion of technologies in the social, political and economic from modern Brazilian society. A proposal which we developed comprises the division of nuclear physics in three pillars, applied in an intertwined and with a continuous development. In the first pillar, called Common formation, we have carried out a conceptual revision of quantum mechanics and relativistic quantum mechanics and discussed the results to predict various nuclear phenomena. This aims to let the students work the definitions, concepts, laws and models of nuclear physics as well as the mathematical formalism to describe them. In the second pillar called scientific instrumentation, the students work with the experimental background for various experiments in nuclear and particle physics, and by discussing the available types of detectors and particle accelerators and also low-cost classroom experiments. In this pillar, the aims are to develop skills for event observation which involve nuclear particles and the formulation of hypothesis to explain the phenomena to encourage the investigative role in applied research, to obtain and analyze data and to obtain correct drawing of conclusions from the measurement variables and experimental error analysis which involve complex modelling and to bring about a reflexive character. In the third pillar named applications in subareas, we have arranged a seminar dynamics in the most diverse nuclear physics areas with scientific and technological applications such as medical physics, discussion of Brazilian and worldwide nuclear projects and strategies in phase of development with scientific and strategic interests for this Country which are discussed from published reports and articles in international relations as well as official documents from the Brazilian Government. We also performed a detailed discussion of this proposal regarding the predicted and reached objectives. As a result, we conclude that it is possible to work the curricular component of nuclear physics in 90 hours keeping relevant scientific and technological level of excellence including the current laws and guidelines and mostly, working with updated social, political and economic contexts and the role of Brazil in a strategic and national sovereignty. Our proposal can be applied in other courses like Chemistry and Engineering at a graduate or postgraduate level with some adjustments. It is also an action research in which data has been collected through questionnaires, seminars, talks, memos and report/classroom writings by the students investigated in the research, which was our main source of information to assess the present proposal using the data content analysis presented by Laurence Bardin.

Keywords: Nuclear and Particle Physics teaching. Curricular component. Social contextual analysis. Economic and political issues in nuclear physics.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - A oferta de FN nos Curso de Física das universidades brasileiras com PG com conceito 7 do CAPES.	25
Quadro 2 - Quanto aos objetivos, habilidades e competências das disciplinas e bibliografia.	29
Quadro 3 - Produção de urânio.....	41
Quadro 4 - Medida do domínio cognitivo de acordo com a Taxinomia de Bloom para os alunos do Curso de Física.	80
Quadro 5 - Medida do domínio cognitivo de acordo com a Taxinomia de Bloom para os grupos dos alunos do Curso de Engenharia Química.	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABACC	Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ATLAS	A Toroidal LHC Apparatus
AVV	Axial Vetorial Vetorial
BMNP	Brazilian Meeting on Nuclear Physics
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BRICS	Brasil Rússia Índia China e África do Sul
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CC	Conhecimento Conceitual
CERN	Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
CNEN	Conselho Nacional de Energia Nuclear
CP	Carga Paridade
CSCH	Contextualização Social, Cultural e Histórica
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
DCNEB	Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica
DCNEM	Diretrizes Curriculares Nacionais do para o Ensino Médio
DRS	Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENFIR	Encontro de Física de Reatores e Termohidráulica
ENIN	Encontro de Indústria Nuclear
FC	Formação Continuada
FERMILAB	Fermi National Accelerator Laboratory
FIP	Formação Inicial de Professores
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FN	Física Nuclear
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
HUSM	Hospital Universitário de Santa Maria
IES	Instituição de Ensino Superior
IFT/UNESP	Instituto de Física Teórica da UNESP
INAC	International Nuclear Atlantic Conference
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisa
LABGENE	Laboratório de Geração Nucleoelétrica
LAE	Laboratório de Astronomia e Eletrônica
LC	Linguagem das Ciências
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LFN	Laboratório de Fusão Nuclear
LHC	Large Hadron Collider
LNLS	Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
MCTI	Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação
MD	Ministério da Defesa
MEC	Ministério da Educação
MME	Ministério de Minas e Energia
MTO	Método Tutorial da Universidade de Oxford

Nuclep	Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A.
OECD	Organization for Economic Co-Operation and Development
P&D/CNEN	Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento do CNEN
PCN+	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacional do Ensino
PET	Positron Emission Tomography
PNB	Programa Nuclear Brasileiro
PPI	Processos e Práticas de Investigação
ProEMI	Programa Ensino Médio Inovador
ProSUB	Programa de Desenvolvimento de Submarinos
RBMN	Repositório de Baixo e Médio Nível de Radiação
RMB	Reator Multipropósito Brasileiro
UCF	Unidades Curriculares de Física
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFRA	Universidade Franciscana
USP SC	Universidade de São Paulo - São Carlos

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS DA ENGENHARIA QUÍMICA.....	101
APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	103
ANEXO A – PROGRAMAS E OBJETIVOS DAS DISCIPLINAS DA UFSM	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OS CURSOS DE FÍSICA E A LEGISLAÇÃO VIGENTE	15
2.1	O ENSINO DE FN NOS CURSOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM)	16
2.2	INFLUÊNCIA CURRICULAR NO ENSINO DE FN NOS CURSOS DE FÍSICA COM PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA COM CONCEITO 7 NO CAPES.....	25
2.3	A FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO	31
3	OS PRESSUPOSTOS E A CONSTRUÇÃO DA CATEGORIZAÇÃO DOS ASPECTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS	37
3.1	PROCESSOS HISTÓRICOS CONSTRUTIVOS	37
3.2	O PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO	38
3.3	O PROJETO REATOR DE MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO	40
3.4	RESERVAS ESTRATÉGICAS DE URÂNIO NO BRASIL	41
3.5	USINAS TERMONUCLEARES, DOMÍNIO DO CICLO COMBUSTÍVEL	42
3.6	O LNSL E O PROJETO SIRIUS	43
3.7	APLICAÇÕES NA ÁREA DA FÍSICA MÉDICA.....	44
3.8	POLÍTICA INTERNA EXTERNA E GOVERNANÇA MUNDIAL	44
3.9	RELEVÂNCIA PARA A CONSTRUÇÃO CURRICULAR DA FN MODERNA	45
4	A PRESENTE PROPOSTA PARA O ENSINO DE FN PARA O ENSINO SUPERIOR	47
4.1	A FN AO LONGO DOS ÚLTIMOS 35 ANOS NOS CURSOS DE FÍSICA	47
4.2	A CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA CURRICULAR DESENVOLVIDA NO PRESENTE TRABALHO.....	48
4.2.1	Objetivos para a disciplina FN	49
4.2.2	A implantação da proposta de Ensino de Física Nuclear	50
4.2.3	Experimentos para o pilar instrumentação científica	55
4.3	METODOLOGIA.....	57
4.4	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	59
4.5	AS PERCEPÇÕES DOS DISCENTES DA DISCIPLINA FSC511 – FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS	64
4.6	AS PRINCIPAIS OBSERVAÇÕES DO TRABALHO	66
4.7	MÉTODO TUTORIAL DE OXFORD + APRENDIZAGEM COLABORATIVA – UMA OPÇÃO METODOLÓGICA	67
4.7.1	Metodologia para a aplicação do MTO + aprendizagem colaborativa	69
4.7.2	Análise dos seminários, Coleta de dados e categorização	71
4.7.3	Análise dos questionários	72
4.8	TAXONOMIA DE BLOOM.....	78
5	DISCUSSÕES	83
6	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS DA ENGENHARIA QUÍMICA	101
	APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	103
	ANEXO A – PROGRAMAS E OBJETIVOS DAS DISCIPLINAS DA UFSM	105

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa pedagógica, tanto em Formação Inicial de Professores (FIP), quanto em atividade de Formação Continuada (FC), tem alcançado um espaço importante entre as pesquisas educacionais modernas. Entretanto, dificilmente encontramos um trabalho que aborde os programas e os objetivos das componentes curriculares dos cursos de licenciatura e bacharelado e os coloque em consonância, de modo explícito, com os objetivos previstos na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) (BRASIL, 1996) e nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para os cursos de graduação, em particular, com as DCNs para os Cursos de Física (BRASIL, 2001).

Para exemplificar, citamos uma das finalidades previstas para o ensino superior de acordo com o artigo 43 da LDB (BRASIL, 1996), onde no inciso III consta: “incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia e da criação e difusão da cultura e, desse modo, desenvolver o entendimento do homem e do meio em que vive”.

Os objetivos, na ocasião em que foram definidos, apresentaram-se focados em aspectos científicos e tecnológicos isolados separados em áreas de conhecimento específicas. Há de se considerar ainda, que muitos objetivos da LDB permitem interpretações diversas, tanto da metodologia de ensino quanto a seleção do programa e objetivos, no modo como se estimula a criação cultural, como podemos desenvolver o pensamento reflexivo, ou ainda, como desenvolver o entendimento do homem sobre o meio em que vive. Ademais, soma-se a este processo interpretativo, a influência da autonomia universitária, as concepções de quem elabora os programas e objetivos, e a independência com que os docentes no ensino superior atuam em sala de aula.

A formação obtida, pelo futuro professor em áreas científicas como a Física e a Química, também deve dar condições para que se possa consolidar as expectativas futuras dos licenciados e bacharéis que tenham como objetivo ingressar em cursos de pós-graduação e atuarem em suas próprias pesquisas avançadas em ensino científico, bem como dos que já estiverem atuando como profissionais, assumindo eles mesmos o papel de formadores em cursos de formação continuada, oferecidos pelas Instituições de Ensino Superior (IES) a docentes. Deve-se destacar que caberá aos licenciados a aplicação destes conhecimentos para alcançar os objetivos e suprir as demandas do Ensino Médio, de acordo com as determinações previstas na LDB, nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) (BRASIL, 1999), nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o

Ensino Médio (PCN+) (BRASIL, 2002a), nos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (BRASIL, 2004), nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCNEB) (BRASIL, 2013), nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) (BRASIL, 2012a) e na, ainda em discussão, Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2016a).

Neste trabalho, em um primeiro momento, abordaremos, especificamente, os principais problemas relacionados com a dissonância existente nos programas da disciplina de Física Nuclear (FN) nos cursos de licenciatura e bacharelado em Física (com aplicações em Química e tecnologia), não somente quanto ao cumprimento das legislações vigentes, como também quanto aos interesses de uma política nacional de desenvolvimento da FN no Brasil que vise a pesquisa e suas aplicações, setores estes onde se devem inserir as atividades de formação de profissionais de nível técnico, tecnólogo, bem como os futuros bacharéis em Física e Química.

Fazendo uma revisão bibliográfica em periódicos com os estratos A1, A2, B1 e B2, de acordo com o qualis periódicos CAPES de 2013, com relação à Educação e o Ensino de Física dos últimos 10 anos, não encontramos nenhum trabalho com esta abordagem específica. Encontramos, porém, alguns trabalhos indiretamente relacionados, dentre os quais merece referência o trabalho de Santos e Valeiras (2014) que propõem um currículo interdisciplinar para Física, Química e Biologia,

O curso permite a obtenção de quatro diplomas: professor de ciências para o Ensino Fundamental (nomenclatura brasileira), professor de biologia, física e química para o Ensino Médio. O diploma de professor de ciências é obtido com a integralização de créditos oferecidos ao longo dos três primeiros anos do curso. Para cada ano subsequente é possível obter os diplomas de professor do Ensino Médio. Os componentes curriculares pertinentes às ciências da natureza são inteiramente interdisciplinares nos três primeiros anos. No quarto ano são oferecidas disciplinas específicas de biologia, física e química, para a respectiva formação de professor do Ensino Médio. (p.1)

Nossas interpretações da leitura da legislação vigente e dos objetivos para uma política nacional de desenvolvimento da Física Nuclear, com vistas à pesquisa e suas aplicações, nos conduziram por um viés completamente diferente daquele seguido por Santos e Valerias (2014), tanto pela característica da interdisciplinaridade proposta, como por apresentar em sua estrutura as disciplinas específicas de Física apenas a partir do sétimo semestre, e desprovidas de uma análise matemática mais rigorosa (oferece apenas três disciplinas relacionadas à matemática: pré-cálculo, cálculo I e II), o que, por si só, se caracteriza por não prezar pelo caráter científico, o que é um aspecto fundamental em Física.

Não podemos esquecer que a atual legislação dá amplo espaço para programas interdisciplinares, embora não haja nenhum respaldo científico para um possível mérito destas

práticas curriculares. Este ponto de vista é tratado em (MOZENA; OSTERMANN, 2014) que escrevem:

... através do ProEMI, o Governo Federal está patrocinando, em consonância com os Estados, “experiências inovadoras curriculares”, sendo, portanto, completamente lícito às escolas extinguirem suas disciplinas e ensinarem apenas focados nas áreas do conhecimento. (p. 5)

No mesmo texto as autoras advertem:

E tudo isso sem qualquer fundamentação sobre o que é essa integração, sem qualquer respaldo das pesquisas em ensino e sem especificar parâmetros de garantia de qualidade nesse ensino. É realmente preocupante o cenário com o qual nos deparamos. (p.5)

E ainda mostram que muitas vezes a interdisciplinaridade é apenas um artifício político de cunho retórico para mascarar um outro problema, a falta de professores qualificados em suas áreas.

Com essas articulações, atenuam-se os problemas de falta de professores especialistas, as escolas melhoram sua infraestrutura com o dinheiro recebido do Governo Federal, mas os Governos Estaduais omitem esses fatos em suas propagandas. (p. 5)

Mas como avaliar as causas da falta de professores especialistas ou falta de atrativos para a carreira docente em áreas científicas de interesse nacional? A resposta pode estar em (PINTO, 2014). De acordo com o autor:

Tendo por base os dados de concluintes nos cursos de licenciatura nos últimos 20 anos, levantados pelo INEP, e considerando uma estimativa de demanda de professores por disciplina, constata-se que, com exceção da disciplina de Física, existem professores habilitados em número mais do que suficiente para assumir as turmas existentes, concluindo-se que se trata essencialmente de um problema de falta de atratividade da carreira docente. (p. 1)

Tal ambiente nos leva a continuar apostando na formação específica de professores, em especial, dos professores de Física e Química, que possuem dificuldades similares em sua formação.

Quanto ao bacharel em Física, é necessário se definir um novo perfil profissional, capacitando-o para as necessidades atuais do mercado de trabalho. Hoje, um bacharel pode trabalhar em cursos preparatórios para concursos ou cursos técnicos (assim como os licenciados em Física) nos quais a Física Nuclear esteja presente. Como exemplo temos os concursos para o cargo de técnico em dosimetria externa e tecnologista em análise de segurança do Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Tal sujeito, em sua formação, deve estar capacitado para atuar em cursos técnicos ou preparatórios em radiologia ou atuar diretamente em Medicina Nuclear na função de físico-médico, após uma formação mais específica. Deve, também, estar preparado para o setor de pesquisa e inovação em empresas de grande porte ou apto a um redirecionamento na sua vida acadêmica, buscando novos caminhos, como as oportunidades de pesquisa em Física Nuclear e suas aplicações.

Assim, o que apresentamos neste trabalho, é uma proposta estruturada para um componente curricular atualizada para o Ensino de Física Nuclear para os Cursos de Física e que também possa ser aplicado para os Cursos de Química.

Devemos considerar que a componente curricular FN é única para licenciados e bacharéis em Física, em virtude do tema ser igualmente importante para os dois cursos e com objetivos gerais e perfis gerais idênticos, no que tange a competências e habilidades essenciais conforme as DCNs (BRASIL, 2001) e a LDB (BRASIL, 1996). Além disto, deve atender a formação necessária para que o licenciado possa atuar no Ensino Médio conforme a legislação específica, deve considerar em sua construção o princípio da autonomia universitária, deve primar pela excelência científica quanto ao aspecto científico e tecnológico e apresentar uma contextualização histórica, social, econômica e política.

Objetivo da Pesquisa

Acreditamos que o cenário apresentado justifica a necessidade da renovação de discussões sobre o Ensino de FN nos cursos de graduação em Física, e também em Química, que possibilite abrir novos espaços para a formação dos futuros licenciados e bacharéis, em um contexto mais amplo do que vem até agora sendo apresentado.

Neste sentido, questionamos: *qual o caminho para que o ensino de Física Nuclear possa atender as demandas impostas pela legislação, que atenda aos interesses de uma política nacional de desenvolvimento da FN, e ao mesmo tempo atenda às expectativas de formação pessoal dos discentes?*

No nosso entender é necessária uma reestruturação ampla da componente curricular FN dos Cursos de Física e Química. Deste modo, temos como objetivo: *elaborar uma proposta de atualização da componente curricular Física Nuclear para os Cursos de Física e Química.*

Para a realização destes objetivos, apresentamos no capítulo 2 o estágio atual do tema FN nos Cursos de Física da UFSM, a legislação vigente, e a influência curricular no ensino de Física dos Cursos de Física com Programas de Pós-Graduação em Física com conceito 7,0 na avaliação do CAPES e algumas observações sobre a FN no Ensino Médio. No capítulo 3 apresentamos as bases para esta reestruturação do Ensino de FN, a categorização dos tópicos que são implementados na nossa proposta e a justificativa para estas inserções. No capítulo 4 descrevemos a nossa proposta de modernização para o Ensino de FN para o Ensino Superior, descrevendo desde o histórico da FN nos Cursos de Física da UFSM, a construção e implantação da proposta, as metodologias utilizadas e uma análise do desenvolvimento dos alunos no decorrer deste processo. Alocamos no capítulo 5 as discussões pertinentes e finalizamos com a conclusão no capítulo 6.

2 OS CURSOS DE FÍSICA E A LEGISLAÇÃO VIGENTE

As Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física são estabelecidas pelo Parecer do Conselho Nacional de Educação / Câmara de Educação 1.304/2001 (BRASIL, 2001), onde são definidos o perfil dos formandos, as competências e habilidades requeridas, estruturas dos cursos e conteúdos curriculares. Neste parecer apresentam-se as *competências essenciais*, que são:

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

Podemos destacar também, as *habilidades gerais*, onde consta:

- 1 - utilizar a matemática como uma linguagem para a expressão dos fenômenos naturais;
- 2 - resolver problemas experimentais, desde seu reconhecimento e a realização de medições, até à análise de resultados;
- 3 - propor, elaborar e utilizar modelos físicos, reconhecendo seus domínios de validade;
- 4 - concentrar esforços e persistir na busca de soluções para problemas de solução elaborada e demorada;
- 5 - utilizar a linguagem científica na expressão de conceitos físicos, na descrição de procedimentos de trabalhos científicos e na divulgação de seus resultados;
- 6 - utilizar os diversos recursos da informática, dispondo de noções de linguagem computacional;
- 7 - conhecer e absorver novas técnicas, métodos ou uso de instrumentos, seja em medições, seja em análise de dados (teóricos ou experimentais);
- 8 - reconhecer as relações do desenvolvimento da Física com outras áreas do saber, tecnologias e instâncias sociais, especialmente contemporâneas;
- 9 - apresentar resultados científicos em distintas formas de expressão, tais como relatórios, trabalhos para publicação, seminários e palestras. (p. 4)

Por outro lado, das *finalidades* previstas pela LDB para o Ensino Superior, em seu artigo 43 (BRASIL, 1996) consta:

- I - estimular a criação cultural e o desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo;
- II - formar diplomados nas diferentes áreas de conhecimento, aptos para a inserção em setores profissionais e para a participação no desenvolvimento da sociedade brasileira, e colaborar na sua formação contínua;
- III - incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia e da criação e difusão da cultura, e, desse modo, desenvolver o entendimento do homem e do meio em que vive;
- IV - promover a divulgação de conhecimentos culturais, científicos e técnicos que constituem patrimônio da humanidade e comunicar o saber através do ensino, de publicações ou de outras formas de comunicação;

V – suscitar o desejo permanente de aperfeiçoamento cultural e profissional e possibilitar a correspondente concretização, integrando os conhecimentos que vão sendo adquiridos numa estrutura intelectual sistematizadora do conhecimento de cada geração;

VI – estimular o conhecimento dos problemas do mundo presente, em particular os nacionais e regionais, prestar serviços especializados à comunidade e estabelecer com esta uma relação de reciprocidade;

VII – promover a extensão, aberta à participação da população, visando à difusão das conquistas e benefícios resultantes da criação cultural e da pesquisa científica e tecnológica geradas na instituição.

Com base no exposto, procuramos obter uma visão geral de como o tema FN é tratado atualmente nos diversos cursos de Física, bacharelado e licenciatura plena da UFSM e nos Cursos de Graduação em Física de instituições com Programas de Pós-Graduação com nível sete (7,0) de acordo com a avaliação do CAPES (2017). Pesquisamos quais as disciplinas que tratam o tema e o programa proposto, os objetivos e/ou finalidades de cada disciplina, carga horária, a natureza da disciplina quanto a ser obrigatória ou optativa/eletiva e, ainda, se é informado a bibliografia usada em aulas teóricas, expositivas ou práticas laboratoriais.

2.1 O ENSINO DE FN NOS CURSOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM)

A opção pelos Cursos de Física da UFSM neste trabalho deve-se ao fato de que os autores da presente pesquisa (orientando e orientador) serem parte do corpo docente desta instituição desde 1996, tendo vivenciado a evolução departamental da disciplina como alunos desde 1982. A UFSM é a mais antiga instituição de ensino superior do interior do Rio Grande do Sul a oferecer a disciplina de Física Nuclear na formação de licenciados em Física e Química, além de farmacêuticos.

O Curso de Licenciatura Plena em Física da UFSM, criado em 1968, referência na região central do Rio Grande do Sul, tem formado professores ao longo de sua história, sempre na perspectiva de acréscimo de qualidade no ensino e na educação brasileira. Além da atuação no Ensino Médio, seus egressos consolidaram-se como pesquisadores de destacadas instituições de pesquisa em Física e Ensino de Física, assim como em outras áreas. No âmbito local, o Curso de Física Médica da Universidade Franciscana (UNIFRA), com sede em Santa Maria, e que teve seu início em 2000, contou com a participação e coordenação de alunos egressos da UFSM que passaram por este processo formativo.

No entanto, novos objetivos, novos enfoques e novos conteúdos estão e estarão sendo implementados no Ensino Médio, portanto, uma análise de como os Cursos de Física vêm se adaptando à nova realidade se faz necessário.

Dentro destas novas perspectivas, para o Ensino Médio, a Física Nuclear ganha um papel de destaque, principalmente quando analisamos a BNCC para o terceiro ano do Ensino Médio, como mostraremos ao longo deste trabalho.

Por outro lado, o Curso de Bacharelado em Física, criado em 1995, vem se consolidando na formação de pesquisadores nos Programas de Pós-Graduação nos mais diversos centros de pesquisa, e com atuação nacional e expressão internacional.

Atualmente, para os Cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física, a FN é tratada em duas disciplinas obrigatórias: FSC1038 - Estrutura da Matéria e FSC1039 – Laboratório de Física Moderna, e em duas disciplinas optativas para o Bacharelado: FSC511- Física Nuclear e de Partículas e FSC 1058 – Introdução à Teoria dos Campos Clássicos. Os programas, objetivos e bibliografia das disciplinas encontram-se no Anexo A.

Na disciplina Estrutura da Matéria o tema geralmente é apresentado como em outras instituições, de forma expositiva empregando lousa e giz e, geralmente, é o último tema a ser tratado, frequentemente com apresentação de seminários pelos acadêmicos, nas quais cada acadêmico apresenta uma parte do conteúdo.

Já, na disciplina de Laboratório de Física Moderna, o problema é a falta de equipamentos para a realização dos experimentos e a maioria dos tópicos não são tratados, impossibilitando uma melhor compreensão conceitual vinculada aos experimentos laboratoriais.

A disciplina optativa Introdução à Teoria dos Campos Clássicos, é oferecida de modo muito esporádico.

Nos resta a disciplina optativa Física Nuclear e de Partículas onde o tema poderia ser tratado em sua plenitude, o que atenderia a responsabilidade institucional, mas ainda com algumas deficiências a serem sanadas para atender as necessidades atuais. Vejamos:

- a) o programa das disciplina FSC511 – Física Nuclear e de Partículas.
Para analisarmos o programa da disciplina (Anexo A), não podemos deixar de contextualizar a realidade da época em que ele foi elaborado (final da década de setenta e início da década de oitenta). Havíamos recentemente saído de um longo período de repressão política e discutir temas que pudessem vir a gerar reflexões sociais era algo visto com reservas. Nesse cenário, o programa e os objetivos foram tratados de uma forma única e exclusivamente sob a ótica científica.
- b) Os objetivos da disciplina FSC511 – Física Nuclear e de Partículas.
Conforme as informações na página do curso (UFSM, 2017), o aluno ao final da disciplina deverá ser capaz de “conhecer os fenômenos e propriedades nucleares e sub-nucleares através dos modelos e mecanismos nucleares atuais”.

Embora este objetivo pareça simples, porque exprime exatamente o que se pretende alcançar dentro de uma visão que busca exclusivamente o conhecimento científico, por outro lado, permanece distante das competências das DCNs (BRASIL, 2001) para os Cursos de Física e das finalidades previstas pela LDB (BRASIL, 1996) para o Ensino Superior. Não trata a FN no âmbito do conhecimento histórico e como uma ciência desenvolvida em diferentes contextos socioculturais, econômicos e políticos para que possa estimular o pensamento reflexivo do graduando, não indo além do desenvolvimento do conhecimento da FN como algo que se constrói a partir de modelos. Não parece estimular o pensamento reflexivo quanto as suas aplicações e os impactos socioculturais, políticos e econômicos no meio onde vive. Muito menor é seu efeito real em estimular o conhecimento dos problemas nacionais ou regionais relacionados ao tema e não oportuniza a investigação científica ou o trabalho de pesquisa do profissional de setores industriais e tecnológicos ligados a FN.

Em paralelo, vemos que o programa atual de FN na UFSM é insuficiente para um curso de bacharelado, pois não contempla o conhecimento que um bacharel em Física deve ter para optar profissionalmente entre os setores em que os conhecimentos em FN se apliquem, dentro do nível teórico necessário. É incompleto para um curso de licenciatura em Física, pois não contempla aspectos que serão importantes para aquele profissional que for exercer a docência em nível do Ensino Médio.

Vejamos, por exemplo, as Orientações Curriculares para o Ensino Médio: ciências da natureza e matemática e suas tecnologias (BRASIL, 2006, p. 46) ao tratar das competências,

A compreensão do que sejam as competências é um dos maiores obstáculos para a implementação dos Parâmetros Curriculares na escola. A noção de **competências**, por ter sua origem na formação profissional, reflete mudanças significativas nas **relações de produção e trabalho**. Sendo o **objetivo principal do ensino médio a formação da autonomia crítica do educando**, esta deve dar-se sob três aspectos: intelectual, político e econômico. Em seu aspecto intelectual, a **autonomia permite o pensamento independente**, ou seja, educar sujeitos que utilizem seus conhecimentos, que pensem por si mesmos. Em sua dimensão política, a **autonomia garante a participação ativa dos sujeitos na vida cidadã**. A **autonomia econômica** deve assegurar uma formação para a **sobrevivência material por meio do trabalho**. (Grifo nosso)

Este viés é mais claro no PCN+ (BRASIL, 2002a, p. 61), onde temos: “Não se trata de apresentar ao jovem a Física para que ele simplesmente seja informado de sua existência, mas para que esse conhecimento se transforme em uma ferramenta a mais em suas formas de pensar e agir”. E ainda na mesma página:

[...] quando se toma como referência o “para que” ensinar Física, supõe-se que se esteja preparando o jovem para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, exames médicos, notícias de jornal, e assim por diante.

E afirma na página 62: “[...] para desenvolver competências que requerem o sentido crítico, será necessário privilegiar espaços de discussão, tanto na escola como na sala de aula”.

O desenvolvimento de competências deve ser obtido por área e por disciplinas. Por exemplo, no PCN+ (BRASIL, 2002a, p.67) quanto a competência “investigação e compreensão” no item “ciência e tecnologia na história”, espera-se, na área das ciências exatas, “compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social”. Enquanto que na Física almeja-se:

Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.

Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas.

Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época, identificando como seus avanços foram modificando as condições de vida e criando novas necessidades.

Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história.

Outro ponto que merece destaque, ainda na competência “investigação e compreensão”, é o item “ciência e tecnologia, ética e cidadania”, em que, na área das ciências naturais e exatas, requer: “reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania”. Na Física compete:

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 quanto a um posicionamento responsável [...].

Reconhecer, em situações concretas, a relação entre Física e ética, seja na definição de procedimentos para a melhoria das condições de vida, seja em questões como do desarmamento nuclear ou em mobilizações pela paz mundial.

Reconhecer que a utilização dos produtos da ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo, como, por exemplo, para ampliar o acesso à eletricidade. (BRASIL, 2002a, p.68).

Para organizar e estruturar o desenvolvimento das habilidades, competências, conhecimentos, atitudes e valores desejados é necessário privilegiar a escolha de alguns conteúdos. Assim, foram organizados seis temas estruturantes: movimentos: variações e conservações; calor, ambiente e usos de energia; som, imagem e informação; equipamentos elétricos e telecomunicações; matéria e radiação; e, ainda, universo, Terra e vida (BRASIL, 2002a, p.71). Estes temas estruturantes aparecem como proposta na BNCC como seis unidades curriculares de Física (UCF) (BRASIL, 2016a, p.604) distribuídos ao longo de três anos, com a seguinte distribuição por ano do Ensino Médio:

1º ano do Ensino Médio:

UC1F – Movimentos de objetos e sistemas.

UC2F – Energia e suas transformações.

2º ano do Ensino Médio:

UC3F – Processos de comunicação e informação.

UC4F – Eletromagnetismo – materiais e equipamentos.

3º ano do Ensino Médio

UC5F – Matéria e radiação – constituição e interações.

UC6F – Terra e universo – formação e evolução.

Os objetivos de cada uma destas seis unidades de conhecimento foram definidos de acordo os seguintes eixos: Conhecimento Conceitual (CC); Contextualização Social, Cultural e Histórica (CSCH); Processos e Práticas de Investigação (PPI) e Linguagem das Ciências (LC). De acordo com a BNCC (BRASIL, 2016a, p.586-589), quando nos referimos aos eixos como CC estamos nos reportando à compreensão de fenômenos físicos através da abordagem de leis e princípios da Física. Princípios como a conservação, conversão e degradação da energia ou conservação da quantidade de movimento. A compreensão de causa e de efeito é resultado do conhecimento de modelos, leis e teorias com alto grau de abstração, consistência e coerência interna com o uso de uma linguagem própria. Além disso, a percepção deste conhecimento deve dialogar com uma dinâmica histórica e social. Assim, a Física com seus conceitos, suas leis, suas grandezas e relações matemáticas, ganha mais significado se aplicada em problemas sociais reais, como por exemplo, e avaliação de riscos e benefícios de diferentes fontes de energia, integrando, deste modo, a cultura em seu sentido mais amplo e devendo ser tratada em contextos históricos e sociais, caracterizando o eixo CSCH.

Quando a BNCC se refere ao eixo PPI coloca em evidência que a aquisição de conhecimento na Física requer domínio das práticas de produção. O desenvolvimento de procedimentos, métodos e técnicas de investigação teóricas ou experimentais, observações e inferências, coletas, interpretação, análise e avaliação dos dados, formulação de hipóteses, realização de previsões e testes e modelagem matemática, caracterizam este eixo.

Por fim, a terminologia usada na Física, como por exemplo: massa, energia, força, matéria e calor, ganham novos significados frente ao cotidiano. As representações gráficas, as tabelas, esquemas e diagramas são usados para registrar informações e comunicar resultados. Equações matemáticas são construídas para expressar leis e teorias, dando origem a uma forma própria de comunicação, caracterizando a LC.

No que tange a Química, segundo os eixos propostos na BNCC, a compreensão da estrutura atômica e das interações entre átomos, íons e moléculas, das transformações químicas, das propriedades e das transformações de materiais são os elementos que compõem o eixo CC. O conhecimento em Química contextualizado na realidade cotidiana do cidadão, como as

mudanças climáticas, o efeito estufa ou questões associadas a poluição dos rios e lagos urbanos, gera oportunidade de elaborar conhecimentos e de formular respostas que envolvem aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais, entre outros, caracterizando o eixo CSHC. A submissão de modelos a provas empíricas, a obtenção e análise de dados, e a elaboração de hipóteses, compõem, semelhantemente à Física, o eixo PPI. E, finalmente, também de modo semelhante ao que ocorre na Física, a Química possui uma terminologia própria, diferente da coloquial, para termos como fusão, solução e calor, e também tem suas leis expressas em linguagem matemática. A compreensão desta linguagem caracteriza o eixo LC.

Para a Química temos as seguintes unidades curriculares (UCQ)

1º ano do Ensino Médio:

UC1Q – Materiais, propriedades e usos: estudando materiais no dia a dia;

UC2Q – Transformações dos materiais na natureza e no sistema produtivo: como reconhecer reações químicas, representá-las e interpretá-las;

UC3Q – Modelos atômicos e moleculares e suas relações com evidências empíricas e propriedades dos materiais;

2º ano do Ensino Médio:

UC2Q – Transformações dos materiais na natureza e no sistema produtivo: como reconhecer reações químicas, representá-las e interpretá-las;

UC3Q – Modelos atômicos e moleculares e suas relações com evidências empíricas e propriedades dos materiais;

UC4Q – Energia nas transformações químicas: produzindo, armazenando e transportando energia pelo planeta;

3º ano do Ensino Médio:

UC5Q - A Química de sistemas naturais: qualidade de vida e ambiente;

UC6Q – Obtenção de materiais seus benefícios e seus impactos ambientais.

Vamos nos deter nas unidades de conhecimento cinco e seis do currículo de Física, onde a FN está diretamente contemplada e nas unidades do currículo de Química do Ensino Médio, onde a FN aparece em todas as unidades de conhecimento, mas de modo indireto, na maioria das vezes.

Para o currículo de Física temos na unidade curricular 5 - matéria e radiação – constituição e interações:

A constituição submicroscópica da matéria é investigada, a partir da sistematização das radiações eletromagnéticas, como gama, ou corpusculares como alfa, beta e gama, cuja análise revela a estrutura do núcleo atômico, com atenção também para a sucessão histórica de modelos para a composição infinitesimal das substâncias. O emprego das radiações em aplicações diagnósticas e terapêuticas, na produção de

energia ou em artefatos bélicos dá contexto para se compreender fissão e fusão nuclear, que serão fundantes para a astrofísica e cosmologia na próxima Unidade. (BRASIL, 2016a, p. 589)

E apresenta os seguintes objetivos em correlação aos eixos:

Classificar as radiações eletromagnéticas, como infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e gama, encontradas no cotidiano individual, na indústria e nos serviços, investigando fontes e tipos de uso em função de sua frequência, energia e comprimento de onda. Eixo CC.

Investigar radiações com origem nuclear, identificando a radiação gama como onda eletromagnética, as radiações alfa e a beta em sua natureza corpuscular e a variedade de processos que as produzem, eventualmente resultando em transmutação de elementos. Eixos CC e PPI.

Interpretar como o modelo atual dos núcleos atômicos, em termos dos componentes básicos prótons e nêutrons, se sustenta, tendo a força nuclear forte como responsável por sua coesão e a força nuclear fraca como responsável pelo decaimento beta. Eixo CC.

Reconhecer o caráter dual da radiação e da matéria, a um só tempo onda e partícula, e associar tais manifestações complementares à forma com que se dão suas propagações e a suas interações. Eixo CC.

Analisar os vários usos da energia nuclear, em diagnósticos e terapias médicas, gamagrafia industrial, preservação de alimentos, artefatos bélicos e geração de energia elétrica, cotejando benefícios e problemas, como os do descarte de materiais radioativos. Eixo CSCH.

Comparar diferentes modelos explicativos para a constituição da matéria, desenvolvidos ao longo da história, como os modelos de Dalton, Rutherford e Bohr, e esboçar o modelo atual das forças fundamentais em termos de quarks, léptons e bósons mediadores. Eixos CC e CSCH.

Conceber e apresentar procedimentos para investigar a interação matéria-radiação, em função da radio-transparência dos materiais e da frequência da radiação, utilizando modelos científicos e variadas linguagens e recursos de comunicação. Eixo PPI.

Interpretar ou produzir textos fazendo uso de unidades científicas como Hertz, elétron-Volt, sievert ou megaton, para expressar grandezas que caracterizam radiações e outros aspectos e processos do âmbito atômico e nuclear. Eixo LC. (BRASIL, 2016a, p. 610)

Quanto a unidade terra e universo – formação e evolução, temos:

Da gravitação universal que coordena a dança dos corpos celestes, até as hipóteses sobre os primeiros momentos do surgimento das forças e da nucleossíntese primitiva, estuda-se a visão contemporânea do Universo e nele galáxias e estrelas, comparando-se com a herança de cosmologias de outras épocas. O estudo do funcionamento e da evolução de estrelas dá lugar à compreensão da formação de nosso Sistema Solar e à investigação de condições para que surja a vida em outras partes do Universo. (BRASIL, 2016a, p. 591),

na qual são estabelecidos os seguintes objetivos correlacionados aos eixos:

Explicar as interações astronômicas, em diferentes âmbitos, do Sistema Solar ao intergaláctico, utilizando o conhecimento da atração gravitacional para identificar e estimar distâncias, massas, energias e tempos envolvidos. Eixo CC.

Apresentar modelo simplificado da formação e constituição de estrelas, em função da auto-gravitação de nuvens de hidrogênio, das reações de fusão em seu interior e da pressão de radiação resultante que se contrapõe à pressão gravitacional. Eixo CC.

Identificar etapas da evolução de estrelas de diferentes dimensões, estimadas em função de suas cores, brilhos e outras características observáveis e de modelos que interpretam seus comportamentos. Eixos CC e CSCH.

Compreender a origem dos elementos químicos, desde a nucleossíntese primitiva de hidrogênio, hélio e lítio à nucleossíntese que se processa até o Ferro no interior das estrelas e a de elementos mais pesados em supernovas. Eixo CC.

Compreender aspectos básicos do modelo padrão do Big Bang para a formação do Universo, localizando e descrevendo os principais eventos espaço-temporais que o caracterizam e identificando algumas lacunas desse modelo. Eixo CC.

Identificar os eventos associados à exploração do cosmo, relacionando-os a contextos históricos, políticos e socioculturais, como a corrida espacial, a Guerra Fria e a disputa política e econômica entre nações. Eixo CSCH.

Consultar fontes, sistematizar informações e avaliar criticamente as hipóteses científicas e condições para a existência de vida fora da Terra, também exploradas em obras de ficção literária e cinematográfica. Eixos CC, CSCH e PPI.

Comparar modelos explicativos da origem e da constituição do Universo, segundo diferentes épocas e culturas, tais como a cosmologia de povos primitivos, a do mundo grego do geocentrismo ao heliocêntrico. Eixo CSCH.

Produzir textos utilizando unidades cosmológicas, como unidade astronômica, ano-luz e parsec, comparando com as do cotidiano, para estimar distâncias e tempos de percurso da luz de planetas e estrelas e galáxias, avaliando limites de viagens no espaço sideral. Eixo LC. (BRASIL, 2016a, p. 611).

Para o currículo de Química temos os seguintes objetivos em correlação aos eixos, nos quais a FN está relacionada as seguintes unidades curriculares:

Unidade curricular 1 – materiais, propriedades e usos: estudando materiais no dia a dia:

Descrever os tipos de materiais de que objetos são feitos, identificar suas propriedades e usos em situações cotidianas e processos tecnológicos de relevância para a sociedade, associando-os à presença de diferentes substâncias. Eixo CC;

Identificar as propriedades físicas dos materiais e substâncias (temperatura de fusão, temperatura de ebulição, densidade, solubilidade, condutibilidade elétrica, condutibilidade térmica) e relacioná-las a aplicações tecnológicas, como em processos de extração e purificação de substâncias – por exemplo, obtenção do sal de cozinha, a destilação do petróleo – e no emprego de metais para transmissão da eletricidade. Eixos CC e CSCH.

Identificar e investigar as diferentes formas de reutilização, reaproveitamento e reciclagem de materiais utilizados no dia a dia, avaliando o tratamento dado aos resíduos sólidos (lixo) de sua cidade. Eixo CC e CSCH.

Elaborar procedimentos experimentais para separar, identificar e quantificar substâncias presentes em materiais. Eixos CC, CSCH e PPI.

Buscar informações e representar dados referentes às propriedades físicas e a mudanças de estado físico dos materiais, por meio de gráficos e tabelas e outras tecnologias de informação e comunicação. Eixo LC. (BRASIL, 2016a, p. 614)

Unidade curricular 2 – Transformações dos materiais na natureza e no sistema produtivo: como reconhecer reações químicas, representá-las e interpretá-las:

Investigar a produção de materiais e sua utilização em vários setores da sociedade e da vida cotidiana, identificando impactos ambientais e propondo medidas para a redução do consumo e do desperdício. Eixos CC, CSCH e PPI. (BRASIL, 2016a, p. 615)

Unidade curricular 3 – modelos atômicos e moleculares e suas relações com evidências empíricas e propriedades dos materiais:

Identificar a periodicidade de certas propriedades dos elementos químicos e reconhecer a importância da tabela periódica para a sistematização e previsão de propriedades periódicas da matéria, comparando princípios de sua organização ao longo do tempo e relacionando essas propriedades a aplicações práticas. Eixos CC e LC.

Compreender as ideias de Rutherford e de Bohr para explicar a estrutura da matéria, destacando o contexto histórico e as evidências que justificam os modelos propostos. Eixos CC e CSCH.

Interpretar o modelo atômico de Rutherford-Bohr e relacioná-lo com a tabela periódica, destacando as evidências da existência do elétron e do núcleo atômico e as evidências que sustentam o modelo de níveis de energia. Eixo CC e PPI.

Investigar as relações entre as propriedades de materiais naturais, os usos orientados pelas tradições populares e a possibilidade de sua produção sintética, a partir de modelos das suas estruturas. Eixo CC e PPI. (BRASIL, 2016a, p. 617)

Unidade curricular 4 – energia nas transformações químicas: produzindo, armazenando e transportando energia pelo planeta:

Investigar, a partir de fontes de informação, a energia envolvida em reações de combustão de combustíveis, relacionando-a com diferentes tipos de combustíveis utilizados em processos produtivos e no cotidiano das pessoas. Eixos CSCH e PPI.

Avaliar o impacto ambiental gerado pelo uso de combustíveis fósseis, biocombustíveis e fontes alternativas de energia, considerando parâmetros, como a energia de combustão, geração de gás carbônico e de outras substâncias, eficiência energética, processo de produção do combustível; analisar o consumo desigual de energia por diferentes países e fenômenos como o efeito estufa e o aquecimento global. Eixo CSCH e PPI. (BRASIL, 2016a, p. 618)

Unidade curricular 5 - A Química de sistemas naturais: qualidade de vida e ambiente:

Identificar parâmetros de qualidade do ar e avaliar a poluição do ar atmosférico em áreas industriais e urbanas, propondo ações para melhoria da qualidade do ar em contextos urbanos. Eixos CC, PPI e CSCH.

Identificar parâmetros de qualidade do ar e avaliar a poluição do ar atmosférico em áreas industriais e urbanas, propondo ações para melhoria da qualidade do ar em contextos urbanos. Eixos CC, PPI e CSCH.

Elaborar comunicações e produzir mídias sobre problemas ambientais estudados, usando argumentos científicos para apontar causas e sugerir ações, visando o esclarecimento da população. Eixo LC. (BRASIL, 2016a, p. 619)

Unidade curricular 6 – Obtenção de materiais seus benefícios e seus impactos ambientais:

Avaliar a atividade mineradora no Brasil e seus impactos ambientais, analisando custos e benefícios dessa atividade produtiva a partir de argumentos científicos, sociais, econômicos e ambientais. Eixo CSCH. (BRASIL, 2016a, p. 620)

Portanto, os documentos oficiais nos mostram quais objetivos devem ser alcançados no Ensino Médio. A formação em FN dos licenciados em Física e Química deve prepará-los para contemplar tais objetivos. No entanto, os objetivos apresentados nas disciplinas que tratam do tema FN, mostra que, por ora, isto não está ocorrendo, o que torna imperativo a busca de uma nova dimensão epistemológica para o ensino de Física e Química, mais especificamente na área de FN.

2.2 INFLUÊNCIA CURRICULAR NO ENSINO DE FN NOS CURSOS DE FÍSICA COM PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA COM CONCEITO 7 NO CAPES

Os principais centros de pesquisa em Física, de um modo geral, sempre são referências para as demais instituições que atuam nas áreas respectivas, seja pela excelência de seu corpo docente, seja pelo impacto de suas publicações ou pela formação dos seus egressos dos programas de pós-graduação ou dos cursos de graduação. Deste modo, é importante analisarmos como o tema FN vem sendo implantado nestas instituições.

De acordo com o CAPES (2017) temos 8 (oito) instituições com Programas de Pós-Graduação com conceito 7, são elas: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF, Instituto de Física Teórica da UNESP – IFT/UNESP, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Universidade de São Paulo – USP, Universidade de São Paulo em São Carlos – USP SC, sendo que o CBPF e IFT/UNESP não possuem cursos de graduação.

Para a análise de como procede o Ensino de FN nos cursos de Física destas instituições, acessamos a página de cada um destes cursos, no período de janeiro a março de 2017. Os dados obtidos são mostrados no Quadro 1.

Na primeira coluna são apresentadas as IES e o curso; na segunda coluna as disciplinas obrigatórias do tema FN; na terceira coluna as cargas horárias semestrais das disciplinas da coluna 2; na quarta coluna são apresentadas as disciplinas optativas/eletivas; na quinta coluna, as cargas horárias semestrais das disciplinas da coluna 4 e, por fim, na sexta coluna temos as disciplinas que apresentam algum tópico de FN.

Quadro 1 - A oferta de FN nos Curso de Física das universidades brasileiras com PG com conceito 7 do CAPES.

(continua)

Instituição Curso	Disciplina Obrigatória	Carga Horária (horas)	Disciplina Optativa/Eletiva	Carga Horária (horas)	Disciplina com algum tópico de FN
UFMG Bacharelado em Física	FIS147 - Fundamentos de Física Nuclear e de Partículas	30	FIS042-Introdução à Física de Partículas	60	-
UFMG Licenciatura em Física	-	-	FIS147 - Fundamentos de Física Nuclear e de Partículas	30	-
			FIS042 - Introdução à Física de Partículas	60	

Quadro 1 - A oferta de FN nos Curso de Física das universidades brasileiras com PG com conceito 7 do CAPES.

(continuação)

Instituição Curso	Disciplina Obrigatória	Carga Horária (horas)	Disciplina Optativa/Eletiva	Carga Horária (horas)	Disciplina com algum tópico de FN
UNICAMP Bacharelado em Física	F887 - Física Nuclear	60	F885 - Partículas Elementares e Campos	60	F429 - Física Experimental IV - introdução à física atômica e nuclear
					F428 Física Geral IV - Física Nuclear, Quarks, Léptons, e o Big-Bang
					F091 -Tópicos em Física, Raios Cósmicos e Partículas Elementares
UNICAMP Licenciatura em Física	-		-		F429 - Física Experimental IV - introdução à física atômica e nuclear
					F428 Física Geral IV - Física Nuclear, Quarks, Léptons, e o Big-Bang
					F489 -Estrutura de Matéria II - Modelos Nucleares. Partículas elementares.
USP SP Bacharelado em Física	-		4300360 Técnicas Experimentais em Física de Partículas Elementares	60	4300436 Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes
			4302360 Aceleradores de Partículas: Fundamentos e Aplicações	60	AGG0207 Técnicas Nucleares Aplicadas às Geociências e Meio Ambiente
			4300326 Introdução à Física de Plasmas e Fusão Nuclear	60	AGG0460 Geofísica Nuclear
			4300406 Introdução à Física Nuclear	60	
			4300437 Física das Radiações I	90	
			4305106 Física de Partículas Elementares	90	
			4305107 Introdução à Teoria Quântica de Campos I	60	
			4305300 Introdução à Física de Hádrons	90	
			4300412 Física Nuclear de Altas Energias	60	
			4300422 Introdução à Física de Partículas Elementares	60	
			4300438 Física das Radiações II	90	

Quadro 1 - A oferta de FN nos Curso de Física das universidades brasileiras com PG com conceito 7 do CAPES.

(continuação)

Instituição Curso	Disciplina Obrigatória	Carga Horária (horas)	Disciplina Optativa/Eletiva	Carga Horária (horas)	Disciplina com algum tópico de FN
			4305828 Introdução à Teoria Quântica de Campos II	60	
USP SP Licenciatura em Física	-		4300436 Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes	60	4300376 Física Moderna II
			4302360 Aceleradores de Partículas: Fundamentos e Aplicações	60	4300377 Laboratório de Física Moderna
					4300454 Tópicos de História da Física Moderna
					AGA0315 Astrofísica de Altas Energias
USP SC Bacharelado Teórico-Experimental	-		FCI0265 - Introdução à Física de Partículas e Campos	60	-
			7600071 - Introdução à Física Nuclear e de Hádrons	75	
USP SC Bacharelado Ciências Físicas e Moleculares	-		FCI0793 - Métodos de Imagem por Ressonância Magnética	60	-
			FCI0796 - Ressonância Magnética Nuclear Aplicada ao Estudo de Biomoléculas	60	
USP SC Bacharelado Física Computacional	-		FCI0265 - Introdução à Física de Partículas e Campos	60	-
USP SC Licenciatura em Física	-		-		-
UFRGS Bacharelado Astrofísica	FIS01214 – Física Nuclear e de Partículas A	60	QUI 03324 –Química Nuclear e Radioquímica	60	FISO1263 - Física Geral IV – A
UFRGS Bacharelado Física Computacional	-		FIS01214 Física Nuclear e de Partículas	60	FISO1263 Física Geral IV A
UFRGS Bacharelado Materiais e Nanotecnologia	-		FIS01214 –Física Nuclear e de Partículas A	60	FISO1263 - Física Geral IV – A
			QUI 03324 –Química Nuclear e Radioquímica	60	

Quadro 1 - A oferta de FN nos Curso de Física das universidades brasileiras com PG com conceito 7 do CAPES.

(conclusão)

Instituição Curso	Disciplina Obrigatória	Carga Horária (horas)	Disciplina Optativa/Eletiva	Carga Horária (horas)	Disciplina com algum tópico de FN
UFRGS Bacharelado Física: Pesquisa Básica	FIS01214 –Física Nuclear e de Partículas A	60	QUI 03324 – Química Nuclear e Radioquímica	60	FISO1263 -Física Geral IV – A
UFRGS Licenciatura em Física	-		-		FIS01263 -Física Geral IV – A
					FIS01057 A -Física do Século XX – B
					FIS01139 -Física Aplicada II-A
					FIS01032 SEMINÁRIOS SOBRE TÓP. ESP. EM FG. III
UFRJ Bacharelado em Física	FIW477 Física Nuclear e de Partículas Elementares	60	FIN481 Física Nuclear	75	FIW368 Física das Radiações II
			FIN482 Física das Radiações	75	
UFRJ Bacharelado em Física Médica	FIN482 Física das Radiações	75	-		FIN242 Física Moderna I
					CFB352 Radiologia e Fotobiologia
					FIW368 Física das Radiações II
UFRJ Licenciatura em Física	-	-	-	-	-

Fonte: dados obtidos das páginas dos referidos cursos.

A análise direta do Quadro 1 nos mostra que a disciplina de FN não é obrigatória em nenhum dos cursos de licenciatura das IES de maior nível CAPES apresentados. Nos cursos de bacharelado, a disciplina FN é obrigatória na UFMG (30 horas), UNICAMP (60 horas), UFRGS (60 horas nos bacharelados em Astrofísica e Física: Pesquisa Básica, e optativa nos demais bacharelados), UFRJ (60 horas, bacharelado em Física) e surpreendentemente não é obrigatória em nenhum curso, tanto da USP-SP quanto da USP-SC, onde apenas disciplinas optativas ou eletivas sobre o tema são disponibilizadas.

Outro ponto que procuramos observar, em relação às disciplinas apresentadas no Quadro 1, foi quanto à sua classificação curricular, os objetivos a serem alcançados e a bibliografia sugerida. Estes dados são apresentados no Quadro 2.

Na primeira coluna são apresentadas as IES e o curso; na segunda coluna as disciplinas identificadas pelo código; na terceira coluna a classificação curricular, denotado por OB se a disciplina é obrigatória e por OP se é optativa/eletiva; a quarta coluna apresenta uma seleção em 3 categorias em relação aos objetivos epistemológicos de cada disciplina, conforme descritos nos sites dos referidos cursos de cada instituição.

A referida categorização considerou se os objetivos apresentados são puramente técnicos/científicos e se relacionam apenas com o eixo Conhecimento Conceitual (CC), denotado pelo algarismo 1, se apresentam correlação com os eixos Processos e Práticas de Investigação (PPI), Contextualização Social, Cultural e Histórica (CSCH) e Linguagem das Ciências (LC) (BRASIL, 2016a, p. 586-589), denotado pelo algarismo 2 e, se não são apresentados os objetivos, denotado pelo algarismo 3. Todas estas disciplinas são referentes a FN ou FN e de Partículas. As disciplinas que só possuem tópicos de FN são denotadas por TFN. Por fim, a última coluna do quadro mostra se a bibliografia está disponível no site do Curso, denotado pela letra D, ou se não está disponível no site do curso, denotado pelas letras ND.

Quadro 2 - Quanto aos objetivos, habilidades e competências das disciplinas e bibliografia.

(continua)

Curso/Instituição	Disciplina	Classificação Curricular	Categorização dos objetivos	Bibliografia
UFMG/Bacharelado em Física	FIS147	OB	3	ND
	FIS042	OP	1	ND
UFMG/Licenciatura em Física	FIS147	OP	3	ND
	FIS042	OP	1	ND
UNICAMP/Bacharelado em Física	F887	OB	3	ND
	F885	OP	3	ND
	F429	OB/TFN	3	ND
	F428	OB/TFN	3	ND
	F091	OP/TFN	3	ND
	F489	OB/TFN	3	ND
USP/Bacharelado em Física	4300360	OP	1	D
	4300436	OP/TFN	1	D
	4302360	OP	1	D
	AGG0207	OP/TFN	1	D
	4300326	OP	1	D
	AGG0460	OP/TFN	1	D
	4300406	OP	1	D
	4300437	OP	1	D
	4305106	OP	1	D
	4305107	OP	1	D
	4305300	OP	1	D
	4300412	OP	1	D

Quadro 2 - Quanto aos objetivos, habilidades e competências das disciplinas e bibliografia.

(continuação)

Curso/Instituição	Disciplina	Classificação Curricular	Categorização dos objetivos	Bibliografia
	4300422	OP	1	D
	4300438	OP	1	D
	4305828	OP	1	D
USP / Licenciatura em Física	4300376	OB/TFN	1	D
	4300377	OB/TFN	1	D
	4300436	OP	1	D
	4300454	OP/TFN	1	D
	4302360	OP	1	D
	AGA0315	OP/TFN	1	D
USP SC / Bacharelado Teórico Experimental	FCI0265	OP	1	D
	7600071	OP	1	D
USP SC / Bacharelado Ciências Físicas e Moleculares	FCI0793	OP	1	D
	FCI0796	OP	1	D
USP SC / Bacharelado Física Computacional	FCI0265	OP	1	D
USP SC / Licenciatura em Física	-	-	1	D
UFGRS / Bacharelado Astrofísica	FIS01214	OB	3	ND
	QUI 03324	OP	3	ND
	FISO1263	OB/TFN	3	ND
UFGRS / Bacharelado Física Computacional	FIS01263	OB/TFN	3	ND
	FIS01214	OP	3	ND
UFRGS / Bacharelado Materiais e Nanotecnologia	FIS01263	OB/TFN	3	ND
	FIS01214	OP	3	ND
	QUI 03324	OP	3	ND
UFRGS / Bacharelado Física: Pesquisa Básica	FIS01263	OB/TFN	3	ND
	FIS01214	OB	3	ND
	QUI 03324	OP	3	ND
UFRGS / Licenciatura em Física	FIS01263	OB/TFN	3	ND
	FIS01057	OB/TFN	3	ND
	FIS01139	OB/TFN	3	ND
	FIS01032	OB/TFN	3	ND
UFRJ / Bacharelado em Física	FIW477	OB	3	ND
	FIN481	OP	3	ND
	FIN482	OP	3	ND
	FIW368	OP/TFN	3	ND

Quadro 2 - Quanto aos objetivos, habilidades e competências das disciplinas e bibliografia.

Curso/Instituição	Disciplina	Classificação Curricular	Categorização dos objetivos	(conclusão)
				Bibliografia
UFRJ / Bacharelado em Física Médica	FIN482	OB	3	ND
	FIN242	OB/TFN	3	ND
	CFB352	OB/TFN	3	ND
	FIW368	OB/TFN	3	ND
UFRJ / Licenciatura em Física	-	-	-	-

OB – obrigatória; OP – optativa/eletiva; TFN – tópico de FN; 1 – objetivos exclusivamente técnico/científicas – eixo CC; 2 – objetivos técnico/científicas eixo CC mais eixos PPI e/ou CHSC e/ou LC; 3 – Não fornecido. ND – Não Disponível; D – Disponível na página do curso.

Um aspecto importante analisado nestes dados é que, praticamente em todas as instituições/cursos, a bibliografia, para cada disciplina, não é apresentada nas páginas dos cursos, conforme mostrado na última coluna do Quadro 2. Assim sendo, cada docente pode escolher livremente a bibliografia e o nível em que cada tópico de cada disciplina será tratado. Portanto, podemos afirmar que o programa das disciplinas, como um todo, é definido, mas não podemos afirmar que cada tópico é apresentado de uma forma padronizada, pelo menos no que tange a bibliografia utilizada pelas instituições.

O principal dado que o Quadro 2 mostra é que nenhum dos Cursos de Física de instituições que possuem programa de pós-graduação com conceito 7, relaciona os objetivos epistemológicos da componente curricular FN com os previstos na BNCC, através dos eixos CC, CSHC, PPI e LC.

Com base nestes resultados, estamos convencidos de que os cursos destas referidas IES não servem de parâmetro para o Ensino de FN dentro do que acreditamos ser necessário para satisfazer os aspectos relacionados à legislação, pelo menos neste aspecto em particular.

2.3 A FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO

A Física Moderna e Contemporânea e sua inserção no Ensino Médio é tema de pesquisas desde o final da década de 70. De acordo com Osterman e Moreira (2000) “[...] há escassez de trabalhos sobre concepções alternativas de estudantes acerca de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), bem como de pesquisas que relatem propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem”. Atualmente, diversas propostas são encontradas em periódicos científicos, teses e dissertações e em anais de congressos e simpósios. Particularmente para o tema FN, encontramos recentes publicações que tratam a FN

a partir de abordagens diversas de algum tema em especial. Como exemplo temos Araújo (2013) que trabalha a energia nuclear e a radioatividade sobre o olhar dos acidentes nucleares, Maia (2011) discute a abordagem do modelo padrão, um conjunto limitado de temas e “[...] atividades planejadas pelo docente da escola média, licenciandos e pesquisadores, que foram produzidas e aplicadas em sala de aula” (SHIINO *et al.*, 2013), Martins (2010) utiliza-se de atividade lúdicas para tratar o tema FN em sala de aula, Peron e Andrade (2016) propõem simulações computacionais para o estudo de modelos atômicos e para as radiações alfa, beta e gama, enquanto experimentos de baixo custo são utilizados por Basso (2017).

Entretanto, o ensino de Física Nuclear dificilmente é apresentado no Ensino Médio, e ainda sendo, muitas vezes, está associado ao ensino de química pois era tradição o tema, ou alguns assuntos, serem encontrados nos livros desta área. Em recente trabalho Tenório *et al.* (2015) examinaram 27 livros didáticos e analisando as abordagens dos temas energia nuclear e radiação e verificaram que os conteúdos de FN são apresentados de maneira desigual, sendo que muitos destes livros não tinham um único capítulo de FN, e destaca que:

Poucas obras foram consideradas satisfatórias no tratamento da maioria dos aspectos científicos, tecnológicos, políticos, históricos e sociais da ciência nuclear. No geral, o tema parece estigmatizado pelo terror da guerra fria e dos grandes acidentes. (Tenório *et al.*, 2015, p.1)

Já Cavalcante e Martins (2013) avaliaram as obras do PNLD 2012 e destacaram algumas evoluções do tema energia nuclear a partir de uma análise detalhada em cada obra, embora não façam uma análise geral sobre a FN. Peron e Andrade (2016) analisaram 14 livros do PNLD sendo que,

os critérios adotados foram apenas em relação aos conteúdos de Física Nuclear, se são abordados, como são abordados, se há contextualização científica e histórica, além de uma questão não menos importante, que trata da dimensão dada a tais conteúdos e sua localização na organização do livro. (p. 3)

Estes autores destacam, na mesma página, que, em relação a estes livros, “com exceção de apenas um, todos os demais são semelhantes”, e que:

Apesar de vários autores se mostrarem favoráveis a abordagem de Física Nuclear no Ensino Médio, em treze livros, tais conteúdos são apresentados na última unidade do volume 3 da coleção. Além disso, também em sua maioria, ocupam o último capítulo do livro. (p. 3)

Desta forma, apenas um livro foi considerado aprovado.

Soma-se a isto, o fato de muitas vezes os professores destacarem a falta de tempo, descrédito quanto à capacidade dos alunos aprenderem o tema e a própria falta de preparo para tratar de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, conforme (MONTEIRO *et al.*, 2010, p. 150) e (ARAÚJO, 2013, p. 46).

Na atualidade, existem 12 coleções disponíveis no portal do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) para o PNLD2018 (FNDE, 2017). Tivemos acesso à

10 coleções, sendo que apenas duas coleções não apresentam o tema FN. As coleções estão listadas abaixo, com destaque para as unidades ou capítulos relacionados à FN.

- GUIMARÃES, O; PIQUEIRA, J. P.; CARRON, W. **Física**. 2. ed. Ed. Ática. 2016
Unidade IV – O muito pequeno e o muito grande
Os pilares da Física Moderna; Física Nuclear; Cosmologia e Partículas Elementares.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B.; GUIMARÃES, C. **FÍSICA: contexto & aplicações**. 2. ed. Ed. Scipione. 2016.
Unidade 4 - Física contemporânea
Teoria da relatividade e Física Quântica. Obs. FN – não consta.
- VÁLIO *et al.* . **SER PROTAGONISTA – FÍSICA**. 3. ed. Ed. SM. 2016
Unidade 3. Física moderna
A Física do “muito pequeno”; A Física do “muito grande”.
- KAZUHITO, Y.; FUKE, L. F. **Física para o ensino médio**. 4. ed. Saraiva Educação. 2016
Unidade IV - Física Moderna
Teorias da Relatividade; Teoria Quântica; Física Nuclear.
Obs: Detectores de partículas: a câmara de bolhas.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física**. 3. ed. Ed saraiva Educação. 2016.
Unidade IV: Física Moderna
Noções de Física Quântica; Mais de Física Moderna: Relatividade e outras noções. FN – não consta.
- FILHO, A. G.;TOSCANO, C. **FÍSICA: interação e tecnologia**.
Tópicos de Física Moderna. Obs: Não tivemos acesso.
- BARRETO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula**. 3. ed. Ed. FTD. 2016.
Unidade 5 - Física Moderna e Contemporânea
Teoria da Relatividade restrita; Física Quântica; Física Nuclear.
- BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; PRADO, E. P.; CASEMIRO, R. **Física**. 3. ed. Ed. FTD. 2016.
Unidade IV – Física Moderna
Teoria da Relatividade Restrita; Física Quântica; Radioatividade.
- POGIBIN, A.; PIETROCOLA, M.; ANDRADE, R. ROMERO, T. R. **Física em contextos**. 1. ed. Ed. Brasil

Unidade 3 - Radiação e matéria

A natureza da luz; Estrutura da matéria; Partículas elementares.

- TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; PENTEADO, P. C. M. **Física: ciência e tecnologia**. 4. ed. Ed. Moderna. 2016.

Unidade II - Física Moderna e Contemporânea

Relatividade especial; Física Quântica; Física Nuclear; Tecnologia das comunicações.

- SANT'ANNA, B.; MARTINI, G.; REIS, H. C.; SPINELLI, W. **Conexões com a Física**. 3. ed. Ed. Moderna. 2016.

Unidade 4 – Questões de Física do século XXI

A teoria da relatividade restrita; Elementos da Mecânica Quântica; Desafios da Física no século XXI. Obs: não tivemos acesso.

Numa análise preliminar, pois ainda não tivemos acesso a todas as coleções, constatamos que os textos apresentam desde definições fundamentais, como a composição do núcleo em termos de prótons e nêutrons, até tópicos como modelo padrão, evolução estelar, matéria escura, além de citar aplicações como datação radiativa, radiação de alimentos e Positron Emission Tomography (PET). Contudo, a contextualização social, política e econômica, requerida nas DCNs e BNCC, parece-nos muito aquém dos objetivos requeridos, fato este também constatado nos PNLD anteriores, conforme Cavalcante e Martins (2013) e Peron e Andrade (2016).

A partir da análise recente de Monteiro (2010) e Araújo (2013), as dificuldades apontadas pelos professores do Ensino Médio, em um estudo de caso, quanto a sua formação para bordar o tema FN, coloca uma questão: os professores de Física do Ensino Médio, em geral, estão preparados para tratar o tema FN na abrangência e no contexto que se faz necessário? Em outras palavras, o professor, no seu curso de licenciatura, adquiriu formação científica suficiente e viveu as experiências de aprendizagem no exercício de contextualização, discussão e opinião, que lhe são requeridas e que hora lhe cabe fazer seus alunos do ensino médio, dentro de suas capacidades, vivenciarem? Embora a resposta seja importante, ela não faz parte do escopo deste trabalho, mas certamente merece atenção.

Portanto, nossa pesquisa da estrutura curricular na área específica de FN, apresentada neste capítulo, mostra claramente que as competências essenciais e as habilidades essenciais requeridas para a formação dos licenciados e bacharéis em Física e licenciados em Química, não são trabalhadas em sua plenitude. Em relação aos licenciados, essa deficiência formativa se reflete não somente na carência ou incompletude literária dos livros didáticos do Ensino

Médio em relação a Física Moderna e Contemporânea, onde o tema Física Nuclear carece de especificidade e contextualização, mas também se reflete na falta de suporte, por parte do professor, para sanar, ele próprio, com seu próprio conhecimento, quando necessário, essa carência, a fim de que seus alunos possam atingir os objetivos propostos, definidos nos eixos da BNCC. Portanto, assim como para os licenciados, as competências requeridas para a formação dos estudantes do Ensino Médio, no que diz respeito a esta subárea em particular, jamais serão alcançadas sem uma reestruturação da componente curricular FN dos Cursos de Licenciatura em Física e Química.

3 OS PRESSUPOSTOS E A CONSTRUÇÃO DA CATEGORIZAÇÃO DOS ASPECTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS

No capítulo anterior, discutimos a necessidade de reestruturação do Ensino de FN para os Cursos de Física e para os Cursos de Licenciatura em Química. Neste capítulo apresentamos os pressupostos para esta reestruturação, a categorização dos tópicos que devem ser implantados de acordo com a nossa proposta e a justificativa para estas inserções.

3.1 PROCESSOS HISTÓRICOS CONSTRUTIVOS

Para determinar quais os aspectos e fundamentos político-econômicos que deveriam ser considerados para a elaboração de uma proposta para o Ensino de FN, devemos levar em consideração vários pontos importantes.

O primeiro ponto que devemos observar, por se tratar de uma proposta para o ensino superior, é a autonomia universitária.

De acordo com Otranto (2004), a autonomia universitária é uma construção coletiva, a partir da ação conjunta entre professores, técnicos administrativos e alunos e que as principais conquistas universitárias geralmente ocorrem a partir desta ação conjunta. Para o caso específico de uma proposta de ensino, em algum momento, dentro de uma visão de construção coletiva, os alunos deverão contribuir na construção e na execução da mesma, ou seja, a proposta deve deixar espaço para a atuação discente.

O segundo ponto é que a proposta deve contemplar a legislação vigente, discutida no capítulo 2. Contudo deve-se observar que existem vários pontos interpretativos na legislação, de modo que, muitas vezes, a interpretação que será aplicada é a dos atores no processo.

O terceiro ponto é o aspecto científico/tecnológico.

O quarto ponto é a contextualização com o processo histórico e a realidade social, econômica e política atual e do futuro próximo, apresentando uma visão do que acontece no País e no mundo e como o tema FN se insere neste contexto.

Sem dúvida, dentre estes, o ponto mais difícil é a contextualização da FN com o processo histórico e a realidade social, econômica e política atual, com foco nas questões nacionais e, de algum modo, internacionais. Para isto, pesquisamos a partir de artigos científicos em periódicos da área de educação/ensino, publicações acadêmicas como o Caderno Energia da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2016), anais de conferências/simpósios como Simpósio em Relações Internacionais do Programa de Pós-Graduação em Relações Internacionais San

Tiago Dantas (UNESP, UNICAMP e PUC-SP), onde destacamos: (BASSALO; JUNIOR, 2003), (CASTELAN, 2007), (SILVA, Helder, 2007), (OLIVEIRA, 2009), (SILVA, Marcos, 2009), (CORRÊA, 2009), (ANDRADE, 2011), (SOUZA, 2011) e periódicos de divulgação sobre o tema como Brasil Nuclear (BRASIL NUCLEAR, 2012a; 2012b; 2013a; 2013b; 2014a; 2014b; 2015), um Informativo da ABEN publicado anualmente, livros como Uma História da Física Nuclear no Brasil (Leite Lopes, 2004) e O Modelo ABACC: Um Marco no Desenvolvimento das Relações entre Brasil e Argentina (CANTO, 2016) e documentos governamentais importantes para a FN como a Instalação do Conselho Superior de Política Nuclear (BRASIL, 1989), o Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007), o Plano Nacional de Mineração 2030 (BRASIL, 2011), Política Nacional de Defesa/Estratégia Nacional de Defesa (BRASIL, 2012b) e o Plano Plurianual da União 2016-2019 (BRASIL, 2016b), nas publicações do Centro de Estudos e Pesquisas – BRICS: (HERZ; LAGE, 2013) e (DAWOOD; HERZ; LAGE, 2015). A partir destas publicações categorizamos quais tópicos eram mais enfatizados. Desta forma selecionamos os seguintes tópicos, que passam a ser discutidos nas seções que seguem.

3.2 O PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO

Um dos problemas atuais da FN do Brasil é a necessidade de reestruturar, na verdade estruturar, o Programa Nuclear Brasileiro (PNB), como uma política de Estado, e não uma política de governo, voltada para o desenvolvimento sustentável. De acordo com o diretor Isaac José Obadia (OBADIA, 2015), da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento do CNEN (P&D/CNEN), apesar de ser muito referenciado pelos profissionais da área nuclear, o PNB não existe como um documento consolidado e aprovado formalmente, entretanto, este programa pode ser entendido como sendo a composição dos seguintes programas setoriais:

- Programa de Geração Termonuclear: onde atuam o Ministério de Minas e Energia (MME) através das empresas Eletrobrás e Eletronuclear, o Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI) através das Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e Ministério da Defesa (MD) através do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP).
- Programa de Aplicações Sociais: com atuação do MCTI através da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).
- Programas de Formação de Pessoal: sob a atuação CNEN e MEC através das Universidades.
- Programa de Defesa: com atuação do MD através do CTMSP e do MCTI através da empresa Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (Nuclep).

•Programa de Regulação das Atividades Nucleares: onde atuam o MCTI através do CNEN sob a orientação da Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear (DRS).

O editorial da Brasil Nuclear (BRASIL NUCLEAR, 2015, p. 3), informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear, escreve:

[...] é necessário reestruturar o Programa Nuclear Brasileiro, dando-lhe poder de planejar e coordenar o desenvolvimento do setor. Embora não tenha sido interrompido, o PNB carece de uma ação de coordenação mais integrada. As atividades nucleares estão alocadas em dois ministérios e sujeitas às prioridades específicas de cada um: a pasta das Minas e Energia é responsável, através da Eletrobras/Eletronuclear, pela construção e operação das usinas; já a da Ciência e Tecnologia e Inovação, pela produção do combustível nuclear, através da INB, pela montagem de equipamentos pesados para as centrais de potência, através da Nuclep, e pelas atividades de pesquisa e de licenciamento, a cargo da CNEN. No entanto, todas essas áreas são interdependentes – não é possível, por exemplo, implantar novas usinas sem equacionar todas as etapas do ciclo do combustível, é preciso que sejam coordenadas de forma integrada.

Um dos pontos cruciais no PNB é o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) em que o editorial destaca:

Um dos pontos centrais do PNB é o projeto do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), que garantirá ao país a autonomia na produção de radioisótopos de uso médico e industrial, além de ser utilizado no desenvolvimento de novos materiais, treinamento de operadores de reatores, desenvolvimento da pesquisa científica, desenvolvimento do elemento combustível e de outras tecnologias utilizadas pela indústria de geração de energia.

E finaliza advertindo:

A criação de um projeto direcionado à fixação dos recursos humanos que estão sendo formados, tanto na área de geração de energia como da pesquisa e desenvolvimento, também integra o PNB. [...] um exemplo da inexistência de um processo de planejamento estratégico para o setor é a necessidade de reposição do quadro de engenheiros nucleares e de pesquisadores que vêm se aposentando por idade nos últimos anos. Por exemplo, até o final de 2015, o setor deixará de contar com centenas de técnicos experientes, que estão se desligando compulsoriamente ... sem que possam treinar a nova geração que deverá substituí-los.

Algo que certamente se agravará, com a ausência da componente curricular FN nos currículos regulares dos Cursos de Física e Química.

Outros projetos importantes são o projeto Repositório de Baixo e Médio Nível de Radiação – RBMN e o Laboratório de Fusão Nuclear – LFN. Quanto ao RBMN, na página de Eletronuclear temos:

O cronograma inicial para o projeto RBMN (Repositório de Rejeitos Baixo e Médio Níveis de Radiação), sob a responsabilidade da CNEN, foi elaborado para atender a uma exigência do Ibama no licenciamento ambiental da usina de Angra 3. Esta exigência estabelecia que o repositório deveria estar em processo de licenciamento junto ao Ibama antes de ser concedida a licença de operação à usina.

Na ocasião, o cronograma de construção da usina previa a sua entrada em operação para 2015 e, como consequência, o cronograma de construção do RBMN foi elaborado com esta compatibilidade.

A última revisão do cronograma da construção de Angra 3 postergou o início de sua operação para 2018, o que acarretou o ajuste adequado no cronograma do projeto

RBMN. A previsão atual da sua entrada em operação é para o ano de 2020.<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/Temasgeraisrejeitos.aspx>

Quanto ao LFN, a última informação é de que este funcionará provisoriamente nas instalações do Experimento Tokamak Esférico, junto ao Laboratório Associado de Plasma do INPE. As atividades em fusão nuclear do INPE deverão ser transferidas para o CNEN quando concluídas as instalações da sede definitiva do Laboratório de Fusão Nuclear em planejamento, para ser edificada junto ao empreendimento do Reator Multipropósito Brasileiro, no município de Iperó (SP).

3.3 O PROJETO REATOR DE MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO

O reator será construído no município paulista de Iperó, a 130 quilômetros de São Paulo, junto ao Centro Experimental de Aramar, da Marinha, onde é desenvolvido o protótipo do submarino nuclear brasileiro. No total, o empreendimento contará com uma área de mais de 2 milhões de metros quadrados, transformando o local no principal polo de tecnologia nuclear do país, pois terá dois reatores nucleares: o de pesquisa, RMB, e o de teste, LABGENE – Laboratório de Geração Nucleoelétrica, que será utilizado para validar as condições de projeto do submarino nuclear e ensaiar todas as condições de operação possíveis para uma planta de propulsão nuclear, e toda uma importante infraestrutura laboratorial de tecnologia nuclear. O RMB terá 30 megawatts de potência e capacidade de atender à demanda nacional em todos esses setores. “O RMB tem por objetivo dotar o país de uma infraestrutura estratégica de suporte ao desenvolvimento autônomo de atividades do setor nuclear”, explica José Augusto Perrotta em (GUARDIA, 2013, p. 8), assessor da Presidência da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e coordenador-técnico da implantação do empreendimento. A necessidade de construção de um reator multipropósito ganhou mais visibilidade com a crise vivida pelo setor de saúde entre 2009 e 2010, quando uma parada sofrida pelo reator nuclear canadense National Research Universal (NRU), responsável pelo atendimento de mais de 30% da demanda mundial de molibdênio-99, gerou o primeiro grande desabastecimento internacional na indústria da saúde.

O RMB tem múltiplas finalidades agrupadas em três funções básicas. A primeira será a produção de substâncias para a Medicina Nuclear, ou seja, para a saúde ou para aplicações industriais, como a gamagrafia, e também para usos gerais em meio ambiente e agricultura, por meio de traçadores nucleares.

A segunda função será criar capacidade nacional para testar e qualificar materiais e combustíveis nucleares, gerando conhecimento e segurança em projetos com reatores de potência, tanto para a geração de energia quanto para a propulsão naval, e, por fim, facilitará a instalação de um laboratório nacional de pesquisas com feixes de nêutrons, uma espécie de complemento ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, o LNLS, em Campinas, onde trabalham com radiação eletromagnética vinda de um acelerador de elétrons, enquanto o RMB extrairá nêutrons para fazer a mesma análise de materiais, mas por outro caminho. Estas informações constam em (GUARDIA, 2013) e no site do MCTI (BRASIL, 2016c).

3.4 RESERVAS ESTRATÉGICAS DE URÂNIO NO BRASIL

As reservas nacionais de urânio são outro ponto de interesse comum aos diversos setores pesquisados acima. Sob o aspecto geológico podemos chamar de minério de urânio toda a concentração natural de minérios em que o urânio esteja presente em proporções e condições que permitam sua exploração econômica, de acordo com Heider (2009. p.71), considerando que o quilograma de urânio pode ser obtido a US\$ 130,00.

As reservas mundiais se distribuem conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Produção de urânio

País	Quantidade (mil toneladas)	Participação 2007	2005	1995
Austrália	1243	23,00 %	24,00 %	29,00 %
Cazaquistão	817	15,00 %	17,00 %	18,00 %
Rússia	546	10,00 %	-	
África do Sul	435	8,00 %	7,00 %	9,00 %
Canadá	423	7,00 %	9,00 %	11,00 %
EUA	342	6,00 %	7,00 %	4,00 %
Brasil	309	5,60 %	-	
Total Mundo	5.469			

Fonte: (HEIDER, 2009. p.71),

Como podemos observar, com 309 mil toneladas de U_3O_8 (óxido de triurânio), oriundos basicamente da Bahia e do Ceará, o Brasil possui a sétima maior reserva de urânio do mundo, embora não tenha todo seu território ainda prospectado. Heider ainda acrescenta:

“Existem ainda, ocorrências uraníferas associadas a outros minerais, como aqueles encontrados nos depósitos de Pitinga, no Estado do Amazonas, e área de Carajás, no Estado do Pará, com um potencial adicional estimado de 150.000 t para cada área. Atualmente, podemos estimar um potencial de reservas da ordem de 900.000 t, com

a realização de novas pesquisas e avaliação/cubagem das ocorrências identificadas [...] O Brasil pode se reposicionar como segunda reserva mundial de urânio” (HEIDER, 2009, p.73)

Atualmente, relatórios de produção mundial (OECD, 2016) mostram que o Brasil possui a sétima reserva mundial do minério com 5% da produção mundial, com previsão de construção de quatro reatores de processamento para 2020.

3.5 USINAS TERMONUCLERES, DOMÍNIO DO CICLO COMBUSTÍVEL

Embora o Brasil possua importante reserva de urânio e domínio do ciclo combustível, a geração de energia nuclear sofre entraves como a desinformação sobre o tema e as restrições à participação de capital privado. De acordo com o informativo da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2016, p.11):

Apesar do sentimento de insegurança comumente associado à energia nuclear, esta é a quarta maior fonte geradora de eletricidade do mundo, atrás do carvão, do gás natural e da hidroeletricidade. Temos hoje 442 reatores nucleares gerando energia em 30 países e 66 novos reatores em construção, notadamente em países como China, EUA, Rússia e membros da União Europeia. O Brasil é um dos poucos países que domina o ciclo do combustível nuclear e ao mesmo tempo possui uma das maiores reservas de urânio do mundo. Apesar disso, essa indústria tem se desenvolvido a passos lentos no país em meio a um planejamento energético focado na expansão de fontes renováveis e devido à falta de conhecimento da sociedade quanto aos reais riscos e benefícios associados à energia nuclear, além de entraves regulatórios que dificultam a participação da iniciativa privada no financiamento de novas usinas.

Todavia, temos que observar o Plano Plurianual de 2016-2019 (PPA 2016-2019) (BRASIL, 2016) onde são definidos alguns objetivos, metas e iniciativas que merecem destaque:

OBJETIVO: 0034 - Planejar o atendimento das demandas futuras de energia elétrica por meio da elaboração de estudos de expansão da geração e da transmissão, bem como da promoção de leilões. p.111

Meta 001X - Realizar estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental para 4 novas usinas nucleares. p.112

Iniciativa 04UN - Definição de critérios de qualificação de tecnologias a serem adotadas para fonte nuclear. p. 112

Objetivo 0325 - Expandir, implantar e operar o ciclo completo para produção do combustível nuclear em escala capaz de atender a demanda das usinas termonucleares brasileiras. p. 217

Meta 047T - Atender com produção nacional 10% da demanda anual de urânio enriquecido das centrais de Angra 1, 2 e 3. p. 218

Meta 047U - Aumentar de 96 para 148 a quantidade de elementos combustíveis produzidos anualmente para a operação das centrais de Angra 1, 2 e 3. p, 218

OBJETIVO: 0327 - Consolidar o sistema de regulação e segurança das atividades do setor nuclear no País. p. 218

Iniciativa 051U - Separação da função de regulação e fiscalização da função de promoção, pesquisa, desenvolvimento, prestação de serviços e produção por meio da criação da Agência Nacional de Segurança Nuclear. p.219

Tais medidas estão de acordo com o com Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007) que define o projeto energético brasileiro para os próximos 15 anos.

3.6 O LNSL E O PROJETO SIRIUS

O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) está desenvolvendo o Projeto Sirius (LNLS, 2017). Sirius, a nova fonte de luz síncrotron brasileira, será a maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no País e uma das primeiras fontes de luz síncrotron de 4ª geração do mundo. É planejada para colocar o Brasil na liderança mundial de produção de luz síncrotron e foi projetada para ter o maior brilho dentre todos os equipamentos na sua classe de energia.

Fontes de luz síncrotron constituem o exemplo mais sofisticado de infraestrutura de pesquisa aberta e multidisciplinar e é uma ferramenta-chave para a resolução de questões importantes para as comunidades acadêmica e industrial brasileiras.

As fontes de luz síncrotron de alto brilho representam o que hoje existe de mais moderno para a observação de materiais orgânicos e inorgânicos. A alta energia do Sirius permitirá analisar muito além da camada superficial de materiais duros e densos, em profundidades de até alguns centímetros, o que, até então, não era possível. Isso é fundamental para o estudo de aços e outros metais, além de concreto e de rochas, o que terá impacto positivo em estudos da camada pré-sal, por exemplo. As características da máquina atual brasileira tampouco permitem a investigação de determinados elementos químicos, como é o caso da importante classe das terras raras, que só poderão ser efetivamente estudadas com fontes de luz com características como as do Sirius.

A versatilidade de uma fonte de luz síncrotron permite o desenvolvimento de pesquisas em várias áreas da ciência como: física, química, engenharia de materiais, geociências, biologia, biomedicina, astrofísica, astroquímica, astrobiologia, além de áreas estratégicas, como energia, alimentação, meio ambiente, saúde, defesa e outros.

Como aplicações nas pesquisas em Meio Ambiente e Agricultura, podemos citar, por exemplo, a análise do solo para o desenvolvimento de fertilizantes mais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente e a saúde, no setor de Energia e Materiais, possibilitará o desenvolvimento de novas tecnologias de exploração de petróleo e gás natural, além do desenvolvimento de novos materiais mais leves e mais eficientes para uso em novas tecnologias, na área da Saúde e Fármacos, no desenvolvimento, por exemplo, de nanopartículas para o diagnóstico de câncer e combate a vírus e bactérias, além do desenvolvimento de novos medicamentos.

3.7 APLICAÇÕES NA ÁREA DA FÍSICA MÉDICA

A inclusão das aplicações em Física Médica tornou-se fundamental no Ensino de Física Nuclear. Além do seu grande interesse social, devido a modernização das técnicas de diagnóstico por imagem, como a Tomografia de Raios X, Cintilografia, Tomografia de emissão de Pósitrons e Ressonância Magnética Nuclear, é importante também para o tratamento do câncer, seja pela produção de radiofármacos, radioterapia (braquiterapia e teleterapia) e a mais recente em desenvolvimento a hadronterapia, que aplica feixe de prótons ou íons de carbono com picos de energia mais acentuados em camadas mais internas, propiciando uma melhor probabilidade de cura, onde o tratamento convencional não responde de maneira satisfatória, além das rádio cirurgias estereotáxicas, e a Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) utilizada para tratar . Já, no aspecto profissional, propicia várias opções, seja como técnico ou tecnólogo, físico-médico ou mesmo professor em disciplinas voltadas para a área e como pesquisador.

3.8 POLÍTICA INTERNA EXTERNA E GOVERNANÇA MUNDIAL

O PNB, além de apresentar aspectos técnicos e científicos, apresenta implicações políticas tanto de ordem interna como externa, pois impacta o desenvolvimento tecnológico em áreas como a saúde e a agricultura, o sistema energético nacional, a estratégia de defesa nacional, a segurança regional na América do Sul e a política externa brasileira em relação aos mecanismos de governança da sociedade internacional.

Um exemplo destas implicações políticas é apresentada no documento Política Nacional de Defesa/ Estratégia de Defesa Nacional (BRASIL, 2012) onde consta:

O Brasil defende uma ordem internacional baseada na democracia, no multilateralismo, na cooperação, na proscrição das armas químicas, biológicas e nucleares, e na busca da paz entre as nações. Nesse sentido, defende a reforma das

instâncias decisórias internacionais, de modo a torná-las mais legítimas, representativas e eficazes, fortalecendo o multilateralismo, o respeito ao Direito Internacional e os instrumentos para a solução pacífica de controvérsias. (p.24)

E reafirma na página 47:

O Brasil tem compromisso – decorrente da Constituição e da adesão a Tratados Internacionais – com o uso estritamente pacífico da energia nuclear. Entretanto, afirma a necessidade estratégica de desenvolver e dominar essa tecnologia. O Brasil precisa garantir o equilíbrio e a versatilidade da sua matriz energética e avançar em áreas, tais como as de agricultura e saúde, que podem se beneficiar da tecnologia de energia nuclear. E levar a cabo, entre outras iniciativas que exigem independência tecnológica em matéria de energia nuclear, o projeto do submarino de propulsão nuclear.

Estas posições são caracterizadas, no mínimo, em dois episódios relatados em (HERZ e LAGE, 2013):

No caso dos entreveros com a AIEA, o ocorrido se deve ao fato de, em 2004, o governo brasileiro, do então presidente Lula, ter impedido a Agência de fazer inspeções irrestritas em suas instalações nucleares, alegando defesa de propriedade comercial de segredos industriais. O caso teve considerável repercussão internacional. No dia 04 de abril de 2004, o jornal *The Washington Post* publicou uma matéria, dizendo que o Brasil estava vetando as inspeções da AIEA nas instalações de Resende, no estado do Rio de Janeiro, onde fica a Fábrica de Combustível Nuclear da estatal Indústrias Nucleares do Brasil (INB). O Itamaraty, na ocasião, repudiou as denúncias do jornal e disse que estariam sendo acertados os termos da verificação da unidade. Em setembro do mesmo ano, a Agência e o Brasil estabeleceram um acordo para as inspeções, segundo o qual os inspetores tiveram acesso a toda a unidade, porém com uma proteção de alumínio impedindo a visualização dos aparelhos. (p.7)

E no caso do programa nuclear iraniano:

Com o governo Lula o país almejou se tornar um ator central as negociações entre o Irã e a sociedade internacional. Em 2010, Brasil e Turquia se colocaram como mediadores das pressões da sociedade internacional sobre o programa nuclear iraniano. Segundo a proposta, então aprovada, expressa na "Declaração de Teerã", [...]. Neste mesmo ano, Brasil e Turquia foram contra uma resolução do Conselho de Segurança sobre a questão iraniana, sendo os dois únicos países do Conselho a votar contra. (p.11)

Estes tópicos se justificam como elementos para a contextualização, seja pelo aspecto social e econômico e/ou político e devem ser explorados e discutidos ao longo de um curso de FN.

3.9 RELEVÂNCIA PARA A CONSTRUÇÃO CURRICULAR DA FN MODERNA

Torna-se imperativo elevar da superficialidade esta temática (a FN) que encerra em si dois aspectos perfeitamente contemporâneos, um científico e outro social, a saber, o conhecimento técnico-científico da estrutura do universo em nível microscópico, as diversas aplicações industriais, as aplicações na medicina e na agricultura, além do caráter estratégico de fornecimento de energia e defesa.

Mas para se atingir um patamar de modernização curricular é necessária uma seleção dos tópicos que respondem mais rapidamente às exigências no âmbito acadêmico por excelência científica e tecnológica. Por isto, a inclusão do projeto Sirius, do Reator de Multipropósito Brasileiro (RMB), das aplicações em Física Médica que evoluem tecnologicamente tanto na parte de diagnóstico, como na parte de tratamento de doenças como o câncer, das usinas term nucleares e o domínio do ciclo combustível e, de modo mais amplo, do Projeto Nuclear Brasileiro.

Entretanto, o aspecto social também deve ser considerado. As decisões de implementação tecnológicas afetam a sociedade como um todo. Desenvolvimento de projetos estão vinculados, muitas vezes, a um projeto de políticas públicas. Geram empregos, movimentam a economia e geram impostos. Interesses econômicos e políticos circundam ao desenvolvimento das ciências e isto acaba por interferir em políticas externas e de governança. Um bom exemplo deste fato é o PNB. Ainda sem uma estrutura definida como um projeto de soberania nacional, e que deveria ser discutido pelos mais diversos setores da sociedade civil e militar, gera incertezas sobre as intenções da construção do submarino com propulsão nuclear, por exemplo. Outro ponto social importante são as tecnologias relacionadas à Medicina Nuclear. Novamente, as políticas públicas e a exclusão de setores majoritários da sociedade, no aproveitamento destas tecnologias, devem ser consideradas em seu aspecto social mais amplo, como o não cumprimento de determinados protocolos.

Portanto, a categorização apontada acima, procura a excelência científica e tecnológica com a inclusão destes temas, mas, também, dar voz ao contexto social, através de uma discussão criteriosa, referendada por uma bibliografia especializada na área.

4 A PRESENTE PROPOSTA PARA O ENSINO DE FN PARA O ENSINO SUPERIOR

No capítulo anterior apresentamos os pressupostos e fundamentos que seguimos na construção de nossa proposta de modernização curricular para o Ensino de FN. Justificamos nossa posição sobre a autonomia universitária, a observância da legislação vigente, a primazia pela excelência científica e, por fim, a contextualização histórica, social, econômica e política.

Antes de apresentarmos nossa proposta para o Ensino de FN é importante citar a evolução do tema junto aos Cursos de Física da UFSM. Desta forma, apresentaremos um breve resumo, tendo em vista os desenvolvimentos históricos da evolução desta área na formação de licenciados na UFSM.

4.1 A FN AO LONGO DOS ULTIMOS 35 ANOS NOS CURSOS DE FÍSICA

A ausência de documentos não nos permite voltarmos além de 1979, ainda assim, podemos descrever três períodos correspondendo a momentos distintos de desenvolvimento curricular.

- 1979-1994: Período em que a disciplina era obrigatória e totalmente teórica com carga horária de 60 horas-aula. O conteúdo trabalhado era direcionado a partir do livro de Kaplan (1978) e Fermi (1952). Mais tarde, também incluíram o livro do Almeida e Tahuata (1981). Todavia, alguns experimentos eram realizados junto a disciplina paralela de Laboratório de Estrutura da Matéria, dentre os quais podemos citar o emprego de um analisador monocanal com cintilador e um detector Geiger-Müller, com fontes de calibração de Césio, Cobalto e Tecnécio, e raios X hospitalares para determinação experimental da camada semi-redutora de alumínio e da meia-vida do Tc99m, obtido no serviço de Medicina Nuclear do Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM).
- 1994-2004: Neste período a disciplina era obrigatória e totalmente teórica com carga horária de 90 horas. Nessa fase, o curso se caracterizou apenas por aulas expositivas com o repasse de conteúdos de capítulos selecionados dos livros Kaplan (1978), Brehm e Mullin (1989) e Das e Ferbel (1994). Nestes dois períodos não haviam diferenças entre licenciatura e bacharelado no que tange à FN. A disciplina laboratório de Estrutura da Matéria é prejudicada drasticamente pelo sucateamento dos poucos experimentos que haviam no período anterior.

- 2005-2013: Por sugestão de especialistas do MEC, e devido as novas diretrizes curriculares para a educação superior do Ministério da Educação e do Projeto Político Pedagógico da UFSM, os Cursos de Física, neste período, elaboraram uma nova adaptação curricular. A disciplina FN passa a ser optativa, tanto para a Licenciatura em Física como para o Bacharelado em Física. O programa e bibliografia são os mesmos do período anterior. A disciplina Laboratório de Estrutura da Matéria passa à disciplina equivalente Laboratório de Física Moderna, mas praticamente sem experimentos de FN. A partir deste período a FN praticamente some do currículo obrigatório, preservando um espaço mínimo dentro da disciplina de Estrutura da Matéria.

Nos Curso de Licenciatura em Química e Bacharelado em Química da UFSM, atualmente, a FN estava concentrada na disciplina optativa FSC132 – Físico-Química IV-B, na unidade 3 Química Nuclear (Anexo A). Os conteúdos eram selecionados dos livros Alonso e Finn (1976), Atkins (1994), Macedo (1998) e Moore (1976).

4.2 A CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA CURRICULAR DESENVOLVIDA NO PRESENTE TRABALHO

Entendemos que formar um profissional em Ensino de Física ou Química requer constante assessoramento por parte de quem ensina, no sentido de formar pesquisadores e/ou professores independentes, críticos e capazes de trabalhar com seus alunos em projetos de forma adequada e com objetivos bem definidos. A Seleção de conteúdos e a metodologia utilizada para se trabalhar qualquer tema devem estar previamente alinhados com os objetivos de modo recíproco, ou seja, os objetivos também devem ser traçados de acordo com conteúdos e a metodologia das atividades que são ou serão desenvolvidas.

Procuramos uma proposta que reestruture a componente curricular FN, que busque a excelência científica e tecnológica, que tenha a visão de um estudo que busque uma contextualização social, política e econômica e que inove na metodologia de trabalho.

Assim, como parte da proposta curricular para o Ensino de FN, apresentamos a definição de novos objetivos, que passaremos a descrever.

4.2.1 Objetivos para a disciplina FN

A medida que a presente proposta de trabalho ia se desenvolvendo ao longo do semestre, os objetivos por nós delineados foram tomando forma definitiva, seja pelas discussões e desenvolvimento dos conteúdos, seja pela participação discente, como também pela certeza de estarmos no caminho a preparar o futuro profissional com o perfil requerido.

A epistemologia em FN por excelência acadêmica fica melhor consolidada quando definimos objetivos como:

- Dominar as definições, os conceitos, as leis e os modelos da FN, assim como o formalismo matemático para descrevê-las;
- Desenvolver habilidades de observação de eventos que envolvam partículas nucleares, e formulação de hipóteses para explicação dos fenômenos, despertando o carácter investigativo.
- Analisar e interpretar dados e obter conclusões corretas a partir da análise de variáveis, medições e determinação de erros de experimentos que envolvam conceitos complexos, despertando o carácter reflexivo;
- Desenvolver perfis de competência no aluno para projetar blocos e sistemas de experimentos e medidas nucleares, ou simulações e cálculos para desenvolver teorias e testar hipóteses;
- Conhecimento e uso da ética em pesquisa e ensino;
- Estudar e colocar em prática métodos de segurança e proteção às radiações no laboratório e uso competente dos equipamentos de medida em ambientes de segurança restrita;
- Desenvolver relação de interdisciplinaridade da FN com outras áreas ou subáreas do conhecimento.

Estes objetivos estão em consonância com os objetivos previstos na BNCC, definidos nos eixos Conhecimento Conceitual (CC) e Processos e Práticas de Investigação (PPI).

De modo similar, os objetivos de nossa proposta:

- Entender a FN como um processo de construção do conhecimento em um contexto histórico, social, econômico e político;
- Ser capaz de entender a FN como um instrumento de desenvolvimento tecnológico que visa uma melhor qualidade de vida para o ser humano, de modo sustentável e democrático;
- Promover a atualização técnico-científica e o raciocínio crítico-reflexivo, desenvolver métodos de comunicação e discussão, e tomada de decisões estratégicas.
- Compreender e discutir o planejamento estratégico brasileiro e as melhorias do ensino em Física Nuclear no ambiente de ensino médio e universitário;
- Discutir as políticas públicas que estão diretamente correlacionadas às aplicações da FN na área da Saúde;

estão relacionados aos eixos da BNCC Conhecimento Conceitual (CC) e Contextualização Social, Cultural e Histórica (CSCH).

Já, os objetivos:

- Desenvolver habilidades de redação científica em periódicos e de comunicação que possibilite a participação em sessões orais em congressos e seminários;
- Dominar a linguagem técnica com habilidade para adaptar-se em comunicações para público geral ou não especialistas em Física,

estão em sintonia com o eixo da BNCC Linguagem das Ciências. Desta forma, se por um lado, o discente de licenciatura vivencia uma prática como aluno e prepara-se para aplicá-la como professor, quando estiver atuando no Ensino Médio, por outro lado o bacharelado recebe uma formação de qualidade técnico/científica e lhe oferece opções profissionais, além da pós-graduação.

Porém, nossos objetivos vão além de simplesmente atender aos objetivos propostos pela legislação para o Ensino Superior. Quando citamos anteriormente as Orientações Curriculares para o Ensino Médio: ciências da natureza e matemática e suas tecnologias (BRASIL, 2006, p.46), que traz, como objetivo principal do Ensino Médio a formação da autonomia crítica do educando sob os aspectos intelectual, político e econômico (entenda-se por autonomia econômica assegurar uma formação para a sobrevivência por meio do trabalho), entendemos que ao discutirmos as várias aplicações relacionadas à FN e aos diferentes níveis de qualificação exigidos para as funções que podem ser desempenhadas, estamos propiciando a oportunidade de escolha profissional para os nossos discentes, bacharelandos ou licenciandos. Em consequência, estamos também preparando o futuro professor para que, no exercício do magistério, possa apontar para seus alunos, futuros acadêmicos, em potencial, as oportunidades profissionais vinculadas à FN. Ao discutir FN em um cenário político, despertamos a atenção que tais oportunidades estão relacionadas, muitas vezes, a participação ativa de cada cidadão na vida política diária da comunidade a que pertence. Mas, que esta participação deve estar alicerçada no conhecimento, base de uma verdadeira e responsável autonomia intelectual.

4.2.2 A implantação da proposta de Ensino de Física Nuclear

Para a implantação da nossa proposta para o Ensino de FN, tivemos a oportunidade de contar com os treze alunos da disciplina FSC511 – Física Nuclear e de Partículas, dos Cursos de Licenciatura e Bacharelado em Física, matriculados no segundo semestre de 2015. Contudo, duas particularidades devem ser observadas. A primeira delas é o resultado inicial de uma entrevista com os alunos matriculados, na qual buscou-se verificar as diferenças de formação entre os discentes. Pudemos verificar uma grande diferença entre eles. Alguns já tinham cursado ou estavam cursando Estrutura da Matéria e/ou Laboratório de Física Moderna, enquanto outros

não. Também havia diferenças quanto a formação de um aluno em relação ao outro que cursaram a mesma disciplina, mas com professores diferentes, com enfoques e prioridades diferentes em relação aos conteúdos.

O fato dos alunos estarem em estágios diferentes de formação acadêmica é uma realidade que deverá manter-se ao longo dos anos, tanto na UFSM, como nas demais instituições, pois como podemos observar, a FN apresentada para licenciados e bacharéis é a mesma, apenas sendo, em algumas instituições, obrigatória para bacharéis e em outras não obrigatória.

A segunda particularidade é que já existia um programa o qual deveria ser cumprido. Todavia, o programa a ser cumprido foi incluído na proposta, pois não havia nada que pudesse ser considerado desatualizado. O que poderíamos fazer em relação a este fato era apenas atualizar as bibliografias, o que foi realizado em um momento inicial.

Por fim, para a modernização curricular do Ensino de Física Nuclear era necessário que adicionássemos os tópicos discutidos no capítulo anterior, devido as suas relevâncias atuais, e a parte experimental, a partir dos equipamentos disponíveis no Laboratório de Astronomia e Eletrônica (LAE), o que fizemos ao longo do semestre.

Ao analisarmos os conteúdos a serem desenvolvidos e as diferenças de formação entre os alunos, verificamos que uma revisão inicial de Mecânica Quântica e, posteriormente, de Mecânica Quântica relativística se faria necessária. Somado a isto, o fato das 6 horas-aula semanais estarem dispostas segunda, terça e quarta-feira com 2 horas-aula por dia, restringiria o tempo a um intervalo muito pequeno para os alunos trabalharem o conteúdo com maior formalismo matemático. Além disso, a necessidade de incluir a parte de instrumentação científica e temas de interesse atual e com a requerida contextualização social, econômica e política, nos levou a dividir a disciplina em 3 partes.

O procedimento metodológico foi dividir a componente curricular em três pilares distintos com carga horária de 30 horas-aula cada um, conforme segue:

- **Pilar de formação comum:** revisão de mecânica quântica; substâncias radioativas naturais; tabela e propriedades de núclídeos; radioatividade e decaimento; leis de Soddy; fração de empacotamento; energia de ligação; fórmulas semi-empírica de massa; massa e spin nuclear; bósons e férmions; carga elétrica e momento de dipolo magnético das partículas; fótons, léptons, mésons, bárions e ressonâncias; espalhamento elástico e inelástico; seções de choque; fatores de forma; teorema óptico; quantidades conservadas e simetrias; interações próton-próton e elétron-próton; seções de choque de Rutherford e Klein-Nishina; núclídeos e classificação; modelos nucleares, gota líquida e camadas;

números quânticos nucleares; teorema CPT (conjugação da carga, paridade e reversibilidade temporal); interações eletromagnéticas, fracas e hadrônicas; mecânica quântica relativística: equação de Klein-Gordon e equação de Dirac; matrizes de Dirac; polarização e spin relativístico; fenomenologia e modelo de partons e quarks; introdução a eletrodinâmica quântica; partículas e teoria de campos.

- **Pilar de instrumentação científica:** técnicas de vácuo, produção de feixes de partículas, estrutura de aceleradores de partículas, câmaras de neblina, medidor Geiger-Müller; câmara de ionização gasosa e líquida; teoria de eletromultiplicadores; pré-amplificadores; amplificadores; discriminadores; analisadores monocanal; detectores de coincidência; determinação da atividade real de uma fonte; cintiladores de NaI(Tl), CsI, plásticos; detecção de radiação gama, radiação beta e prótons; detecção de nêutrons térmicos, epitérmicos e rápidos; ralentamento e espalação; métodos de detecção e espectroscopia de partículas alfa; teoria de calorímetros; tecnologias em aceleradores de nêutrons; medida de energia de feixe de nêutrons; espectrômetros quadrupolares de massa; detectores semicondutores; medidas de correlação angular; uso de analisadores monocanais; operação do analisador multicanal; detectores de raios cósmicos; dosimetrias; blindagem e proteção às radiações.
- **Pilar de aplicações em subáreas:** história do Projeto Manhattan norte-americano; estrutura de bombas termonucleares e classificação dos armamentos modernos; jazidas de urânio e tório brasileiras; reações nucleares; engenharia de reatores nucleares; processamento de materiais nucleares; análise por ativação neutrônica; microscopia e difração com nêutrons; ressonância magnética nuclear para imagens médicas e espectroscopia; radiofarmacologia; teleterapia com aceleradores de partículas; ciclo de planejamento com raios gama, elétrons, prótons e íons pesados; braquiterapia; hadronterapia; efeito Mössbauer; fissão e fusão nuclear; engenharia de aceleradores de partículas; projetos nucleares brasileiros (ProSUB, ANGRA, LNLS, SIRIUS); projetos nucleares internacionais (Telescópio Auger, CERN, FERMILAB); segurança e higiene de radiações; normas de segurança do CNEN; políticas nucleares modernas; raios cósmicos e cronologia, telescópios de raios cósmicos; nucleossíntese; estrelas de nêutrons e estrelas de quarks; produção de raios gama por buracos negros e explosões cósmicas de raios gama; introdução à astrofísica de altas energias; física nuclear em ambiente hospitalar; perspectivas em ação multiprofissional e integração de equipes; sensibilidade do organismo humano às radiações; planejamento dosimétrico hospitalar

com filtros e curvas de isodose e testes com fantasmas; avaliação da qualidade de aceleradores lineares para uso médico.

Na presente divisão por pilares, diferentes abordagens metodológicas foram empregadas em sala de aula. O curso de 90 horas foi distribuído em três aulas de duas horas-aula por semana, sendo que cada pilar era desenvolvido em um dia da semana.

No pilar formação comum, o primeiro objetivo foi tentar homogeneizar a turma. Para isto, foi feita uma revisão de Mecânica Quântica. Foram administradas aulas expositivas, usando lousa e giz e projetores multimídia, e a avaliação consistiu em listas de exercícios. Usamos esses recursos da escola clássica porque os alunos normalmente apresentam diferentes níveis de aproveitamento em disciplinas prévias em Física, Química e Cálculo, o que necessita de um nivelamento continuado. O livro do Brehm e Mullin (1989) foi mantido, Já o livro de Das e Ferbel (2003) foi mantido, mas com nova edição, e notas de aula preparadas pelo professor foram fornecidas aos alunos. Pelo grande número de alunos interessados em Teoria Quântica de Campos, decidimos incorporar o conteúdo programático da antiga disciplina complementar de graduação Mecânica Quântica Relativística e seu livro-texto Greiner & Bromley (2000), Ohlsson (2011) e Lancaster & Blundell (2014) em substituição ao texto clássico de Björken & Drell (1964). O objetivo principal era conhecer as definições, os conceitos, as leis e os modelos da FN, assim como o formalismo matemático para descrevê-las. Este pilar propicia uma formação ampla e suficiente para entender fenômenos ou aplicações vinculados a FN.

No pilar de instrumentação científica, o período de duas horas-aula foi subdividido em uma aula de 50 minutos para cada assunto, seguida de dez minutos para perguntas, discussões e esclarecimentos, e um experimento de uma hora. Opiniões, explicações e formulação de hipóteses onde os alunos buscaram entender os processos de medida usando analisadores monocanais, multicanais para aspectos dosimétricos de detecção e múons, radiação gama e radiação alfa foram explorados usando o método de tutoria de Oxford (LOBO, ADORNES e LÜDKE, 2017). Houve a necessidade da inclusão de livros atualizados sobre instrumentação nuclear para uso geral como Leo (1994) e Knoll (2010) em substituição ao livro de Mafrá (1973), e usados no primeiro momento da disciplina, porque aqueles incorporavam explicações sobre o uso de tecnologia digital na detecção de partículas. Neste pilar os objetivos são: desenvolver habilidades de observação de eventos que envolvam partículas nucleares e formulação de hipóteses para explicação dos fenômenos, despertando o carácter investigativo; habilitar o aluno a analisar e interpretar dados e obter conclusões corretas a partir da análise de variáveis de medição e erros de experimentos que envolvam conceitos complexos, despertando

o carácter reflexivo.

No pilar de aplicações em subáreas, foram ministrados seminários, inicialmente pelo professor, posteriormente pelos alunos e por professores convidados, também empregando o Método de Tutoria de Oxford (MTO) para análise dos artigos, teses de doutorado de grandes centros de pesquisas nacionais e internacionais em Física Nuclear e artigos dos periódicos indexados pelo CAPES em subáreas da Física Nuclear e de Partículas. O método da tutoria da Universidade de Oxford, segundo Coate, Barnett e Williams (2000), consiste em um professor atendendo um ou dois alunos, para discutir a solução de problemas técnicos, a cada sessão de estudo organizadas dentro de um cronograma semanal. Diversos autores alegam que em cada sessão o aluno é estimulado a pensar sobre o que está estudando e ter pelo menos um dia de intervalo entre as sessões para complementação autônoma e independente dos seus estudos. Suas raízes são inspiradas no método de ensino greco-romano, tendo Sócrates e Platão como expoentes da antiguidade na aplicação do método (BLYTH, 1968).

Para temas relacionados a sub-área Física Médica foram utilizados os livros de Hendee e Ritenour (2003), Bushberg *et al* (2012) e Podgorsak (2005), além do artigo de Petti e Lennox (1994) que discute a terapia por hádrons para tratamento de câncer, principalmente utilizado para tumores em que o tratamento convencional não dá resultados satisfatórios. A avaliação consistiu na elaboração de textos descritivos com impressões pessoais sobre a aquisição de competências e habilidades, e de apresentação de seminários orais com duração entre 20 e 30 minutos e mais 10 à 15 minutos de discussões. Os seminários apresentados pelos alunos foram:

- Efeitos das Radiações Ionizantes nas Células Humanas.
- Efeito Mössbauer.
- Matéria de Quarks e Interações Fortes.
- Correlações Quânticas nas Oscilações dos Neutrinos.
- A Teoria de Yukawa.
- Raios Cósmicos e o Observatório Pierre Auger.
- Nêutrons Térmicos.
- Métodos Computacionais Aplicados a Física de Altas Energias.
- Matéria Escura.
- O Detector Atlas.
- Propriedades e Interações de Partículas Elementares.
- Violação da Simetria CP.
- Espalhamento de Nêutrons Aplicado ao Nanomagnetismo.

Os objetivos para este pilar são: desenvolver relação de interdisciplinaridade da FN com outras áreas ou subáreas de conhecimento; ser capaz de entender a FN como um instrumento de desenvolvimento tecnológico que visa uma melhor qualidade de vida para o ser humano, de modo sustentável e democrático; desenvolver habilidades de redação científica e de comunicação que possibilite a participação em sessões orais em congressos e seminários; domínio da linguagem técnica com habilidade para adaptar-se em comunicações para público geral ou não especialistas em Física; preparar o profissional para discutir a FN em setores estratégicos como geração de energia, segurança nacional, política externa e de governança mundial, a partir do conhecimento técnico-científico e do raciocínio crítico-reflexivo, possibilitando a tomada de decisões; discutir as políticas públicas que estão diretamente correlacionadas as aplicações de FN e a área da saúde.

4.2.3 Experimentos para o pilar instrumentação científica

Para a parte de instrumentação científica do nosso projeto de Ensino de FN, foi projetado um conjunto de experimentos junto ao Laboratório de Astronomia e Eletrônica (LAE), laboratórios de pesquisa ligados ao Centro de Ciências Naturais e Exatas e Hospital Universitário de Santa Maria.

1. Acelerador de Pierce e produção secundária de feixes iônicos.
2. Feixes de elétrons, prótons e força de Lorentz.
3. Detectores proporcionais, câmara de Ionização e avaliação de qualidade de feixes de raios X e gama.
4. Determinação do platô e tempo morto do tubo Geiger-Müller.
5. Distribuição de Gauss e de Poisson e estatísticas de contagens em experimentos.
6. Absorção de raios gama do Cs-137 e determinação da camada semi-redutora para o Chumbo.
7. Dependência da intensidade da radiação X e gama com a distância à fonte.
8. Detector de coincidência para raios Cósmicos.
9. Propagação de raios gama e excitação de níveis eletrônicos em blindagens de chumbo.
10. Uso de pré-amplificadores e amplificadores com fotomultiplicadores acoplados a cintiladores de NaI(Tl) e CsI.
11. Arquitetura de cintiladores plásticos e detectores com cintiladores líquidos. Caracterização de sinais.

12. Teoria e aplicação de analisadores multicanais e espectrometria gama.
13. Uso de analisador monocanal para determinação de meia-vida e vida média do Tc-99m e Co-60.
14. Tecnologias e construção de detectores de nêutrons.
15. Detectores de partículas alfa e determinação do "range" e dE/dx de partículas alfa para o ar.
16. Determinação da meia-vida e energia de múons com módulos de conversão tempo-amplitude.
17. Determinação experimental da atividade de uma fonte radioativa.
18. Técnicas digitais de contagem e conversão Wilkinson de voltagem de pulsos de amplificadores lineares e análise de qualidade de pulsos de unidades fotomultiplicadoras.
19. Técnicas de vácuo e produção de nêutrons com aceleradores de dêuterons.
20. Estrutura fina do espectro alfa do Amerício-241.
21. Experimentos de Rutherford e Chadwick.
22. Laboratórios de ressonância magnética nuclear para espectroscopia.
23. Tomografia computadorizada com raios X, ressonância magnética nuclear e PET-Scan.
24. Espalhamento Compton.
25. Fluorescência de raios X.
26. Uso de técnicas nucleares em saúde e diagnóstico bioquímico e radiofarmacológico.
27. Tempos de vôo e cálculo da velocidade de íons e da luz.
28. Análise de agrotóxicos organofluorados em alimentos por espectroscopia de massa com TOF (time-of-flight).
29. Astrofísica de altas energias e processamento de imagens de satélites de raios X (ROSAT, AXAF).
30. Procedimentos experimentais em correlação angular.
31. Determinação de elementos químicos no meio interestelar produzidos pela nucleossíntese estelar.

As principais referências bibliográficas para a realização destes experimentos são: (KNOLL, 2010), (VARIER, 2009), (PRICE, 1964), (ATTIX, 1991), (LEO, 1993) e (MELISSIMOS; NAPOLITANO, 2003).

4.3 METODOLOGIA

A nossa pesquisa pode ser classificada como pesquisa-ação qualitativa. De acordo com Firestone (1986) temos:

A pesquisa quantitativa procura explicar as causas de mudanças em fatos sociais, primordialmente através de medição objetiva e análise quantitativa, enquanto a qualitativa se preocupa mais com a compreensão do fenômeno social, segundo a perspectiva dos atores, através de participação na vida desses atores [...] A pesquisa quantitativa tipicamente emprega delineamentos experimentais ou correlacionais para reduzir erros, vieses e outros ruídos que impedem a clara percepção dos fatos sociais, enquanto o protótipo do estudo qualitativo é a etnografia [...] O pesquisador quantitativo ideal é desprendido para evitar viés, enquanto o pesquisador qualitativo fica 'imerso' no fenômeno de interesse.” .(p. 16)

É importante destacar que o termo “pesquisa qualitativa” é expressão alternativa para expressar diversas abordagens de pesquisa em ensino, como pesquisa etnográfica, estudo de caso, participativa observacional, interpretativa, antropológica cognitiva e fenomenológica construtivista, pelo fato de apresentarem muitas semelhanças. Erickson (1985) prefere o termo interpretativa e justifica:

Seres humanos, supõe a perspectiva interpretativa, criam interpretações significativas do ambiente físico e comportamental que os rodeia [...] Através da cultura seres humanos compartilham significados aprendidos e em determinadas situações frequentemente parecem ter criado interpretações significativas similares. Mas estas similaridades superficiais mascaram uma diversidade subjacente; em uma dada ação não se pode supor que os comportamentos de dois indivíduos, atos físicos de forma similar, tenham o mesmo significado para os dois indivíduos [...] Portanto, uma distinção analítica crucial em pesquisa interpretativa é entre comportamento, o ato físico, e ação, que é o comportamento mais as interpretações de significados atribuídas por quem atua e por aqueles com os quais o ator interage [...] O objeto da pesquisa interpretativa social é ação, não comportamento [...] (p. 126)

Os referidos significados podem ser denotativos ou conotativos. Os significados denotativos são aqueles compartilhados culturalmente, aqueles que permitem a comunicação entre os indivíduos de uma determinada cultura, enquanto que os significados conotativos são pessoais, diferentes para cada indivíduo.

A sala de aula é uma microcultura onde um certo evento pode ter significado comum a todos os discentes, mas, simultaneamente, cada indivíduo pode interpretá-lo de maneira diferente. Assim, qualquer evento em ensino pode apresentar aspectos generalizáveis a outras situações, enquanto outros são específicos de um dado evento ou específico de cada indivíduo.

Desta forma, estando os pesquisadores imersos no ambiente de estudo, cabe-lhes a tarefa de fazer observações e anotações, elaborar questionários, propor trabalhos e transforma-los em dados e se possível elaborar tabelas, mas analisando-as de modo predominantemente descritivo.

Por fim, cabe-lhes a missão de elaborar asserções e/ou conclusões.

Por se tratar de uma análise documental (questionários, entrevistas e anotações, seminários/colóquios e memorial discente) usaremos a análise de conteúdo de Bardin (1977), onde a sutileza dos métodos de análise de conteúdo, corresponde aos seguintes objetivos:

- a ultrapassagem da incerteza: o que julgo ver na mensagem estará lá efetivamente contido, podendo esta “visão” muito pessoal, ser partilhada por outros?
- e o enriquecimento da leitura: se um olhar imediato, espontâneo, é já fecundo, não poderá uma leitura atenta, aumentar a produtividade e a pertinência? Pela descoberta de conteúdos e de estruturas que confirmam (ou infirmam) o que se procura demonstrar a propósito das mensagens, ou pelo esclarecimento de elementos de significações susceptíveis de conduzir a uma descrição de mecanismos de que a prior não detínhamos a compreensão. (BARDIN, 1977, p. 29)

Ainda de acordo com a autora “a intenção da análise de conteúdo é a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção (ou eventualmente, de recepção), inferência esta que recorre a indicadores (quantitativos ou não)”. (BARDIN, 1977, p. 38)

Estas inferências (ou deduções lógicas) podem responder a dois tipos de problemas:

- O que é que conduziu a um determinado enunciado? Este aspecto diz respeito às causas ou antecedentes da mensagem;
- Quais as consequências que um determinado enunciado vai provavelmente provocar? Isto refere-se aos possíveis efeitos das mensagens [...]. (p. 39)

A análise de conteúdo organiza-se em três polos cronológicos (BARDIN, 1977, p. 95):

- a pré-análise;
- a exploração do material;
- o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise é a fase de organização propriamente dita.

Corresponde a um período de intuições, mas, tem por objetivo tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais, de maneira a conduzir a um esquema preciso do desenvolvimento das operações sucessivas, num plano de análise. Recorrendo ou não ao ordenador, trata-se de estabelecer um programa que, podendo ser flexível (quer dizer, que permita a introdução de novos procedimentos no decurso da análise), deve, no entanto, ser preciso. (BARDIN, 1977, p. 95)

Esta fase possui três missões: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. Contudo, Bardin esclarece:

Estes três fatores, não se sucedem, obrigatoriamente, segundo uma ordem cronológica, embora se mantenham estreitamente ligados uns aos outros: a escolha de documentos depende dos objetivos, ou, inversamente, o objetivo só é possível em função dos documentos disponíveis; os indicadores serão construídos em função das hipóteses, ou, pelo contrário, as hipóteses serão criadas na presença de certos índices. A pré-análise tem por objetivo a organização, embora ela própria seja composta por atividades não estruturadas, “abertas”, por oposição à exploração sistemática dos documentos. (p. 96)

A exploração do material é fase árdua do processo. Consiste essencialmente de operações de codificação, desconto ou enumeração, em função de regras previamente formuladas em função de indicadores já estabelecidos.

O tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação é a fase final, em que o pesquisador obtém significados a partir dos dados codificados, por inferência e interpretação.

Os resultados brutos são tratados de maneira a serem significativos e válidos. Operações estatísticas simples (percentagens), ou mais complexas (análise fatorial), permitem estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos, os quais condensam e põem em relevo as informações fornecidas por análise. (BARDIN, 1977, p. 101)

Todo nosso processo de análise de documentos, sejam textos escritos ou transcritos, são analisados sob o ponto de vista da análise de conteúdo de Bardin.

4.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Para os alunos participantes do Curso de Física, foi requisitado a elaboração de um texto escrito livre, com reflexões pessoais sobre as práticas acadêmicas e a percepção sobre as atividades do curso, como seminários e experimentos trabalhos. Os alunos manifestaram concordância com o termo de consentimento livre e esclarecido (TCL) (Apêndice B), autorizando a publicação anônima da pesquisa, onde foram feitas as seguintes indagações norteadoras para balizar as repostas dos alunos de uma forma unificada:

- a) Escreva suas conclusões pessoais sobre o seguimento em pesquisa no seu campo de formação e interesses pessoais;
- b) Escreva suas reflexões sobre o que foi aprendido em seminários, tendo em vista a adição curricular que a disciplina possa ter oferecido para a formação do físico e do professor;
- c) Foram abordados temas extracurriculares como: História da Física Nuclear e História da Política Nuclear Brasileira. Você poderia acrescentar uma crítica ou comentário sobre o aprendizado deste tema?
- d) Descreva a importância do que foi exposto frente aos desenvolvimentos modernos em Física Nuclear e de Partículas, dentro da sua formação pessoal e tendo em vista o término do seu curso na UFSM;
- e) Cite e justifique a suas críticas pessoais à estrutura e andamento das atividades, tal como foi conduzida durante o semestre letivo e recebida por você.

Para citarmos as respostas identificaremos os alunos da Licenciatura pela letra “L” mais um algarismo relativo ao número de respostas. Para os alunos do bacharelado utilizaremos a letra “B” mais um algarismo relativo ao número de respostas.

Abaixo as respostas mais significativas.

Quanto a primeira questão, selecionamos as seguintes respostas:

L1: *Com certeza as aulas foram essenciais para minha percepção de que a Física Nuclear além de ser uma abrangente área de pesquisa científica, é a principal fonte em que os equipamentos de ponta atuais são baseados. Por exemplo, o tema que abordei no seminário, onde conhecimentos de Física Nuclear são utilizados para construção de equipamentos que são aplicados no estudo da matéria condensada.*

L2: *Acredito que as aplicações atuais que foram apresentadas possam me auxiliar para mostrar para meus futuros alunos as possibilidades que a Física Nuclear oferece.*

L3: *A Física Nuclear deverá ser o foco do terceiro ano do ensino médio, se confirmadas as propostas da base curricular. Então o curso será fundamental, principalmente pelo material disponibilizado.*

B1: *Considero que o assunto por mim escolhido para a realização do seminário é de grande importância para meu futuro acadêmico, tendo em vista que eu pretendo trabalhar com física teórica na área de física de partículas (especialmente Teoria de Campos).*

B2: *Sempre gostei muito de trabalhar em meu conhecimento, no sentido de sempre completar informações que já possuía, e acredito que a disciplina apenas me induza a estudar mais e buscar respostas que ainda não possuo.*

B3: *Há ainda muitos problemas em aberto e é justamente isso que dá aos físicos uma motivação para seguir trabalhando na área e, para mim, o grande desafio ainda em aberto é descrever esse mecanismo de transição entre hádrons e o plasma de quarks e glúons e o confinamento.*

B4: *Como aluno de graduação em Física, a apresentação sistemática a esse campo de pesquisa e sua aplicação para ciências como a Cosmologia, para o entendimento dos primeiros segundos do universo, me levou a aprender muito com essa os resultados de pesquisas e com certeza irei aplicar no mestrado o que aprendi. Apesar de não pretender seguir nessa área, sei que as pesquisas são de suma importância para o entendimento da matéria bariônica, tanto na forma teórica quanto experimental.*

Para a questão (b) destacamos as seguintes respostas:

L1: *Os seminários do final do curso também foram muito interessantes por explorar diversas aplicações das matérias aprendidas durante o semestre.*

L2: *A detecção de partículas através do ATLAS é de extrema importância pois permite ampliar o conhecimento sobre os componentes subatômicos da matéria. O seminário tinha como objetivo dar uma visão geral sobre o funcionamento do detector.*

L3: *Para elaborar o seminário, eu tive que realizar uma pesquisa, não apenas histórica, mas técnica a respeito do assunto. Desta forma, eu posso afirmar que o seminário contribui*

para a diminuição da minha ignorância a respeito do assunto. Além disso, através dele, eu pude ampliar a minha visão a respeito de como são elaboradas as teorias que tentam descrever os processos físicos mais fundamentais.

B1: *Além de uma boa quantidade de teoria, foram abordados diversos assuntos dentro da Física Nuclear e de Partículas durante os seminários semanais. É extremamente útil que os alunos conheçam a Física de Altas Energias não só a nível teórico, mas também saibam descrever métodos e procedimentos experimentais de emissão e detecção de radiação e partículas.*

B2: *Começando pela revisão de mecânica quântica no começo do semestre até a equação de Dirac no final do semestre, o que foi aprendido em Física Nuclear é necessário para compreender a Teoria de Nambu, com esse seminário utilizando as ferramentas obtidas o que aprendi mais foi sobre as pesquisas que são feitas dentro da Física de Altas Energias e em que patamar está a explicação do plasma de Quarks e Glúons.*

B3: *O seminário que apresentei foi voltado, de certa forma, à área em que faço IC. Portanto valeu como conhecimento de quão boa esta técnica pode ser caso um dia tenha a oportunidade de vir a trabalhar com ela. Para a apresentação desse seminário foi necessário estudar um artigo específico, no qual me fez entender um pouco mais sobre os neutrinos e suas oscilações, bem como as correlações quânticas aplicadas no modelo de oscilações dos neutrinos.*

B4: *O conteúdo aprendido durante o seminário adiciona a minha formação outra técnica de identificação de elementos e estruturas, pois ao longo da minha iniciação científica apenas tive contato com a espectroscopia de Raio-X.*

B5: *A interdisciplinaridade entre assuntos é importante para qualquer profissional nos dias atuais, além de contribuir para o desenvolvimento das ciências e suas pesquisas. O seminário sobre “O efeito das radiações ionizantes nas células humanas” vem a calhar pois ele ofereceu um novo horizonte na formação dos alunos da disciplina de física nuclear, ou seja, contribuiu para a visão interdisciplinar entre a física e medicina. [...] ajudou a confirmar o desejo de continuar nessa busca de conhecimento entre áreas da física e medicina e quem sabe no futuro poder contribuir de forma positiva em nossa comunidade, oferecendo maior qualidade de vida as pessoas.*

B6: *A elaboração deste texto foi de grande utilidade na forma formação pois estou trabalhando com mecânica quântica, mais explicitamente com soluções perturbativas na teoria quântica de campos e meu trabalho de conclusão de curso trata explicitamente do decaimento eletromagnético do pión neutro e da anomalia axial AVV.*

Quanto aos temas extracurriculares citados na questão (c), todos os discentes consideraram importante tal inserção. Destacamos alguns comentários:

L1: *Achei interessante e considero importante com vistas no conhecimento e importância do tema e também para o futuro da Física Nuclear brasileira a inclusão destes temas no andar da disciplina.*

L2: *Assuntos como esse poderiam ser mais abordados, sabendo que o conhecimento histórico também é de suma importância.*

B1: *Achei interessante a discussão destes temas, pois é de grande importância saber o contexto em que a ciência evolui e suas motivações.*

B2: *As informações apresentadas e a relação histórica dificilmente são discutidas ao longo do curso. Gostei muito desta relação.*

Na questão (d) sobre a importância do que foi exposto em frente aos desenvolvimentos modernos em Física Nuclear e de Partículas, dentro da sua formação pessoal e tendo em vista o término do seu curso, temos as respostas principais abaixo:

L1: *Especialmente nas aulas de terça-feira ficou claro que há diversas possibilidades para que se insira na área de Física Nuclear. Essas aulas contribuíram para conhecer várias técnicas e como podem ser empregadas em várias áreas de pesquisa.*

L2: *Os conteúdos abordados nesta disciplina cumpriram com as expectativas, pois aprendi sobre decaimentos, tipos de interações, detectores, assim como a famosa equação de Dirac, entre outros assuntos. Esta disciplina também ajudou a preencher informações obtidas em cursos anteriores.*

B1: *Acredito que os desenvolvimentos modernos de física e partículas são importantes para qualquer aluno de Física que pretende ingressar em alguma pós-graduação, tendo em vista que algumas universidades importantes já incorporam algumas aplicações modernas de física em disciplinas obrigatórias.*

B2: *Esse curso agregou na minha formação, pois me permitiu compreender melhor as propriedades e interações de partículas elementares, assim como me permitiu entender melhor o modelo padrão e porque esse modelo precisa de seis léptons e seis quarks, cada qual divididos em famílias específicas. Isso ocorre pois é a única possibilidade de obtermos uma teoria renormalizável, pois o modelo padrão é construído a partir de anomalias e como o termo anômalo não depende da massa fermiônica, precisamos de uma teoria com diferentes espécies de férmions com spin 1/2 de modo que o número de espécies e simetrias internas produzam um cancelamento exato das anomalias geradas em cada setor fermiônico, fazendo com que a teoria seja renormalizável.*

B3: *Muitos alunos não tem durante toda a graduação em Física uma apresentação à Física de Partículas, muito menos a modelos mais específicos dentro das interações fortes. As interações fortes são o cerne da formação de núcleos e descrevem toda a dinâmica do que é conhecido vulgarmente como matéria, se não é necessário, mesmo assim é interessante para o aluno ter contato com a Física de Partículas e com as interações fortes. Então considero o assunto exposto, mesmo que específico, de grande importância.*

B4: *Física Nuclear é uma disciplina que “liga” a teoria envolvida na Física com a realidade. Pois, diferentemente da disciplina Mecânica Clássica, a teoria envolvida em Física Nuclear muitas vezes não é intuitiva. Sendo assim, o experimento se torna necessário para a comprovação da veracidade da teoria que é exposta.*

Por fim, para última questão, que trata das críticas em relação a estrutura e desenvolvimento das atividades. Vejamos os comentários:

B1: *Um aspecto negativo das aulas foi que devido à diferença de níveis de conhecimento entre os alunos da disciplina houveram longas revisões e essas revisões acabaram por tomar tempo de assuntos relacionados à Física Nuclear que poderiam ter sido vistos ou aprofundados durante os meses de aula. Um aspecto positivo a ressaltar é que a parte experimental, de suma importância, não foi em nenhum momento negligenciada, conforme tínhamos aulas teóricas, também aprendemos sobre detectores de partículas e todo o aparato experimental desenvolvido em Física Nuclear.*

B2: *Como crítica pessoal, a disciplina de Física Nuclear tenho que destacar o excesso de exercícios avançados, em especial sobre mecânica quântica. Minha sugestão é que exercícios mais básicos também sejam dados a fim de fixar o conteúdo e garantir que pelo menos o básico seja aprendido pela turma, e que seja passado em unidades, primeiro a teoria e depois a parte experimental pois acho que alunos se perderam no conteúdo. Como crítica positiva, elogio a parte de seminários e como foram conduzidos porque quase todos os alunos se empenharam a realizá-los. As aulas da parte experimental foram, no mínimo, muito interessantes e ainda, foram abordados na disciplina todos os assuntos que se julga necessário ao aluno para a realização de exames de admissão em programas de pós-graduação e o Exame Unificado de Cursos.*

B3: *Acredito que a ementa da disciplina deve ser reestruturada e imposição de requisitos mínimos aos alunos interessados, uma obrigatoriedade. Além disso, aspectos introdutórios deveriam ter sido abordados em disciplinas prévias de Estrutura da Matéria ou em um curso novo que venha a ser criado. Assim, os alunos teriam o conhecimento básico,*

tanto do ferramental matemático quanto conceitual, da Física Nuclear, e poderiam aproveitar a disciplina integralmente.

B4: *Um aspecto negativo das aulas foi que devido à diferença de níveis de conhecimento entre os alunos da disciplina houveram longas revisões e essas revisões acabaram por tomar tempo de assuntos relacionados à Física Nuclear que poderiam ter sido vistos ou aprofundados durante os meses de aula. Um aspecto positivo a ressaltar é que a parte experimental, de suma importância, não foi em nenhum momento negligenciada, conforme tínhamos aulas teóricas, também aprendemos sobre detectores de partículas e todo o aparato experimental desenvolvido em Física Nuclear.*

B5: *Talvez se deve revisar o método de avaliação porque a quantidade de exercícios foi grande. Se os alunos tivessem que resolver problemas em aula isso facilitaria a fixação do conteúdo.*

L1: *A Física Nuclear se mostrou uma disciplina muito interessante, porém difícil em comparação com as disciplinas por mim já realizadas. A maneira como as aulas foram organizadas motivavam semana a semana. Acredito que o meu aproveitamento poderia ter sido maior se o meu tempo disponibilizado para tal fosse maior. Porém o acúmulo de disciplinas nesse semestre me impossibilitou desse privilégio.*

L2: *Considero como ponto negativo o pouco tempo para assimilar o conteúdo e resolver as listas de exercícios. Acredito que para os colegas do bacharelado seja possível acompanhar o ritmo, mas para os licenciados é necessário um pouco mais de tempo para a solução das listas, embora seja possível acompanhar a parte conceitual e experimental.*

4.5 AS PERCEPÇÕES DOS DISCENTES DA DISCIPLINA FSC511 – FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS

Podemos, a partir das respostas apresentadas na seção anterior, obter alguns resultados importantes. Quanto a questão (a) *Escreva suas conclusões pessoais sobre o seguimento em pesquisa no seu campo de formação e interesses pessoais*, os alunos de modo unânime manifestaram satisfação com os temas trabalhados e quanto a importância da disciplina nas suas futuras opções profissionais.

Na questão (b) *Escreva suas reflexões sobre o que foi aprendido em seminários, tendo em vista a adição curricular que a disciplina possa ter oferecido para a formação do físico e do professor*. Um ponto interessante nas respostas apresentadas é que, de um modo geral, os

alunos se reportaram aos seminários realizados por eles. Mas também houve manifestação sobre a variedade de temas e a importância na formação discente.

Sobre a questão (c) *Foram abordados temas extracurriculares como: História da Física Nuclear e História da Política Nuclear Brasileira. Você poderia acrescentar uma crítica ou comentário sobre o aprendizado deste tema?* Esta pergunta ofereceu respostas muito significativas, pois o tema permite uma ampla relação entre a evolução da FN e o contexto histórico e os interesses diversos. Os alunos conseguiram perceber e se interessar não só por estes temas como chegaram a afirmar que mais temas como estes deveriam ser discutidos.

A questão (d) *pedia: Descreva a importância do que foi exposto frente aos desenvolvimentos modernos em Física Nuclear e de Partículas, dentro da sua formação pessoal e tendo em vista o término do seu curso na UFSM.* Nesta questão existe uma diferença significativa entre as respostas dos licenciandos e bacharéis. Enquanto os licenciandos destacaram o fato de terem trabalhado conteúdos mais comuns como decaimentos, ressaltaram a oportunidade de trabalharem temas pouco comuns na licenciatura, como a equação de Dirac. Já, os bacharéis, apresentaram respostas com uma visão mais voltada para a Pós-Graduação ou simples interesse acadêmico voltado para a pesquisa.

A última questão perguntava: *Cite e justifique a suas críticas pessoais à estrutura e andamento das atividades, tal como foi conduzida durante o semestre letivo e recebida por você.* De um modo geral, os alunos do bacharelado destacaram como ponto negativo a diferença de formação entre os colegas, e como consequência a necessidade de inclusão de revisões de Mecânica Quântica. Esta observação era geralmente concluída solicitando a exigência de requisitos mínimos para cursá-la. Bacharéis e licenciados consideraram as listas de exercícios longas. Neste quesito, cabe destacar que foi solicitado a solução de problemas propostos nos livros adotadas. Nos parece razoável rever este procedimento em uma nova oportunidade. Os pontos que destacaram como positivos foram as atividades experimentais e a forma como as aulas forma conduzidas a partir dos 3 pilares.

A partir destas respostas podemos concluir que, quanto aos temas trabalhados, os alunos sentiram-se satisfeitos quanto as suas expectativas para um curso de FN. A inclusão de temas que permitem uma abordagem contextualizada ao processo histórico do desenvolvimento da FN e os interesses sociais, econômicos e políticos foi outro ponto que agradou e motivou as atividades. As apresentações dos seminários, na concepção dos alunos, foram importantes pela oportunidade de aprenderem algo fora das áreas em que pretendem atuar, como bacharéis ou licenciados, e por terem a oportunidade de se aprofundarem em áreas onde já realizam suas iniciações científicas. Quanto a separação da disciplina em 3 pilares, apenas um acadêmico não

aprovou esta metodologia, os demais manifestaram aprovação, principalmente devido as atividades experimentais e apresentação de seminários.

Desta forma, podemos afirmar que, sob as percepções dos alunos, a nossa proposta de modernização curricular para o Ensino de Física Nuclear foi aprovada.

4.6 AS PRINCIPAIS OBSERVAÇÕES DO TRABALHO

Durante o decorrer do curso várias anotações foram feitas sobre as manifestações dos alunos, as principais dificuldades na realização das tarefas e sobre a participação nas atividades realizadas, principalmente durante os seminários. Deste modo, podemos destacar:

- Dificuldade para a solução dos problemas propostos. Os alunos, independentemente de serem do curso de bacharelado ou licenciatura, só conseguiram resolver os problemas mais simples ou reproduzir as demonstrações já realizadas em sala de aula. O principal motivo, corroborado pela manifestação de alguns alunos na seção anterior, foi a falta de tempo para a realização da tarefa. Cabe lembrar que a disciplina foi oferecida como optativa e acabou se tornando uma disciplina a mais na carga horária dos alunos (muitos se matricularam na rematrícula, pois viram como uma oportunidade de estudar algo que rotineiramente não é visto)
- Dificuldade de tratar os dados experimentais. Muito embora a disciplina tenha contado com a participação de discentes de final de curso, podemos observar que os alunos ainda apresentam dificuldades em traçar gráficos. Embora necessite de um estudo mais aprofundado do “por que” desta dificuldade, acreditamos que seja pela falta de aulas práticas adequadas, que desenvolvam habilidades motivadas por experimentos que chamem a atenção dos discentes e que desperte o carácter investigativo.
- Dificuldade de contextualizar socialmente, economicamente e politicamente. A prática da contextualização é reflexo de algo que é, ou deveria ser, trabalhado durante todo o curso, seja na licenciatura ou no bacharelado. A inibição ou falta de preparo para consolidar tal habilidade mostrou algo muito preocupante. Acreditamos que isto seja reflexo de uma prática apenas conteúdista, durante o cumprimento curricular, onde resta pouco espaço para inserções além do conteúdo. Desta forma, coube aos responsáveis pela disciplina provocar

situações em que a FN pudesse ser discutida em um contexto além do simples cumprimento de uma ementa ou programa.

- Capacidade de compreensão conceitual. Se por um lado os alunos apresentaram dificuldades na solução de problemas e alguns tratamentos de dados experimentais, é notório que eles possuem competência para desenvolver temas de modo conceitual. Todos os seminários apresentados pelos discentes abordaram de forma correta as descrições conceituais de FN necessárias para a discussão dos temas propostos.

Embora as dificuldades apresentadas fossem esperadas e a competência em contextualizar a FN de acordo com os objetivos propostos possa ser considerada satisfatória, o interesse investigativo levou-nos a repensar a metodologia aplicada nos seminários, espaço onde os discentes dispõem de liberdade para tratar aplicações por eles selecionadas. Uma alternativa metodológica será apresentada na seção seguinte.

4.7 MÉTODO TUTORIAL DE OXFORD + APRENDIZAGEM COLABORATIVA – UMA OPÇÃO METODOLÓGICA

Ao trabalharmos com os alunos da disciplina FSC511 – Física Nuclear e da Partículas, notamos uma certa dificuldade inicial para trabalhar com contextualizações. Os alunos ficavam reticentes em usar o espaço de sala de aula para trabalhar uma abordagem contextual. Com o decorrer das atividades, foram aos poucos se adaptando e a participação se tornou mais natural.

A perspectiva de aprimorar a forma como os discentes relacionam a FN e suas aplicações em um contexto socioeconômico, político e ambiental, levou-nos a procurar uma metodologia alternativa. Na impossibilidade de trabalharmos com os alunos dos Cursos de Física, visto que não haveria público suficiente para uma nova oferta da disciplina, optamos por trabalhar com os alunos do Curso de Engenharia Química do quarto semestre que cursavam a disciplina de Física Geral e Experimental IV (1º semestre de 2017), onde o tema FN está inserido no programa. Evidentemente que há uma diferença na formação destes discentes em relação aos alunos do Curso de Física, todavia, estes alunos estudaram Relatividade Restrita e Fundamentos de Mecânica Quântica, incluindo soluções da equação de Schrödinger, sendo assim, possuem conhecimento básico para trabalhar com o tema FN, principalmente na esfera da compreensão dos conceitos básicos e nas suas aplicações em eventos atuais que possibilitem uma discussão contextualizada.

Quando observamos aspectos relacionados ao contexto social, político e econômico, os objetivos previstos para físicos, químicos ou engenheiros apresentam convergência, como podemos facilmente observar comparando as DCNs, já apresentadas, com as DCNs dos Cursos de Engenharia.

Para os cursos de Engenharia, a Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação definiu as diretrizes curriculares nacionais desses cursos, através do Parecer CNE/CES1.362/2001 (BRASIL, 2002b, p. 4), no qual definiu-se:

O perfil dos egressos de um curso de engenharia compreenderá uma sólida formação técnico-científica e profissional geral que o capacite a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade.

No que tange às competências e habilidades previstas no Parecer CNE/CES1.362/2001 (BRASIL, 2002b, p. 4), podemos destacar o item “1) avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental”. O mesmo Parecer ainda destaca que, na estrutura do curso, a “ênfase deve ser dada à necessidade de se reduzir o tempo em sala de aula, favorecendo o trabalho individual e em grupo dos estudantes” e, ainda, “[...] procurar-se-á desenvolver posturas de cooperação, comunicação e liderança” (BRASIL, 2001, p.5).

No entanto, para que possamos atingir uma formação em que o perfil desejado do futuro engenheiro seja alcançado e que suas competências e habilidades sejam desenvolvidas, dentro de um contexto socioambiental, é necessária uma metodologia de trabalho que vá além da forma tradicional de ensino e busque uma maior participação dos discentes.

Neste sentido, metodologias de ensino-aprendizagem alternativas para cursos universitários ganharam espaço nas pesquisas educacionais desde o período de 1950-1970, em especial na perspectiva da aquisição de competências cognitivas e desenvolvimento de habilidades para auto eficiência (Hight, 1950; Towle, 1961; Brown e Thorton, 1963; Umstatt, 1964). Em um cenário mais recente, Duke (1996) e Brock e Curthoys (2000) avaliaram o método tutorial da Universidade de Oxford (MTO) como uma proposta eficiente de ensino para universitários britânicos e norte-americanos, o qual fornece o balizamento e a organização didática de um ambiente de aprendizagem colaborativa. Também Lobo, Adornes e Lüdke (2017) aplicaram o MTO para alunos do segundo semestre do curso de Licenciatura em Matemática e este mostrou-se ser uma ferramenta eficaz, ao prover uma dinâmica com melhores resultados no desenvolvimento da relação professor-aluno. Este fator, apesar de muitas vezes negligenciado, é muito importante no desenvolvimento de atividades que visam a comunicação e o envolvimento de todos os participantes. É, naturalmente, o caso, se desejamos estimular o aluno a participar da discussão de questões que vão além das técnico/científicas, como

contextos sociais, políticos, econômicos e ambientais, visto que o papel do docente passa a ser o de tutor, ou seja, dirigindo o aprendizado do discente.

Assim, a aprendizagem colaborativa, além de posicionar o professor como tutor, propicia uma metodologia colaborativa de ensino-aprendizagem que contempla tais objetivos.

De acordo com Alcântara, Siqueira e Valaski (2004, p. 3)

Uma alternativa metodológica de modificar a forma de ensinar e de aprender é utilizar a influência entre os pares, chamada de aprendizagem colaborativa. Esta estratégia de ensino-aprendizagem vê o aluno como um sujeito ativo e participante do processo de aprendizagem, onde este interage com os outros colegas e professor, assimilando conceitos e informações e construindo o conhecimento.

Segundo Pallof e Pratt (2002, p. 141), “quando os alunos trabalham em conjunto, isto é, colaborativamente, produzem um conhecimento mais profundo e, ao mesmo tempo, deixam de ser independentes para se tornarem interdependentes”. Contudo, devemos observar que alunos trabalhando em grupo não significa que estejam, obrigatoriamente, trabalhando colaborativamente. Cabe, portanto, ao docente planejar as atividades didáticas para não inviabilizar a metodologia de trabalho.

Por outro lado, introduzir contextos sociais, políticos, econômicos e ambientais que atendam às demandas da sociedade não é uma tarefa simples, especialmente durante as fases de formação básica de alunos universitários, em uma disciplina de Física Geral. Em contraditório, a Física Nuclear é um dos poucos pontos durante esta fase de estudo que permite uma incursão, para além da simples demanda curricular científica, pelo grande número de aplicações e pelo interesse que este campo de conhecimento desperta.

4.7.1 Metodologia para a aplicação do MTO + aprendizagem colaborativa

Para trabalharmos o MTO e a aprendizagem colaborativa iniciamos propondo aos 26 alunos do Curso de Engenharia Química da UFSM, que manifestaram concordância com o termo de consentimento livre e esclarecido (TCL) (Anexo B), autorizando a publicação anônima da pesquisa, matriculados na disciplina de Física Geral e Experimental 4, estudarem o tema Física Nuclear a partir do livro-texto, Fundamentos de Física, Vol. 4, Óptica e Física Moderna (Halliday, Resnick e Walker, 2009, p.303-354) através do MTO. Os alunos tiveram 4 horas-aula em sala de aula para discutir o conteúdo com o professor.

Nesta etapa, o objetivo era que os discentes obtivessem o conhecimento conceitual básico do tema, como a descoberta do núcleo, propriedades nucleares como o decaimento radioativo, processo de fusão e fissão nuclear, modelos nucleares e reatores. Esta etapa precedia um segundo momento, no qual os alunos deveriam, a partir do conteúdo trabalhado, apresentar

produções textuais sobre uma *aplicação da Física Nuclear* em forma de texto e de seminário. Para os textos produzidos, foi requerido que os alunos apresentassem o contexto histórico em que o fundamento teórico investigado, como tema livre, se desenvolveu, enquanto que a aplicação deveria ser algo de interesse atual, seja pelo caráter científico, político, econômico, social ou ambiental.

Como suporte para a escolha dos temas foi sugerido uma pesquisa inicial na página do International Nuclear Atlantic Conference (INAC, 2015), em sua 7ª edição, no qual também realizaram-se o XIX Encontro de Física de Reatores e Termohidráulica (XIX ENFIR), o XII Encontro de Aplicações Nucleares (XII ENAN) e o IV Encontro de Indústria Nuclear (IV ENIN), cujos artigos são obtidos diretamente no site da International Atomic Energy Agency.

Para a implementação da proposta de trabalho, os discentes deveriam formar grupos de, no máximo, quatro membros, para discussão e ação colaborativa. A partir da formação dos grupos, os alunos tiveram duas semanas para agendar com o professor horários para discussão de possíveis dúvidas na elaboração e execução da tarefa. Na semana seguinte, houve a apresentação dos seminários e entrega dos textos. Cada grupo dispunha de, aproximadamente, 20 minutos para apresentação e 5 minutos para as discussões. Neste ponto, deve-se observar: (a) que os alunos foram avisados que durante a apresentação o professor poderia fazer questionamentos e que estes questionamentos seriam respondidos pelos acadêmicos que o professor escolhesse. Essa medida foi tomada para evitar que o trabalho fosse partilhado, ou seja, que cada aluno preparasse uma parte separadamente, descaracterizando a aprendizagem colaborativa. E (b) nos questionamentos, o professor tomaria uma posição de mediador sempre que necessário, de modo a instigar a discussão entre os discentes.

Para avaliarmos a eficiência da proposta de trabalho, foram analisadas a redação dos textos apresentados, a apresentação dos seminários, um questionário respondido pelos alunos depois da última apresentação e apontamentos sobre as discussões consideradas relevantes pelo professor/pesquisador. A avaliação destes documentos foi realizada com base na análise de conteúdo de Bardin (1977) e nos critérios gerais de comunicação verbal e escrita científica apresentados por Hofmann (2013).

Após o estudo do tema Física Nuclear seguindo o MTO, em que os alunos discutiram o conteúdo do livro texto, os discentes passaram à execução da segunda parte da proposta de trabalho: a escolha da aplicação da FN, elaboração do texto e apresentação do seminário. Formaram-se 8 (oito) grupos que apresentaram seminários e textos com os seguintes títulos (em ordem de apresentação):

- 1) Isótopos radioativos no controle de contaminantes marinhos.

- 2) Aplicação da Física Nuclear na indústria farmacêutica.
- 3) A radiação ionizante na esterilização de embalagens de polietileno para alimentos.
- 4) Melhoramento genético de plantas: radiações ionizantes.
- 5) Armas nucleares.
- 6) Determinação de Cl, K, Mg, Mn, Na no vinho tinto brasileiro por análise de ativação de nêutrons.
- 7) Futuro da energia nuclear para geração de eletricidade no Brasil.
- 8) Tomografia por emissão de pósitrons.

4.7.2 Análise dos seminários, Coleta de dados e categorização

O primeiro aspecto que pudemos observar durante a apresentação dos seminários é que, em apenas um grupo, os discentes não apresentavam entre si a mesma segurança ou domínio do conteúdo apresentado. Os demais 7 (sete) grupos mostraram alunos em condições equivalentes, respondendo as questões com segurança e demonstrando a compreensão dos temas selecionados.

Observamos, também, que todos os grupos apresentaram os processos históricos de cada fenômeno tratado, as definições e os conceitos básicos de modo satisfatório.

Todos os temas tratados são de interesse atual, inserindo-se em contextos diversos como categorizados abaixo:

- a) Contexto ambiental – Nos temas tratados em (1), (2), (3), (4) e (5) foram abordados aspectos ambientais. Neste ponto destacam-se discussões que ocorreram no tema (1), “isótopos radioativos no controle de contaminantes marinhos”, com a inclusão de discussões sobre poluição gerada por combustíveis fósseis e qualidade de produtos para consumo humano. No tema (2), “aplicação da Física Nuclear na indústria farmacêutica”, com o questionamento do descarte correto de resíduos hospitalares radioativo, sob controle da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). O tema (3) levou à discussão a questão do uso de sacos de lixo não biodegradáveis. A antiga discussão sobre os efeitos futuros dos transgênicos no ambiente foi abordado no tema (4), “melhoramento genético de plantas: radiações ionizantes”. E nada mais atual que a preocupação com o ambiente quando se fala em armas nucleares, abordado no tema (5). No tema (7), “o futuro da energia nuclear para geração de eletricidade no Brasil”, a questão ambiental discutida centrou-se na relação entre a área territorial necessária para

a instalação de uma usina hidrelétrica e aquela necessária para a instalação de uma usina nuclear.

- b) Contexto social – Embora todos os temas estejam inseridos no contexto social, as discussões sobre este contexto tiveram maior grau nos temas (2) e (8). Nestas apresentações, discutiu-se desde a dificuldade que pacientes de algumas comunidades enfrentam quando precisam de tratamento radioterápico, até a dificuldade para se fazer determinados exames, como ressonância magnética pelo Sistema Único de Saúde (SUS).
- c) Contexto econômico – Na maioria dos temas a questão econômica está diretamente relacionada, como os próprios títulos dos trabalhos sugerem, seja na indústria farmacêutica (tema 2), na indústria vinícola (tema 6), esterilização de embalagens de polietileno (tema 3), agroindústria (tema 4) e geração de energia (tema 7).
- d) Contexto político – Indubitavelmente, quando se fala em Física Nuclear sempre há um interesse político atrelado. Assim sendo, os pontos fundamentais das discussões ocorreram no seminário sobre armas nucleares. Nos debates surgiram duas indagações muito importantes: a primeira relacionada aos países que detém armamento nuclear, no caso, os Estados Unidos, Reino Unido, França, China, Índia, Paquistão, Israel e Coreia do Norte. Os cinco primeiros estão entre as maiores economias do mundo, o que suscitou a indagação: pode um País ter uma grande economia sem ter um grande potencial de defesa? A segunda indagação que merece destaque está relacionada aos países que integram o BRICS – Brasil; Rússia; Índia; China e África do Sul, que foi assim formulada: como o mundo vê a possibilidade do Brasil, uma nação nuclear em potencial (pelas suas grandes reservas de urânio e sua tecnologia de enriquecimento) ter um governo de esquerda, associado à Rússia e a China? Sem dúvida tais indagações estão relacionadas não apenas à política externa, mas ao papel do Brasil na governança mundial.

4.7.3 Análise dos questionários

Para avaliarmos como os discentes receberam a proposta de trabalho, elaboramos um questionário (Apêndice A), apresentado abaixo, com a classificação das respostas recebidas, para efeito de análise e reflexão sobre os trabalhos elaborados em ambiente colaborativo.

Para as questões 1, 2, 3 e 4, os discentes deveriam responder (a) insatisfeito; (b) razoável e (c) satisfatório, além de responderem para as questões 2, 3 e 4: “Você considera importante esta abordagem na sua formação? Sim ou não?”

Vejam os:

- 1)** A metodologia aplicada para o tema FN permitiu que você discutisse as definições e conceitos básicos de modo:

(a) insatisfeito (b) razoável (c) satisfatório

Consideraram satisfatório o conhecimento das definições e conceitos básicos, 50% dos alunos; 46% consideraram razoável e 4% consideraram insatisfatório. Este resultado será analisado em conjunto com as respostas do item 8 (oito) do questionário.

- 2)** A metodologia aplicada para o tema FN permitiu que você discutisse o processo histórico da evolução do conhecimento em FN de modo:

(a) insatisfeito (b) razoável (c) satisfatório

Consideraram regular 50% dos alunos, enquanto os outros 50% consideraram satisfatório. Essa abordagem foi considerada importante para 88% dos discentes, 8% não consideram importante e 4% não responderam.

- 3)** A metodologia aplicada permitiu que você discutisse a evolução da FN em um contexto histórico, social e político de modo:

(a) insatisfeito (b) razoável (c) satisfatório

O contexto acima abordado foi considerado satisfatório para 73% dos discentes, 23% consideraram razoável e 4% não responderam. Essa abordagem é considerada importante para 81% dos entrevistados, enquanto 15% não consideram importante e 4% não responderam.

- 4)** A metodologia aplicada para o tema FN permitiu que você discutisse esse tema no contexto da política interna, externa e de governança mundial de modo:

(a) insatisfeito (b) razoável (c) satisfatório

Neste contexto, 46% dos discentes avaliaram que a discussão foi razoável, o mesmo percentual foi registrado para satisfatório, enquanto 8% consideraram insatisfatório. Este contexto foi considerado importante por 92% dos discentes, 4% não consideram importante e 4% não responderam.

Outro ponto que procuramos analisar foi se os temas tratados nos seminários eram algo realmente novo para os discentes. Neste caso, para cada tema citado na questão (5), os alunos deveriam responder: (a) não tinha conhecimento; (b) não acrescentou novos conhecimentos; (c) acrescentou novos conhecimentos.

- 5)** Nas aplicações apresentadas de FN listadas abaixo, você afirmaria que:

- a) Energia nuclear. Consideraram que o tema energia nuclear acrescentou novos conhecimentos 85% dos discentes. Não acrescentou novos conhecimentos foi a afirmativa de 11% dos alunos, enquanto que 4% afirmaram que não tinham conhecimento do tema.
- b) Armas nucleares. Quanto ao tema relacionado às armas nucleares, 77% dos discentes afirmaram adquirir novos conhecimentos, enquanto 8% afirmaram que não tinham conhecimento sobre o tema. Os 15% dos demais alunos afirmaram que não acrescentou novos conhecimentos.
- c) Aplicações na indústria farmacêutica. A inserção da FN na indústria farmacêutica acrescentou conhecimento para 65% dos discentes, desconheciam a FN no âmbito da indústria farmacêutica 31%, enquanto 4% dos discentes afirmaram que não adquiriram novos conhecimentos.
- d) Isótopos radioativos no controle de contaminantes marinhos e impacto sócio ambiental da radioatividade. Nestas aplicações 77% dos alunos afirmaram que não tinham conhecimento, 19% afirmaram que foi acrescentado conhecimento com as apresentações e 4% que não adquiriram novos conhecimentos.
- e) Radiação no processamento de polietileno. Não tinham conhecimento 62% dos discentes, 34% consideraram que a apresentação trouxe novos conhecimentos, enquanto 4% dos alunos afirmaram que a apresentação não trouxe novos conhecimentos.
- f) Determinação de Cl, K, Mg, Mn, Na e V em vinhos brasileiros a partir da análise por ativação de nêutrons. Esta aplicação da FN, dentre todas as aplicações apresentadas, foi a que se apresentou como uma novidade para 85% dos discentes, acrescentou novos conhecimentos para 16% dos discentes. Destaca-se que nesta aplicação nenhum discente manifestou-se como algo que já tinha conhecimento.
- g) Melhoramento genético de plantas. Para 58% dos discentes, a apresentação do seminário sobre este tema acrescentou novos conhecimentos, não tinham conhecimento desta aplicação 38%, enquanto 4% afirmaram que a apresentação não acrescentou novos conhecimentos.
- h) Tomografia por emissão de pósitrons. Essa importante tecnologia foi considerada uma nova informação para 69% dos discentes, 27% afirmaram adquirir novos conhecimentos, enquanto 4% manifestaram que não acrescentou novos conhecimentos.

A visão dos alunos sobre a metodologia foi questionada nas duas questões a seguir. Elas serão apresentadas com as respectivas respostas dispostas em categorias.

6) O que você considera como aspecto positivo mais importante na metodologia aplicada?

Alguns alunos apontaram mais de um aspecto positivo, de modo que foi possível caracterizar as respostas nas 7 categorias abaixo:

- a) Método de trabalho: 10 (dez) discentes citaram o método de trabalho adotado como principal aspecto positivo, seja pelo trabalho em grupo, pela construção do aprendizado ou pela oportunidade de discutir várias aplicações da FN.
- b) Ampla aplicabilidade da FN: 4 (quatro) alunos destacaram o amplo espectro de aplicações da FN. Um comentário interessante foi “um conhecimento aplicado na prática, realmente”. Esse comentário mostra que as aplicações estão, de certa forma, diretamente correlacionadas com a atualidade.
- c) Liberdade de escolha do tema do seminário: embora a liberdade de escolha para o tema pudesse ser vinculada à metodologia da proposta de trabalho, levamos em conta que os temas poderiam ser definidos pelo professor, o que não ocorreu. Assim, foi possível que os grupos propusessem temas de acordo com a área de interesse de cada grupo. Três discentes destacaram esse ponto.
- d) Discussão em vários contextos: o contexto de interesse público foi citado 3 (três) vezes, o histórico foi citado por 2 (dois) discentes, enquanto que o termo “contexto político” e o termo “diversos contextos” foram citados uma vez, cada um deles.
- e) Aulas não expositiva/explicativa: como aspecto positivo, 2 (dois) discentes destacaram o fato do tema FN não ser tratado em aulas expositivas e com resoluções de problemas.
- f) Novos conhecimentos: Dois alunos escreveram como aspecto positivo simplesmente “aprender novos conhecimentos”.
- g) Aprofundamento de vários temas em FN: Dois alunos destacaram que os trabalhos apresentados possibilitaram um aprofundamento do conhecimento em cada tema discutido.

Embora os discentes considerem como aspecto positivo a oportunidade de trabalhar em grupo, a liberdade de escolha do tema (o que, na realidade, representa a possibilidade de o aluno estudar aquilo que ele quer aprender), as aulas não expositivas ou de caráter puramente explicativo e instrucional, estes aspectos deveriam ser corriqueiros, de acordo com as próprias diretrizes dos cursos de engenharia.

7) O que você considera como aspecto negativo na metodologia aplicada?

Três alunos não responderam. As respostas dos demais discentes foram categorizadas em 9 (nove) aspectos, listados abaixo.

- a) *A falta de aulas expositivas*: 5 (cinco) discentes citaram a necessidade de aulas expositivas, sendo que 3 (três) destes acrescentaram a necessidade de resolução de problemas, procedimento tradicional aplicado no decorrer do semestre.
- b) *Tempo para as apresentações*: 6 (seis) alunos criticaram o tempo para a apresentação, embora neste ponto não houvesse consenso, pois 3 (três) queriam mais tempo e os outros (3) três consideraram que o tempo poderia ser menor.
- c) *Dificuldade de contextualizar*: A dificuldade de contextualizar o tema da apresentação, tanto no aspecto histórico quanto nos aspectos socioeconômicos ou políticos, foi citada por três alunos.
- d) *Falta de recursos de pesquisa e material bibliográfico adequado*: Os alunos consideraram que alguns temas são poucos pesquisados e dispõem de pouco material confiável. Dois discentes consideraram como aspecto negativo a dificuldade de encontrar material para a apresentação do seminário devido a poucas publicações confiáveis sobre determinados temas. Tais dificuldades acabaram por influenciar na qualidade do texto e da apresentação do tema escolhido.
- e) *Conteúdo muito extenso*: Um único aluno considerou que o tema FN é muito extenso.
- f) *Explicações confusas*: Um aluno considerou como aspecto negativo algumas explicações confusas durante as apresentações dos trabalhos.
- g) *Necessidade de maior aprofundamento*: Um aluno considerou que as apresentações poderiam se aprofundar mais nos temas.
- h) *Maior inserção da Física Nuclear em outras disciplinas*: A FN é ampla e tem pouco espaço no currículo do curso, o que requer mais tempo. Um discente considera que a FN é muita ampla e que deveria ocupar mais espaço no currículo do curso.
- i) *Necessidade de elaboração de habilidades verbais e sintéticas*: O grupo foca no tema da apresentação e deixa os outros temas vagos. E, finalmente, um aluno considera que o grupo foca atenção apenas no conteúdo associado à apresentação, desprezando os temas que não são abordados pelo grupo.

Ao analisarmos as respostas sobre os aspectos negativos da metodologia aplicada, podemos entender e interpretar melhor os resultados da questão 1. Os discentes apresentam uma certa resistência a métodos alternativos às aulas expositivas, como foi apontado diretamente por

quase 20% dos alunos. De modo indireto, outros dois discentes corroboram com essa interpretação, quando apontam “conteúdo extenso” e “explicações confusas”. No entanto, se o professor apresentasse o conteúdo, ele não deixaria de ser extenso, ou seja, não é uma questão de metodologia. Da mesma forma, a aula expositiva tradicional dificilmente é apresentada de forma confusa pelo docente. Todavia, é importante destacar que muitos alunos manifestaram que era a primeira vez que estavam apresentando um seminário como aluno de graduação, o que, sem dúvida, foi um desafio bastante importante para a formação do discente.

Outro ponto citado como aspecto negativo é o pouco espaço da Física Nuclear no currículo do curso, o que requer mais tempo para assimilar os conteúdos. Novamente, este não pode ser caracterizado como um problema metodológico, mas que talvez possa ser tratado como um possível questionamento quanto a estrutura curricular do curso.

Quanto à dificuldade de obter material para alguns temas, de certo modo, relaciona-se ao fato de algumas aplicações da FN serem muito recentes. Os discentes relataram que, durante a escolha do tema para o seminário, tiveram dificuldades em encontrar artigos além dos citados na fonte informada para consulta, o que os levou a optar por um tema com mais bibliografia disponível. Embora citado como um aspecto negativo, essa experiência relatada pelos acadêmicos serviu para mostrar as dificuldades de se realizarem pesquisas, mesmo que bibliográficas, o que foi uma importante experiência para os discentes.

Por fim, a última categoria de aspectos negativos cita o fato de o grupo focar no tema da apresentação e deixar os outros temas vagos. Mais uma vez devemos observar que a primeira parte do trabalho consistia em trabalhar o conteúdo programático pelo MTO, no qual cada aluno sob supervisão busca aprender o conteúdo de acordo com suas capacidades e sob supervisão do professor. A apresentação de um texto e do seminário é algo a mais, indo além do conteúdo programático. Não era nosso objetivo que todos os alunos tivessem a mesma compreensão sobre todos os temas apresentados pelos colegas ou até mesmo um maior aprofundamento técnico/científico, ponto apontado por um único discente, mas sim que pudessem conhecer as aplicações atuais da Física Nuclear dentro de um contexto histórico, social, político e ambiental, possibilitando reflexões sobre esses contextos.

Um ponto que consideramos importante é se o método aplicado satisfizes as pretensões dos discentes quanto ao que eles esperavam aprender nesse tema. Foi feito o seguinte questionamento, no qual os alunos deveriam responder: plenamente satisfeito, satisfeito ou insatisfeito.

- 8) Considerando o tema Física Nuclear, você diria que quanto ao conhecimento adquirido ficaste:

Os discentes afirmaram que o conhecimento adquirido foi satisfatório para 85% das respostas, 11% responderam plenamente satisfeito e 4% insatisfeito.

Por fim, questionamos se o discente recomendava ou não a metodologia para os próximos semestre, conforme segue.

9) Quanto a metodologia aplicada para o tema Física Nuclear, para você foi:

Quase por unanimidade (96%) os alunos recomendaram. Apenas um aluno, o que representa 4% dos discentes, respondeu negativamente.

Desta forma, podemos afirmar que o Método de Tutoria de Oxford (MTO), aplicado em um ambiente de aprendizagem colaborativa, mostrou-se útil e promissor para trabalhar as definições e os conceitos básicos de Física Nuclear já no final do segundo ano dos cursos de Engenharia Química. Avaliado a partir da apresentação dos trabalhos, o método mostrou-se com uma boa eficiência. Contudo, devemos destacar que não foi avaliado quanto a capacidade e habilidade adquiridas para a solução de problemas que envolvam cálculos matemáticos. Persiste, por parte de alguns discentes, a necessidade de aulas expositivas para a resolução de problemas e exercícios-exemplo, pois os próprios alunos assim o requisitaram.

A aprendizagem colaborativa mostrou-se eficiente para atingir os demais objetivos, porque praticamente todos os grupos trabalharam na forma desejada. No que tange aos seminários, cumpriu-se os objetivos em todos os aspectos almejados. A escolha dos temas atendeu a relevância científica atual, os trabalhos apresentaram contextualização do processo histórico do desenvolvimento da Física Nuclear e possibilitaram discutir contextos ambientais, políticos, econômicos e sociais, conforme previsto nas Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia, mas que também se aplica ao curso de Licenciatura em Física, foco principal deste trabalho.

4.8 TAXONOMIA DE BLOOM

Os dados dos Quadros 4 e 5 referem-se ao desenvolvimento dos estudantes a partir de observações dos seminários apresentados. Foram classificados de acordo com o Método da Taxionomia do Domínio Cognitivo de Bloom (BLOOM et al., 1956), que é um instrumento de classificação de objetivos de aprendizagem de forma hierárquica (do mais simples para o mais complexo) que pode ser utilizado para estruturar, organizar e planejar disciplinas, cursos, currículos ou módulos instrucionais.

A taxonomia tem sido utilizada para a classificação de objetivos curriculares e para descrever o resultado de aprendizagem em termos de conteúdo e discussão do que deve ser realizado com o conteúdo assimilado (DRISCOLL, 2000)

Os processos categorizados pela Taxonomia de Bloom, além de representarem resultados de aprendizagem esperados, são cumulativos, o que caracteriza uma relação de dependência entre os níveis e são organizados em termos de complexidades dos processos mentais. Segundo Conklin (2005), sua classificação hierárquica dos objetivos de aprendizagem têm sido uma das maiores contribuições acadêmicas para educadores que, conscientemente, procuram meios de estimular, nos seus discentes, raciocínio e abstrações de alto nível, sem distanciar-se dos objetivos instrucionais previamente propostos.

Um objetivo instrucional, de acordo com Mager (1984), é uma descrição clara sobre o desempenho e a competência que os educadores gostariam que seus educandos demonstrassem antes de serem considerados conhecedores de determinados assuntos. Esse objetivo está ligado a um resultado intencional diretamente relacionado ao conteúdo e à forma como ele deverá ser aplicado.

No ensino das ciências exatas, mais especificamente da Física, Engenharia e Química, constantemente é solicitado aos discentes alto grau de abstração na realização de algumas atividades acadêmicas que simulam a realidade, e pode-se perceber que uma proporção significativa de alunos não conseguem realizar essas atividades de forma satisfatória. Portanto, desenvolver essa capacidade de abstração e utilização de um conhecimento específico de forma multidisciplinar é um processo que deve ser bem planejado, definido e organizadamente estimulado durante o período de formação (graduação), levando-se em consideração os estilos de aprendizagem (BELHOT; FREITAS; VASCONCELLOS, 2006).

O que torna a utilização da Taxonomia de Bloom um instrumento adequado para ser utilizado no ensino de terceiro grau é que ela, nos últimos anos, foi avaliada e atualizada considerando os avanços estratégicos e tecnológicos incorporados ao meio educacional (KRATHWOHL, 2002).

Nossa classificação dos objetivos instrucionais no desenvolvimento dos alunos, a partir da apresentação dos seminários, é mostrada nos Quadro 4 e 5, disposta em seis níveis, por ordem crescente de complexidade, de acordo com a Taxinomia de Bloom, onde:

- Col. 1 - identificação dos alunos por número;
- Col. 2 - Conhecimento – Refere-se à habilidade do aluno em recordar, definir, reconhecer ou identificar informação específica, a partir de situações de aprendizagem anteriores;

- Col. 3 - Compreensão – Refere-se à habilidade do aluno em demonstrar compreensão pela informação, sendo capaz de reproduzir a mesma por ideias e palavras próprias;
- Col. 4 - Aplicação – Refere-se à habilidade do aluno em recolher e aplicar informação em situações ou problemas concretos;
- Col. 5 - Análise – Refere-se à habilidade do aluno em estruturar informação, separando as partes das matérias de aprendizagem e estabelecer relações, explicando-as, entre as partes constituintes;
- Col. 6 - Síntese – Refere-se à habilidade do aluno em recolher e relacionar informação de várias fontes, formando um produto novo;
- Col. 7 - Avaliação – Refere-se à habilidade do aluno em fazer julgamentos sobre o valor de algo (produtos, ideias, etc.) tendo em consideração critérios conhecidos.

Para a avaliação das categorias de cada domínio da Taxonomia de Bloom foi construída uma escala de nível de êxito. O valor mais alto corresponde a cinco e o mais baixo 1.

Quadro 4 - Medida do domínio cognitivo de acordo com a Taxinomia de Bloom para os alunos do Curso de Física.

Aluno	Conhecimento	Compreensão	Aplicação	Análise	Síntese	Avaliação
01	5	5	5	5	5	4
02	5	5	5	5	5	4
03	5	5	5	5	4	4
04	5	5	5	5	5	5
05	5	5	5	4	3	3
06	5	5	5	5	4	4
07	5	5	5	5	5	5
08	5	5	5	5	4	4
09	5	5	4	4	4	4
10	5	5	5	5	4	4
11	5	5	5	5	5	4
12	5	5	5	5	5	4
13	5	4	4	4	3	3

Na avaliação do *domínio cognitivo* foi perceptível que todos os alunos adquiriram as habilidades de definir, lembrar ou identificar conteúdos trabalhados. Praticamente todos demonstraram compreender e reproduzir este conhecimento e aplicá-lo durante as apresentações, evidenciando as categorias conhecimento, compreensão e aplicação. Mostraram capacidade de estruturar e relacionar com o tema do seminário e avaliar a importância ou relevância do seu seminário, evidenciando as categorias análise, síntese e avaliação.

Quadro 5 - Medida do domínio cognitivo de acordo com a Taxinomia de Bloom para os grupos dos alunos do Curso de Engenharia Química.

Grupo	Conhecimento	Compreensão	Aplicação	Análise	Síntese	Avaliação
01	5	5	5	5	5	4
02	5	5	5	5	5	4
03	5	5	5	5	5	5
04	5	5	5	5	5	5
05	5	5	5	5	4	4
06	5	5	5	5	5	5
07	5	5	5	5	5	4
08	5	5	5	5	5	4

Na avaliação do *domínio cognitivo* foi perceptível que todos os grupos adquiriram as habilidades de definir, lembrar ou identificar conteúdos trabalhados, assim como compreender e reproduzir este conhecimento e aplicá-lo durante as apresentações, evidenciando as categorias conhecimento, compreensão e aplicação. Mostraram capacidade de estruturar e relacionar com o tema do seminário e avaliar a importância ou relevância do seu seminário, evidenciando as categorias análise, síntese e avaliação.

5 DISCUSSÕES

A realização deste trabalho partiu da necessidade de encontrar um caminho para que o Ensino de Física Nuclear pudesse contemplar as demandas das legislações educacionais, que abordasse os interesses de uma política nacional de desenvolvimento da FN, mas que também atendesse as expectativas de formação pessoal dos Físicos e Químicos.

Analizamos a legislação e a comparamos com o que está sendo oferecido nos Cursos de Física da UFSM e nos Cursos vinculados as IES com Programas de Pós-Graduação com conceito 7,0 na Avaliação do CAPES, atual. A conclusão foi que, a realidade atual do Ensino de Física Nuclear não atende as exigências atuais. Não responde aos objetivos expressos na legislação no que tange a formação esperada nos cursos superiores, tão pouco prepara os futuros professores para atuarem no Ensino Médio. Não corresponde as expectativas de formação pessoal dos discentes, por terem objetivos basicamente focados na aquisição de conhecimento científico, sem propiciar uma visão mais ampla das possibilidades profissionais vinculadas a área.

Ainda quanto aos Cursos de Física citados acima, chama atenção o fato de, em todos estes cursos, não existir uma única disciplina obrigatória de FN oferecida aos Cursos de Licenciatura em Física e alguns não dispõem o tema nem mesmo como optativa.

Apenas o descrito acima já seria o suficiente para se comprovar a necessidade de uma reestruturação curricular voltada para o Ensino de Física Nuclear nos Cursos de Licenciatura em Física e que também contemple os alunos dos Cursos de Química. Mas esta reestruturação deve estar focada em um processo de atualização curricular que traga para o convívio acadêmico as modernas tecnologias já desenvolvidas e as que estão em processo de planificação ou execução, relacionadas a FN.

Esta atualização curricular, também passa pela reorientação de objetivos vinculados as atividades desenvolvidas. Exige-se dos novos profissionais uma formação voltada para o raciocínio crítico-reflexivo e com uma vinculação entre conhecimento científico e os contextos sociais, políticos e econômicos. E, não obstante, a atualização curricular passa pela aplicação de novas metodologias de organização de conteúdos e do processo ensino-aprendizagem.

A nossa proposta da componente curricular FN vem a atender, de forma exitosa, como discutimos anteriormente, ao longo deste trabalho, a todas as estas exigências de modernização curricular para o Ensino de Física Nuclear para os Cursos de Física e Química.

Ao pesquisarmos sobre os novos temas que deveriam compor a componente curricular FN, introduzimos projetos importantes no aspecto científico e tecnológico, como o projeto

Sirius e o projeto do RMB, que terão implicações sociais e econômicas, inclusive na produção de fármacos. O uso estratégico das reservas de Urânio, as usinas termonucleares e o domínio do ciclo combustível, além de uma visão mais ampla do PNB, que para serem discutidos em sua plenitude nos obrigaram a estudar as políticas internas, externas e de governança mundial. Aqui deve-se ter uma atenção especial para a contextualização destes temas. Os interesses sociais, políticos (de toda ordem) e econômicos são complexos. Exigem que para se “navegar neste mar” é preciso ter referências bibliográficas de fontes diversas e confiáveis. Abordar o contexto histórico como os tratados de não proliferação de armas nucleares, a participação do Brasil e da Turquia no acordo Teerã e a posição atual do governo Trump sobre o projeto nuclear do Irã. Também o projeto nuclear da Coreia do Norte e a questão da volta da guerra-fria, a recente entrega do Prêmio Nobel da Paz à organização Campanha Internacional para a Abolição de Armas Nucleares, e os interesses econômicos e políticos. Para compreender e equacionar corretamente todas estas questões que fazem parte de nossa realidade atual, é preciso muito estudo, reflexões e imparcialidade. A responsabilidade no tratamento destes temas, vai muito além da simples opinião pessoal. Há de se ter discernimento, há de se ter conhecimento. Foi o que procuramos fazer conforme as referências citadas no capítulo 3.

Apresentamos as novas tecnologias na área da Física Médica, como o diagnóstico por Ressonância Magnética Nuclear, a Tomografia por Emissão de pósitrons (TEP) e a Hadronterapia com a emissão de prótons e íons de carbono para o tratamento de câncer, e a vinculamos no contexto das políticas públicas para a Saúde ao discutirmos a triste realidade de que estas novas tecnologias não são acessíveis a população de forma igualitária.

Todas estas novas informações são fundamentais para que todos os egressos dos cursos de graduação possam traçar seu destino profissional, enquanto espera-se que o profissional adquira uma autonomia econômica, onde sua formação possa assegurar a sobrevivência material por meio do trabalho, conforme (BRASIL, 2006, p.46). Neste contexto, o futuro professor deve estar preparado para que junto aos seus alunos possa apresentar as possibilidades profissionais no futuro, dando a eles condições de também se prepararem para novas possibilidades profissionais futuras.

Talvez possamos ser questionados do por que apresentar uma disciplina única de FN para os Cursos de Licenciatura e Bacharelado. Mas, a Física Nuclear e de Partículas nos Cursos de Física da UFSM, tem, historicamente, sido oferecida como uma única disciplina, tanto para os discentes da Licenciatura como do Bacharelado em Física. Esta situação se repete nos Cursos de Física com conceito 7,0 na avaliação do CAPES. As justificativas para esta paridade estão alicerçadas na legislação vigente. As Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para os Cursos

de Física (BRASIL, 2001), estabelecem que, independente da área de atuação, “[...] deve ser um profissional que, apoiado em conhecimentos sólidos e atualizados [...]”. Podemos entender que o conhecimento em FN é aquele que é obtido a partir de uma teoria ou modelo, que pode ser expresso em termos de uma ferramenta matemática adequada e comprovada experimentalmente, quando da existência de tecnologia disponível, ou a partir de simulações computacionais ou ainda amparada na capacidade de imaginar o que poderia ou deveria ocorrer se tal experimento pudesse ser realizado. Ao exigir-se que seja o conhecimento atualizado, nos coloca em um processo de constante adaptação, em que estas teorias ou modelos devem representar a realidade atual do tema em estudo.

A mesma DCN (BRASIL, 2001, p. 3), ao referir-se aos perfis específicos, diz que o perfil do físico-educador “não se aterá ao perfil da atual Licenciatura em Física, que está orientada para o Ensino Médio formal”, ou seja, requer um passo além, como a disseminação do saber, o que implica em conhecimento acima daquele atualmente requerido para uma aula formal no Ensino Médio. Ainda na mesma página temos que “o desafio é propor uma formação, ao mesmo tempo ampla e flexível, que desenvolva habilidades e conhecimentos necessários às expectativas atuais e capacidade de adequação a diferentes perspectivas de atuação futura”. Mas quais seriam as perspectivas de atuação futura? Não podemos afastar a possibilidade de que um formando em licenciatura venha a optar por uma Pós-Graduação, seja em Educação, onde poderia pesquisar sobre o Ensino Superior, por exemplo, ou em Física, ou ainda em Física Médica, além de ingressar no magistério público ou privado. As DCNs para os Cursos de Física (BRASIL, 2001, p. 4) concluem afirmando que, habilidades gerais como “utilizar a matemática como linguagem para a expressão dos fenômenos naturais” devem ser desenvolvidas “[...] independente da área de atuação escolhida”, eliminando o argumento de ser o formalismo matemático um empecilho para que licenciados e bacharéis cursem a mesma disciplina de FN.

Soma-se ao exposto acima, que os próprios discentes da licenciatura, que cursaram a disciplina, não apontaram impedimento quanto ao conteúdo e o nível em que foi tratada, apenas apontaram o fator “tempo” como insuficiente para um maior rendimento.

Portanto, não somente o histórico do tema nos cursos de graduação quanto a oferta da disciplina, o posicionamento dos alunos, mas também a legislação vigente, amparam nossa iniciativa de reestruturação do curso de FN para uma *única disciplina de FN* que atenda as expectativas de uma formação de excelência técnica/científica e atualizada dos futuros licenciados e bacharéis.

É importante destacar, que sob a ótica da autonomia universitária, os cursos devem, antes de qualquer imposição legal, atender aos interesses que a comunidade universitária julga

pertinentes. Entretanto, tendo a legislação um caráter interpretativo, cabe a quem a interpreta reconhecer na legislação os aspectos que lhe são de valor e, a partir destes, direcionar seus objetivos. E assim agimos para definir os objetivos da disciplina.

O mérito da nossa proposta também está relacionado a interdisciplinaridade. A FN por essência está relacionada a Química Nuclear, estabelecendo uma relação entre a Física e a Química. A inter-relação FN-Astronomia deu-se ao trabalharmos os temas, raios cósmicos, nucleossíntese, estrelas de nêutrons e estrelas de quarks, buracos negros e explosões cósmicas de raios gama e introdução à astrofísica de altas energias. Esta interdisciplinaridade possibilita um novo horizonte profissional para físicos e químicos, pesquisas em Astrofísica e Astroquímica.

A inter-relação FN-Saúde deu-se ao tratarmos a FN em ambiente hospitalar, da sensibilidade do organismo humano às radiações, planejamento dosimétrico hospitalar com filtros, curvas de isodose e testes com fantasmas, avaliação da qualidade de aceleradores lineares para uso médico e as novas tecnologias citadas anteriormente.

Já, a inter-relação FN-Ciências Humanas deu-se, principalmente, ao tratarmos da questão energética e de armamento nuclear. Desta forma, uma área que não tinha relação com a Física passa a ser parte naturalmente do programa de FN.

A modernização curricular, com a inclusão de novas tecnologias, novas relações de interdisciplinaridade, novos objetivos e a carga horária da disciplina, foi o que nos levou a refletir sobre uma proposta de metodológica moderna e atual para tratarmos de FN. A proposta de divisão do programa em três pilares é o resultado destas reflexões.

Os três pilares foram definidos em: formação comum, instrumentação científica e aplicações em subáreas, para que pudessemos trabalhar a parte teórica, a parte prática ou experimental e pudessemos fazer as contextualizações de acordo com os temas desenvolvidos.

Podemos afirmar, a partir dos dados obtidos, que a proposta de dividir a disciplina de FN em três pilares teve êxito. Primeiro, porque para uma disciplina de 90 horas, ou seja, 6 horas-aula semanais, onde foi necessária uma revisão de Mecânica Quântica e Mecânica Quântica Relativística, o que, para alguns alunos, não era uma revisão e sim a primeira vez que estavam estudando estes temas, ficaria, de início, um curso muito pesado sob o aspecto matemático. Neste ponto, não havia modo mais eficiente de ultrapassar esta etapa do que a tradicional exposição do conteúdo, e com o desenvolvimento do formalismo matemático necessário feito na lousa. Além disso, a alternância entre os pilares possibilitou que os alunos tivessem mais tempo para revisar o que já sabiam ou para aprender o que ainda não sabiam.

Segundo, o fator tempo se mostrou suficiente para trabalhar o conteúdo do pilar de formação comum, para discutir a parte experimental e realizar experimentos simples, desenvolvidos no pilar instrumentação científica, para abordar os temas das subáreas.

A parte experimental foi um ponto positivo reforçado pelos alunos. Segundo eles, “da parte experimental, de suma importância, não ter sido negligenciada”, de tornar o curso “menos denso” e “a maneira como as aulas foram organizadas motivaram semana a semana”. Aqui, também podemos adicionar o terceiro pilar, aplicações em subáreas, onde os seminários foram inicialmente apresentados pelo orientador deste projeto de pesquisa, depois pelo doutorando e, finalmente, pelos discentes. Estes seminários trouxeram novas perspectivas e visões sobre a FN.

Uma formação, independentemente do nível de ensino, deve ser direcionada, também, para a autonomia intelectual.

A autonomia intelectual é resultado de um pensamento reflexivo e crítico e a proposta, certamente, direciona a formação nesta direção. De acordo com Carnielli e Epstein (2011) o “pensamento crítico é o que nos habilita a determinar se nos devemos deixar persuadir que uma afirmação é verdadeira ou que estamos perante um bom argumento; é o que nos capacita também em saber formular bons argumentos”. Para os autores, “argumento é uma coleção de afirmações, uma das quais se chama “conclusão”, as outras afirmações chamam-se “premissas”, e estas afirmações pretendem conduzir à “conclusão”. Mas, quando nos reportamos à Ciência, formular bons argumentos representa a capacidade de organizar conhecimentos formais em premissas, de modo lógico, a fim de elaborarmos uma afirmação final ou conclusão. Portanto, quando trabalhamos um fenômeno em Física e pretendemos explicá-lo, necessitamos exercitar o pensamento crítico. Devemos elaborar afirmativas (premissas) que são o ordenamento do conhecimento em uma sequência lógica, afim de chegarmos a uma afirmativa final, que é a conclusão. Da mesma forma, quando pretendemos que um cidadão possa participar da tomada de decisões, esperamos que ele o faça com responsabilidade e conhecimento, exercitando o seu pensamento crítico. Para isto ele também deverá ordenar o seu conhecimento sobre o tema em questão, mas veja que a construção de premissas exige que as afirmativas sejam verdadeiras, ou de outra forma, que ele tenha informações corretas, o que vai muito além de simples opiniões sobre o tema. Então, novamente, o conhecimento é a chave para o pensamento crítico.

Com isto, justificamos a inclusão de textos extra-curriculares em nossa proposta de Ensino de FN, para que se possa fazer uma contextualização social, econômica e política, alicerçada em conhecimento formal, amparado por pesquisadores nas mais diversas áreas.

Outro ponto importante, embora não fizesse parte, inicialmente, corpo deste projeto, foi avaliarmos o quão útil e promissor foi o MTO aplicado em um ambiente de aprendizagem colaborativa como metodologia para aquisição epistemológica em FN e contextualização social, econômica, política e ambiental. Devido a impossibilidade de aplicarmos o método aos alunos do curso de Física, conforme explicado no capítulo 4, decidimos avalia-lo junto aos alunos da Engenharia Química. Estes, apresentaram seminários cujos temas atenderam a relevância científica atual, contextualizados no processo histórico do desenvolvimento da Física Nuclear e nos demais contextos propostos, em consonância com as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) dos Cursos de Engenharia, que também se aplicam aos Cursos de Física e Química.

Nesta discussão final, não podemos deixar de analisar o *status quo* da disciplina Física Nuclear nos principais Cursos de Física do País, conforme a avaliação do CAPES, onde a disciplina de FN não é obrigatória em nenhum dos cursos de licenciatura. Isto reflete a posição em que nós, professores e estudantes universitários, nos encontramos hoje, frente aos rumos do desenvolvimento da tecnologia nuclear brasileira, que é de coadjuvantes de nossa própria realidade. O desenvolvimento de tecnologias nacionais de ponta, nesta e em outras áreas da ciência, constitui o caráter fundamental da soberania de qualquer nação, e esta é uma questão que deve ir da teoria à prática ao passar pelas salas de aula das universidades brasileiras. Não obstante, a conscientização da importância do desenvolvimento científico e tecnológico deve nortear o ensino das ciências desde o Ensino Médio.

Neste contexto, a necessidade de professores com boa formação em Física Nuclear, sendo esta uma área estratégica, justifica a formação de pessoal na área, como uma prática universitária constante e de qualidade.

Enceramos esta discussão com algumas observações, sugestões e ponderações.

O primeiro ponto importante que poderíamos ponderar, é a oferta da componente curricular FN em uma única disciplina de 90 horas-aula. Dividir a disciplina em duas disciplinas com carga horária de, por exemplo, 60 horas-aula cada uma, seria algo que teria nosso apoio. Mas, a grade curricular dos Cursos suportaria este aumento de carga-horária? Hoje a FN tem espaço nulo nos Cursos de Física. Então, passaríamos de zero horas-aula para 120 horas-aula de FN. Mas, talvez, isto seja viável desde que um percentual destas disciplinas seja considerado, para efeito de carga/horária, como prática educativa. Assim, poderíamos ter, por exemplo, para cada disciplina 45 horas-aula, para trabalharmos os pilares formação comum e instrumentação científica, e 15 horas-aula para prática educativa, onde trabalharíamos o pilar aplicações em subáreas.

O segundo ponto é: o que pode ser melhorado ou alterado na nossa proposta? Talvez seja mais fácil dizer o que não deve ser alterado. Neste caso, a estruturação da componente curricular em 3 pilares. Não desvincular teoria-experimental-subáreas, porque isto prejudicaria a contextualização social, política e econômica. A contextualização é algo exigido em todos os novos projetos de educação, seja a nível do Ensino Básico ou do Ensino Superior. A seleção de tópicos ou conteúdos certamente pode ser melhorada. Há instituições com grupos estabelecidos na área de Física Nuclear e de Partículas que podem melhorar o programa. É de se esperar que priorizem os temas diretamente vinculados a suas áreas de pesquisa. Isto não seria negativo, pelo contrário, pode ser positivo para todos os alunos pois abrir-se-ia uma oportunidade de Pós-graduação para os que se interessarem pelas pesquisas desenvolvidas nestes grupos. Além disso, seria ideal que todos os alunos da Licenciatura e Bacharelado tivessem os mesmos pré-requisitos para cursarem a disciplina, o que poderia evitar, por exemplo, as revisões de Mecânica Quântica e Mecânica Quântica Relativística.

Alterar a distribuição da carga-horária entre os três pilares é uma possibilidade, desde que não desestruture os princípios da nossa proposta. Aumentar a carga horária para o pilar de formação comum é algo que pode ser feito sem romper as bases da proposta.

A metodologia utilizada nos seminários apresentados pelos alunos é algo que sempre pode ser revisto. Quando tivermos uma nova oportunidade de trabalharmos com a disciplina para os Cursos de Física da UFSM, certamente vamos tentar uma condução alternativa baseada na experiência que tivemos em termos da aprendizagem colaborativa. A realização dos seminários preparados e apresentados em grupos pelos alunos do Curso de Engenharia da UFSM, mostrou-se um bom instrumento para gerar discussões sobre o contexto social, político, econômico ou ambiental, conforme discutimos no capítulo anterior.

Outro ponto que observamos ao longo da pesquisa, nas revisões bibliográficas, foram algumas simulações computacionais sobre tópicos de FN e experimentos de laboratório com equipamentos simples. Nos parece interessante a inclusão de uma disciplina de Física Computacional ou de Instrumentação para Física, algo que não é oferecido nos Cursos de Licenciatura em Física. Estas disciplinas poderiam ser trabalhadas em forma de projeto de práticas de ensino, por exemplo.

Por fim, o desenvolvimento deste projeto resultou em duas publicações, a saber: Lüdke, E.; Adornes, A. G. R.; Lobo, C. O.; Cauduro, P. J. "What are the learning difficulties in going from books to reality? A study of investigating the meaningful learning of wave physics and thermodynamics in the university". *Revista de Educacion de las Ciencias*, v. 15, p. 161, 2014 e C.O Lobo ; Adornes, A.G. da Rosa ; Everton Lüdke, "Avaliação do método de tutoria

de Oxford no ensino de temas em oscilação e gravitação em um curso universitário". *Vivências* (URI. Erechim), v. 13, No 24, p.92-96, 2017.

Recentemente submetemos dois artigos: “Uma proposta para o ensino de Física Nuclear na formação de professores de Física e Química”, e “A Física Nuclear e a Aprendizagem Colaborativa para os Cursos de Engenharia Química”, ambos para a *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*.

6 CONCLUSÃO

Elaborar um programa para uma disciplina que leve em consideração apenas aspectos científicos é uma tarefa árdua, mas que já foi realizada ao longo dos anos nos mais variados centros educacionais. Entretanto, elaborar um programa para uma disciplina complexa e interdisciplinar como Física Nuclear que contribua efetivamente para a formação de licenciandos em Física e Química, e que leve em consideração uma reestruturação curricular moderna e atualizada, foi um trabalho árduo, importante e significativo. Pesquisar temas de interesse acadêmicos e pesquisar temas de interesse no contexto social e achar uma forma de conciliar estes dois aspectos foi o ponto de maior expressão deste trabalho.

Conseguimos conciliar nesta proposta de Ensino para FN informações atuais, que são temas de pesquisa tanto na Física Teórica como na Física Experimental. Temas correlacionados aos últimos avanços em diagnóstico e tratamento do câncer, trazendo para o curso o conhecimento do que há de mais moderno neste setor da Medicina Nuclear e Radioterapia, e aproveitamos cada oportunidade para realizarmos uma discussão voltada para os interesses sociais.

Priorizamos a excelência acadêmica, não desprezando o formalismo matemático, sem, no entanto, precisar entrar em confronto com a legislação. Ao contrário, nos valemos exatamente desta legislação para argumentar sobre a importância de uma formação de qualidade dos nossos alunos de Licenciatura em Física e Química.

Tratamos a interdisciplinaridade entre a Física e outras áreas de uma forma simples e objetiva. Sempre que possível vinculando uma propriedade ou um efeito nuclear a uma aplicação em outra área do conhecimento, como na área da Saúde ou Astronomia ou Agricultura, entre outras.

Tratamos pontos que geralmente são discutidos em contextos sociais, econômicos e políticos, não como um espaço de opinião, mas de construção de um pensamento crítico, ancorado em um conhecimento científico, tanto na esfera técnico/científica como na esfera das relações humanas, através de referências bibliográficas de fontes diversas e que conhecem e pesquisam nesta área.

O êxito destas correlações está na estrutura de trabalho proposta. A estruturação em três pilares de formação, conduziram para que estas situações citadas acima de consolidassem.

Trabalhamos a instrumentação científica, que foi um ponto considerado importante pelos próprios alunos.

Apresentamos para os discentes novas opções de trabalho profissional, tanto para eles,

inserindo-se nos mais diversos projetos atuais, quanto para seus futuros alunos, dos futuros professores, para os quais caberá a eles orientarem sobre as possibilidades relacionadas a FN.

Sabemos que nossa proposta pode ser melhorada. Pode-se rever o conteúdo de cada um dos pilares. Pode-se reorganizar a carga-horária. Pode-se dividir o tema em duas disciplinas com uma carga-horária maior, afinal, a autonomia universitária é um processo de construção e assim deve ser também quanto a elaboração de toda componente curricular.

Mas, também sabemos que hoje, esta proposta para o Ensino de FN é um avanço. Que garante excelência científica e tecnológica. Que abre espaço para a interdisciplinaridade. Que permite uma discussão voltada para os interesses sociais e que discute a posição do nosso País em um processo estratégico de defesa e de soberania nacional.

Como perspectiva futura, pretendemos organizar esta componente curricular na forma de cursos de formação continuada para os professores que atuam no Ensino Médio. Também pretendemos colaborar com este trabalho no processo de reformulação curricular que está em processo nos Cursos de Física da UFSM.

REFERÊNCIAS

ALONSO, M; FINN, E.. **Fundamental University Physics**. Volume III: Quantum and Statistical Physics. Addison-Wesley Pub.Co., Reading, Massachussets, 1976.

ALCÂNTARA, P. R.; SIQUEIRA, L. M. M.; VALASKI, S. Vivenciando a aprendizagem colaborativa em sala de aula: experiências no ensino superior. **Revista Diálogo Educacional**, v. 4, n. 12, p. 169–188, 2004.

ALMEIDA, E.; TAUHATA, L. **Física Nuclear**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1981.

ANDRADE, L. S. DE. **Breve balanço sobre a política nuclear brasileira nos governos de FHC e Lula da Silva (1995-2010)**. In: III Simpósio de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Programa “san Tiasgo Dantas”. **Anais...**São Paulo/SP: 2011 Disponível em: <http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos2011/lincoln_andrade.pdf>.

ARAÚJO, M. C. **Energia nuclear e radioatividade na escola de nível médio: um olhar a partir dos acidentes nucleares**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Persona, 1977.

BASSALO, J. M. F.; JUNIOR, O. F. Wheeler, Tiomno e a Física Brasileira. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 4, p. 426–437, 2003.

BASSO, L. J. **O aprendizado em Química Nuclear no PRONATEC Mediado pela teoria da atividade de Engeström**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

BLYTH, W.A.L. **University Teaching Methods**. Liverpool: Liverpool University Press. 1968.

BRASIL. **Presidência da República. Casa Civil. Instalação do Conselho Superior de Política Nuclear, 24 de janeiro de 1989**. Disponível em: <<http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/ex-presidentes/jose-sarney/discursos/1989/05.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2015.

_____. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. 1996**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm>. Acesso em: 1 set. 2015.

_____. **Ministério da Educação. Parâmetros curriculares Nacionais Ensino Médio 2000. 1999**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

_____. **Ministério da Educação. CNE/CES. Parecer 1.304/2001, de 04 de dezembro de 2001. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Física. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 dez. 2001**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

____. **Ministério da Educação. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - PCN+.** 2002a. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015a.

____. **Ministério da Educação. CNE/CES. Parecer 1.362/2001, de 22 de fevereiro de 2002. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 fev. 2002b.** Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1362.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2017b.

____. **Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** 2004. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2015.

____. **Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.** 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 29 set. 2017.

____. **Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Estratégico. Plano Nacional de Energia 2030.** 2007. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/07.+Termonuclear+\(PDF\)/50d9453a-20f7-4f4b-bd45-31bb51d1f772?version=1.1](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/07.+Termonuclear+(PDF)/50d9453a-20f7-4f4b-bd45-31bb51d1f772?version=1.1)>.

____. **Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Plano Nacional de Mineração .** 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732821/Book_PNM_2030_2.pdf/f7cc76c1-2d3b-4490-9d45-d725801c3522>. Acesso em: 24 ago. 2015.

____. **Ministério da Educação. CNE/CEB. Resolução Nº 2, de janeiro de 2012. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** 2012a. Disponível em: <http://pactoensinomedio.mec.gov.br/images/pdf/resolucao_ceb_002_30012012.pdf>. Acesso em: 1 set. 2015a.

____. **Ministério da Defesa. Política Nacional de Defesa / Estratégia Nacional de Defesa.** 2012b. Disponível em: <http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/END-PND_Optimized.pdf>.

____. **Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica.** 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 1 set. 2015.

____. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular, 2ª Versão.** 2016a. Disponível em: <<http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2016a.

____. **Lei nº13.249 de 13 de Janeiro de 2016. Insitui o Plano Plurianual da União para o período de 2016 a 2019.** 2016b. Disponível em: <http://portal.imprensanacional.gov.br/destaques/ppa/2016_01_14_p_suplementoppa.pdf>.

Acesso em: 1 fev. 2016b.

_____. **Mistério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações. Com Reator Multipropósito, Brasil terá autonomia na produção de radioisótopos. 2016c.** Disponível em: <http://www.mcti.gov.br/noticia/-/asset_publisher/epbV0pr6eIS0/content/com-reator-multiproposito-brasil-tera-autonomia-na-producao-de-radioisotopos>. Acesso em: 5 jan. 2016c.

BRASIL NUCLEAR. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 39, p. 1–28, 2012a.

_____. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 38, p. 1–32, 2012b.

_____. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 41, p. 1–44, 2013a.

_____. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 40, p. 1–36, 2013b.

_____. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 43, p. 1–32, 2014a.

_____. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 42, p. 36, 2014b.

_____. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 44, p. 1–36, 2015.

BROCK, M.G.; CURTHOYS, M.C. **The History of the University of Oxford: Volume VII, Nineteen Century Oxford – Part 2.** Oxford: Oxford University Press. 2000.

BROWN, J. W., THORNTON, J. W. **College Teaching: Perspective and Guidelines.** New York: McGraw-Hill Book Company. 1963.

BUSHBERG, J. T. *et al.* **The Essential Physics of Medical Imaging.** 3 ed. ed. Hong Kong.: Wolters Kluwer and Lippincott W & W., 2012.

CAPES. **Plataforma Sucupira. Cursos Recomendados e Reconhecidos.** Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/quantitativos/quantitativoIes.jsf?areaAvaliacao=3&conceito=7&areaConhecimento=10500006>>. Acesso em: 3 out. 2017.

CARNIELLI, W. A.; EPSTEIN, R. **Pensamento crítico: O poder da lógica e argumentação.** 3. ed. São Paulo - SP: Editora Rideel, 2011.

CASTELAN, D. R. **Segurança e Defesa na década de 90 : Interpretações do Itamaraty e Forças Armadas.**In: I Simpósio em relações internacionais do Programa de Pós-Graduação em Relações Internacionais San Tiago Dantas (UNESP, UNICAMP e PUC-SP). **Anais...**São Paulo/SP: _____ 2007Disponível em: <<http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos/castelan.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

CAVALCANTE, A. B. S.; MARTINS, M. I. **Análisedos livros didáticos e Física do PNLD 2012 e texto complementar sobre energia nuclear: guia de orientação para professores.** Disponível em: _____

<http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20131216163032.pdf>. Acesso em: 3 out. 2017.

CANTO, O. A. M. **O modelo ABACC: um marco no desenvolvimento das relações entre Brasil e Argentina**. Santa Maria. Ed UFSM. 2016.

COATE, K.; BARNETT, R.; WILLIAMS, G. Relationships Between Teaching and Research in Higher Education in England. **Higher Education Quarterly** 55, 2000.

CORRÊA, F. G. **A idealização do submarino de propulsão nuclear na política estratégica nacional: uma análise histórica de Geisel à Lula (1974-2009)**. In: II Simpósio de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Programa "San Tiago Dantas" (UNESP, UNICAMP e PUC/SP). **Anais...**São Paulo/SP: 2009 Disponível em: <http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos2009/fernanda_correa.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2017.

DAS, A., FERBEL, T. **Introduction to Nuclear and Particle Physics**, New York: John Wiley and Sons. 1994.

DAS, A.; FERBEL, T. **Introduction to Nuclear and Particle Physics**. second ed. Singapore: World Scientific Co. Pte. Ltd., 2003.

DAWOOD, L.; HERZ, M.; LAGE, V. C. Brazilian Nuclear Policy. **Policy Brief**, v. 19, p. 1–8, 2015.

ERICKSON, F. Qualitative methods in research on teaching. *In: NLN publications*. East Lansing, Michigan: The Institute for Research on Teaching, 1985. p. 1–31.

FERMI, E. **Nuclear Physics**. Edição Revisada, Chicago. Chicago & London. 1952.

FGV. FGV ENERGIA. **Caderno Energia Nuclear FGV**, p. 11–22, 2016.

FIRESTONE, W. A. The Rhetoric of Quantitative and Qualitative Research. **Research Technical**, 1986.

GUARDIA, E. RMB: em 2018, autossuficiência na produção de radioisótopos. **Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear**, n. 40, p. 8–11, 2013.

HALLIDAY, D; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Óptica e Física Moderna. V.4. 8 ed. Rio de Janeiro: LTD. 2009.

HEIDER, M. **DNPM, Economia mineral do Brasil: Urânio. 2009**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/2-3-uranio>>. Acesso em: 3 maio. 2016.

HENDEE, W. R.; RITENOUR, E. R. **Medical Imaging Physics**. 4 ED. ed. New York: Wiley-Liss, Inc., 2003.

HERZ, M.; LAGE, V. C. A atual política Nuclear Brasileira. **Policy Brief**, v. 3, p. 1–24, 2013.

HIGHET, G. **The Art of Teaching**, New York: Vintage Books. 1950.

HOFMANN, A. H. **Scientific Writing and Communication: Papers, Proposals, and Presentations**. 2 ed. Oxford: Oxford University Press. 2013.

KAPLAN, I. **Nuclear Physics**. 2. ed. London: Addison-Wesley Publishing Company, 1978.

KNOLL, G. F. **Radiation Detection and Measurement**. 4. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons Ltd., 2010.

LEITE LOPES, J. **Uma História da Física Nuclear no Brasil**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

LNLS. **Introdução ao Projeto Sirius | LNLS**. Disponível em: <<http://www.lnls.cnpm.br/sirius/projeto-sirius/>>. Acesso em: 5 out. 2017.

LOBO, C. O.; ADORNES, A. G. DA R.; LÜDKE, E. Avaliação do método de tutoria de Oxford no Ensino de temas em oscilações e gravitação em um curso universitário. **Vivências**, v. 13, n. 24, p. 92–96, 2017.

MAIA, M. C. **Uma abordagem do modelo padrão da Física de Partículas acessível a alunos do Ensino Médio**. [s.l.] Dissertação (Mestrado Profissional no Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade federal do Paraná. Centro de Ciências, Fortaleza, 2011.

MARTINS, G. G. **Compreendendo os Fenômenos Nucleares, suas aplicações e implicações através de uma atividade lúdica**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.

MONTEIRO, M. A. *et al.* Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. *In: Ensino de Ciências e Matemática I. Temas Sobre Formação de Professores*. São Paulo - SP: UNESP/Cultura Acadêmica, 2010. p. 145–159.

MOZENA, E. R.; OSTERMANN, F. Integração curricular por áreas com extinção das disciplinas no Ensino Médio: Uma preocupante realidade não respaldada pela pesquisa em ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1403, 2014.

OBADIA, I. J. **Programa Nuclear Brasileiro : Um Panorama Geral** In: International Nuclear Atlantic Conference. **Anais...São Paulo/SP: 2015** Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/362/362.pdf>>

OECD Joint Report. Uranium 2016: resources, production and demand. 2016. Disponível em <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2016/7301-uranium-2016.pdf>. Acesso em: 27 jul 2017.

OLIVEIRA, L. S. DE. **A área nuclear e a estratégia dissuasória nos documentos de defesa brasileiros de 1996, 2005 e 2008**. II Simpósio de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Programa "San Tiago Dantas" (UNESP, UNICAMP e PUC/SP). **Anais...São Paulo/SP: 2009** Disponível em: <http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos2009/leonardo_oliveira.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2017

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Investigações em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23–48, 21 nov. 2000.

OTRANTO, C. R. **A Autonomia Universitária Como Construção Coletiva**. In: 27 Reunião Anual da ANPEd. **Anais...Caxambú-MG: 2004** Disponível em: <<http://www.anped.org.br/sites/default/files/t113.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2017.

PALLOF, R. M.; PRATT, K. **Estimulando a Aprendizagem Colaborativa. In: Construindo Comunidades de Aprendizagem no Ciberespaço: estratégias eficientes para salas de aula on-line**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

PERON, J.; ANDRADE, V. C. DE. **Uma sequência didática para o ensino de tópicos de física nuclear no ensino médio**. V Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia. **Anais...Ponta Grossa - PR: 2016** Disponível em: <www.sinect.com.br/2016/down.php?id=3529&q=1%0A>

PINTO, J. M. DE R. O que explica a falta de professores nas escolas brasileiras. **Jornal de Políticas Educacionais**, n. N° 15, p. 03–12, 2014.

PODGORSKAK, E. B. **Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.

SANTOS, C. A.; VALEIRAS, N. Currículo interdisciplinar para licenciatura em ciências da natureza. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 2504-1–12, 2014.

SHIINO, H. *et al.* **Uma proposta de aulas para tratar física nuclear e física de partículas no ensino médio**. A proposal for the approach of nuclear and particle physics in high school. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. **Anais...2013** Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R1738-1.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2017

SILVA, H. P. DA. **A criação do ministério da defesa e a sua influência na formação da segunda política de defesa nacional**. In: I Simpósio em Relações Internacionais do Programa de Pós-Graduação em Relações Internacionais San Tiago Dantas (UNESP, UNICAMP e PUC-SP). **Anais...São Paulo/SP: 2007** Disponível em: <<http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos/silva.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2017

SILVA, M. V. M. **O tratado sobre a não-proliferação de armas nucleares (TNP) e o regime dele decorrente**. In: II Simpósio de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Programa “San Tiago Dantas” (UNESP, UNICAMP e PUC/SP). **Anais...São Paulo/SP: 2009** Disponível em: <http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos2009/marcos_silva.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2017

SOUZA, L. **A relação Argentina-Brasil na área nuclear entre 1967 e 1991 de rivais a aliados**. In: III Simpósio de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Programa “San Tiago Dantas” (UNESP, UNICAMP e PUC/SP). **Anais...São Paulo/SP: 2011** Disponível em: <http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos2011/leandro_souza.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2017

TENÓRIO, A.; QUINTANA, L. S.; *et al.* Análise de conteúdos de física nuclear em livros escolares brasileiros. **Revista letrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 14, n. 2, p. 175–199, 2015.

UMSTATT, J.G. (1964). *College Teaching: Background, Theory and Practice*. Washington: The University Press of Washington.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS DA ENGENHARIA QUÍMICA

Sexo:

Idade:

Curso:

Este questionário busca obter informações sobre o a disciplina FSC1027, no que tange ao tema Física Nuclear (FN).

- 1) A metodologia aplicada para o tema FN permitiu que você discutisse as **definições e conceitos básicos** de modo:
(a) Insatisfatório; (b) Razoável; (c) Satisfatório.
- 2) A metodologia aplicada para o tema FN permitiu que você discutisse o **processo histórico da evolução do conhecimento** em FN de modo:
(a) Insatisfatório; (b) Razoável; (c) Satisfatório.
Você considera importante esta abordagem na sua formação? () Sim; () Não.
- 3) A metodologia aplicada para o tema FN permitiu que você discutisse a evolução da FN em um **contexto histórico, social e político** de modo:
(a) Insatisfatório; (b) Razoável; (c) Satisfatório.
Você considera importante esta abordagem na sua formação? () Sim; () Não.
- 4) A metodologia aplicada para o tema FN permitiu que você discutisse o **6)externa e de governança mundial** de modo:
(a) Insatisfatório; (b) Razoável; (c) Satisfatório.
Você considera importante esta abordagem na sua formação? () Sim; () Não.
- 5) Nas aplicações apresentadas de FN, listadas abaixo, você afirmaria que:
(a) Não tinha conhecimento; (b) Não acrescentou novos conhecimentos, (c) Acrescentou novos conhecimentos.
a) Energia nuclear. (___); b) Armas nucleares. (___); c) Datação radiativa. (___)
d) Enriquecimento do Urânio. (___);
e) Aplicações na indústria farmacêutica. (___)
f) Isótopos radioativos no controle de contaminantes marinho. (___)
g) Radiação no processamento de polímeros. (___)
h) Geração de energia nuclear usando Tório. (___)
i) Determinação de Cl, K, Mg, Mn, Na AND V em vinhos brasileiros por análise por ativação de nêutrons.
j) Melhoramento de plantas. (___)
- 6) Quanto a metodologia aplicada para o tema FN você:
(a) **Não recomendaria** para os próximos semestres; (b) **recomendaria** para os próximos semestres.
- 7) O que você considera o aspecto **positivo** mais importante na metodologia aplicada?
- 8) O que você considera o aspecto **negativo** mais importante na metodologia aplicada?
- 9) Se você tem alguma sugestão para melhorar o método aplicado para o tema FN, por favor escreva a sua sugestão.
- 10) Considerando o tema FN você diria que quanto ao conhecimento adquirido ficaste:
(a) Insatisfeito; (b) Satisfeito, (c) Plenamente satisfeito

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título da Pesquisa: Uma Proposta Para o Ensino de Física Nuclear na Formação de Professores de Física

Nome do Pesquisador Principal ou Orientador: Everton Lüdke

Nome do Pesquisador assistente/orientando: Alcides Gilberto da Rosa Adornes

1. **Natureza da pesquisa:** *o sra (sr.) está sendo convidada (o) a participar desta pesquisa que tem como finalidade de apresentar uma proposta de reestruturação do programa de física nuclear.*
2. **Participantes da pesquisa:** *Todos os alunos matriculados na disciplina FSC511 – Física Nuclear e de Partículas.*
3. **Envolvimento na pesquisa:** *ao participar deste estudo a sra (sr) permitirá que o (a) pesquisador (a) analise os materiais relacionados ao curso em que tenha participação. A sra (sr.) tem liberdade de se recusar a participar e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer prejuízo para a sra (sr.). Sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do telefone do (a) pesquisador (a) do projeto.*
4. **Sobre as entrevistas:** *Poderão ocorrer por escrito ou gravação presencial, de forma individual ou coletiva.*
5. **Riscos e desconforto:** *a participação nesta pesquisa não traz complicações legais. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução no. 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade.*
6. **Confidencialidade:** *todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente o (a) pesquisador (a) e o (a) orientador (a) terão conhecimento dos dados.*
7. **Benefícios:** *ao participar desta pesquisa a sra (sr.) não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes sobre o ensino de Física nuclear, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa*

possa colaborar para a formação de professores, onde pesquisador se compromete a divulgar os resultados obtidos.

8. **Pagamento:** *a sra (sr.) não terá nenhum tipo de despesa para participar desta pesquisa, bem como nada será pago por sua participação.*

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para participar desta pesquisa. Portanto preencha, por favor, os itens que se seguem.

Obs.: Não assine esse termo se ainda tiver dúvida a respeito.

Consentimento Livre e Esclarecido

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, manifesto meu consentimento em participar da pesquisa, autorizando a divulgação, de forma anônima, dos dados disponíveis em trabalhos acadêmicos como teses, dissertações, artigos científicos, publicações em congressos e conferências. Declaro que recebi cópia deste termo de consentimento, e autorizo a realização da pesquisa e a divulgação dos dados obtidos neste estudo.

Nome do Participante da Pesquisa

Assinatura do Participante da Pesquisa

Assinatura do Pesquisador

Assinatura do Orientador

Pesquisador Principal: Everton Lüdke; Fone (55) 3220 8860

Demais pesquisadores: Alcides G. R. Adornes; Fone: (55) 3220 8861

Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde

ANEXO A – PROGRAMAS E OBJETIVOS DAS DISCIPLINAS DA UFSM

FSC511- FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS

OBJETIVOS - ao término da disciplina o aluno deverá ser capaz de:

Conhecer os fenômenos e propriedades nucleares e sub-nucleares através dos modelos e mecanismos nucleares atuais.

PROGRAMA:

TÍTULO E DISCRIMINAÇÃO DAS UNIDADES

UNIDADE 1 - TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

1.1 - Passagem da radiação através da matéria.

1.2 - Aceleradores e detetores.

UNIDADE 2 - PROPRIEDADES E ESTRUTURA DAS PARTÍCULAS SUBATÔMICAS

2.1 - Massa e spin.

2.1 - Bósons e férmions.

2.3 - Carga elétrica e momento de dipolo magnético.

2.4 - Fótons, léptons, mésons, bárions e ressonâncias.

2.5 - Espalhamento elástico e inelástico, seções de choque e fatores de forma.

UNIDADE 3 - SIMETRIAS, LEIS DE CONSERVAÇÃO E INTERAÇÕES BÁSICAS

3.1 - Quantidades conservadas e simetrias.

3.2 - Números quânticos.

3.3 - Teorema CPT (Conjugação de carga, Paridade e Reversibilidade Temporal).

3.4 - Interações eletromagnética, fraca e hadrônica.

UNIDADE 4 - O NÚCLEO ATÔMICO

4.1 - Propriedades básicas do núcleo.

4.2 - Radioatividade e decaimentos.

4.3 - Energia de ligação e fórmula semi-empírica de massa.

4.4 - Reações nucleares.

4.5 - Fissão e fusão.

4.6 - Modelos do núcleo atômico.

UNIDADE 5 - MODELOS DE PARTÍCULAS ELEMENTARES

5.1 - Fenomenologia e o modelo de quarks.

5.2 - Modelo de partons e quarks.

UNIDADE 06 - ASTROFÍSICA NUCLEAR

6.1 - Raios cósmicos.

6.2 - Produção de energia nas estrelas.

6.3 - Núcleos síntese.

6.4 - Estrelas de nêutrons.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

KAPLAN, Irving. Física Nuclear. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978 (2º ed.)

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BREHM, John J., MULLIN, William J.; Introduction to the Structure of Matter: a course in modern physics, New York: John Wiley & Sons, c1989 (1º ed.)

DAS, Ashok; FERBEL, Thomas. Introduction to nuclear and Particle Physics. New York: John Wiley & Sons, c1994 (1º ed.)

FSC1058 - INTRODUÇÃO A TEORIA DOS CAMPOS CLÁSSICOS

OBJETIVOS: ao término da disciplina o aluno deverá ser capaz de:

Conceituar e formular as leis da Teoria dos Campos Clássicos usando o formalismo Lagrangeano. Conhecer as propriedades e a dinâmica dos campos clássicos mais simples, tais como o campo escalar, campo eletromagnético, campo de Dirac e campo gravitacional. Identificar as quantidades conservadas em cada caso.

PROGRAMA:

TÍTULO E DISCRIMINAÇÃO DAS UNIDADES

UNIDADE 1 – REVISÃO DE DINÂMICA LAGRANGEANA DA PARTÍCULA E DOS MEIOS CONTÍNUOS

- 1.1 – O princípio de D'Alembert e as equações de Euler-Lagrange.
- 1.2 – Partícula carregada no campo eletromagnético.
- 1.3 – Passagem de sistemas discretos para sistemas contínuos.
- 1.4 – A lagrangeana da corda e da membrana vibrantes.
- 1.5 – O princípio de Hamilton para sistemas contínuos.

UNIDADE 2 – RELATIVIDADE E AS LEIS DE TRANSFORMAÇÃO DOS CAMPOS

- 2.1 – Revisão das transformações de Lorentz.
- 2.2 – Forma covariante das equações e movimento da partícula.
- 2.3 – Leis de transformações dos campos.
- 2.4 – Transformações para campos, escalares, pseudo-escalares, vetoriais e tensoriais.

UNIDADE 3 – DINÂMICA RELATIVÍSTICA DOS CAMPOS

- 3.1 – A passagem da dinâmica da partícula para a teoria clássica de campos em relatividade.
- 3.2 – A densidade lagrangeana e o princípio de ação mínima no espaço-tempo.
- 3.3 – As equações de Euler-Lagrange para os campos clássicos.
- 3.4 – Simetrias e Leis de conservação (teorema de Noether); vetor corrente e tensor momento-energia.
- 3.5 – Álgebra dos parênteses de Poisson.

UNIDADE 4 – O CAMPO ESCALAR

- 4.1 – Ação do campo escalar real e complexo.
- 4.2 – Equação de campo livre com massa e suas soluções.
- 4.3 – Momento canônico e hamiltoniana.
- 4.4 – Interação com um potencial quártico.
- 4.5 – Invariâncias, correntes e cargas conservadas e o tensor de energiamomento.
- 4.6 – Função de Green para o campo escalar.
- 4.7 – Noções sobre quantização canônica do campo escalar.

UNIDADE 5 – O CAMPO ELETROMAGNÉTICO

- 5.1 – Ação e as equações do campo eletromagnético.
- 5.2 – Soluções das equações do campo livre.
- 5.3 – Momento canônico e hamiltoniana.
- 5.4 – Álgebra dos parênteses de Poisson e a idéia da quantização.
- 5.5 – O quadri-vetor corrente e o tensor de energia-momento.
- 5.6 – Invariância de Gauge.
- 5.7 – Função de Green para o campo eletromagnético.
- 5.8 – Dinâmica dos campos escalares e eletromagnéticos em interação.

UNIDADE 6 – O CAMPO ESPINORIAL DE DIRAC

- 6.1 – A equação de Dirac, álgebra das matrizes de Dirac e definição do espinor de Dirac.
- 6.2 – Ação do campo de Dirac em interação com o campo eletromagnético.
- 6.3 – Momento canônico e hamiltoniana.

- 6.4 – Álgebra dos parênteses de Poisson e a idéia da quantização.
- 6.5 – O quadri-vetor corrente e o tensor de energia-momento.
- 6.6 – Invariância por transformações locais e as quantidades conservadas.
- 6.7 – Função de Green para o campo eletromagnético.

UNIDADE 7 – O CAMPO GRAVITACIONAL

- 7.1 – O princípio de Hamilton no espaço-tempo curvo.
- 7.2 – As equações de Einstein e a ação para o campo gravitacional.
- 7.3 – Quantidades conservadas no espaço-tempo curvo; formalismo de Brown-York.
- 7.4 – Teoria de Brans-Dicke e gravidade com dilaton.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- BARUT, O. *Electrodynamics and Classical theory of fields and particles*. Dover, 1980.
DOUGHTY, N. *Lagrangian interaction*. Wiley, 1996.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- LANDAU, D.L. e LIFSHITZ, E.M. *Teoria do Campo*. MIR, Moscou.
WEINBERG, S. *Gravitation and cosmology: Principles and Applications of the general theory of relativity*. Wiley, 1972.

FSC 1038 - ESTRUTURA DA MATÉRIA

OBJETIVOS - ao término da disciplina o aluno deverá ser capaz de: Conhecer os fundamentos físicos que descrevem a estrutura da matéria, desde os seus Componentes mais simples até às estruturas perfeitamente ordenadas.

PROGRAMA TÍTULO E DISCRIMINAÇÃO DAS UNIDADES**UNIDADE 1 - FÍSICA ATÔMICA**

- 1.1 - Átomos com um elétron.
- 1.2 - O átomo de hidrogênio e seu espectro.
- 1.3 - Funções de onda.
- 1.4 - Efeito Zeeman.
- 1.5 - Interação Spin-Órbita.
- 1.6 - Átomos de dois elétrons.
- 1.7 - Aproximação de Hartree e Hartree-Fock.
- 1.8 - Aproximação de Thomas-Fermi.
- 1.9 - A tabela periódica.
- 1.10 - Espectros de excitações atômicas.

UNIDADE 2 – MOLÉCULAS

- 2.1 - Orbitais moleculares de moléculas diatômicas e sua estrutura eletrônica.
- 2.2 - Moléculas poliatômicas.
- 2.3 - Moléculas conjugadas.
- 2.4 - Rotação molecular.
- 2.5 - Vibração molecular e transições eletrônicas.

UNIDADE 3 - PROPRIEDADES DOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS

- 3.1 - Tipos de sólidos e sua estrutura cristalina.
- 3.2 - Sólidos não cristalinos.
- 3.3 - Teoria clássica dos elétrons livres nos metais.
- 3.4 - O gás de elétrons de Fermi.
- 3.5 - Teoria quântica da condução elétrica.
- 3.6 - Teoria de bandas dos sólidos.
- 3.7 - Supercondutividade.

UNIDADE 4 - FUNDAMENTOS DA MECÂNICA ESTATÍSTICA

- 4.1 - Mecânica estatística clássica e distribuição de Maxwell-Boltzmann.
- 4.2 - Temperatura e equilíbrio térmico.
- 4.3 - Aplicações à termodinâmica.
- 4.4 - Funções de distribuição quântica e suas aplicações.

UNIDADE 5 - FÍSICA NUCLEAR E DE PARTÍCULAS ELEMENTARES

- 5.1 - Estrutura nuclear e processos nucleares.
- 5.2 - Radioatividade.
- 5.3 - Fissão e Fusão.
- 5.4 - Detecção de radiação.
- 5.5 - Partículas elementares.
- 5.6 - Partículas e antipartículas.
- 5.7 - As interações básicas e a classificação das partículas.
- 5.8 - As leis de conservação.
- 5.9 - Ressonâncias.
- 5.10 - A via Óctupla e os Quarks.

FSC 1039 - LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA

OBJETIVOS - ao término da disciplina o aluno deverá ser capaz de: Identificar os principais experimentos que conduziram a Física Quântica e ter noções de instrumentação nuclear e proteção radiológica.

PROGRAMA: TÍTULO E DISCRIMINAÇÃO DAS UNIDADES

UNIDADE 01 - EXPERIÊNCIAS DE FÍSICA ATÔMICA

- 1.1 - Razão carga-massa do elétron.
- 1.2 - Experiência de Millikan.
- 1.3 - Espectros atômicos.
- 1.4 - Experiência de Frank-Hertz.
- 1.5 - Efeito foto-elétrico.
- 1.6 - Propriedades dos Raios X.
- 1.7 - Movimento Browniano.

UNIDADE 02 - EXPERIÊNCIAS DE FÍSICA NUCLEAR

- 2.1 - Decaimento radioativo.
- 2.2 - Detecção e medida das radiações.
- 2.3 - Instrumentação nuclear.
- 2.4 - Espectrometria Gama.
- 2.5 - Ativação neutrônica.
- 2.6 - Blindagem das radiações.
- 2.7 - Proteção radiológica.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, Rio de Janeiro: Campus, 1988 (7º ed.).

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

SCHIFF, L.I., Quantum Mechanics. McGraw-Hill, 1955.

MORRISON, M.A., Understanding Quantum Physics. Prentice Hall, 1990.

LIBOFF, R.L., Introductory Quantum Physics. Addison-Wesley, 1998.

COHEN-TANNOUDJI, C., DIU, B. e LALOË, F. Quantum Mechanics. New York, John Wiley, 1977.

MAFRA, Olga Y. Técnicas de Medidas Nucleares. São Paulo: Edgard Blucher, 1973 (1º ed.)

FSC 132 - FÍSICO-QUÍMICA IV-B

OBJETIVOS - ao término da disciplina o aluno deverá ser capaz de:

Explicar como se identifica uma espécie química e como se determina propriedades de átomos e estruturas de moléculas por meio de radiação eletromagnética emitida ou absorvida pela espécie (espectroscopia).

Compreender o comportamento de reações que ocorrem devido a influência da luz sobre os reagentes químicos e como acontecem reações nucleares, com base no conhecimento da estrutura do núcleo do átomo.

Avaliar o emprego da energia nuclear e suas consequências.

PROGRAMA:

TÍTULO E DISCRIMINAÇÃO DAS UNIDADES

UNIDADE 1 - ESPECTROSCOPIA

1.1 - Espectroscopia atômica.

1.1.1 - A teoria quântica da radiação. Distribuição de energia de um corpo negro.

1.1.2 - O espectro de raios atômicas.

1.1.3 - A teoria de Bohr para a estrutura atômica e a emissão das raios.

1.1.4 - Termos espectrais e orbitais atômicos.

1.2 - Espectroscopia molecular.

1.2.1 - Orbitais moleculares.

1.2.2 - Características do espectro molecular.

1.2.3 - Espectro rotacional, vibracional e eletrônico.

1.2.4 - Espectro Raman, ressonância nuclear.

UNIDADE 2 - FOTOQUÍMICA

2.1 - Aspectos espectroscópicos da fotoquímica.

2.2 - Características dos processos fotoquímicos.

2.3 - Leis da fotoquímica.

2.4 - Absorção da radiação pelos átomos e moléculas.

2.5 - Cinética de radiações fotoquímicas.

2.6 - Aplicações da fotoquímica.

UNIDADE 3 - QUÍMICA NUCLEAR

3.1 - Nuclídeos estáveis.

3.2 - Massas atômicas, isótopos e isóbaros.

3.3 - Fração de empacotamento, defeito de massa e energia de ligação.

3.4 - Nucleídeos instáveis e radioatividade.

3.5 - Teoria da desintegração radiativa. Decaimento alfa e beta.

3.6 - Transformações radiativas.

3.7 - Radiatividade artificial.

3.8 - Reações nucleares e partículas nucleares.

3.9 - Interação da radiação com a matéria.

3.10 - Detetores de radiação.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA:

ALONSO, Marcelo; FINN, Edward. Fundamental University Physics. Volume III: Quantum and Statistical Physics. Addison-Wesley Pub.Co., Reading, Massachusetts, 1976.

ATKINS, P.W. Physical Chemistry. Oxford University Press, Oxford, 1994.

MACEDO, H. Físico-Química: Um estudo dirigido sobre eletroquímica, cinética, átomos,

moléculas e núcleo, fenômenos de transporte e de superfície. Ed. Guanabara Dois Rio de Janeiro, 1998.

MOORE, W.J. Físico-Química. Trad.4ª Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1976.

OHWEILER, Otto A. Fundamentos de Análise Instrumental. Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro, 1981.