



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE EDUCAÇÃO - CEDU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
– PPGECIM

JOSÉ OSVALDO HARRY

**A SINERGIA ENTRE A QUARTA COMUNIDADE E O CERN ('ORGANISATION
EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE') PARA A MELHORIA DO
ENSINO DE FÍSICA NO NÍVEL MÉDIO**

Maceió – AL

2016

JOSÉ OSVALDO HARRY

**A SINERGIA ENTRE A QUARTA COMUNIDADE E O CERN ('ORGANISATION
EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE') PARA A MELHORIA DO
ENSINO DE FÍSICA NO NÍVEL MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências e Matemática da
Universidade Federal de Alagoas,
como requisito parcial para obtenção
do grau de Mestre em Ensino de
Ciência e Matemática.

Orientador:
Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

H323s Harry, José Osvaldo.
A sinergia entre a Quarta Comunidade e o CERN ('ORGANISATION
EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE') para a
Melhoria do ensino de Física no Nível Médio / José Osvaldo Harry. –
2016.
118 f., il.

Orientador: Jenner Barretto Bastos Filho.
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática)–
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Educação. Programa de
Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 71-74.
Anexos: f. 75-118.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Física moderna. 3. Ensino de física -
Pesquisa. 4. Comunidades de pesquisa e ensino. 6. Organização Europeia
para Pesquisa Nuclear (CERN). I. Título.

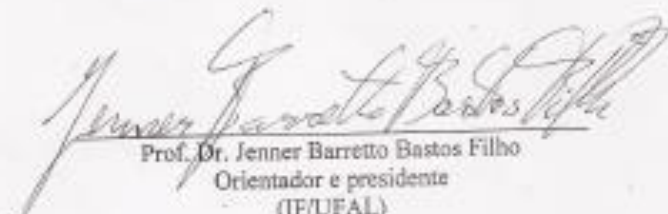
CDU: 372.853

JOSÉ OSVALDO HARRY

**A SINERGIA ENTRE A QUARTA COMUNIDADE E O CERN
('ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE')
PARA A MELHORIA DO ENSINO DE FÍSICA NO NÍVEL MÉDIO**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Área de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas, aprovada em 31 de março de 2016.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho
Orientador e presidente
(IF/UFAL)


Prof. Dr. Nelson Barreto Júnior
(USP)


Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Serra
(IF/UFAL)


Prof. Dr. Antônio José Ornellas Farias
(IF/UFAL)


Prof. Dr. Ellen Lúcia Frezza
Convidada ao processo de
avaliação

AGRADECIMENTOS

À minha família que sempre esteve ao meu lado, apoiando e fortalecendo com palavras de incentivo e carinho. Meus pais e a minha esposa, por toda cumplicidade e força que não me deixou desanimar em nenhum momento. Meus filhos, Nuno, João e Maria Joana esta que mesmo distante sempre construiu incentivos e palavras motivadoras. Meus netos Aninha, Victor, Samuel e Maria pelos sorrisos e simplesmente por existirem.

Agradeço ao professor Dr. Jenner Barretto Bastos Filho, meu orientador, supervisionando e principalmente por se mostrar meu amigo colaborando de forma positiva para a elaboração deste trabalho, sendo compreensivo e tolerante em todos os momentos, pelo apoio e sugestões.

Quero agradecer também a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, também as secretarias Mônica e Socorro, pois foram muito importantes no desenvolvimento deste trabalho e na ampliação da minha visão quanto ao futuro do ensino de Física.

A todos os colegas da turma de mestrandos, assim como os colegas de trabalho que me incentivaram a continuar, meu amigo Alcides Mendes Junior, por me ter dado apoio nos momentos em que tive dificuldade em conciliar problemas pessoais e pesquisa de mestrado.

Aos professores Dr. Nelson Barrelo Júnior, Dr. Nilson Garcia e Dr. Pedro Abreu por todo apoio e acolhida no Projeto da Escola de Física do CERN e de forma indireta contribuir na realização deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho, trataremos da educação científica em geral, especialmente do Ensino de Física no Ensino Médio, que, em especial, é profundamente problemático. Diversos fatores são eleitos como causadores desse sério problema, tais como: o insuficiente número de professores; as baixas remunerações, que tornam a carreira desinteressante; a falta de estrutura nas escolas; os currículos inadequados etc. Sobressai, dentre todas as razões, o problema de um ensino defasado. Leciona-se uma física que, não ultrapassando os desenvolvimentos do século XIX, tenta atingir as mentes e os corações dos inquietos alunos do século XXI. É sintomático, portanto, que tal questão seja levantada em congressos, como o XIV EPEF, ocorrido na cidade de Maresias, em 2012. Numa das mesas redondas discutia-se a respeito das possíveis ou inexistentes relações entre as três comunidades envolvidas no estudo e ensino da Física, quais sejam: a dos físicos teóricos e empíricos, a dos educadores e a dos pesquisadores em ensino da Física. Pareceu-nos que esse debate deveria ser ampliado para acomodar uma quarta comunidade: a dos Professores de Física do Ensino Médio, devido a sua fundamental relevância, tanto para a formação científica dos estudantes, quanto para a consciência informada da sociedade; notadamente no que diz respeito aos valores éticos e de cidadania. Ao longo deste trabalho iremos constatar que este papel de importância estratégica para o desenvolvimento científico foi reconhecido pela comunidade dos Pesquisadores em Física, representada, nesse caso, pelo CERN (*Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire* – antigo *Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire*), que criou, dentro de um programa denominado *Educational Outreach*, o *Teacher Programmes*, que envolve Professores do Ensino Médio dos 21 países integrantes da Organização; propiciando um diálogo muito ativo entre a comunidade dos Pesquisadores em Física e a chamada quarta comunidade. Nesse sentido, através da intermediação do LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, em Lisboa), conseguimos participar do “*Portuguese Language Teachers Programme 2015*”, realizado em Genebra, e que veio corroborar plenamente, tanto com a crítica quanto com as propostas que norteiam este trabalho. O caminho, pois, para obtermos um ganho cognitivo relevante acerca da natureza da Ciência, certamente aponta para uma convergência entre as ideias dessas quatro comunidades.

Palavras-chave: Pesquisa em Ensino de Física. Comunidades de Pesquisa e Ensino. Física Moderna. CERN.

ABSTRACT

This paper treats the scientific education in general, specially the teaching of physics in Secondary school that notably it is deeply problematic. Several factors are appointed like motivated of this serious problem such as: the insufficient number of teachers, low pay that become uninteresting career, lack of structure at schools, inadequate curriculum, etc. It stands out from all those reasons, the problem of the lack of quality in teaching, it is taught the physics that it doesn't go beyond developing of nineteenth century, trying to achieve the minds and the hearts from the concerned students of twenty-first century. Inspired by debates occurred in a round table discussion at XIV EPEF in Maresias in 2012 where discussing the relations, or the lack of them, between the three communities there considered: the research communities in physics, the research in education and the researches in teaching of physics. It seemed to us that this debate should be expanded to accommodate a fourth community- the teachers of physics in secondary school- due to its huge and strategic importance as to the academic degree of the students as to the conscious informed of the society, notably with regard to the ethical values and citizenship. During the developing of this work, we could note that this role of strategic relevance to the scientific development was recognized by CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire- former Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire) that created inside the programme called Educational Outreach, the Teacher Programme that involves teachers from secondary school from 21 countries of the Organization providing a very active dialogue between the research community in physics and the fourth community. By means of LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, em Lisboa we could take part in the “Portuguese Language Teachers Programme 2015/School of teachers in CERN in Portuguese Language” held in Geneva which corroborated with the initial ideas of this work. The way to make a significant cognitive gain about the nature of science, certainly it indicates to convergence ideas from the four communities, we believe that there isn't a panacea that can solve the whole problem by itself.

Key words: Teaching Research in Physics. Research and Teaching Community. Modern Physics. CERN.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO – OBJETIVOS	10
INTRODUÇÃO	15
1 E O PROTAGONISMO INTELECTUAL DA QUARTA COMUNIDADE?	20
1.1 Caracterizando a comunidade dos professores de Física do ensino médio.	20
1.2 A quarta comunidade pode contribuir para tornar o ensino de ciências eficaz e significativo?	23
1.3 Contribuições da utilização da História da Ciência no Ensino de Física; posicionando a quarta comunidade.	26
1.4 A Mesa Redonda - Diálogos entre a Pesquisa em Educação, a Pesquisa em Física e a Pesquisa em Ensino de Física: pontos de aproximação e afastamento. Ausência da quarta comunidade.	27
1.5 A comunidade dos Pesquisadores em Ensino de Física x a comunidade dos Pesquisadores em Física.	28
1.6 Diálogos entre as comunidades; pontos de aproximação e afastamento, a opinião da quarta comunidade.	31
1.7 Buscando paralelos junto às características das outras três comunidades.	32
1.8 A quarta comunidade deve, dentro de sua heterogeneidade, aderir a idéia de Galileu?	33
1.9 Aprofundando na intuição.	34
1.10 A quarta comunidade frente à divulgação científica, muito ou pouca matemática?	35
1.11 Método científico na visão de um físico, como trabalhar a questão junto à quarta comunidade?	37
1.12 O quanto de conteúdo específico e o quanto de preparação para a cidadania, qual a dose certa?	38
1.13 O grau de autonomia das práticas dos professores de física: reconhecendo a presença da quarta comunidade.	39
1.14 As dimensões da experiência escolar e o ensino: contribuições para um diálogo sobre pesquisa.	45

1.15 Cenário atual das relações entre as comunidades de Pesquisadores em Física, Ensino de Física e Educação com a Quarta Comunidade. 47

2 A QUARTA COMUNIDADE VISITA O CERN. 49

2.1 National Teacher Programmes. Divulgação Educacional CERN

2.2 Escola CERN 2015. (30 de Agosto a 04 de Setembro de 2015). 51

2.3 Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas. 52

2.4 Chega a hora da esperada viagem para Genebra. 53

2.5 Diário da Escola de Física CERN 57

2.6 O MasterClass 71

3 REFERÊNCIAS 73

ANEXOS.

A- A FÍSICA MÉDICA COMO FERRAMENTA DE MODERNIZAÇÃO DO ENSINO DA FÍSICA: UMA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA PARA UM MELHOR DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL. 77

B- UTILIZANDO O LHC PARA AUXILIAR O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO. 111

APRESENTAÇÃO - OBJETIVOS

A ideia inicial desta dissertação seria tratar do já velho problema de inserção dos conceitos de Física Moderna no Ensino Médio. Na época de meu ingresso no mestrado, estava concluindo uma pós-graduação em Física Médica e pretendia trabalhar seus conceitos básicos no currículo tradicional de Física aplicado em sala de aula. Na medida em que cursava disciplinas no PPGECIM (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática) conheci a Teoria de Aprendizagem de Jerome Bruner e nela encontrei sustentação para a tarefa que desejava realizar. Apesar de pouco referenciado no Brasil, Bruner acredita na teoria de ensino em espiral no qual podemos apresentar qualquer conteúdo de forma “honesto” aos alunos, inicialmente de forma mais simples e posteriormente, como em uma espiral repassando pelo tema de forma mais aprofundada.

Como compartilhei com meu Orientador, consegui entrar em contato através de e-mails com o Dr. Bruner que apesar de seus 100 anos, completados em outubro de 2015, permanece lúcido e ativo, confesso que para minha surpresa respondeu-me com presteza.

Durante minhas pesquisas tomei conhecimento da realização XIV EPEF, ocorrido na cidade de Maresias, em 2012, especificamente da Mesa Redonda: *Diálogos entre a Pesquisa em Educação, a Pesquisa em Física e a Pesquisa em Ensino de Física: pontos de aproximação e de afastamento*, que discutia a relação entre as Comunidades de Pesquisadores e constatei a ausência da nossa Comunidade a dos Professores do Ensino Básico/Médio a qual chamei de quarta comunidade. O ano de 2015 trouxe grandes mudanças, algumas boas e outros nem tanto. Desta forma o rumo do trabalho estava mudando, meu orientador achou interessante o novo projeto. Nesse momento ao observar o trabalho de Yves Chevallard senti reforçada minha ideia, cabe a nossa quarta comunidade transmitir o *saber ensinado*.

Coincidentemente logo em seguida surgiu a oportunidade de participação na Escola de Física do CERN que enseja de forma singular a interação entre duas das comunidades aqui enfocadas. Principalmente as comunidades consideradas pelos pesquisadores como posicionadas nos extremos hierárquicos (físicos “duros” e professores do ensino médio, que nem eram reconhecidas como comunidade).

O processo de seleção foi difícil e no primeiro momento cheguei a desistir de minha participação, pois ocorreu o corte financeiro por parte da CAPES, não tinha conseguido nenhum apoio financeiro por parte do Instituto Federal de Alagoas (IFAL) e para piorar a situação minha esposa sofreu um grave acidente automobilístico e precisava de meu apoio.

Durante uma semana fiquei nesse dilema, mas com o apoio de minha família, amigos e também do professor Jenner, que repassou sua empolgação com o projeto, entrei em contato com a coordenação do curso junto a SBF (Sociedade Brasileira de Física) na pessoa do Professor Nilson Garcia solicitando a inclusão de meu nome na turma. Felizmente o professor foi compreensivo aceitando minha solicitação, assim pude participar deste importante programa.

O projeto que estou concluindo trata do reconhecimento da, por mim nomeada Quarta Comunidade composta por professores de Física do Ensino Médio, demonstrando a viabilidade de comunicação entre ela e as diversas comunidades já constituídas formadas por vários pesquisadores, exemplificando essa possibilidade com o projeto da Escola de Física CERN.

Cabe aqui ressaltar que as ideias sobre a Quarta Comunidade são de caráter pessoal e que ao longo de nossas pesquisas percebemos que as supostas classificações, as definições de quais são os componentes das comunidades mencionadas variam muito entre os estudiosos e por que não dizer entre todos os que lançam o olhar sobre a temática, fica claro que não existe uma delimitação rígida e única entre os componentes de cada comunidade.

No desenvolvimento do projeto, vários trabalhos pesquisados corroboram com nossa ideia inicial de que o ensino de Física tem se mostrado cada vez mais distante da realidade do alunado, e mesmo que atualmente encontremos uma imensa facilidade para obtenção de informações, o ensino não tem apresentado igual avanço e continua deixando de lado temas importantes para o desenvolvimento educacional:

[...] o currículo obsoleto, desatualizado e descontextualizado representa um problema tanto para os professores quanto para os estudantes e torna a prática pedagógica, que normalmente se resume ao quadro de giz, monótona e desinteressante para os atores envolvidos nesse processo. Nesse sentido, pesquisas estão sendo realizadas a fim de desenvolver estratégias que possam promover a motivação e o diálogo nas aulas de ciências, especificamente nas de física. (Oliveira. **Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores** 2007).

Trazer os conceitos de Física Moderna aos estudantes do Ensino Médio pode ser válido em vários aspectos. O Ensino de Física enfrenta uma realidade desanimadora, acreditamos que todo professor de Física do Ensino Médio, durante uma aula tradicional, já se deparou com questionamentos dos alunos quanto à validade do conteúdo apresentado, “*para que serve isso que você está me ensinando? Eu não preciso de saber isso.*”.

Quando isso acontece, na maioria das vezes o professor se sente desamparado e fica sem saber como contornar a situação, como contextualizar a disciplina que parece estar tão distante da realidade dos alunos, dos avanços tecnológicos que estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano.

Certamente as pesquisas sobre inovações curriculares no Ensino Médio brasileiro vêm crescendo nos últimos anos destacando a inclusão de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Autores apontam como fatores que dificultam a inserção efetiva de FMC nas escolas como por exemplo; a má formação docente nos cursos de licenciatura e, principalmente, a escassez de materiais didáticos (F. Ostermann e M.A. Moreira: **Investigações em Ensino de Ciências** p.5-23, 2000). Sabemos que nas ciências, o conhecimento está se transformando continuamente o que reflete nos valores sociais. Em 1996, a LDB (Lei de Diretrizes Básicas) orientou como deveria ser as mudanças na Educação Básica, posteriormente os PCN (*Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza Matemática e suas Tecnologias* Ministério da Educação, Brasília, 1999) sugeriam uma reorientação nas práticas educacionais ampliando os objetivos da escola. O ensino deveria ser baseado na construção de competências e habilidades. Constatamos, infelizmente, que na prática poucas ações foram direcionadas nesse sentido.

É importante citar que nos PCN+, o conhecimento das ciências da natureza está organizado em três grandes áreas, sendo que uma delas é a Contextualização definida como Sócio Cultural, tem como foco principal a tecnologia aliada à Ciência (tabela 1).

Devemos observar que essas competências sugeridas pelos PCN+ não determinam quais conteúdos devem ser abordados, assim, teoricamente o professor teria uma certa autonomia para escolher os tópicos de física que cumpririam os objetivos traçados por ele, mas o que ainda percebemos, é que apesar desta aparente liberdade de escolha, os saberes que chegam às salas de aula são ainda ditados por normas curriculares que estão presentes em manuais didáticos, norteados por vestibulares, e atualmente, principalmente pelo ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio).

Contextualização sócio-cultural
Ciência e tecnologia na história Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.
Ciência e tecnologia na cultura contemporânea Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea.
Ciência e tecnologia na atualidade Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.
Ciência e tecnologia, ética e cidadania Reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania.

Quadro 1 – Parâmetros Curriculares Nacionais +; 2002.

A Teoria da Transposição Didática proposta por Yves Chevallard (Y. Chevallard, *La Transposicion Didáctica: Del Saber Sábido al Saber Ensinado*; Aique Grupo Editor, Buenos Aires, 1991), descreve esses saberes que chegam à sala de aula. Segundo Chevallard, a construção do saber escolar acontece numa relação *ternaria* entre o professor (P), o aluno (A) e o saber (S), epistemológica (entre P e S) e sociológica (entre P e A).

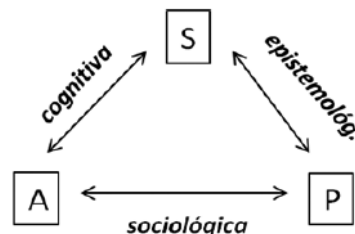


Figura 1 - Relação ternária da TD.

Além desses três elementos representados na figura 1, existem outras influências externas, que fazem parte de um contexto mais amplo denominado *Sistema de Ensino*.

Para Chevallard, os saberes passam por dois processos de didatização e, em todo o processo de ensino, existem três níveis diferentes para este saber, desde sua origem no ambiente acadêmico até a sala de aula: o Saber Sábido, o Saber a Ensinar e o Saber Ensinado. A Teoria da Transposição didática surgiu na matemática, mas pode ser aplicada ao ensino de ciências e corrobora com a ideia de nosso trabalho sobre as Comunidades de Pesquisa e Ensino de Física.

O Saber Sábido é produzido pela Comunidade de Pesquisadores em Física, os chamados cientistas e diz respeito a um saber na sua forma “bruta”, sem didatização, está presente nos *papers*, universidades, artigos acadêmicos e nos centros de pesquisa científica.

Esse saber, geralmente não chega à sala de aula, pois sua linguagem é muito específica inerente à comunidade científica.

O saber a ensinar é o saber presente nos manuais e programas didáticos, após sofrerem uma transposição, denominada *externa*, que modifica o saber inicial e o torna didático, reescrevendo com uma linguagem mais acessível aos alunos.

O saber ensinado é o saber que realmente chega na sala de aula sendo o professor um agente que trabalha no interior dessa transposição chamada *transposição interna*. Supostamente, nesse processo de transição, acontece uma simplificação gerando um outro saber com um novo estatuto epistemológico, chamado *saber escolar*. (M. Pietrocola, *Inovação Curricular em Física: Transposição Didática de Teorias Modernas e a Sobrevivência dos Saberes* (Projeto Temático FAPESP, São Paulo, 2008).

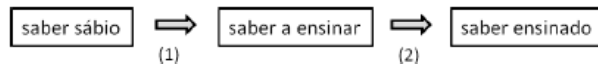


Figura 2 - Esferas do saber da transposição didática.

Quando falamos em ampliar os objetivos do ensino de física, estamos falando em contextualização. É possível fazer uma abordagem que envolva ciência, tecnologia e sociedade, certamente esta abordagem promove um maior interesse por parte dos alunos em relacionar a ciência com aspectos tecnológicos sociais. Os estudantes podem discutir as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da ciência e tecnologia, adquirindo uma compreensão da natureza da ciência e do trabalho científico, formando cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados.

Fiquei muito feliz com a escolha e principalmente com o aceite dos senhores que comporão a banca examinadora. Desta forma sinto-me confortável no pedido de ajuda no melhoramento do trabalho.

O produto final, além da criação de um blog que incluirá palestras, sugestões de como incluir o tema nas salas de aula do Ensino Médio, o que foi discutido em Mesa Redonda no evento CAIITE 2015 (Congresso Acadêmico Integrado de Inovação e Tecnologia) em Maceió e aulas especiais realizadas no Campus Penedo do Instituto Federal de Alagoas, no segundo semestre de 2015. Nestas aulas tratamos modelos de experimentos e de montagem de jogos, porém o projeto é mais ambicioso e visa a realização do “MasterClass” em Maceió. Este programa organizado no Brasil pelo Sprace – UNESP / USP será detalhado em anexo do trabalho.

INTRODUÇÃO

A busca pela partícula de Deus! A contribuição da Comunidade dos Professores de Física do Ensino Médio.

Esta recente façanha da Física de Partículas, certamente escreveu um dos mais importantes capítulos da História da Ciência. Em tempos globalizados, a procura e a posterior descoberta desta partícula cientificamente definida como bóson¹, recebeu por parte da imprensa a maior cobertura já dada a um evento científico.

Desde sua previsão teórica proposta pelo cientista britânico Peter Higgs em 1964 que, segundo relato de seu amigo Alan Walker na ocasião teria tido uma *abdução* e afirma meio que assustado: “*what shit. I know how to do - a que porcaria (mer...) eu sei como fazer*”. Antes de prosseguirmos, devemos aqui tratar de três questões importantes para o melhor entendimento do trabalho:

1. O que é a física de partículas?

Basicamente a física de partículas é o campo que estuda os constituintes microscópicos da matéria e suas interações. É a responsável pelo estudo da estrutura dos átomos e suas subdivisões que formam tudo o que existe na natureza. A rigor, as denominações '*física de partículas*' e/ou '*física de partículas elementares*' constituem-se em uma nomenclatura que simplifica as coisas, pois os objetos tratados são muito mais complexos que a idealização clássica de uma partícula pontual cuja massa é inteiramente concentrada em um ponto da geometria euclidiana. Elas são objetos duais (onda/corpúsculo) e seu caráter de '*elementar*' não é o mesmo daquele atribuído no contexto da física clássica.

2. O que é o Modelo Padrão?

É um conjunto de teorias para explicar as interações da natureza e as partículas fundamentais que constituem a matéria. O MP foi formulado durante a segunda metade do século XX por uma série de trabalhos de diferentes cientistas, não tem um único criador. É nessa teoria que se baseia o estudo contemporâneo da Física de Partículas.

¹ Em conformidade com a Teoria Quântica, as partículas ou são *bósons* ou são *férmions*. Os *bósons* tem spin inteiro e os *férmions* tem spin semi-inteiro.

3. O que é o CERN?

O Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN, na sigla em francês) é um laboratório dedicado à pesquisa na física de partículas. Ele mantém na fronteira entre a Suíça e a França um acelerador de partículas o Grande Colisor de Hadrons (LHC, na sigla em inglês). Esse aparelho é usado para colidir prótons, partículas que formam o núcleo dos átomos.

Sobre o ator principal da trama, o bóson de Higgs, conhecido pelo apelido de Partícula de Deus, apelido esse dado em 1993 por Leon Lederman (Nobel 1988) que publicou um livro intitulado; *The God Particle* que está voltado a explicar toda a teoria em torno do bóson de Higgs para o público leigo. Resumidamente ele é responsável pela existência de um campo que permeia todo o Universo, um objeto que surgiu espontaneamente e foi o responsável pelo surgimento da massa das demais partículas, sem ele a matéria não teria massa. A confirmação de sua existência não causaria uma guinada nos estudos da física, pelo contrario significaria que a teoria que orientou os pesquisadores nos últimos 40 anos está correta.

No dia 04 de julho de 2012 foi anunciado no CERN indícios de sua descoberta. A confirmação da existência do bóson de Higgs é um passo importante da ciência para a compreensão do universo, se ela não existisse a teoria vigente do Modelo Padrão desmoronaria, teríamos que recomeçar do zero e buscar uma nova teoria para substituí-la. Grandes físicos teóricos contemporâneos, como David E Kaplan², vêm acompanhando de perto o desenrolar do projeto desenvolvido no LHC (Large Hadrons Collider), maior instrumento científico já construído e que fica instalado no CERN; para ele nunca um ramo da ciência dependeu de apenas um evento para se confirmar ou não. David Hopkin afirma que o LHC está mais próximo em dimensão do esforço humano à construção das pirâmides do Egito do que a viagem à lua.

Interessante frisar que o LHC foi projetado nos anos 1980, e sempre contou com a participação de cientistas de países mortalmente inimigos como Israel e Irã; Geórgia e Rússia; Índia e Paquistão, entre outros que trabalharam e continuam trabalhando em harmonia, isto fez com que o CERN fosse indicado ao Prêmio Nobel da Paz.

² Dept. of Physics and Astronomy – Johns Hopkins University Baltimore MD – dkaplan@pha.jhu.edu

Este é um ponto de grande importância, pois se trata de um empreendimento da assim chamada Big Science, que diferentemente do Projeto Manhattan, é voltado para a cooperação internacional, para a abertura e transparência do conhecimento e para a paz. Todos esses desideratos se coadunam com a cultura de paz entre os povos e de uma educação balizada pela dignidade humana. Porém, como pudemos constatar durante nossa visita ao laboratório que será detalhada na segunda parte desse trabalho, existe um departamento do CERN de caráter fechado que pode ter implicações bélicas.

Outro grande Físico teórico; Saras Dimopoulos; *Institute of Theoretical Physics, Stanford University, Institute of Theoretical Physics, University of California Santa Bárbara*, em palestra tentava deixar claro em que se constitui a busca nos aceleradores como o LHC; Explicar porque o Universo é tão grande. Por que a força da gravidade é tão menor que as outras três forças da natureza? Tentar reproduzir as condições pós big bang para “ver” como tudo começou, entender as leis básicas da natureza. Estas são propostas das pesquisas, mas na realidade estas explicações não são as mais precisas. A busca converge para o estudo das partículas, pois após o big bang só havia partículas que carregavam informações de como o universo começou, como ele evolui e como será seu futuro. Em 1900 ficou claro que toda a matéria conhecida era formada por átomos, o que não correspondia à definição inicial de ser indivisível, pois surgiram os elétrons (1897), os prótons (1919), os nêutrons (1932). Nos anos 1930, foram descobertas várias outras partículas e nos anos 1960 tínhamos centenas delas.

Os cientistas descobriram os QUARKS e com eles o Modelo Padrão. Até recentemente todas as partículas teorizadas por esse modelo já haviam sido descobertas exceto o bóson de Higgs. O Bóson de Higgs é o elemento fundamental do Modelo Padrão, pois é responsável por manter a massa estável. O bóson de Higgs está conectado a um campo que preenche todo o espaço e dá às partículas como o elétron, sua massa permitindo que ele seja absorvido pelo núcleo dando origem ao átomo. Para descobrirmos o bóson temos que colocar partículas com energias suficientes para perturbar o campo e criar ou identificar a partícula de Higgs.

Em dezembro de 2011 os físicos anunciavam ter “encurrulado a partícula de Deus”. Dois grupos independentes procuravam o Higgs no LHC do CERN; o grupo do experimento Atlas e o grupo do experimento CMS. Sem ter acesso aos dados um do outro, os grupos apresentaram seus resultados em um mesmo simpósio realizado no dia 13 do referido mês. Voltaremos a tratar desse tema de forma mais detalhada no seguimento de nosso trabalho, mas adiantando resumidamente, a conclusão da época era de que os cientistas não haviam ainda encontrado o bóson de Higgs, porém se a partícula existisse de fato, eles já sabiam onde

procurar. Para compreender melhor, os cientistas medem a massa das partículas como se fosse energia, isto porque toda massa tem uma equivalência em energia, se você calcula uma, tem o valor das duas. A unidade de medida usada é o gigaelétron-volt, ou GeV.

Os pesquisadores com base nos dados obtidos pelo detector Atlas concluíram que se o bóson de Higgs existisse teria uma massa entre 116 GeV e 130 GeV. Os dados do CMS mostravam uma faixa bem próxima, entre 115 GeV e 127 GeV, assim seria nessa faixa de energia (ou de massa) que os cientistas iriam procurar.

Tivemos a oportunidade de ouvir do cientista Sérgio Novaes³ da UNESP e que é membro do CMS, que na época havia muita cautela na análise dos resultados, mas segundo sabemos hoje os resultados estavam muito próximos dos aceitos posteriormente. O que importa nessa colocação inicial é que a descoberta do Higgs com massa de 125,3 GeV – margem de erro $0,6\pm$ em 4,39 sigmas⁴ não descarta o Modelo Padrão, os físicos teóricos, de fato celebraram o fato, porém este valor também não exclui outras teorias como o multiverso, ou seja, a natureza trilhou o caminho do meio, cabe aos teóricos dialogar entre si e entre os experimentalistas para evoluir o processo. Da mesma forma, a busca do equilíbrio e principalmente da evolução do ensino da física nos direciona também ao equilíbrio, é essencial a colaboração entre as comunidades de pesquisa e ensino.

Dividiremos o trabalho em duas partes, inicialmente trataremos da nossa comunidade a qual denominaremos de Quarta Comunidade que comporta os professores de física do ensino médio, infelizmente o ponto de partida desse trabalho foi, a rigor, a não inclusão aqui aludida ocorreu no caso da mesa redonda do XIV EPEF que em novembro de 2012, em Maresias, discutiu o diálogo precário entre os pesquisadores da física, os pesquisadores da educação e os pesquisadores em ensino de física. Embora o ensino de física no nível médio seja assunto de recorrente interesse nesses congressos, constatou-se a lacuna de nessa mesa redonda não estar incluída a comunidade dos professores de física no ensino médio. Aqui temos a intenção de ressaltar o imprescindível protagonismo dessa comunidade a qual denotamos por Quarta Comunidade.

³ Instituto de Física Teórica Universidade Estadual Paulista – Spraceorg – sergio.novaes@cern.ch

⁴ Sigmas medem a probabilidade dos resultados obtidos, 4,9 equivale dizer que temos uma chance menor que um em um milhão de que os resultados sejam coincidências

Seguindo o trabalho teremos a oportunidade de exemplificar essa interação entre as comunidades, talvez de forma mais improvável se considerarmos a hierarquia em voga, a interação estabelecida entre a comunidade dos pesquisadores em física e a comunidade dos professores de física do ensino médio através do projeto de Escola do CERN que participamos realizado em Lisboa – LIP⁵ (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) e no CERN em Genebra – Suíça. A conclusão do trabalho visa o fortalecimento desse diálogo com propostas do ensino da física moderna no ensino médio em conjunto com o SPRACE órgão ligado ao IFT da UNESP e membro do CMS, experimento do CERN.

⁵ LIP foi criado em Maio de 1986, no contexto da adesão de Portugal ao [CERN](#), com delegações em [Lisboa](#) e [Coimbra](#). O nascimento do LIP veio congrega e potenciar os esforços da então embrionária comunidade de físicos experimentais de partículas. Sendo o CERN a primeira organização científica internacional de que Portugal se tornou membro, a história do LIP é um elemento incontornável da história da investigação científica em Portugal. Em particular, o LIP surge com lugar de destaque nos capítulos dedicados à internacionalização da ciência no nosso país e ao enorme impulso que a formação avançada conheceu nas últimas décadas.

1 E O PROTAGONISMO INTELECTUAL DA QUARTA COMUNIDADE?

Colocação do problema

Aqui trataremos da educação científica em geral, e em especial, da educação científica centrada na Física. A motivação precípua deste trabalho radica na constatação da insuficiência das abordagens que pressupõem o foco da questão da busca de eventuais soluções para o ensino de ciências no nível médio, ainda que parciais, serem tão somente centradas nos protagonismos das seguintes três comunidades de pesquisadores: os pesquisadores em educação; os pesquisadores em ensino de ciências; e os pesquisadores das assim chamadas ciências duras, esses últimos realizando pesquisas em suas disciplinas específicas.

Essas três comunidades elegem o ensino médio como estratégico para o desenvolvimento do país e da consciência informada dos cidadãos. Mas o protagonismo intelectual da comunidade dos professores que atuam no ensino médio é muitas vezes, senão na maioria das vezes, negligenciado enquanto parte importante na busca de soluções de ensino e aprendizagem.

O nosso objetivo aqui é o de enfatizar a necessidade desse protagonismo intelectual, bem como chamar a atenção para o fato de que o ainda precário diálogo entre as ditas três comunidades e aquela constituída pelos professores de ciências do ensino médio precisa ser intensificado, enquanto sinergia imprescindível para a melhoria do ensino das ciências.

Com tais diretrizes em mente, e tomando por base a nossa própria experiência como professores, argumentaremos sobre o quanto esse protagonismo desempenha papel essencial para o desenvolvimento pleno do processo de ensino e aprendizagem de ciências no país.

1.1 Caracterizando a comunidade dos professores de Física do ensino médio

A ideia básica de que os professores de Física do ensino médio deveriam formar uma comunidade própria surgiu da análise dos trabalhos apresentados durante o XIV EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física), em novembro de 2012, na cidade de Maresias-SP, que debateu sobre o seguinte tema central: *Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física*. As diversas reflexões surgidas durante o evento produziram vários artigos, que foram posteriormente transformados em 27 capítulos reunidos em livro com o mesmo título. O compêndio como um todo é muito interessante, mas nos chamaram à atenção alguns trabalhos específicos. A descrição de uma Mesa Redonda tratada nos capítulos 14, 15 e 16 enfatizou a

existência de três comunidades distintas relacionadas com a Pesquisa no Ensino de Física. A evidente dificuldade de diálogo entre os membros dessas comunidades; a convivência pendular entre elas, que instigava nos interlocutores a busca por pontos de aproximação e de afastamento; tudo isso me pareceu insuficiente para a convergência de soluções efetivas. Faltava, a nosso ver, além de uma interlocução mais franca entre as partes, a inclusão de outra comunidade no contexto. Esta quarta comunidade seria formada não por pesquisadores específicos, mas por professores de Física do Ensino Médio.

Ao tentarmos caracterizá-la, percebemos de modo evidente, que mesmo sendo o mote principal das pesquisas do ensino de Física – posto que forma o elo entre as ideias teorizadas e a prática em sala de aula, o diálogo entre as comunidades constituídas de pesquisa em ensino da Física e Educação com a comunidade dos professores do ensino médio é precário e, no melhor dos casos, é claramente insuficiente. Esta não observância e conseqüentemente este não reconhecimento resultam numa enorme lacuna no que se refere aos estudos que possam identificar a forma estrutural da quarta comunidade. Surpreendentemente, como veremos em detalhes na sequência deste trabalho, iniciativas interessantes de coparticipação tem partido também da comunidade dos pesquisadores em Física, conhecida também como comunidade dos físicos duros. Tudo isso mostra que a Educação Científica constitui difícil mister a tal ponto de não poder prescindir da fundamental sinergia entre todas as quatro comunidades, sem exceção de quaisquer das quatro comunidades aqui consideradas nesta nossa análise.

Retomando, então, a busca por uma caracterização desta nova comunidade, tomaremos como parâmetro a grande heterogeneidade das três comunidades já constituídas: a comunidade dos físicos duros, que buscando respostas diretas para os problemas, geralmente despreza a transmissão efetiva das soluções aos alunos – o que talvez a tenha levado a uma tentativa de aproximação com a quarta comunidade; a comunidade dos pesquisadores em ensino, criando teorias muitas vezes mirabolantes, mas que quase nunca alcançam efetivamente as salas de aula, e, por fim, a comunidade dos pesquisadores no ensino de ciências, que procuram, principalmente em cursos de pós-graduação, unir as ideias das duas comunidades anteriores; o que pode ser exemplificado no caso dos recentes cursos de mestrado e profissionalizantes, que tentam criar trabalhos que gerem soluções para produzir mudanças no ensino da Física. Constatamos, porém, que mesmo essa comunidade permanece ainda muito distante da maioria dos professores atuantes em salas de aula do ensino médio.

Há ainda o problema do grande número de profissionais que ensinam sem a devida licença. Mas muito embora não sejam habilitados, estes profissionais “estão” professores; e desta forma fazem parte da quarta comunidade, contribuindo de maneira relevante para a sua imensa diversidade.

Analisando as caracterizações das três comunidades citadas, fica claro que o limite de diferenciação entre seus integrantes nem sempre é bem definido. Não existe homogeneidade dentro delas, embora prevaleçam, em cada uma, características próprias marcantes. Essa heterogeneidade talvez possa se refletir fortemente na caracterização da quarta comunidade, e explique, por sua vez, sua dificuldade de aproximação em relação às demais.

No referido Encontro, foi debatido em mesa redonda (Garcia, 2014; Bastos Filho, 2014; Zylbersztjn, 2014) como é notória a falta de comunicação entre as três comunidades. Pregou-se a necessidade de um melhor relacionamento entre elas, pois, certamente, não existe uma panaceia para o problema do ensino de ciências. Sem esse diálogo, coisas boas são preteridas muitas vezes por arrogância e preconceito. Podemos assegurar que, de forma semelhante ao que ocorre nas três comunidades, também dentro da quarta existe grande soberba da parte de alguns dos seus membros; sendo comum o não compartilhamento de experiências que poderiam acrescentar substancialmente no desenvolvimento pretendido. Essa forma de agir acaba por estabelecer uma grande distância entre as teorias e a realidade do professor no cotidiano escolar. Toda esta dicotomia, que evidentemente já inviabiliza a comunicação dessas comunidades entre si, torna-se mais acentuada em relação à idealizada quarta comunidade. Desse modo, as possíveis soluções e melhorias metodológicas pretendidas para o ensino de ciências perdem o potencial inicial, tornando-se desconexas, e só encontrando aderência em grupos específicos da quarta comunidade; o que identifica a possibilidade de que ela seja ainda mais heterogênea que as outras três, pois parece encerrar em seu interior um pouco de cada uma delas.

Concluimos, no momento, que o diálogo no interior desta quarta comunidade é tão ou mais difícil do que no seio de cada uma das outras três comunidades.

O fato de termos militado tanto em escolas públicas quanto privadas, pode nos credenciar a tentar identificar as causas que dificultam essa interatividade, e conseqüentemente a falta de diálogo entre os professores do Ensino Médio. A ausência do reconhecimento da sua própria auto existência como entidade diferenciada, acaba por impossibilitar qualquer diálogo no interior da quarta comunidade. A baixa remuneração da

grande maioria dos professores, entre outros fatores, os conduz a jornadas de trabalho extenuantes. Para sobreviver, acumulam empregos em diversas escolas; não existindo tempo para uma melhor qualificação. Se já é difícil a interação entre professores e pesquisadores, o panorama atual inviabiliza o acesso às pesquisas, impossibilitando a troca de experiências.

1.2 A quarta comunidade pode contribuir para tornar o ensino de ciências eficaz e significativo?

A proposta de toda pesquisa na área de ensino de ciências, especificamente em física, em qualquer nível, seja educação básica, no nível médio ou na formação superior, tem como pressuposto inicial contribuir direta ou indiretamente para o cumprimento do objetivo de tornar o ensino de ciências eficaz e significativo. A questão de por que e para que ensinar ciências deve ser prioridade das pesquisas, buscando respostas que levem a um resultado que capacite para a produção do conhecimento. Dentro dessa perspectiva, o ensino de ciências deve trabalhar com o propósito de potencializar os alunos como produtores de conhecimento.

Segundo Andreia Guerra⁶, um exemplo seria a inserção de HC no ensino de física e analisar como esta inclusão poderia contribuir para potencializar os alunos a produzirem respostas aos problemas de seu contexto sociocultural.

Geralmente a quarta comunidade apresenta a seus alunos somente os produtos da ciência, isto demonstra um corpo de conhecimento que parecerá pronto e acabado, um conhecimento que apenas ganhará ao longo dos tempos pequenos ajustes. Se a ciência for vista desta forma caberá aos alunos acatar as soluções apresentadas pelos cientistas. Esta maneira linear de conceber o desenvolvimento científico não encontra respaldo na história da ciência que na verdade é repleta de marchas e contramarchas, de coexistência de conflitos entre escolas de pensamento e que, portanto, tal desenvolvimento revela-se como sendo um processo complexo de notável não linearidade.

⁶ Centro Federal de Educação Tecnológica de Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ) aguerra@tekne.pro.br

Nesse ponto, a comunidade dos pesquisadores em física se destaca das outras. Esse olhar para o conhecimento científico vai ao encontro da regra da competência apontada por Marilena Chauí (1986), que destaca o papel dos especialistas na sociedade tecno-científica atual, detentores de tamanho prestígio, que os cidadãos acabam por transferir-lhes o poder da decisão.

Com efeito, a vulgarização e banalização dos resultados científicos através dos meios de comunicação da massa, das terapias (ocupacionais ou não), do sistema eufemisticamente denominado nas indústrias como ‘relações humanas’ e, enfim, através da escola, tem a finalidade de interpor entre a experiência real de cada um e sua vida, a fala do especialista (CHAUÍ, 1986 APUD ANDREIA 2014)

Nesse ponto os pesquisadores em ensino de física concluem que transferindo o poder de decisão aos especialistas, o cidadão torna-se aliado do saber, incapaz de produzir respostas aos problemas colocados no contexto sócio cultural, então a solução seria construir nas salas de aula caminhos que conduzam os alunos a problematização do poder do especialista. Desta forma o aluno deve ser levado a refletir sobre o processo da construção da ciência, assim devem-se promover práticas pedagógicas que ultrapassem o discurso sobre os produtos da ciência e tragam problematização em torno da ciência e de seu processo de construção.

Essas reflexões apontam para a defesa de que uma proposta pedagógica que tenha como eixo condutor a História da Ciência seria eficaz no curso de física (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; PEDUZZI, 2001; KOHNLEIN, PEDUZZI, 2005; MATTHEWS, 1994; McCOMAS, 2008; RUDGE, HOWE, 2009).

Trabalhando os conteúdos a partir de uma abordagem histórico-filosófica tira-se o foco dos produtos da ciência. Nessa perspectiva, a História da Ciência não deve ser apresentada como um conteúdo a mais, meramente ilustrativo (FORATO, 2009), a proposta é que a História da Ciência esteja permanentemente presente no espaço escolar. A idéia é que as narrativas históricas a serem construídas em sala de aula precisam ultrapassar a pseudo-história (ALLCHIN, 2004). Para isso, o educador precisa ter conhecimento sólido de HC.

Como observamos a HC no ensino de ciências enfrenta sérios problemas, o pesquisador em ensino de ciências tem por objetivo de pesquisa o ensino e não a HC, os professores não são historiadores de ciência. As pesquisas pressupõem recortes teóricos e também metodológicos para produzirem um conhecimento em HC. O diálogo entre as comunidades de pesquisadores em HC e dos pesquisadores em educação, segundo MARTINS (2014), é tenso, embora os dois grupos não tenham críticas formais (em publicações) é inegável que ocorram discretos enfrentamentos, críticas mútuas e veladas e pouca colaboração. Muitas vezes, os dois grupos se ignoram mutuamente, em vez de colaborar um com o outro. Se esses problemas ocorrem entre as comunidades já fortemente constituídas, diríamos que em relação à nossa quarta comunidade, o diálogo é inexistente.

Na sequência de nosso trabalho analisaremos ainda essa controvérsia a respeito da HC como eixo pedagógico. Para denotarmos a total desvalorização da quarta comunidade no contexto, citaremos um pouco mais as posições do pesquisador Roberto Martins quando enfatiza as diferenças entre as abordagens dos historiadores da ciência (pesquisadores em ensino de ciências/física) e dos pesquisadores em educação ao estudarem a história da ciência ou tentarem aplicá-la na educação. Essas diferenças, segundo ele, geram conflitos e tensões, mas chamou-nos a atenção foi quando o pesquisador fez questão de ‘deixar claro’ que estava confrontando as posições de dois tipos de pesquisadores, os historiadores da ciência e os pesquisadores em educação – e não os professores que atuam diretamente em sala de aula, que em geral, não tem condições de se dedicar à pesquisa educacional. Este ponto retrata bem a situação da comunidade dos professores, problemas já citados nesse trabalho e tantos outros característicos e pessoais colocam a comunidade sempre à margem dos processos que dizem respeito à sua profissão.

Certamente um diálogo mais efetivo, uma reformulação dessa falsa hierarquia na estrutura de ensino possa mudar esse panorama, e certamente surpreenderia a visão dos pesquisadores as posições e ideias geradas dentro da quarta comunidade. Trabalhos conjuntos, certamente seriam mais produtivos. Felizmente, como detalharemos no final deste trabalho, manifestações no sentido de promover esta integração tem surgido e justamente oriundas da comunidade que a princípio seria a menos indicada para tal, a comunidade dos pesquisadores em física, os chamados físicos duros. Isso tudo reforça mais uma vez a necessidade de cooperação entre todas as quatro comunidades aqui aludidas.

1.3 Contribuições da utilização da História da Ciência no Ensino de Física; posicionando a quarta comunidade.

Nas Atas do encontro já referido, deparamo-nos com outra mesa redonda intitulada *Perspectivas e contribuições de naturezas distintas ao uso de história de ciência no Ensino de Física: diálogo (ou controvérsia?) entre historiadores da ciência e educadores* com três contributos respectivamente de Guerra, 2014; de Martins, 2014; e de Bragatto Boss, 2014 que focam as suas atenções nas diferenças, conflitos e eventuais complementaridades entre os pesquisadores da comunidade de historiadores da ciência e a comunidade dos educadores que lançam mão de aspectos da História da Ciência em suas aulas de física e de outras ciências.

Pensamos que essa comunidade de educadores que se utiliza da História da Ciência pode comportar tanto os pesquisadores de ensino de ciências quanto os educadores que são pesquisadores em educação propriamente dita, isso reforça-nos a crença que essas linhas divisórias entre as comunidades não são rígidas e por isso torna-se recomendável que admitamos de antemão certa flexibilidade. Em suma, ao respeitar vocações e competências específicas, haveremos de convir que interseções entre comunidades devam ser vistas como algo natural além de ser um elemento desejável para o exercício de uma interdisciplinaridade saudável.

1.4 A Mesa Redonda - Diálogos entre a Pesquisa em Educação, a Pesquisa em Física e a Pesquisa em Ensino de Física: pontos de aproximação e afastamento. Ausência da quarta comunidade.

Trataremos a partir daqui do enfoque que consideramos mais importante na confecção inicial desse nosso trabalho. Esta Mesa Redonda motivou-nos, como professor de Física do Ensino Médio, a insurgir contra a não observância de nossa comunidade. Quais seriam as colocações da quarta comunidade diante das discussões ocorridas na referida Mesa Redonda envolvendo os demais pesquisadores? Se reconhecida, a comunidade dos professores poderia acrescentar algo à trama, ou seria somente mais um ponto controverso no discurso?

Mesmo alijados da discussão, pois, não estávamos representados na discussão⁷, percebemos claramente a dificuldade de aceitação e conseqüentemente de diálogo entre as três comunidades constituídas no debate.

Com o intuito de demonstrar as características de cada grupo, os três professores que compunham à Mesa, tentavam evidenciar as dificuldades históricas envolvendo o ensino de física, e apesar das diferenças, a visão de cada um parecia, no final, tender para a convergência. Considerando que estivessem convivendo de forma muito mais colaborativa e próxima do que supostamente ocorre no dia a dia acadêmico, puderam cada um ao seu modo de ver, expor sua visão sobre a problemática, identificando pontos de aproximação e afastamento entre os conceitos de cada comunidade e no fim, praticamente concordaram no rumo a ser traçado no intuito de obter um resultado positivo.

⁷No que concerne ao ensino de física a SBF (Sociedade Brasileira de Física) promove dois tipos de congressos ambos de periodicidade anual. O primeiro deles se refere aos **SNEF** (Simpósios Nacionais de Ensino de Física) que tem participação massiva dos professores do ensino médio e dos pesquisadores em ensino de física e esses são realizados quase sempre no mês de janeiro para aproveitar as férias dos professores, em virtude da conhecida recusa das direções das escolas em autorizar o afastamento dos professores de ensino médio. O segundo deles se refere aos **EPEF** (Encontros de Pesquisa em Ensino de Física) nos quais os pesquisadores refletem sobre o ensino médio, mas com uma participação bem menor dos professores do ensino médio. Há também nos EPEF uma participação minoritária, embora relevante, de físicos assim chamados de duros. O fato é que ainda que se possa entender, por razões de logística de financiamento e organização, a existência de dois tipos de congressos, isso também não deixa de ser uma divisão, talvez problemática, entre dois fóruns de discussão e reflexão.

1.5 A comunidade dos Pesquisadores em Ensino de Física x a comunidade dos Pesquisadores em Física.

Consideremos inicialmente o posicionamento do Professor Arden Zylbersztajn⁸ em sua contribuição traduzida no artigo; contribuição para a mesa redonda *"Diálogos entre a pesquisa em educação, a pesquisa em física e a pesquisa em ensino de física: pontos de aproximação e de afastamento"*.

Representando os pesquisadores em ensino de física, Zylbersztajn expõe a angústia dos seus pares, pressionados pelas outras comunidades de pesquisadores, em poética analogia se coloca como sendo um marisco acuado entre a dureza da rocha dos pesquisadores em física e as águas **softs**, porém com ondas difíceis de manejar, dos pesquisadores em educação.

Segundo o professor, a comunidade dos pesquisadores em ensino de física sofre influências pelas duas formas de conhecimento; por um lado à identificação *genética* com a física, e de outro a identificação com a educação, tornando-se um ser híbrido enquanto pesquisador, sofrendo pressões de ambas as áreas. Ocorre uma rejeição parcial por parte dos físicos que os consideram "soft" sendo incapazes de produzir resultados objetivos e generalizados ao mesmo tempo em que ocorre uma não aceitação por parte dos educadores que os consideram "positivistas" pressupondo que desconsideram os aspectos políticos, sociais e ideológicos que afetam o contexto educacional.

Surgem aqui, as primeiras manifestações explícitas dos problemas envolvendo as comunidades quando Zylbersztajn questiona a validade de se utilizar bilhões de dólares em experimentos como os realizados pelo CERN, em suas palavras; *apesar de achar interessante poder confirmar que os modelos funcionam e que o bóson de Higgs "existe", não creio que isso terá influência em nossas vidas cotidianas e os físicos continuarão a pedir mais recursos, a construir máquinas cada vez mais complexas e caras (...)*. Em sua opinião, a comunidade dos Pesquisadores em Ensino de Física sofre uma pressão que se transforma na quase obrigação pessoal e social de produzir resultados que possam ser aplicados de imediato.

⁸ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Departamento de Física e Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, ardenzyl@gmail.com

Gostaria, nesse momento, antecipar algumas considerações que certamente serão mais aprofundadas na segunda parte desse trabalho quando detalharemos nossa experiência no próprio CERN (*Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*) que possibilitou o trabalho conjunto entre a comunidade dos Físicos, experimentais e teóricos junto aos professores de Física do Ensino Médio do Brasil, Portugal e alguns países africanos⁹. Certamente, mesmo se estivéssemos participando e opinando na referida mesa redonda, não teríamos naquele momento a visão atual, creio que o nobre professor analisou o processo com a visão de um economista, que sinceramente junto a outras supostas ciências, a economia não casa muito bem com a pesquisa científica.

Crer que os experimentos de ponta da Física não terão influências no cotidiano é observa-los através das lentes do economês, acrescentando que estes fenômenos, além de direta ou indiretamente criar inúmeros avanços tecnológicos *aplicáveis no dia nosso dia a dia*, despertam um enorme interesse em grande parte dos alunos quando são tratados em sala de aula.

Quando questionado qual seria o retorno econômico da descoberta do bóson de Higgs, o Físico teórico David Kaplan simplesmente disse; *“não tenho a menor idéia, mas quando as ondas de rádio foram descobertas, não eram chamadas assim, porque não havia rádios para receptá-las, não tinham idéia se teriam alguma utilização, muito menos um retorno econômico. Em ciência básica, as grandes descobertas precisam ocorrer sem que se pergunte qual o ganho econômico imediato. O LHC pode não servir para nada além de entender tudo”*. (documentário: Particle Fever, Mark Levison- 2013).

Inclusive esta análise é difícil de ser feita a priori. No próprio desenvolvimento e na própria construção do LHC foram desenvolvidas tecnologias sofisticadas e inclusive foi nesse contexto que emergiu a internet. Ninguém pode duvidar da enorme influência social, cultural e econômica que o advento da internet ensejou.

⁹ The Portuguese Language Teachers Programme 2015, Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa. (<http://indico.cern.ch/event/347864/>)

Retomando o tema da Pesquisa em Ensino de Física, nosso contato com colegas de diferentes países por ocasião do evento citado, deixa a impressão de que a posição do professor Zylbersztajn em relação aos resultados inexpressíveis das pesquisas, se estendem do Ensino Básico ao Ensino Superior.

Se por um lado as influências sociais são as mais variadas possíveis, a solução para esse problema só surgirá com a união de forças e idéias. A generalização naturalística na elaboração de estudos de caso bem realizados e bem descritos que possam servir de exemplos para a situação parecida em que a metodologia, com devidas modificações mereça ser testada, não quer dizer que não seja possível se chegar a procedimentos de ensino que sejam, com as devidas adaptações, aplicáveis em longa escala e em diferentes contextos.

No Ensino universitário, temos pouca pesquisa no sentido de melhorar a aprendizagem das disciplinas de Física. As pesquisas têm centrado em disciplinas de caráter pedagógico (metodologia, Práticas e Instrumentação para Ensino de Física e similares), os físicos de hoje como os de ontem parecem estar satisfeitos com a maneira com que formam os seus sucessores. O Ensino de Física poderia adquirir maior rigor e poder de generalização através dos enfoques quantitativos usando, por exemplo, os métodos da estatística Inferencial, testes de hipóteses, etc., porém, cada sala de aula é única, com alunos diferenciados e métodos e projetos não são a prova de professores, escolas e contextos.

A linguagem da Física, com sua inerente *matematização* exige uma imersão e um treinamento muito mais específico do que as áreas de pesquisa que se valem da linguagem natural. As mudanças ou visitas entre os Pesquisadores em Física e Pesquisadores em Ensino de Física são assimétricas, encontramos vários exemplos de pesquisadores em física transferindo-se total ou parcialmente para a área de ensino, o inverso, porém, se existe é muito mais raro. Tal assimetria cria um sentimento de superioridade por parte dos Pesquisadores em Física, por serem donos de um conhecimento específico ao qual não temos acesso. Forma-se uma pirâmide na qual no topo temos os Físicos Teóricos, seguidos dos Físicos Experimentais, dos Engenheiros e diluídos pela base os demais pesquisadores e ainda mais abaixo os professores de Física do Ensino Médio.

Percebemos que esta hierarquização é muito prejudicial ao desenvolvimento do Ensino e de certa forma deve ser ignorada, ou superada se quisermos lograr êxito.

Pode ser que alguns Pesquisadores em Física tenham enveredado pelos caminhos da pesquisa por conta própria, talvez isso fosse mais frequente na antiguidade, mas certamente a

grande maioria passou pelas mãos de bons e maus professores durante sua formação, isto foi confidenciado diversas vezes durante o evento no CERN.

1.6 Diálogos entre as comunidades; pontos de aproximação e afastamento, a opinião da quarta comunidades.

Incluiremos aqui as colocações do Professor Jenner Barretto Bastos Filho¹⁰ que representava os Pesquisadores em Física com algumas intervenções pontuais da Professora Tania representante da comunidade dos Pesquisadores em Educação.

Concordamos plenamente com a posição defendida pelo professor Jenner quando se dizia convencido de que seria desejável que esses três campos de pesquisa estivessem em constante diálogo e que, apesar de suas especificidades e autonomias, eles deveriam se comunicar de forma mais ativa. Acreditamos que a visão do professor Jenner certamente acomodaria a nossa comunidade que não fez parte da Mesa Redonda.

Seria importante ampliar o diálogo entre estes campos, pois às vezes não se estabelece diálogo algum o que aumenta o nível de desconfiança, mal-entendidos, preconceitos, os estigmas e os estereótipos. Nesse momento a professora Tania Maria F. Braga Garcia¹¹ representando a comunidade dos Pesquisadores em Educação afirma que cada um dos três grupos deveria reconhecer de antemão cada um dos dois demais grupos de pesquisadores como absolutamente legítimos e, além disso, todos os três grupos, sem exceção, tem diante de si atividades de grande relevância para desempenhar.

¹⁰Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Instituto de Física e Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, jenner@fis.ufal.br

¹¹Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Departamento de Teoria e Prática de Ensino e Programa de Pós-Graduação em Educação. taniabraga@cnpq.br

Entendeu-se que sem o reconhecimento, sem reciprocidade sincera e efetiva envolvendo esses três grupos, eventuais diálogos serão sempre precários. Sabemos que os trabalhos dos Pesquisadores em Ensino de Física e dos Pesquisadores em Educação visam a nossa comunidade o que a valoriza e a credencia a entrar também no debate. Além disso, após o encontro realizado no CERN, verificamos que também o trabalho dos Pesquisadores em Física, de certa forma precisa dos professores de Física do Ensino Médio (e até mesmo os professores de ciências do Ensino Básico) para assegurar o futuro das pesquisas quer seja na formação inicial de seus sucessores como também na divulgação dos trabalhos, na verdade um professor informado torna-se uma espécie de relações públicas, um divulgador caloroso das descobertas junto aos estudantes e para a sociedade em geral o que contribui para a consciência informada da sociedade e para o exercício da cidadania, pois torna os cidadãos mais aptos para que possam emitir pareceres sobre os caminhos do desenvolvimento em bases científicas, políticas e éticas.

1.7 Buscando paralelos junto às características das outras três comunidades

Para os componentes da Mesa Redonda, especificamente na visão do professor Jenner, é difícil traçar os perfis de cada uma das comunidades, pois cada uma delas é bastante heterogênea e plural. Certamente cada um de nós, professores de Física pode se considerar parcialmente pertencente a todas as três comunidades aqui em tela. O professor utilizou a intuição Galileana do Grande Livro da Natureza como ponto de partida na busca de traçar os perfis de cada grupo.

Certamente esta interpretação privilegia a comunidade dos Pesquisadores em Física, pois ao aceitarmos a caracterização conferida por Galileu segundo o qual: *“O Livro da Natureza está escrito em símbolos matemáticos e quem não dominá-lo vagará em um obscuro labirinto”*, logo, esta comunidade domina perfeitamente o código e desta maneira transita com destreza no labirinto a que se refere Galileu, já a comunidade dos Pesquisadores em Educação estaria totalmente perdida e, mais estranha seria a situação dos Pesquisadores em Ensino de Física que estariam num estado surreal entre o meio perdido e meio achado.

Obviamente a realidade é outra, nem a comunidade dos Pesquisadores em Física é tão dona da verdade ao ponto de a termos como detentora de uma imensa supremacia racional, nem a comunidade dos Educadores é tão perdida e muito menos os Pesquisadores em Ensino de Física são meio cegos e meio videntes.

Isso tudo reflete fortemente na comunidade dos professores de Física do Ensino Médio, entendendo as características e as dificuldades existentes na comunicação e na convivência das comunidades constituídas, podemos visualizar algumas estratégias e realçar os pontos de aproximação entre elas.

1.8 A quarta comunidade deve, dentro de sua heterogeneidade, aderir a idéia de Galileu?

A intuição de Galileu é profunda e muito importante na história do pensamento humano, mas devemos frisar que esta idéia surgiu, na verdade, bem antes de Galileu. Pelo menos Platão já pensava nesse sentido quando mandou escrever na porta de sua academia que quem não soubesse geometria que por lá não entrasse¹². Muitos outros, na sequência, compartilharam dessa idéia.

Quando nos referimos ao Grande Livro, seus códigos fazem referência ao entendimento da natureza e certamente a Física é uma ciência da natureza, mas a Educação não é uma ciência da natureza, podemos deduzir então que sob o ponto de vista de Galileu os educadores não estariam perdidos no obscuro labirinto visto que eles não trabalham com os mesmos códigos.

Já para os Pesquisadores em Ensino de Física surge um problema maior de interpretação, pois como tratam do ensino de uma ciência da natureza, lidam com fenômenos tratados pelo código de Galileu, porém o ensino de qualquer coisa vai além do código matemático o que amplia o contexto da educação científica que, além dos componentes matemáticos possui outros diversos componentes.

¹² Platão considerava a geometria algo mais confiável como concepção de mundo do que a aritmética, pois esta última se deparava com o problema da incomensurabilidade entre o lado do quadrado e sua diagonal, problema esse que não aparecia na geometria dos gregos. A propósito, no Diálogo Menon de Platão o problema geométrico da procura do lado do quadrado de área dupla como sendo a diagonal do quadrado de área simples transparece com exatidão e aí não aparece o sério problema da incomensurabilidade.

1.9 Aprofundando na intuição.

A nossa comunidade, a dos Professores de Física do Ensino Médio, deve observar que nenhuma das três comunidades de pesquisadores é homogênea, nem todos os seus membros estão em completo acordo com questões do gênero. É interessante notar aqui, semelhanças nas interpretações do problema, o professor Jenner cita o físico de partículas Joseph Schwartz que interpreta a intuição de Galileu de forma peculiar, para ele a intuição de Galileu era uma jogada, era um estratagema propagandístico visando angariar adeptos e aliados para enfrentar os fortes opositores jesuítas:

“[...] Galileu decidiu abrir mão da linguagem direta do *Mensageiro Celeste* e abrigar sua argumentação na única instituição social temida pela Igreja – a antiga disciplina da matemática.” (SCHWARTZ. 1992, p. 36-37).

“A Igreja teria de, finalmente, ser colocada de lado. Um dos modos de alcançar esse objetivo poderia ser apelar para a autoridade da matemática, que competia com a Igreja em aceitação. Em 1621, Galileu começou a trabalhar no *Ensaíador*, documento que se tornaria o manifesto do método científico mais citado nos quatro séculos seguintes.” (SCHWARTZ. 1992, p. 38).

Por outro lado, se esta visão fosse inteiramente aceitável, não teríamos como explicar a extraordinária adaptação da matemática para explicar a natureza, a realidade Física que tanto maravilhou Einstein e Wigner, por exemplo.

Uma alfabetização científica, mais especificamente uma alfabetização da Física e sua divulgação minimizando a matemática certamente é possível, podemos exemplificar diversos fenômenos da natureza que encontraram compreensão sem a demonstração matemática. Na referida Mesa Redonda o professor exemplificou como podemos falar de energia sem o uso das equações. Considere que as roupas estendidas no varal secam mais rapidamente do que se estivessem enroladas no mesmo varal, isto porque a roupa estendida oferece uma superfície maior em contato com o ar e o vento o que favorece uma evaporação mais rápida da água do que a roupa enrolada. Da mesma forma, um aluno morador de uma cidade ribeirinha, mesmo com grandes dificuldades matemáticas não terá dificuldades para compreender porque um barco é mais lento subindo o rio do que descendo. Certamente existe uma matemática implícita nos fenômenos embora, alguns pesquisadores não concordem com esse tipo de abordagem por considera-las muito precárias.

1.10 A quarta comunidade frente à divulgação científica, muito ou pouca matemática?

Consideremos dois exemplos recentes do ponto de vista histórico. O renomado Físico Roger Penrose ao escrever seu livro¹³ em 2006, não deu ouvidos ao editor que lhe falou que a inclusão de termos matemáticos afastaria os leitores e preferiu fazer o contrario, escreveu 14 capítulos matemáticos introdutórios, que segundo ele forneceriam condições necessárias para o leitor pudesse entender o que seguiria.

Por sua vez, Steven Hawking por ocasião da publicação de seu livro *Uma breve História do Tempo*, recebeu o conselho de que a quantidade fórmulas matemáticas incluídas no livro seria inversamente proporcional ao número de compradores do mesmo. O livro continha somente a famosa fórmula $E = mc^2$. O livro foi um sucesso estrondoso, não podemos saber se devido à condição do autor, dono de uma mente privilegiada fechada em um corpo preso a uma cadeira de rodas sobrevivendo de forma inexplicável a uma grave doença degenerativa, ou a impressão de que tendo um livro de Hawking na estante fará com que seus vizinhos lhe considerem dono de uma inteligência também privilegiada. De qualquer forma são dois exemplos de divulgação da Física de formas diferentes, podemos levar para salas de aula, a aceitação poderá vir dos dois lados, no primeiro exemplo uma base inicial tenta tornar viável o prosseguimento da leitura embora conceda um conhecimento mais solido, a caminhada é mais árdua. Já no segundo caso, o conhecimento fornecido, apesar de amplo não recorre às deduções matemáticas embora estejam implícitas em toda obra, mas o conhecimento talvez não se faça tão sólido como no primeiro caso.

Dentro do contexto da divulgação e da alfabetização científica ressurgem o quadrívio (no latim quadrivium) que se refere ao currículo medieval das quatro disciplinas matemáticas e formais (aritmética, geometria, música e astronomia). Segundo o Físico “duro” Robilotta¹⁴, o quadrívio se apoiava em estruturas simbólicas, silenciosas e poderosas em oposição ao trívio (no latim; trivium) que podemos comparar atualmente com a área das humanas (gramática, retórica e dialética).

¹³ PENROSE, R. **El Camino a la Realidad**(Una guia completa de las leyes del universo). México: Debate, 2008

¹⁴Manoel Roberto Robilotta – Universidade de São Paulo, Departamento de Física Nuclear.
<http://lattes.cnpq.br/6798387436584527>

A questão é a seguinte, nós da quarta comunidade devemos promover a imersão completa de nossos alunos no quadrívio ignorando o trívio? Apesar de o discurso ser de um membro da comunidade dos Pesquisadores em Física, concordo que devemos seguir o caminho apontado por Robilotta e pelo professor Jenner.

A matemática certamente é um extraordinário e poderoso expediente cognitivo. Relacionada aos fenômenos físicos, a matemática é essencial para não nos perdermos no obscuro labirinto descrito por Galileu, porém devemos não ser tão extremados e reconhecer que para a alfabetização e para a divulgação científica e outras circunstâncias, uma matemática abrandada deve ser empregada para não assustar àqueles que não tenham grande afinidade com o código, isto pode ser aceitável e até mesmo recomendável.

Devemos ter claro em nossa mente que uma imersão no quadrívio não significa estimular a se fazer cálculos em profusão sem qualquer contrapartida com a compreensão dos fenômenos, esta compreensão deve ter dois componentes de suma importância, a matemática pura e outro componente que a transcende que poderíamos chamar de meta-matemática. Devemos ter um expediente lúdico que possa entusiasmar, podemos utilizar as simplificações, pois estas podem ajudar na compreensão dos fenômenos, mas que estas não ocultem a importância do código matemático devemos optar por uma confluência cooperativa desses expedientes.

1.11 Método científico na visão de um físico, como trabalhar a questão junto à quarta comunidade?

Segundo Robilotta em texto enviado aos componentes da Mesa Redonda em questão, afirma que:

O método científico: esta *coisa* é uma falácia. Essa ficção, inventada no fim do século 19, simplesmente, não existe. Na minha prática profissional, nunca encontrei com ele, nunca o utilizei, nunca o mencionei a um orientando, nunca vi um colega se referindo a ele, seja no Brasil, seja no exterior, em congressos ou conversas particulares [...] os processos de orientação são artesanais e os exemplos são mais importantes. O aprendiz respira o ar do ambiente de trabalho e, assim, aprende a pesquisar [...]. Atualmente, o dito *método científico* é algo que sustenta um discurso tosco, voltado para o público externo, sem refletir a prática real. Mas, que pode ser um recurso útil, quando é preciso dizer algo que uma pessoa tosca pode entender. Bom para vender creme dental.¹⁵

Entender método científico como uma receita de bolo, um conjunto de prescrições que devem ser seguidas a fim que possamos realizar pesquisas, obtendo resultados criativos, constitui-se em ilusão.

É necessário apelar para a abdução¹⁶, inventar teorias para descrever o mundo, esses insights intuitivos não podem ser ensinados.

Segundo Karl Raimund Popper¹⁷ não basta realizar tentativas e erros, isto todos fazem desde as amebas até Einstein; para termos um método científico devemos submeter tentativas e erros ao debate racional, à discussão crítica, resultando no método de conjecturas e refutações. Parece-nos a ideia de Popper seguir uma linha dos Pesquisadores em Ensino de Física e obviamente a opinião de Robilotta traduz a visão de um Pesquisador em Física. Interessante frisar que segundo o professor Jenner, a inspiração de Popper para a refutabilidade como critério de cientificidade foi buscada na obra einsteiniana, então, certamente não devemos procurar prescrições fáceis e macetes nos insights abduativos de Einstein.

¹⁵ (ROBILOTTA, M.R. **Meus Vizinhos...** texto para a intervenção na Mesa Redonda intitulada *Diálogos entre a pesquisa em Educação, pesquisa em Física e a pesquisa em Ensino de Física* realizada durante o XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física EPEF, realizado de 5 a 9 de novembro em Maresias, São Sebastião, São Paulo, 2012.

¹⁶ O termo abdução aqui não se refere ao ato de abduzir, ou seja se afastar, arrebatado com força e violência atualmente associado a ação de extraterrestres, mas faz referência ao ato de intuir, criar algo do nada.

¹⁷ **Karl Raimund Popper** – considerado por muitos como o mais influente filósofo do século XX, nasceu em Viena 1902 e faleceu em Londres 1994. https://pt.wikipedia.org/wiki/Karl_Popper

Encontramos aqui um ponto importantíssimo. Muitos confundem de forma ainda mais agravante, método científico com meras normas de editoração. Concordo plenamente com o pesquisador quando afirma que a maneira de citar algo em um trabalho depende fundamentalmente de certas regras que são todas arbitrárias e meramente convencionais. As revistas possuem cada uma suas regras e trazem um conjunto de instruções para a preparação de manuscritos em diferentes normas; caracteres em negrito ou itálico, letras maiúsculas, subscritos, etc., porém, somente por esta condição nenhuma revista pode ser taxada de mais científica do que a outra. Isto não quer dizer que as normas técnicas não tenham importância, obviamente devemos ter uma unificação da comunicação e, é só isso, não se trata de forma alguma de métodos científicos, este fato deve ser tratado já pelos professores de Física do Ensino Médio já na formação inicial dos futuros pesquisadores.

1.12 O quanto de conteúdo específico e o quanto de preparação para a cidadania, qual a dose certa?

A questão aqui é o quão longo e intenso deve ser a imersão dos estudantes e professores em conteúdos específicos de ciências. Isso se constitui em grande tensão entre os pesquisadores em Ensino de Física e os pesquisadores em Educação, e chega a quarta comunidade de forma indefinida, desta maneira a aplicação, para a dosagem podemos dizer assim, em sala de aula torna-se heterogênea ao extremo e se apresenta de forma confusa aos alunos principalmente quando mudam de professor durante a formação. Temos aqueles que enfatizam a necessidade de muitos conteúdos específicos nas disciplinas científicas praticamente ignorando as disciplinas pedagógicas e por isso são taxados de conteudistas, e sendo assim tratados eles reagem afirmando que os colegas da Educação falam demais em cidadania e em necessidade de atitude crítica não valorizando o conteúdo específico sem o qual a educação científica não teria sentido.

Obviamente, conteúdos em profusão sem que haja uma contrapartida mínima em compreensão, se traduz em mau conteúdo, nesse aspecto a crítica ao conteudismo é pertinente e necessária. Por outro lado, falar em cidadania e da necessidade da crítica de forma afastada de um conjunto de conteúdos mínimos nos coloca no outro extremo que é tão condenável quanto o primeiro.

Concordamos com a ideia de que alguns conteúdos importantes tem que ser ministrados no currículo escolar, mas deve-se evitar o conteudismo com o propósito apenas de uma falsa aprendizagem, e que nós, professores do Ensino Médio somos forçados a adotar

visto que essa aprendizagem mecânica está voltada para fazer com que os alunos passem em exames e coisas do gênero e depois tendem ao esquecimento. A solução novamente tende ao equilíbrio, encontrar a conciliação virtuosa entre alguns conteúdos fundamentais específicos e o exercício da crítica e da cidadania.

Partindo do pressuposto de que o Verdadeiro Professor, independentemente em qual das três comunidades estabelecidas encontre maior afinidade, deve tentar incansavelmente direcionar a educação ao exercício das autonomias, enaltecendo as suas potencialidades positivas tornando-se fator decisivo de inclusão social e desenvolvimento. Certamente poderíamos encontrar exemplos de grandes professores em todas as comunidades, porém, a não interação entre elas torna maior o já grande problema da educação científica.

1.13 O grau de autonomia das práticas dos professores de física: reconhecendo a presença da quarta comunidade.

Apesar de não pertencer à Mesa Redonda inspiradora desse trabalho, gostaríamos de abrir um parêntese para analisarmos as colocações do professor Luiz Gonzaga R. Genovese¹⁸ registradas em artigo, e posteriormente, colocadas em livro do encontro de 2012 em Maresias São Paulo, pois encontramos em suas palavras um reconhecimento da quarta comunidade, referindo-se à autonomia das práticas dos professores de física. Tentaremos identificar as contribuições da quarta comunidade no desenvolvimento do tema. Nas palavras do professor:

No atual contexto da pesquisa educacional a noção de autonomia da prática do professor é uma temática de pesquisa relevante, que pode se manifestar de forma direta (CONTRERAS, 2002) como indireta ao ser atrelada a designações tais como: profissionalização (NÓVOA, 1995); desenvolvimento profissional (MARCELO, 1999); saberes docentes (TARDIF, 2002); competências (PERRENOUD, 2000); dentre outras.

A autonomia dos professores está em voga na pesquisa educacional, cremos que ao longo da história as pesquisas aos poucos foram incorporando a idéia de autonomia dos professores passando a considerar que o professor produz conhecimento (LESSARD, 2006). Numa outra perspectiva encontramos movimentos de pesquisa no ensino de ciências como os Grandes Projetos Americanos até a Formação de Professores pela Pesquisa (ASTOLFI; DELEVAY, 2008).

¹⁸ Universidade Federal de Goiás (UFG) – Instituto de Física/ Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática/ Núcleo de Pesquisa em Ensino de Física, lgenovese@ufg.br

As políticas públicas através de ações de seus órgãos governamentais comportam-se sem muita coerência, ora promovem ora limitam a gestão e a prática autônoma dos professores e gestores nas escolas. Historicamente as ações governamentais criam movimentos de aproximação e afastamento do ideário da autonomia dos professores tanto em âmbito internacional (GOODSON, 2008) quanto nacional (ABRANCHES, 2003).

O diálogo efetivo com a quarta comunidade poderia ajudar na caracterização das formas de aproximação entre as dimensões da prática autônoma de seus membros das pesquisas educacionais e das políticas públicas, bem como problematizar e compreender as relações estabelecidas entre essas dimensões. (GENOVESE apud COCHRAN-SMITH, 2001).

Entre os anos de 1974 e 2004, D. Treagust realizou um trabalho que analisava a evolução das pesquisas em ensino de ciências no cenário internacional, posição expressa pelo autor nos seguintes termos:

[...] apesar de toda a evolução da educação em ciência no que se refere aos currículos, avaliação e pesquisa, há ainda a necessidade de uma maior compreensão das relações entre a política, a prática e uma expectativa realista do que a pesquisa em educação em ciência pode contribuir para a prática. Isso certamente deve ser uma parte importante do trabalho de educadores em ciências nas próximas três décadas (2006, p.125).

Villani, Pacca e Freitas (VILLANI, A.; PACCA, J; FREITAS, D. Science teacher education in Brasil: 1950-2000. **Science & Education**, v.18, n.1, p. 125-148, 2009.) descrevem que a prática autônoma do professor, pesquisas educacionais e políticas públicas, instituídas pela escola, universidade e o estado respectivamente, estiveram em processo de constante tensão nos últimos 50 anos no que se refere à formação dos professores de ciências os quais são movidos por necessidades e interesses distintos.

Por ocasião da XIV EPEF, o professor pesquisador L.G.R. Genovese sugeriu que seria reducionismo restringir a análise das relações que se dão em torno das três dimensões; prática autônoma do professor, pesquisas educacionais e políticas públicas, pois faltava considerar as ações das representações sindicais que no nosso modo de ver fazem parte da quarta comunidade, pois são em sua maioria formadas por professores.

Prosseguindo em suas colocações o professor Genovese utilizando contribuições teóricas de P. Bourdier e Genovez, encontra subsídios para definir 3 graus de autonomia para as práticas dos professores especificamente os professores de física.

1º grau das práticas dos professores, autonomia restrita.

A denominada autonomia restrita é definida por práticas ou ações empreendidas por professores quase sempre de forma repetitiva, aplicacionista, marcada por uma linguagem acrítica. O uso dessas práticas gera dependência intelectual e material.

Aqui podemos constatar como a **quarta comunidade** pode colaborar com o desenvolvimento e entendimento em pesquisa em ensino de física. O *pesquisador* Dr. L.G.R. Genovese retoma sua vivência na quarta comunidade como professor de física de Rede Pública de Ensino de São Paulo para descrever práticas dos professores *in situ*. De acordo com a definição do 1º grau de autonomia, as práticas dos professores de física são gestadas (pensadas, planejadas e avaliadas) em outras áreas ou campos educacionais para posteriormente serem apresentadas aos professores que devem aplicá-las de forma acrítica no contexto escolar não considerando as especificidades, ou seja, a base da estrutura do campo escolar.

Devemos esclarecer que o objetivo principal do nosso trabalho é identificar e tentar caracterizar a quarta comunidade, destacando a importância de aprimorar o seu relacionamento com as outras três comunidades envolvidas na Pesquisa em Ensino de Física, mas nesse tópico encontramos fatos que podem enriquecer nossa análise, pois quando discutimos a autonomia das práticas ou quando falamos em professores de física estamos nos referindo à própria quarta comunidade.

Para exemplificar o grau da autonomia restrita dos professores de física, além da relação acadêmica dos pesquisadores com a comunidade, encontramos ligações com outros campos denominados dimensões da educação bem como com partes da própria quarta comunidade que formam as confederações e federações de profissionais da educação que elaboram ações como manifestos, paralisações e congressos que se pautam quase sempre pela baixa remuneração referente às atividades desenvolvidas pelos professores que influenciados por tal entendimento, informalmente chegam a proferir frases do tipo: “pelo que eu ganho, faço o suficiente”. Em um país como o nosso, cujos índices internacionais apontam a realidade concreta de uma educação precária há agravantes que não poderíamos deixar de tecer considerações. Tomemos dois exemplos recentes: (1) o instituto de monitores no ensino de física e de outras ciências no ensino público do estado de Alagoas, que presenciamos estupefatos em plena segunda década do século XXI, constitui gravíssima precarização, pois tais monitores são mais baratos que a contratação de professores plenos para o equilíbrio

orçamentário na medida em que não acarretam em despesas previdenciárias o que reflete a exata contramão da tão falsa e decantada prioridade da educação; 2) um segundo exemplo, vivenciado também nesta segunda década do século XXI, é a revolta dos estudantes do ensino médio em São Paulo contra a assim chamada "reorganização" do sistema escolar que nada mais significa do que o simples fechamento de quase uma centena de escolas o que se coaduna com a lógica estreita e irresponsável do enxugamento inconsequente de gastos o que reduz a educação meramente a gastos e não a investimento para o futuro. Ambas as lógicas, tanto em Alagoas quanto em São Paulo, para citar dois estados de proporções díspares no contexto da federação brasileira, são provas cabais de que a educação não é algo prioritário e de que o discurso de prioridade é uma farsa.

Das esferas políticas, as Secretarias de Educação emitem propostas de currículos, normatizando a seleção e apresentação dos conteúdos. As práticas de professores de física são desta forma, dirigidas por listas de conteúdos predeterminadas, o pior é que geralmente coordenadoras pedagógicas são orientadas a acompanharem a aplicação desses conteúdos.

Um último exemplo, mais enquadrado na nossa proposta de trabalho, trata especificamente da relação entre pesquisadores em Ensino de Física, chamados no artigo de campo científico educacional em ensino de ciências e a quarta comunidade definida como campo escolar. Trata-se da prática de uma professora de física que relata sua participação num curso de formação continuada promovida por pesquisadores em ensino de ciências tão comum atualmente. Diz à professora que ia para o curso à procura de propostas de aulas, modelos que deram certo, buscava um tipo de roteiro bem elaborado. Os doutores (pesquisadores) indicavam artigos com atividades e pedia que aplicasse as atividades em sala de aula, o que era feito por ela.

Segundo a descrição temos a imagem de que a função dos professores de física seria a de apropriar-se de conhecimentos sobre técnicas de ensino, aprendizagem, avaliação, legislação educacional, conteúdo de física, organização e currículos oriundos de outros subcampos educacionais, para aí gerenciá-los e aplicá-los no campo escolar, racionalidade técnica, nesse sentido, é o termo que orienta e designa tais propostas (SCHÖN, 2000). Se tomarmos a Paideia grega como referência, uma educação de fato deve ir bastante além de uma mera racionalidade técnica.

2º Grau das práticas dos professores: autonomia relativa

Nesse grau de autonomia as ações desenvolvidas pelo professor ocorrem num contexto social estruturado onde o mesmo reconhece a sua posição e a de seus pares na imposição de suas verdades educacionais. Nesta perspectiva o professor de física é um agente que atua, pensa e sente a partir de um aparato teórico construído ao longo do processo de formação. Nesse processo o professor elabora, reorganiza e produz entendimento próprio adequado às especificidades do campo escolar, ou seja, no domínio da quarta comunidade que, desta forma é valorizada: “ciente que o envolvimento dos professores é importante e essencial para a implementação efetiva das propostas inovadoras de ensino” (PINTO, 2005).

Notamos que, embora ainda de forma tímida, algumas Secretarias de Educação tentam promover o diálogo entre seus técnicos e a quarta comunidade, discutindo, por exemplo, as metodologias e os materiais didáticos pedagógicos das novas propostas curriculares. Diríamos que esses diálogos certamente produzem bons resultados. Exemplos evidenciam que cada vez mais professores da Educação Básica se recusam a adotar fielmente os manuais didáticos. E isso é um bom sinal, pois se trata de um caminho para o exercício da autonomia.

Nesse grau de autonomia, a relação entre as três comunidades de pesquisa e a quarta comunidade se aproxima do ideário pretendido. O artigo cita como exemplo a proposta de estágio supervisionado criada pelo Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás que busca um diálogo mais horizontal e menos assimétrico entre os membros das distintas comunidades. A quarta comunidade tem voz ativa nesse processo quando são criados os Pequenos Grupos de Pesquisa (PGP) nos quais os pesquisadores (supervisores da universidade) se relacionam diretamente com os professores supervisores da escola e estagiários. A estratégia propõe a criação de dois projetos; (PISs) Projetos de Investigação Simplificados de responsabilidade dos estagiários e o Projeto de Investigação Coletiva (PIC), responsabilidade do professor pesquisador, criando uma ponte entre as duas comunidades visando superar os problemas escolares que o geram. (GENOVESE, 2012).

Para melhor definir o 2º grau de autonomia, o autor descreve uma PGP realizada em uma Escola Municipal da cidade de Goiânia - Goiás que conseguiu promover a aproximação das professoras efetivas (em sua totalidade pedagogas) tanto com os conceitos físicos trabalhados nos experimentos (eletromagnetismo, por exemplo) quanto com os seus alunos do ensino fundamental.

3º grau das práticas dos professores: autonomia elevada

A princípio, a definição desse grau de autonomia é bem semelhante ao grau anterior, as diferenças se dão nas práticas dos professores que são produtos culturais tendo como principais consumidores os outros professores, ou seja, é a autonomia da quarta comunidade para desenvolver seus próprios projetos. Entretanto entendemos que isto não significa a independência da quarta comunidade em relação às outras comunidades, em especial a comunidade dos Pesquisadores em Ensino de Física, pelo contrário funciona melhor quando os professores conseguem refratar e reorganizar as demandas originadas nas outras três comunidades.

O pesquisador exemplifica relatando as práticas de uma professora de ciências que realizava passeios em bosques, matas ciliares, passeatas para defender o meio ambiente pelas ruas da cidade etc., além dos objetivos didáticos-pedagógicos ela pretendia promover a escola no interior do campo do poder no qual se apresenta também o campo econômico e político. Tal prática, registrada no Projeto Político-Pedagógico da escola, foi apropriada conscientemente pelo professor iniciante de física da mesma escola para elaborar suas práticas junto aos alunos do 1º Ano do Ensino Médio, com quem tinha de relacionamento. Adequando as práticas aos conteúdos de física, mas no fundo sua preocupação era estreitar seu laço com os alunos o que, de fato, foi estabelecido, desta forma o professor iniciante validou ainda mais as práticas da professora de ciências.

Concluindo seu pensamento, Genovese, como os demais pesquisadores, prega a comunicação entre os campos de pesquisa, existe interferências diversas sobre a quarta comunidade e seria louvável e desejável que os mesmos sentem-se à mesa e de forma compartilhada estabeleçam uma proposta educacional conjunta – com objetivos, metas, estratégias e visão educacional que procure valorizar a autonomia da prática do professor e seu campo.

1.14 As dimensões da experiência escolar e o ensino: contribuições para um diálogo sobre pesquisa.

Retomaremos aqui, à Mesa Redonda (Braga Garcia), 2014; Bastos Filho, 2014; Zylbersztjn, 2014). Com o tema descrito acima a professora Tania Maria Garcia, representando os Pesquisadores em Educação, completa as abordagens da Mesa Redonda. Aqui embora implicitamente tenhamos a conscientização da importância da quarta

comunidade, já que podemos considerar a comunidade dos Pesquisadores em Educação como a mais próxima, pois, mesmo não trabalhando exclusivamente com os professores de Física do Ensino Médio é a comunidade que mais se aproxima do cotidiano escolar.

Na sequência dos trabalhos transcritos no livro, o capítulo de responsabilidade da Professora Tania ficou por último nas considerações referentes à Mesa Redonda referenciada. Mesmo não fosse esse o caso, certamente deixaríamos seu posicionamento para esse momento de nosso trabalho, pois é ideal para as conclusões iniciais.

Segundo os dizeres da professora Tânia Maria F. Braga Garcia, uma problemática social e historicamente construída: a distância entre os espaços de produção do conhecimento científica especialmente, e os espaços do seu ensino. Evidências dessa problemática surgem já nas dúvidas apresentadas pelos alunos ao optar por uma licenciatura ou pelo bacharelado em física. Um fator importante para essa decisão é o desequilíbrio quantitativo nas bolsas de Iniciação Científica.

A distinção com a qual são assinalados os pesquisadores das áreas específicas do conhecimento em geral não é estendida aos pesquisadores da Educação e nem aos pesquisadores do Ensino que mesmo quando titulados ocupam posições menos privilegiadas hierarquicamente. O Capital cultural e social se distribui de forma desigual e ser pesquisador traz maior prestígio do que ser professor.

A distinção entre professores e pesquisadores não é explicada “[...] por razões epistemológicas, mas pelos efeitos da (re)produção social, especialmente pela precarização do trabalho docente” (BRAGA GARCIA, 2012, p.255) que contribui para afastar da produção do conhecimento grande parte dos professores que atuam na educação básica. Naturalizando a ideia de que uns produzem e outros reproduzem por meio da transmissão, a consequência prática é a crença em uma “essência superior” (BOURDIEU, 2003, p.278 APUD BRAGA GARCIA), que justifica a dominação de um grupo sobre outro, e, assim também, a imposição das regras que constituem um subcampo científico sobre o outro.

O reconhecimento dessa problemática que distingue a natureza do trabalho dos pesquisadores e dos professores estabeleceu a necessidade de definir um ponto de referência para o debate proposto na referida Mesa Temática. Felizmente deixamos estes posicionamentos para esse momento de nosso trabalho. Concordamos e faríamos coro com a professora Tânia quando afirma que é necessário reconhecer a legitimidade dos diferentes

campos de conhecimento criando espaço comum a partir do qual estejam em diálogo os significados e formas de pesquisar originados desses diferentes campos científicos.

Justificando nosso pedido de reconhecimento como comunidade ativa no processo educacional, sentimos amparados ao saber que para a pesquisadora “[...] em especial, o desafio é compreender o que ocorre nas salas de aula” (ver BRAGA GARCIA, 2014, p.267) quem seria o mais indicado para responder essas questões se não os professores de Física do Ensino Médio, a nossa quarta comunidade que está em contato com crianças e jovens brasileiros, cerca de 50 milhões de alunos, segundo o censo de 2013, e podemos crer inúmeros alunos mundo afora. Temos a impressão que o problema não é exclusividade brasileira, mas aqui certamente encontramos milhares de professores com a função de ensinar conteúdos selecionados e considerados culturalmente relevantes e necessários, embora os resultados negativos de avaliações sobre esse ensino e o resultado empírico constatando a dificuldade no avanço qualitativo da educação no Brasil revele a necessidade do debate amplo entre as comunidades, pesquisadores e professores.

Citando Paracelso, pensador do século XVI (ver BRAGA GARCIA, 2014, p.267); “[...] a aprendizagem é a nossa própria vida, desde a juventude até a velhice, de fato quase até a morte; ninguém passa dez horas sem nada aprender”. Como experiência humana, grande parte do que aprendemos se situa fora do controle das instituições educativas.

A aprendizagem é, reconhecidamente, um processo de grande complexidade, seja no âmbito da vida social de forma ampla, seja no âmbito da vida escolar. Essa compreensão se expressa em parte nas várias teorias contemporâneas que procuram explicar como esses processos ocorrem. Ensinar e aprender e aprender, portanto, além de serem ações que ocorrem cotidianamente na vida social, são também objetos de estudo que interessam a vários campos científicos e que são examinados à luz de diferentes concepções.

1.15 Cenário atual das relações entre as comunidades de Pesquisadores em Física, Ensino de Física e Educação com a Quarta Comunidade.

Mesmo não atingindo ainda um status de comunidade acadêmica, nossa idealizada comunidade, não poderia ser de outra forma, necessita ter uma forte relação com as demais. Um trabalho colaborativo entre as comunidades pode ser uma possibilidade de superação de algumas controvérsias no Ensino de Física. Certamente, tanto a escola quanto a academia

estão voltadas para a educação, para a formação e para a prática docente, então porque suas visões são em vários aspectos controversas?

Vários pesquisadores afirmam que a sala de aula já não é o único espaço de aprendizagem dos alunos, bem como a formação inicial do docente, que não deixa de ser um aluno, não acontece somente na universidade (PIMENTA; LIMA, 2004). Cada vez convivemos com diversas formas de obter informações, encontramos vários outros espaços de formação. A própria escola se constitui num desses espaços, mesmo sendo o local da prática docente do professor da escola básica, o nicho da quarta comunidade. O questionamento de que o trabalho colaborativo entre as instituições poderia contribuir na superação dos problemas os quais traduzimos como a comunicação entre as comunidades de pesquisa e a comunidade dos professores, reflete fortemente dentro desta última. Creemos que o trabalho colaborativo poderia realmente transformar o espaço escolar em importante espaço de formação. Conseguindo tratar a escola como um palco de formação, extrapolando o modelo usual de racionalidade técnica que consiste na solução instrumental de problemas mediante a aplicação de um conhecimento teórico previamente disponível que vem da “pesquisa científica”, ou seja, um conhecimento desenvolvido e sistematizado externamente à escola. Essa racionalidade fortalece a hierarquia tanto de saberes quanto das profissões (SHÖN apud SERRÃO, 2002, p.151) e supõe que se coloque em segundo plano o conhecimento. (Monica Abrantes /Galindo).

Nossa concepção sobre o Ensino de Física vem sofrendo mudanças, principalmente durante a confecção desse trabalho. Podemos mudar a conduta em sala de aula dos professores de física veteranos ou focar todo esforço para a formação dos iniciantes? Um professor com vários anos de experiência exclusivamente em salas de aula deve ter algo para contribuir na melhoria do Ensino de Física em geral, mesmo que isto se transforme em “exemplos a não serem seguidos”.

Podemos detectar práticas docentes brilhantes em professores cujo “Lattes” é praticamente vazio, bem como ignorar maravilhosas teorias de práticas criadas nas comunidades de pesquisa por “professores” cujo Lattes daria outro projeto devido a sua extensão, então porque não unirmos o que há de bom em cada comunidade.

Encerrando a primeira parte de nosso trabalho, queremos deixar claro sua inspiração principal que seria mostrar a existência de nossa comunidade e, na sequência, apresentar um

grande exemplo indicando que a distância que a separa das comunidades de pesquisadores pode não ser tão grande quanto parece. Certamente na maioria das vezes o que falta somente é um meio de comunicação mais eficiente entre as comunidades, desta forma iniciativas como a que descreveremos a seguir, são pouco conhecidas e podem ter um fim precoce. Podemos quebrar a suposta hierarquia unindo a Comunidade dos Pesquisadores de Física e a Quarta comunidade, certamente com a contribuição das outras comunidades como exemplificaremos a seguir com o projeto da Escola do CERN.

2 - A Quarta Comunidade Visita o CERN; o maior centro de saber físico do mundo.

Escola de Física CERN

2015



Eu vooooooooo!!!!!!!

Aos 27 de agosto de 2015, no começo da tarde de uma agradável quinta-feira, encontrava-me na recepção do hotel Alif Campo Pequeno, em Lisboa, aguardando o início da nossa primeira reunião de trabalho. Era a etapa final da nossa jornada rumo ao CERN. Eu alcançava por fim um objetivo definido a partir de 2009, quando tomei conhecimento da primeira participação brasileira no programa. Desde aquele ano passei a nutrir o desejo de fazer parte deste tão importante acontecimento. Entretanto, como a maioria dos professores da quarta comunidade, durante vários anos fiquei impossibilitado de ao menos pleitear uma vaga no projeto.

Foi finalmente no início do ano de 2015 que entrei em contato com o Professor Dr. Nilson Marcos Dias Garcia¹⁹, responsável pela delegação brasileira. Ele respondeu prontamente, informando-me tudo indicar que haveria a participação de um grupo brasileiro na edição de agosto-setembro; e que eu ficasse atento ao edital a ser provavelmente lançado entre abril e maio.

As inscrições foram realizadas no período de 11 de maio a 03 de junho de 2015. Devido à crise econômica, o projeto enfrentou vários obstáculos. A CAPES que, por exemplo, sempre fomentou a participação dos professores brasileiros, suspendeu os recursos; e a realização do evento ficou seriamente ameaçada. Os dirigentes da SBF buscaram outros meios para possibilitar a efetivação do projeto. Mas o tempo passava, e tudo parecia indicar que não participaríamos. Por outro lado, tive dificuldades em obter recursos mesmo pelo Instituto Federal de Alagoas, onde leciono. O que me surpreendeu, posto que foram muitas as promessas, e hipoteticamente a presença de um professor da casa num evento dessa magnitude fosse de grande importância para a instituição.

¹⁹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de Física e Programa de Pós Graduação em Tecnologia. Coordenador da Escola de Física CERN www.ensinocern@sbfisica.org.br

Percalços à parte, a viagem para Portugal foi um lenitivo, porque, afinal de contas, faziam-se reais expectativas que por longos meses, e por diversas razões, estiveram em suspenso. A chegada ao Hotel Alif Campo Pequeno; a primeira reunião que tivemos no dia 27; o contato inicial com o grupo de professores; a amabilidade e o profissionalismo dos coordenadores fizeram-me ver que cada dúvida, cada obstáculo, cada pequena ou grande luta e, em suma; todos os óbices, enfim, só tinham servido para que tudo valesse muito mais a pena.

"Tudo vale a pena quando a alma não é pequena". Fernando Pessoa

2.1 - National Teacher Programmes. Divulgação Educacional CERN



O CERN oferece, desde 2002, programas especiais para professores de toda a Europa, possibilitando a atualização com os últimos desenvolvimentos em física de partículas e áreas afins, experimentando um ambiente de pesquisa dinâmico internacional.

São basicamente dois os programas; **High School Teacher Programme** <http://hst.web.cern.ch/>, que é um curso realizado em inglês com duração de três semanas, normalmente no mês de junho; e o **National Teacher Programmes** que é realizado em uma das línguas dos Estados-Membros do CERN. “Estes programas estão abertos para professores de outros países (incluindo Estados não-membros) que falam a mesma língua”.

O CERN fornece todo o apoio científico técnico e administrativo para o programa. Elaborando o conteúdo científico em idioma nacional, fornece facilitadores, palestrantes e alianças.

<http://education.web.cern.ch/education/Chapter1/Page3a.html>

O programa **Teacher Programmes**; programa de professores que fizemos parte em 2015 é um projeto mais recente do que o High School que é realizado desde 2002. A primeira edição do Teacher Programme foi em 2007 e já à edição de 2009 contou pela primeira vez com a participação brasileira coordenada pelo professor pesquisador da SBF Nilson Marcos Dias Garcia (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Desde então a Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa ocorre nos meses de agosto e setembro realizando palestras, visitas a laboratórios, experiências, e exposições, bem como sessões práticas “Com as mãos na massa”, que introduziram os participantes à investigação de ponta em física de partículas. O objetivo maior é que todos participantes ao retornarem aos seus países sirvam como embaixadores passando o entusiasmo à próxima geração de físicos, engenheiros, etc.

2.2 - Escola CERN 2015. (30 de Agosto a 04 de Setembro de 2015).



<https://indico.cern.ch/event/347864/>

Parada em Lisboa.

Na realidade, para nós brasileiros, o curso começou no dia 27 com a referida primeira reunião no hotel Alif em Lisboa, onde todo o grupo se conheceu e onde foi descrito o roteiro planejado pelos coordenadores do curso. Particularmente tive a grata satisfação de conhecer pessoalmente os professores Nilson Garcia e Nelson Barrelo Junior²⁰ que conduziram os trabalhos, além de todos os outros professores, especialmente o professor Astrogecildo Ubaiara Brito²¹ do Instituto Federal do Amapá, com quem iria compartilhar as acomodações em Lisboa e Genebra e que se tornou, desde então, um grande amigo.

Esta parada em Lisboa foi idealizada com o intuito de adaptar os professores brasileiros ao fuso horário e propiciar um conhecimento entre eles, já que, oriundos de diversos estados não haviam se encontrado antes, nem todos viajaram na mesma data e só se conheciam por meio de informações trocadas em grupo de rede social criado pelos coordenadores assim que foi definida a delegação em julho.

Na manhã do dia 28 de agosto, encontrei-me no saguão do hotel com o físico do LIP Pedro Teixeira de Abreu²², um dos principais responsáveis pela participação brasileira na Escola e que iria iniciar o curso nas instalações do LIP em Lisboa, próximo do hotel onde estávamos.

²⁰ Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, Escola de Aplicação. Coordenador Auxiliar da Escola de Física CERN; ensinocern@sbfisica.org.br

²¹ Instituto Federal do Amapá – Macapá. Física ubaiara2@gmail.com

²² Investigador no Laboratório de Investigação de Partículas (LIP) e professor catedrático do Instituto Superior Técnico(IST); <https://abreu.web.cern.ch/abreu/>; abreu@lip.pt

2.3 - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas.



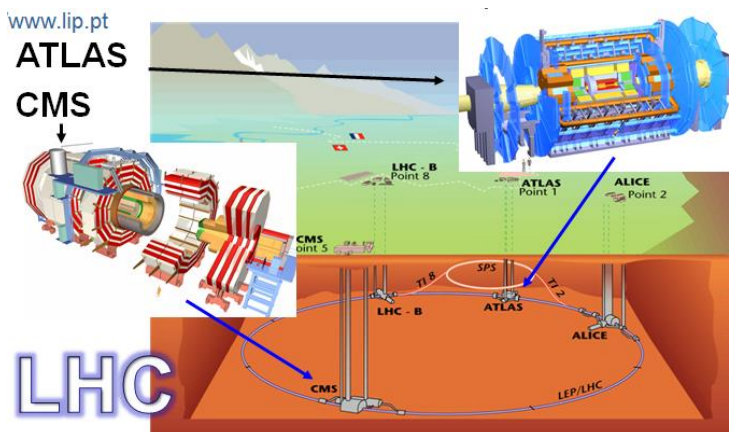
O LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) é uma associação científica e técnica que tem por objetivos a investigação no campo da Física Experimental de Altas Energias e da Instrumentação Associada. Em seus domínios de investigação, além da Física Experimental de Altas Energias e Astro partículas, também se dedicara à Instrumentação de detecção de Radiação; à Aquisição ao Processamento de Dados; à Computação Avançada e; às aplicações em outros campos, em particular em Física Médica. Suas atividades de pesquisa são desenvolvidas no âmbito de grandes colaborações no CERN e em outras organizações internacionais dentro e fora da Europa, como: a ESA (European Space Agency); o SNOLAB (Sudbury Neutrino Observatory Laboratory); o GSI (Grupo relacionado à Física Médica); a NASA (National Aeronautics and Space Administration); AUGER (Pierre Auger Observatory).

O LIP foi criado há 30 anos em Maio de 1986, no contexto da adesão de Portugal ao CERN, com *delegações* (instalações) em Lisboa e Coimbra. Nesses 29 anos o LIP cresceu, hoje envolve cerca de 170 investigadores em suas instalações que agora, além de Coimbra e Lisboa está presente em Minho; Braga.

Organização:

O LIP é uma associação privada sem fins lucrativos, que possui como sócios; FCT (Fundação para Ciência e Tecnologia); ANIMEE (Associação Portuguesa das Empresas do Sector Eléctrico e Electrónico); Universidade de Lisboa; Universidade de Coimbra e Universidade Minho e I.S.I (Instituto Superior Técnico)

A sede do LIP em Lisboa fica muito perto do hotel Alif em Campo Pequeno em um apartamento, próximo também da Universidade de Lisboa.



Resumidamente, o LIP trabalha no desenvolvimento de circuitos e sistemas de aquisição de dados; nos detectores de partículas e sistemas de vácuo para o CERN, DESY, ESO.

O minicurso de física de partículas, ministrado pelo Dr. Pedro Abreu teve início às 9:00 h e mostrou um panorama geral da busca humana pelo conhecimento de como tudo é formado. Das ideias dos filósofos gregos ao bóson de Higgs, o palestrante propiciou uma viagem pela história da ciência aprofundando nas recentes descobertas sobre a composição da matéria e forneceu uma pista de que o curso seria puxado.

FOTOS DA VISITA AO LIP



Entrada do LIP em Lisboa



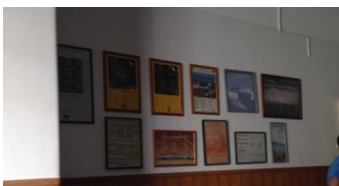
Painel ligado ao laboratório Pierre Auger e detectores.



Maquete do ATLAS montada com LEGO.



Sala de palestras LIP Lisboa.



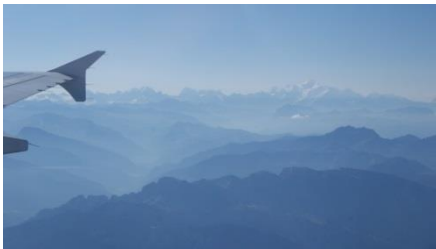
O autor e o Dr. Pedro Abreu no LIP.

2.4 - Chega a hora da esperada viagem para Genebra.

O resto da tarde e a noite do dia 28 foram livres e pudemos passear pela cidade de Lisboa. Ainda no Brasil havia ficado determinado que os professores seriam separados em grupos para o deslocamento ao CERN, pois não havia vagas em um único voo. O meu grupo foi o primeiro, e partimos para o aeroporto, ainda na manhã de sábado com certa antecedência, pois ocorria uma greve entre os aviários de Portugal, mas tudo correu bem. Nesta parte do trabalho, talvez as imagens falem mais e melhor que as palavras.



Nosso voo para Genebra.



Chegando a Suíça.



Destino Meyrin, CERN.



O ovo estava em reforma.



Hotel, prédio 39, nossa casa no CERN.



As imagens acima, talvez possam demonstrar a nossa emoção ao percebermos onde estávamos.

Como nosso grupo foi o primeiro a chegar ao CERN, após nos instalarmos e devidamente credenciados, pudemos ir ao centro da cidade conduzidos pelo professor Nilson, como ele disse, seria uma das poucas oportunidades de nos comportarmos como turistas, a partir do dia seguinte a “história” seria outra.

2.5 – Diário da Escola de Física CERN 2015.

Domingo, dia 30 de Agosto de 2015.

Exatamente às 14:00 h, no auditório principal do CERN, o Dr. Pedro Abreu inicia oficialmente a Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa edição de 2015.

Estávamos no mesmo auditório onde dois anos atrás fora anunciada, na presença do próprio Peter Higgs, a descoberta da partícula que leva seu nome.

Após as boas vindas e uma breve apresentação do curso teve início a palestra do Dr. Jose Carlos Rasteiro Da Silva que descrevia o CERN, especificamente o LHC. Português legítimo, de fala por vezes incompreensível para os brasileiros, Dr. José Carlos atende pelo apelido de Zé Carioca, acredito que devido à sua aparência física, mas principalmente por sua postura moleque características de nosso povo.

Apesar da dificuldade entre o português falado pelo palestrante, de imediato pude confirmar minha convicção quanto às comunidades de ensino. Tínhamos um exemplo concreto em que um Pesquisador em Física (da física mais pura ou da física mais dura possível) que de forma entusiasmada dialogava com os membros da quarta comunidade, e mais complexo ainda, dialogava com membros da quarta comunidade de diversos países.

Começamos a ter contato com números assombrosos, dados, e experimentos que mais pareciam ficção científica. Vazio quase perfeito, temperaturas menores que as encontradas no espaço interestrelar, campos magnéticos intensos, tudo numa dimensão, para mim até então indescritível.

Após a palestra e um breve intervalo, iniciamos as visitas técnicas. O auditório central fica no prédio 61 no complexo onde está localizado o refeitório principal. Partimos para a visita ao detector ATLAS. Em uma caminhada rápida, atravessamos uma área interna passando por um local histórico, a sala onde Timothy John Berners-Lee criou a *www*²³, o protocolo da internet foi criado no CERN.



Sáímos do prédio 52 onde fica a sala de Tim Berners, chegamos ao ponto de nossa referencia, o prédio 124 onde a bicicleta atravessa as paredes e seguimos pela *Route Pauli*²⁴, atravessando a Route Meyrin chegamos ao ATLAS.



Prédio 124 e a bicicleta.

A pesquisadora Patrícia Conde Muino nos aguardava na entrada do ATLAS, infelizmente não foi possível o acesso à caverna do detector, a visita ficou restrita a sala de controle e a sala de visitas²⁵.



Sala de controle do ATLAS.

²³ Timothy John Berners-Lee, cientista britânico nascido em Londres em 1955, é o *pai da web*, por ser o inventor da rede mundial de computadores em 1989, a rede de documentos HTML na internet é a rede por trás da sigla *www* a world wide web.

²⁴ Todas as vias dentro do CERN, as chamadas route, apresentam nome de grandes físicos.

²⁵ Ver anexo, experimento ATLAS (Argonne Tandem Linear Accelerator System).

Após a visita ao ATLAS, um ônibus nos levou até ao prédio SM-18, saímos da Suíça e entramos na França. O SM-18 é um grande laboratório, uma grande oficina e também uma grande sala de aula. Peças e componentes são construídos e testados. Dr. José Carlos mostrou vários componentes do LHC, algumas peças recortadas para estudos, grandiosas. Estava lá um pedaço da peça que causou o acidente que colocou em dúvida a viabilidade do LHC em 2008.

Uma simples conexão entre dois cabos supercondutores desenvolveu uma pequena resistência, que a aqueceu até que esses cabos, refrigerados por hélio líquido, perderam a capacidade de conduzir a corrente. Milhares de ampères se espalharam pela máquina abrindo um furo em uma lateral liberando toneladas de hélio líquido. A expansão do gás hélio destruiu partes da máquina, sujando de fuligem o foco limpo de raios e soltando os ímãs de seus suportes. Uma investigação revelou que os técnicos não tinham soldado corretamente os cabos. “Com dezenas de milhares de conexões, talvez fosse inevitável alguma falha”, relata um cientista do projeto.



De forma superficial, porém exemplificada passo a passo, o Dr. José Carlos descreveu todo o processo do LHC, da geração dos prótons, as colisões até o seu descarte. É difícil acreditar que tudo isso começa em uma pequena garrafa de hidrogênio semelhante a um extintor de incêndio utilizado em automóveis de passeio. Chega a ser paradoxal o que ocorre a seguir, da origem simples em uma pequena nuvem de gás ao final nos intrincados detectores de partículas, a viagem dos feixes de prótons através dos quase 27 km dentro do acelerador o que requer um conjunto de tecnologias que resultam no maior instrumento científico já construído pelo homem.

As informações, tais quais os pacotes de partículas dentro do acelerador, jorravam em grande quantidade; o *canhão* fonte de prótons, dipolos, quadripolos, os antigos e novos aceleradores que formam o LHC, solenoides simples, solenoides montadas com supercondutores, os *the long LHC cryodipoles* (complexos ímãs de quase 15m de comprimento, resfriados que formam o anel do LHC)²⁶. Era ainda o primeiro dia e estávamos completamente extasiados.

²⁶ O túnel do LHC possui mais de 9.000 magnetos supercondutores, 1232 dipolos, 392 quadripolos, funciona a uma temperatura de 2 Kelvin e é percorrido por uma corrente de 13 kA o que equivale 7 TeV em cada sentido. Sua história e mais detalhes sobre sua estrutura está no produto educacional em anexo.

No final da tarde, encerrando as atividades, os professores foram divididos em grupos que eram formados com professores brasileiros, portugueses e africanos e foi repassado o conteúdo do dia bem como foi aberto espaço para sanar dúvidas e para trocarmos experiências profissionais.

Uma observação interessante é que não notamos nenhum aparelho de televisão no CERN, e quem se aventurasse a perder tempo com canais da internet, os filmes estavam em alemão o que desanimava a empreitada. O entretenimento era só a física, e não nos fez falta alguma a mídia televisiva.

Segunda 31 de Agosto.

Pontualmente às 9:00 h o professor Felipe Joaquim deu início ao seu curso de Introdução à Física de Partículas que seria realizado em três seções. Com exceção das palestras do dia 01 de Setembro, todas as outras foram realizadas no Auditório Principal do CERN, o que de certa forma demonstra a importância conferida ao programa pela direção do grande laboratório que, como descreveremos, compareceu e dispensou um valioso tempo com a nossa turma, tanto o Diretor Geral que estava em fim de mandato como a futura Diretora nos deram a honra da presença e falaram sobre os trabalhos no CERN enfatizando a importância de nossa Comunidade aos olhos dos Pesquisadores.



Diretor Geral do CERN na época: Rolf Heuer, palestra dia 03 de Setembro.



Fabíola Gianotti, atual Diretora Geral do CERN em apresentação no dia 04 de setembro, ainda como diretora do ATLAS.

Ainda pela manhã do dia 31 participamos de outras duas palestras; a Dra. Ana Maria Henriques Correia descreveu os Princípios Básicos dos Detectores e a Dra. Clara Gaspar falou sobre a Aquisição de Dados. As pesquisadoras fazem parte do quadro efetivo do CERN.

Após um pequeno intervalo para almoço, retomamos os trabalhos. No período da tarde, os grupos participaram de três eventos; uma visita ao microcosmo, espécie de museu ao ar livre próximo à recepção da entrada principal, participação de um curso no Scholl Lab e uma visita ao SC 40²⁷.



Nosso grupo primeiro participou do Scholl Lab “mãos na massa”, na oficina montamos uma câmara de nuvens (câmara de Wilson) com materiais simples e de fácil obtenção. O projeto pode ser construído nas escolas do Brasil.

Após a oficina, seguimos para o SC 40 que fica em um prédio na entrada B na *Route Pauli*. O SC 40 foi o primeiro acelerador do CERN, construído em 1957 forneceu as bases para os primeiros experimentos do laboratório. Até 1964 o SC 40 trabalhava nas pesquisas de física nuclear e física de partículas, a partir desta data concentrou-se somente em física nuclear, deixando a física de partículas para o OS (Proton Synchrotron) que conheceríamos depois. O SC fornecia 600 MeV. Em 1967 o acelerador forneceu as bases para a instalação de um projeto dedicado a criação de feixes de íons denominada ISOLDE, que ainda desenvolve pesquisas desde a física nuclear pura passando pela astrofísica e pela física médica. Em 1990, o ISOLDE foi transferido para o Próton Synchrotron Booster e o SC encerrou suas atividades após 33 anos de serviços.

O prédio onde o SC 40 está instalado foi transformado em um museu, ou melhor, em uma sala de aula onde o acelerador preservado serve como base para uma apresentação visual²⁵ que detalha todo seu funcionamento e que faz com que a máquina adquira vida, simplesmente espetacular.



Acelerador de Partículas SC 40

Após a apresentação voltamos para o prédio 33 e iniciamos a visita ao microcosmo. O museu a céu aberto de física de partículas do CERN. Selecionamos alguns instrumentos interessantes:



Câmara de bolhas e seu pistão.

BEBC essa enorme câmara de bolhas tinha 3,7 m de diâmetro e 4 m de altura, estava cheia com 35 m³ de um líquido cuja sensibilidade era regulada pelo pistão de 2 toneladas. Durante a expansão, devido a enorme diminuição da pressão interna, a trajetória da partícula carregada era assinalada por um traço de bolhas nos locais onde o líquido atingia os pontos de ebulição devido à sua passagem. Os eventos eram capturados numa película fotográfica. Em 1973 a BEBC registrou suas primeiras imagens, quando recebeu um feixe de prótons provenientes do PS do CERN. Em 1977 foi exposta a feixes de neutrinos e hadrons a energias da ordem de 450 GeV quando o SPS entrou em funcionamento. Até o final de sua carreira em 1984 tinha fornecido um total de 6,3 milhões e 22 experiências dedicadas à física de neutrinos e hadrons.

²⁷ Apresentação vídeo especial SC-40 <https://www.youtube.com/watch?v=ELMo8Uh6aNs>



Acelerador de partículas fabricado pela Philips-Eindhoven em 1937 para pesquisa.



Equipamento utilizado no LEP. Projeto antecessor do LHC



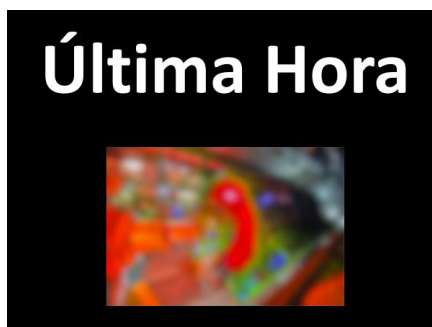
Gargamela; detector do tipo câmara de bolha destinado à detecção de neutrinos. Foi construída na França com 2 m de diâmetro e 4,8 de comprimento, era cheia com 12m^3 de gás freon (CF_3Br). Foi utilizada no CERN entre 1970 e 1978. Foi nela que teve lugar uma das primeiras grandes descobertas realizadas no CERN; a observação da força nuclear fraca em 1973 pouco depois de sua predição teórica indispensável para a unificação do modelo padrão.

Terminava a visita, porém nosso dia ainda não. Voltamos para a “base” e realizamos a reunião de grupo do final do dia. Após uma rápida parada para o banho e café, o dia terminou com a apresentação de vídeos sobre a história do CERN encerrando com o filme “Particle Fever” de Mark Levinson que mostrava a pesquisa no ATLAS e no CMS buscando e descobrindo o Bóson de Higgs.

Terça-feira dia 01 de Setembro.

Neste dia estava prevista a apresentação de boas vindas da direção do CERN, mas devido a outras atividades a programação foi alterada e fomos relocados em outro auditório onde o professor Felipe Joaquim deu prosseguimento ao curso de Introdução a Física de Partículas.

Ainda pela manhã o pesquisador português do CMS - CERN, Dr. André David ministrou a Palestra “Physics with CMS”, ao termino de sua palestra Dr. André deu a noticia mais esperada:



Foi confirmada a visita à caverna do CMS que até o dia anterior estava interdita. O grupo foi feliz para o almoço sabendo que à tarde iríamos descer ao CMS.

Às 14:00 h tomamos o *autocarro* e seguimos para a França rumo ao CMS. O grupo foi dividido em duas equipes; a primeira ficaria no AMS-POCC e o segundo grupo iria ao centro de controle do CERN.



Ficamos no primeiro grupo e desembarcamos no prédio do AMS (Alpha Magnetic Spectrometer- Payload Operations Control Centre) que é um detector de partículas que pesquisa a matéria escura, a anti-matéria deduzindo, assim a quantidade de matéria supostamente em falta no Universo utilizando um módulo ligado ao exterior da Estação Espacial Internacional. O equipamento realiza também medições precisas dos raios cósmicos. O AMS foi montado no CERN e foi transportado para a Estação Espacial no dia 16 de Maio de 2011 pelo ônibus espacial *Endeavour* em seu último voo.

Um telão mostrava a visão da Terra na espaço espacial, após observarmos a transição da estação entre a noite e o dia vendo o Sol aparecendo por trás da Terra.

Deixamos o AMS, trocamos com o segundo grupo e fomos visitar o Centro de Controle do CERN. Estava tranquilo, pois na semana não havia feixes no Colisor, mesmo

assim vários técnicos e físicos monitoravam os equipamentos, testando e calibrando seus dispositivos.



Sala do Centro de Controle do CERN.

“Chegou o grande momento” iríamos para o CMS e desceríamos ao túnel do LHC.



O prédio cinza localizado em território francês abriga o detector CMS (Compact Muon Solenoid). Entramos em um imenso galpão, ao fundo em escala real, uma imagem da secção do detector parecia real.

Aguardávamos as identificações e o material de segurança enquanto o Dr. Pedro

Abreu mostrava equipamentos espalhados pelo galpão, imensas peças armazenadas para reposição ou manutenção. Visitamos a sala de controle do CMS e uma pequena exposição das pequenas partes que formam os detectores que se perdem na imensidão do projeto.

Enquanto visitávamos o centro de controle o primeiro grupo desceu os quase 100 metros até o CMS. Após eternos 40 minutos chegou a nossa vez. Iríamos descer com o Dr. José Carlos.



Entramos em um grande elevador que iniciou a longa descida. Finalmente chegamos na “caverna”, a primeira impressão era que estávamos fazendo parte de um filme de ficção científica, para

prosseguirmos teríamos que passar por uma cabine que, como pudemos ver, só poderia ser aberta depois que o Dr. José Carlos abriu a primeira porta com uma chave especial e dentro da cabine posicionou seus olhos para a leitura, depois com outra chave abriu uma terceira porta. Será que tudo isso seria montado para evitar o roubo da “anti-matéria”? Não se tratava disso, a segurança é para restringir e controlar a entrada à caverna, principalmente para que não fique ninguém na caverna quando o LHC entrar em

funcionamento, à radiação seria fatal, e toda esta segurança é feita mais para evitar esse tipo de situação.

Finalmente entramos no LHC e constatamos sua grandiosidade, tudo é superlativo. Passamos mais de 30 minutos dentro do CMS, nesse período de tempo o Dr. José Carlos mostrava os detalhes visíveis do grande detector, explicando seu funcionamento.



O autor com o Dr. José Carlos, dentro da caverna do LHC.

Nesta noite não houve o encontro dos grupos para discussão dos trabalhos do dia, mas sim uma pequena confraternização com todos os professores do programa no anexo ao refeitório central.



Quarta-feira dia 02 de Setembro

Voltamos para o auditório principal, local onde o professor Filipe Joaquim conduziu a última aula do curso de Introdução à Física de Partículas, muita informação muito bem apresentada. Na sequência o físico do CERN Dr. Paulo Gomes descreveu em detalhes o controle do LHC. Após a palestra do Dr. Paulo, ainda pela manhã, o Dr. Pedro Abreu apresentou a visão da “Física de Partículas Aceleradores Naturais”. Encerrando os trabalhos matutinos, o Dr. Denis Oliveira Damazio do Brookhaven National Laboratory²⁸ apresentou como seria possível realizar “visitas virtuais” ao detector ATLAS (projeto detalhado no produto educacional).

A parte vespertina foi reservada para uma atividade diferente. Uma pausa nos estudos de física para um estudo histórico. A coordenação da Escola do CERN reservou esta tarde para uma “aventura pela cidade de Genebra denominada *Caça ao Tesouro*”. São definidas metas para os grupos traçando um roteiro cultural histórico pela cidade terminando com a travessia do lago e um encontro para um jantar tradicional no Hotel Eldeweiss reunindo todos os grupos.

²⁸ Brookhaven National Laboratory é uma instituição de pesquisa multipropósito financiada principalmente pelo Departamento de Energia dos EUA do escritório da ciência. Localizado no centro da cidade de Long Island, Nova York, Brookhaven Lab traz instalações e conhecimentos de classe mundial para as perguntas mais interessantes e importantes em ciência básica e aplicada, desde o nascimento do nosso universo com a tecnologia de energia sustentável de amanhã.

Quinta-feira dia 03 de Setembro.

A primeira tarefa do dia foi a foto oficial do evento. O local escolhido foi à frente do refeitório principal que fica entre o hotel e o refeitório, onde fica exposta uma secção do LHC. Foram realizadas fotografias de todo o grupo e somente do grupo brasileiro para registro na SBF (Sociedade Brasileira de Física).



Na sequência, o diretor geral do CERN Rolf Heuer, compareceu ao auditório central onde proferiu palestra e respondeu questões relacionadas aos experimentos do LHC, a participação brasileira nas pesquisas e sobre os programas voltados à Educação.

A palestra seguinte sobre Física Médica era, para mim de grande interesse, pois em projeto anterior pretendia trabalhar o tema em minha dissertação. O Físico Dr. Luís Peralta do LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) falou sobre as aplicações da Física de Partículas voltadas para a medicina com o tema: “Aceleradores para a Física Médica”. Fazendo um pequeno histórico da descoberta dos Raios X no final do século XIX até a aplicação de núcleos atômicos contra tumores na chamada “Hadronterapia”.

Encerrando as atividades matinais, Dr. Daniel de Miranda Silveira da UFRJ proferiu uma das mais interessantes palestras quando tratou sobre “A Fábrica de Anti-matéria”. Departamento do CERN onde se produz o anti-hidrogênio.

No período vespertino fizemos uma longa caminhada, cruzamos a pé a fronteira franco suíça por no mínimo três vezes, visitando o centro de cálculo, o P.S (Proton Synchrotron), o LEIR (Low Energy Ion Ring) e por último o prédio da Fábrica de Anti-matéria Antimatter Factory, onde foi explicada a produção de anti-partículas, o aprisionamento do anti-hidrogênio bem como mostrado um pouco das novas pesquisas em andamento, como o estudo do efeito da gravidade nas anti-partículas.



Vistas externa e interna da Fábrica de Anti-matéria.



Marco da fronteira França-Suíça dentro do CERN.



Computer Center.



Proton Synchrotron.

Encerramos o dia com a reunião dos grupos, realmente foi um dia cansativo, mas certamente muito interessante.

Sexta-feira dia 04 de Setembro.

Infelizmente chegamos ao último dia do Curso. A primeira palestra da manhã foi proferida pelo professor Dr. Leandro Salazar de Paula da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Brasil tratando do tema; “Assimetria Matéria e Anti-Matéria e a Experiência do LHCb”. Foi uma palestra muito interessante como podemos constatar no anexo disponível no final desse trabalho.

Na sequência, o Dr. Pedro Abreu falou sobre a relação entre a física de partículas e o universo em sua última palestra intitulada “Física de Partículas e o Universo”. Encerrando os trabalhos matutinos, a pesquisadora Dr. Patrícia Conde Muino do LIP, competentemente explicou o mecanismo do Experimento Atlas.

Fechando os trabalhos, no início da tarde tivemos a honra de receber a visita da Dra. Fabiola Gianotti na época Diretora do Experimento Atlas e que viria a ser a primeira mulher na Direção Geral do CERN a partir do ano de 2016, que falou sobre suas expectativas sobre o futuro do grande laboratório, ressaltando a importância do **National Teacher Programmes**, recebendo uma edição do livro; "Nós, professores brasileiros de Física do Ensino Médio, estivemos no CERN", organizado pelo professor Dr. Nilson Marcos Dias Garcia e editado recentemente pela Livraria da Física.

“Il gran finale”! Dr. Gaspar Barreira, diretor geral do LIP e responsável direto pela realização, e por nossa participação no Programa em curso, do alto de sua grande experiência como professor e pesquisador, proporcionou-nos grande alegria e admiração ao encerra-lo versando sobre; “Questões em Aberto em Física de Partículas”. De forma didática excepcional, Dr. Gaspar foi um exemplo perfeito de harmonia entre as Comunidades dos Pesquisadores em Física e a nossa Comunidade, de Professores de Física do Ensino Médio. Desta forma encerrava-se a 9ª Edição do **Portuguese Language Teachers Programme** em terras suíças, pois ainda existiam exigências a serem cumpridas.

Contrapartidas.

Ao término dos trabalhos no CERN, fomos submetidos a um extenso teste escrito que iria compor nota no certificado de conclusão do curso, e como exigência do edital, devíamos ao voltar ao Brasil divulgar os conteúdos absorvidos

2.6 MasterClass SPRACE.

O MasterClass (<http://www.physicsmasterclasses.org/>) é um evento organizado pelo SPRACE²⁸ com duração de dois dias, no qual estudantes do ensino médio vão a um instituto de pesquisa participante e trabalham com mentores de física de partículas, com a finalidade de aprender sobre o Modelo Padrão e conhecer um pouco sobre o CERN, o laboratório europeu de altas energias.

Durante o evento, os alunos têm a oportunidade de trabalhar com dados produzidos no LHC, através de um exercício de análise. Neste exercício, os estudantes devem analisar alguns eventos específicos em Física de Partículas e discutir os critérios de seleção que devem ser aplicados aos casos em estudo.



Os resultados obtidos são, então, discutidos via videoconferência, através do software *Vidyo*, fornecido pelo CERN, com outros grupos de estudantes que se encontram em outros institutos participantes do MasterClass em diversos países. Em 2015 além de alunos brasileiros (do estado de São Paulo), participaram alunos das cidades de Genova (Itália), Lyon (França), Viena (Áustria) e Zagreb (Croácia) no dia 06 de março; Budapeste (Hungria), Lyon (França), Bruxelas (Bélgica) e Riverside (Estados Unidos) no dia 11 de março.

Nos dias 14 e 15 de outubro de 2015, participei a convite do professor Dr. Nelson Barrelo Junior (EA-FE USP), nas dependências da UNESP, campus Barra Funda, São Paulo, onde fica a sede do SPRACE, da Oficina para professores MasterClass 2016.

²⁸SPRACE São Paulo Research and Analysis Center (Centro de Pesquisa e Análise de São Paulo) é um grupo formado por pesquisadores da UNESP e da UFABC que trabalha com colaboração do LHC (Large Hadron Collider), do CMS (Compact Muon Solenoid) e do CERN (Centro Europeu para Pesquisas Nucleares). O grupo do SPRACE capitaneados pelo Pesquisador Investigador Dr. Sergio Novaes, encontra-se engajado na análise física dos dados das colisões próton-próton e de íons pesados (Pb-Pb) obtidos pelo detector CMS. Investigam modelos como àqueles que preveem a existência de dimensões extras e matéria escura que podem levar a uma física além do Modelo Padrão. O SPRACE está também engajado na implantação de um grupo de instrumentação científica envolvido na pesquisa e desenvolvimento visando o aprimoramento dos subdetectores do CMS que serão implantados até 2023. O SPRACE implantou e trabalha uma estrutura computacional BR-SP-SPRACE Tier-2 do Worldwide LHC Computing Grid (WLCG), a qual engloba mais de 100 sítios distribuídos por diversos países. A expertise adquirida pelo grupo na implantação do BR-SP- permitiu a criação do campus grid da Unesp (GridUNESP) que provê atualmente processamento de alto desempenho para mais de 60 grupos de pesquisa de diferentes áreas, contando com quase 300 usuários de toda a Universidade. O grupo possui um programa vigoroso de divulgação científica que envolveu a distribuição de cartazes sobre a Física de Partículas para as 25.000 escolas do ensino médio e a criação do SPRACE Game. Realizamos anualmente o evento MasterClass em associação com instituições internacionais, que traz cerca de 250 estudantes do ensino médio para três dias de atividades conjuntas, em que eles têm a oportunidade de trabalhar com dados produzidos no LHC, através de um exercício de análise, e de discutir os resultados em videoconferência com instituições estrangeiras. http://www.unesciencia.com.br/pdf/uc65/UC65_pg20-21_sprace_01.pdf

Na ocasião fui apresentado à direção do SPRACE na pessoa da Dr. Sandra Padula e de outras pessoas envolvidas na realização do MasterClass em São Paulo, além do Professor Dr. Nelson Barrelo em conversas com a professora Dr. Valéria Silva Dias (IFT-USP), surgiu a ideia de montarmos uma edição MasterClass em Maceió no ano de 2016. Inicialmente, a primeira edição contaria com a presença de pesquisadores do SPRACE, USP e UNESP tanto fisicamente quanto via videoconferências, preparando a inclusão de nossa cidade no evento internacional em 2017. Fomos, também, convidados a levar alguns alunos para a edição MasterClass 2016 que foi realizada no mês de março em São Paulo. Esse projeto se configura como parte continua de nosso Produto Educacional.

Nesta Oficina, fomos apresentados a diversos jogos relacionados à Física de Partículas os quais utilizamos com a participação de alunos no Instituto Federal de Alagoas do Campus de Penedo, realizando encontros e testes com poucos alunos que tiveram grande aceitação, despertando muito interesse, principalmente o jogo educativo em Partículas Elementares; “Sprace Game 2.0” onde um jogador comanda uma nave em miniatura e tem a missão de capturar partículas subatômicas e recombina-las para construir prótons e nêutrons, que por sua vez deverão ser utilizados na criação de núcleos atômicos de elementos como hidrogênio e oxigênio. Para aproximar o game do “cotidiano” dos alunos, o objetivo final é que os elementos produzidos permitam futura colonização de Marte e a manutenção da vida no planeta. Segundo Dr. Sergio Novaes; um destino cada vez mais próximo da nossa realidade.

A aplicação desta ferramenta como atividade didática convencional, requer uma preparação para que o aluno, que em sua grande maioria conhece o átomo como constituído somente por prótons, nêutrons e elétrons, tome conhecimento da existência de quarks, léptons, fótons mesmo, como sugere a Teoria de Aprendizagem em Espiral, de forma superficial, e esta forma de ensino, com ferramentas as quais os alunos interagem fortemente, pode ser de grande utilidade.



https://youtu.be/VOun_9-3YXA

REFERÊNCIAS

- ABRANCHES, M. **Colegiado Escolar: Espaço de participação da comunidade**. São Paulo: Cortez, 2003.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**. v. 13, p. 179-195. 2004
- ALVARENGA, Beatriz. **A relevância do ensino da Física Atômica e das Partículas Elementares no currículo do 2º grau**. in: CARUSO, Francisco; SANTORO, Alberto, *Do átomo grego à Física das interações fundamentais*. Rio de Janeiro. AIAFEX, 2000.
- ALVES, M.M. **Beabá dos MEC-USAID**. Rio de Janeiro: Edições Gernasa, 1968.
- ASTOLFI, J. P; DEVELAY, M. **A didática das ciências**. 12. ed. Campinas: Papirus, 2008.
- BASTOS FILHO, J. B. **O que é uma teoria científica? : (uma breve provocação sobre um tema completo)**. Maceió: EDUFAL, 1998.
- BASTOS FILHO, J. B. **Cabeça Bem-Feita versus Cabeça Cheia. Pesquisa** (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas), ano 1, n.1, p. 3, 2002.
- BASTOS FILHO, J. B. **Reduccionismo: uma abordagem epistemológica**. Maceió: EDUFAL, 2005.
- BASTOS FILHO, J. B. 'Qual História e Qual Filosofia da Ciência são Capazes de Melhorar o Ensino de Física?' In: Luiz O. Q. Peduzzi; André Ferrer P. Martins; Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira (Orgs.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, p. 65-84, 2012.
- BASTOS FILHO. J. B., 'Diálogos entre a pesquisa em educação, a pesquisa em física e a pesquisa em ensino de física: pontos de aproximação e de afastamento', In: **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**, CAMARGO S. et.al. (Orgs.) São Paulo: Livraria da Física, 2014, p. 245-264
- BRAGA GARCIA, T. M. F., 'As dimensões da experiência escolar e o ensino: contribuições para um diálogo sobre pesquisa', In: **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**, CAMARGO, S et. al. (Orgs.) São Paulo: Livraria da Física, 2014, p. 265-282
- BRAGATTO BOSS, S. L., 'Considerações sobre a produção e o uso de material histórico em sala de aula: dificuldades de leitura e entendimento de traduções de fontes primárias', In: **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**, CAMARGO, S.et. al. (Orgs.) São Paulo: Livraria da Física, 2014, p. 161-174
- BRASIL, Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 1999.
- BRASIL. **PCN+**: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação e Cultura, 2002.

BRUNER, J. S. **Actos de Significado**. Brasil: Edições 70, 2008.

BRUNER, J. S. **Para uma Teoria da Educação**. Brasil: Relógio D'Água, 2011.

BRUNER, J. S. **O Processo da Educação**. Brasil: Edições 70, 2011.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. **Formação de Professores de Ciências**. São Paulo: Cortez, 1993.

CARUSO, Francisco.; OGURI, Vitor; SANTORO, Alberto. **O que são quarks, glúons, bósons de Higgs, buracos negros e outras coisas estranhas?** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica, Del Saber Sábido Al Saber Enseñado**. <http://www.uruguayeduca.edu.uy/Userfiles/P0001%5CFile%5Cchevallard.pdf> : AIQUE Grupo Editor, 1998. ZYLBERSZTAJN, A. **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. Brasil: LF Editora Livraria da Física, p.237-282, 2014.

CLOUGH, M. P.; OLSON, J. K. Teaching and assessing the nature of science: an introduction. **Science & Education**. v. 17, p. 143-145. 2008.

CONTRERAS, J. **A autonomia de Professores**. São Paulo: Cortez. 2002.

CROOKES, W. **Researches in the phenomena of spiritualism**. [1874]. London: Lowe and Brydone, 1953.

FORATO, T. C. M. **A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. Tese (Doutorado) – FEUSP, São Paulo.

FORATO, Thaís; MARTINS, R.; PIETROCOLA, M. Enfrentando obstáculos na transposição didática da História da Ciência para a sala de aula. In PEDUZZI, L.; MARTINS, A; HIDALGO, J. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**, Natal: EdUFRN, 2012.

GALINDO, A. G. **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física: Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. Brasil: LF Editora Livraria da Física, p.89-101, 2014.

GARCIA, T. M. F. B. **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. Brasil: LF Editora Livraria da Física, p.237-282, 2014.

GENOVESE, L. G. R. **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física: Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. Brasil: LF Editora Livraria da Física, p.61-88, 2014.

GILMORE, R. **Alice no País dos Quantum, A física quântica ao alcance de todos**. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 1998.

GILMORE, R. **O Mágico dos Quarks**. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2002.

GOODSON, I. F. **As políticas de currículo e de escolarização: abordagens históricas**. Trad. Vera Joscelyne. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008.

GUERRA, A., 'A identidade e o diálogo como possibilidades de superação da controvérsia entre educadores e historiadores da ciência', In: **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**, CAMARGO, et.al. (Orgs.) São Paulo: Livraria da Física, 2014, p. 129-142

KOHNLEIN, J. F. K; PEDUZZI, L.O.Q. Uma Discussão Sobre a Natureza da Ciência no Ensino Médio: Um Exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita. **Cadernos. Brasileiros de Ensino de Física**, v. 22, n. 1: p. 36-70, abr. 2005.

LEFRANÇOIS, G.R. A Teoria da Aprendizagem de Bruner: Indo Além da Informação Dada. **Teorias da Aprendizagem**. Brasil: Cengage Learning, p.224-241, 2008.

LESSARD, Claude. A universidade e a formação profissional dos docentes: novos questionamentos. In: **Educação e Sociedade**, Campinas, v. 27, n. 94, pp.201-227, jan./abr.2006

MAOR, E. e: **a história de um número**; tradução de Jorge Calife 3ª Ed. Rio de Janeiro: Record, 2006.

MARTINS, R. A. **Como não escrever sobre História da Física: um Manifesto Historiográfico**. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23. n. 1, p. 113-129, 2001. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_113.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Introdução. A história das ciências e seus usos na educação**. Pp. xxi-xxxiv, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, R. de A., 'A fundamentação histórica da lei da inércia: um exemplo de conflito entre educadores e historiadores da ciência no uso da história da ciência no ensino de física' In: **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**, CAMARGO, S. et. al. (Orgs.) São Paulo: Livraria da Física, 2014, p. 143-159

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física**. v. 12, n. 3, p. 164-214. dez. 1995.

McCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The Nature of Science in Science Education: an introduction. **Science & Education**, v. 7, n. 6, p. 511-532, 1998.

NÓVOA, A (Org). **Vidas de professores**. 2. ed. Porto: Porto, 1995.

OLIVEIRA, F.F.; VIANNA Deise M.; GERBASSI, Rer. **Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores**. Disponível em: < www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a16v29n3.pdf > Acesso em: 06 jun. 2015.

OSTERMANN F.; MOREIRA M.A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio"**: UFRGS: Investigações em Ensino de Ciências p.5-23 (2000).

PERRENOUD, P. "Construir competências é virar as costas aos saberes?" In: **Revista Pátio, Porto Alegre**: ARTMED, a.3, n.11, p.15-19, jan., 2000.

PIETROCOLA, M. **Inovação Curricular em Física: Transposição Didática de Teorias Modernas e a Sobrevivência dos Saberes**: Projeto Temático FAPESP, São Paulo, 2008.

PINTO, A.V. **O conceito de Tecnologia**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005.

RANDAL, L. **Batendo à Porta do Céu, O Bóson de Higgs e Como a Física Moderna Ilumina o Universo.** Brasil: Cia de Letras, 2012.

ROBILOTTA, M.R. Meus Vizinhos... texto para a intervenção na Mesa Redonda intitulada *Diálogos entre a pesquisa em Educação, pesquisa em Física e a pesquisa em Ensino de Física*. 14 Encontro de Pesquisa em Ensino de Física EPEF, Maresias, São Sebastião, São Paulo, 2012.

ROSENFELD, R. **O Cerne da Matéria, A aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs.** Brasil: Cia de Letras, 2013.

SCHÖN, D.A. **Educando o Profissional Reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem.** Trad. Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artmed, 2000.

STRATHERN, P. **Curie e a Radioatividade, em 90 minutos.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional. Tradução de Francisco Pereira.** Petrópolis: Vozes, 2002.

VILLANI, A.; PACCA, J; FREITAS, D. Science teacher education in Brazil: 1950-2000. **Science & Education**, v.18, n.1, p. 125-148, 2009

ZYLBERSZTAJN, A. **Física ensino médio - Coleção Explorando o Ensino.** Ed. Brasil Seb, 2006.

ZYLBERSZTJN, A. 'Contribuição para a Mesa Redonda "Diálogos entre a pesquisa em educação, a pesquisa em física e a pesquisa em ensino de física: pontos de aproximação e de afastamento"', In: **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**, São Paulo: Livraria da Física, 2014, p. 237-244



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE EDUCAÇÃO - CEDU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
– PPGECIM

JOSÉ OSVALDO HARRY

**A FÍSICA MÉDICA COMO FERRAMENTA DE MODERNIZAÇÃO DO ENSINO DA
FÍSICA: UMA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA PARA UM MELHOR
DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL.**

Maceió – AL

2016

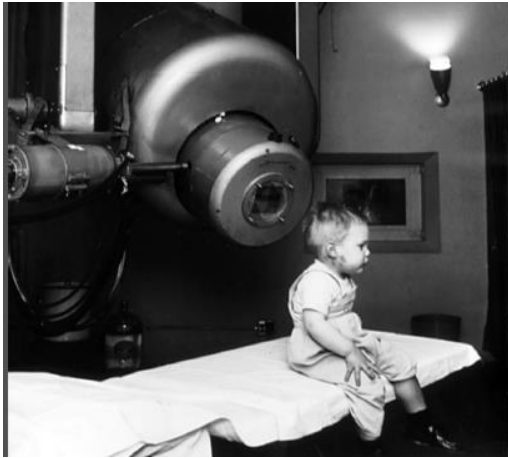
RESUMO.

É quase consenso que o curso de Física no Ensino Médio não tem acompanhado os avanços tecnológicos ocorridos principalmente nas três últimas décadas. A comunidade escolar, especialmente os professores de física já há algum tempo vem questionando o conteúdo presente no currículo da disciplina, principalmente quando interpelados pelos alunos quanto ao “por que” e o “para que” aprendê-los. O ensino de Física tem se mostrado cada vez mais distante da realidade do alunado, apesar de atualmente encontrarmos uma imensa facilidade para obtenção de informações, o ensino não tem apresentado igual avanço e continua deixando de lado temas importantes para o desenvolvimento educacional.

Este trabalho propõe a introdução de tópicos de Física Moderna, bem como proporcionar uma melhor compreensão dos fenômenos físicos clássicos através das suas aplicabilidades em Física Médica. Acreditamos que desta forma possamos fornecer uma atualização pedagógica que não foge aos ideais curriculares sugeridos nos PCNEM e PCNEM+ para a disciplina da Física, e promoveremos a profissão do físico médico, cada vez mais presente em toda área da saúde, mas ainda pouco difundida no meio escolar. Nesta proposta criaremos uma sequência didática de um curso de Física Médica voltado ao Ensino Médio, parametrizada nas bases da Teoria da Transposição Didática proposta por Yves Chevallard[1] e na Teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Jerome Bruner [2], criando assim possibilidades de contextualização com as ciências biológicas e químicas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física; Física Médica; desenvolvimento cognitivo.

INTRODUÇÃO



Gordon Isaacs, uma criança de três anos de idade, foi o primeiro paciente a ser tratado com um acelerador de partículas no ano de 1957. [3]

Gordon Isaacs, 1957, fu li primo paciente trata-o com uns aceleradores de partisse-lhe per curare li cancro chie ló averbe destinado ala recita total. <http://www.shan-newspaper.com/web/scienze/982-lacceleratore-di-particelle-per-sconfiggere-il-cancro.html>

Os PCNS (Parâmetros Curriculares Nacionais, Brasil 2002) [4] orientam que o ensino de Física deve ser tratado pelo currículo das escolas focado no ensino de Física Contemporânea, relacionando conteúdo a assuntos que fazem parte da vida cotidiana dos alunos. A Física das Radiações que literalmente envolvem a todos nós está presente no dia a dia dos alunos quer seja quando se comunicam aos celulares, bem como quando são submetidos a procedimentos de diagnósticos e/ou terapêuticos, que utilizam como instrumentos de trabalho os raios x e substâncias radioativas tornando-se um dos componentes centrais da Física Médica. Apesar de toda aplicabilidade e potencialidade didática, o tema é quase totalmente excluído do Currículo Escolar e pouco ou nada divulgado em materiais didáticos de Física no Ensino Médio. Esta falta de informação gera muitas dúvidas e medos, e assim a incompreensão refletida na ignorância da maioria da população sobre o tema dificulta um maior desenvolvimento tecnológico e como consequência possibilita ocorrência de fenômenos nocivos como o ocorrido no Brasil em Goiânia em 1987, com o Césio 137.

O projeto visa apresentar a Física Médica, obviamente de forma superficial, (segundo Jerome Bruner [2] que afirma: *é sempre possível apresentar os conteúdos aos alunos, desde que de forma adequada às suas representações, retomando-os mais tarde, a níveis de representação mais elaborados*).

Os fenômenos tratados em Física Médica podem estar diretamente relacionados com o conteúdo clássico, desde os conceitos de Grandezas de Medidas, Energia, Termologia,

Eletromagnetismo e principalmente a Física das Radiações. É bom lembrar que o próprio Ministério da Educação, sugere por meio da Secretaria da Educação Básica, a introdução de conceitos básicos de Física das Radiações nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Brasil, 2006) [4].

Os jovens estão atentos aos temas relacionados às ciências de uma forma geral. A física tem contribuído de forma significativa para o desenvolvimento das engenharias e da medicina, porém, o ensino de Física no Ensino Médio não acompanha esse desenvolvimento, ao contrario, vai se afastando das necessidades dos alunos. A distância entre o conteúdo curricular atual da forma como é repassado aos alunos e aquilo que por eles é absorvido principalmente através da mídia globalizada sobre os avanços e descobertas científicas no campo da Física no Brasil e no mundo é imensa. Esta defasagem resulta numa prática pedagógica descontextualizada do cotidiano do aluno, que faz com que ele não compreenda a necessidade de se estudar esta disciplina. Inicialmente nosso projeto visava à elaboração de materiais tais como textos históricos descrevendo a evolução da disciplina associada a exemplos cotidianos, porém durante sua execução tive a oportunidade de participar de um curso [5] no **LIP** Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, em Lisboa e no **CERN** *Organizativo Européenne pour la Recherche Nucléaire* – antigo *Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire*) na Suíça voltada justamente para professores do Ensino Médio incentivando a utilização ou divulgação da Física de Partículas junto ao alunado. Uma das disciplinas do curso tratava justamente da *Aplicação dos Aceleradores de Partículas em Física Médica* [6] o que resultou em uma mudança no projeto inicial, embora mantendo os objetivos definidos, resolvemos optar pela criação de um minicurso mais específico trazendo à baila a história da Aplicação de Aceleradores de Partículas em diagnósticos e terapias médicas, os avanços tecnológicos desenvolvidos no CERN culminando na tecnologia da **Hadronterapia**.

OBJETIVOS:**Objetivo Geral;**

Criar significância aos conceitos utilizados em Física no Ensino Médio através de suas utilizações em Física Médica e , desta forma, tornar mais agradável e conseqüentemente mais interessante o convívio com a disciplina em sala de aula, despertando o interesse dos alunos levando-os à busca de informações fora do ambiente escolar tradicional.

Objetivo Específico;

Criar uma ferramenta didática para tornar o ensino de Física mais agradável aos discentes. Exemplificar pela associação dos conteúdos inseridos em sala de aula aos procedimentos médicos, visando ensinar o aprendizado. Optamos por este estreitamento à Física Médica devido à vastíssima gama de correlações dos conteúdos físicos, visto que fazem parte de todas as engenharias e dos mais diversos fenômenos humanos. Restringindo a abrangência do trabalho, podemos avaliar os resultados obtidos durante o processo e, posteriormente, sequenciar o projeto aos demais conteúdos do currículo.

JUSTIFICATIVA.

Trazer os conceitos de Física Médica aos estudantes do Ensino Médio pode ser válido em vários aspectos. O Ensino de Física enfrenta uma realidade desanimadora, acreditamos que todo professor de Física do Ensino Médio, durante uma aula tradicional, já se deparou com questionamentos dos alunos quanto à validade do conteúdo apresentado, “para que serve isso que você está me ensinando?”.

Na maioria das vezes o professor se sente desamparado e fica sem saber como melhorar o ensino, contextualizar a disciplina que parece estar tão distante da realidade dos alunos, dos avanços tecnológicos que estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano. Certamente as pesquisas sobre inovações curriculares no Ensino Médio brasileiro vêm crescendo nos últimos anos destacando a inclusão de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Autores apontam como fatores que dificultam a inserção efetiva de FMC nas escolas, a má formação docente nos cursos de licenciatura e, principalmente, a escassez de materiais didáticos [7]. Sabemos que nas ciências, o conhecimento está se transformando

continuamente o que reflete nos valores sociais. Em 1996, a LDB (Lei de Diretrizes Básicas) orientou como deveriam ser as mudanças na Educação Básica, posteriormente os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) [8] sugeriam uma reorientação nas práticas educacionais ampliando os objetivos da escola. O ensino deveria ser baseado na construção de competências e habilidades. Constatamos, infelizmente, que na prática poucas ações foram direcionadas nesse sentido.

É importante citar que nos PCN+ [9], o conhecimento das ciências da natureza está organizado em três grandes áreas, sendo que uma delas é a Contextualização Sócio Cultural que tem como foco principal a tecnologia aliada à Ciência.

Devemos observar que essas competências sugeridas pelos PCN+ não determinam quais conteúdos devem ser abordados, assim, teoricamente o professor teria uma certa autonomia para escolher os tópicos de física que cumpririam os objetivos traçados por ele, mas o que ainda percebemos, é que apesar desta aparente liberdade de escolha, os saberes que chegam às salas de aula são ainda ditados por normas curriculares que estão presentes em manuais didáticos, norteados por vestibulares, e atualmente, principalmente pelo ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio).

Contextualização sócio-cultural
Ciência e tecnologia na história Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.
Ciência e tecnologia na cultura contemporânea Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea.
Ciência e tecnologia na atualidade Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.
Ciência e tecnologia, ética e cidadania Reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania.

Quadro 1 – Parâmetros Curriculares Nacionais +

A Teoria da Transposição Didática proposta por Yves Chevallard [1] descreve esses saberes que chegam à sala de aula. Segundo Chevallard, a construção do saber escolar

acontece numa relação *ternária* entre o professor (P), o aluno (A) e o saber (S), epistemológica (entre P e S) e sociológica (entre P e A).

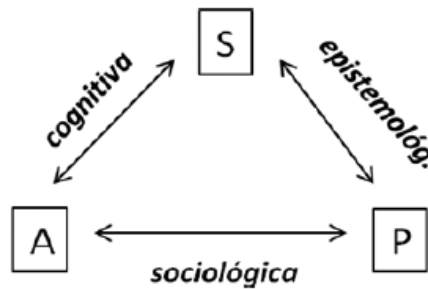


Figura 1 - Relação ternária da TD.

Além desses três elementos representados na figura 1, existem outras influências externas, que fazem parte de um contexto mais amplo denominado *Sistema de Ensino*.

Para Chevallard, os saberes passam por dois processos de didatização e, em todo o processo de ensino, existem três níveis diferentes para este saber, desde sua origem no ambiente acadêmico até a sala de aula: o Saber Sábio, o Saber a Ensinar e o Saber Ensinado. A Teoria da Transposição Didática surgiu na matemática, mas pode ser aplicada ao ensino de ciências e corrobora com a ideia de nosso trabalho sobre as Comunidades de Pesquisa e Ensino de Física [10].

O Saber Sábio é produzido pela Comunidade de Pesquisadores em Física, os chamados cientistas e diz respeito a um saber na sua forma “bruta”, sem didatização, está presente nos *papers*, universidades, artigos acadêmicos e nos centros de pesquisa científica. Esse saber, geralmente não chega à sala de aula, pois sua linguagem é muito específica inerente à comunidade científica.

O saber a ensinar é o saber presente nos manuais e programas didáticos, após sofrerem uma transposição, denominada *externa*, que modifica o saber inicial e o torna didático, reescrevendo com uma linguagem mais acessível aos alunos.

O saber ensinado é o saber que realmente chega na sala de aulas sendo o professor um agente que trabalha no interior dessa transposição chamada *transposição interna*. Supostamente, nesse processo de transição, acontece uma simplificação gerando um outro saber com um novo estatuto epistemológico, chamado *saber escolar* [11]

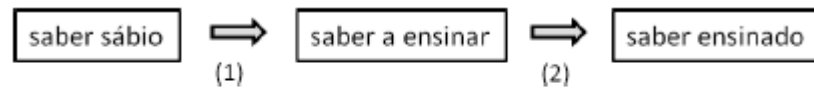


Figura 2 - Esferas do saber da transposição didática.

Quando falamos em ampliar os objetivos do ensino de física, estamos falando em contextualização. É possível fazer uma abordagem que envolva ciência, tecnologia e sociedade, certamente esta abordagem promove um maior interesse por parte dos alunos em relacionar a ciência com aspectos tecnológicos sociais. Os estudantes podem discutir as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da ciência e tecnologia, adquirindo uma compreensão da natureza da ciência e do trabalho científico, formando cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados.

FÍSICA MÉDICA, DA PRÉ HISTÓRIA À HADRONTERAPIA.

De certa forma, alguns conhecimentos físicos, sempre foram utilizados em medicina. Fenômenos como temperatura, pressão, ótica, equilíbrio definidos pela física, entre outros são aplicados em medicina e fazem parte do currículo de todo médico. Durante a realização desse projeto verificamos que esses fenômenos quando associados aos conteúdos curriculares tradicionais do Ensino Médio, recebem uma maior atenção por parte dos alunos, como por exemplo, o estudo da ótica da visão onde analisamos a visão humana comparando-a em sua anatomia a um olho de boi. Desta forma optamos por elaborar um curso de Física Médica acessível aos alunos do Ensino Médio.

O profissional formado em Física Médica se ocupa de atividades ligadas a tratamentos médicos que exigem o manuseio de equipamentos de radioterapia em oncologia e diagnóstico por imagem. Pessoalmente consideramos que outros fenômenos, em ótica por exemplo, a utilização de laser em tratamentos ou o desenvolvimento de tecnologias aplicadas a diversas terapias ampliam consideravelmente essa definição. Certamente esse ramo da física é multidisciplinar, pois trabalha com conceitos e técnicas básicas e específicas de física, biologia e medicina, possuindo um grande campo de atuação.

Podemos dizer que a Física Médica no Brasil tem sua origem no ano de 1956, quando a física Esther Nunes Pereira foi admitida no serviço de radioterapia do Instituto Nacional do Câncer no Rio de Janeiro. Neste mesmo período o físico Dirceu Martins Vizeu foi convidado pela Associação Paulista de Combate ao Câncer para trabalhar em planejamento e dosimetria em radioterapia. Ainda neste ano foi criado em São Paulo o Instituto de Energia Atômica,

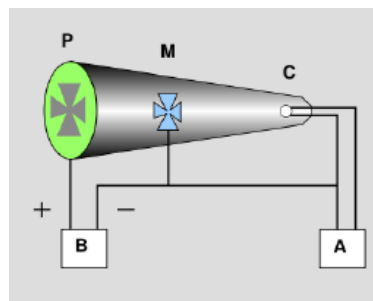
hoje **Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares –IPEN/CNEM**, e com ele a divisão de Física da Saúde. Porém as atividades de Física Médica em Medicina Nuclear se iniciaram efetivamente em 1959, quando o físico Alipio Luiz Dias Neto ligou-se ao **Centro de Medicina Nuclear da USP**.

Em julho de 1969 o professor John Roderick Cameron, da Universidade de Winsconsin- USA reuniu-se com um pouco mais de duas dezenas de físicos brasileiros no Centro de Medicina Nuclear de São Paulo para discutir a importância e a necessidade de se criar uma Associação de Físicos em Medicina e Biologia. Em 25 de agosto de 1969, sob aliderança dos Professores Thomaz Bitelli e Shiguelo Watanabe foi criada a ABFM, antes denominada Associação Brasileira de Físicos em Medicina, hoje Associação Brasileira de Física Médica.

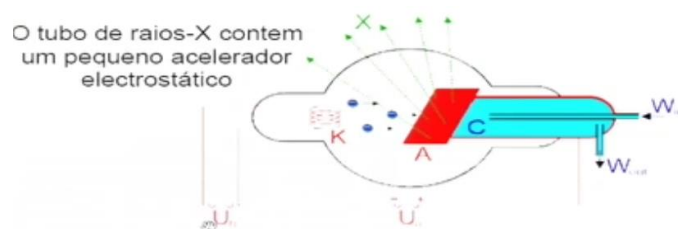
Aceleradores de Partículas em Aplicações Médicas.



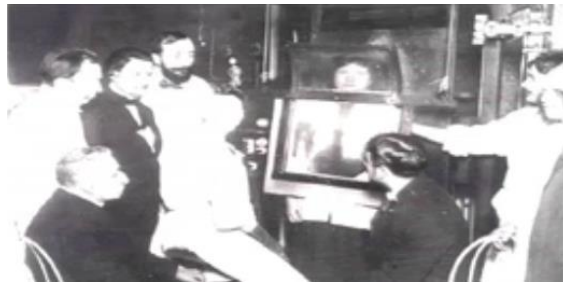
Nossa aventura incia-se no século XIX quando Willian Crookes (1832-1919) inventou o *radiômetro de Crookes* e concomitantemente desenvolveu os *tubos de Crookes* investigando os chamados raios catódicos. Esse tipo de tubo foi utilizado por J.J. Thonsom em 1897 na detecção dos elétrons.



No ano de 1895, Willian Roentgen descobre os raios X e suas aplicações na area médica foi quase instantânea.



Observe que o tubo por apresentar uma diferença de potencial é um pequeno acelerador, e é uma peça maravilhosa, pois serve para o obvio que é a produção de raios X que são utilizados em medicina para obtermos imagens, mas também pode ser utilizado para trerapia, a radiação pode servir para tratamento. A utilização para realização de radiografias foi quase que imediata, cerca de três meses após a descobera de Roentgen já haviam diversos aparelhos espalhados pelo mundo produzindo radiografias médicas, porém produziam muitos “espetáculos”, como podemos observar na foto abaixo, uma senhora que certamente está recebendo uma imensa quantidade de radiação para o deleite dos observadores, que conseguiam enxergar seus órgãos internos sem ter que abrir seu corpo.



Além das radiografias vieram a fluoroscopia e a utilização terapêutica através da radioterapia ainda nos anos de 1920.



fluoroscopia.



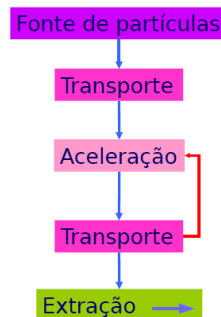
radioterapia 1920.



Na imagem ao lado, a mão de Anna Berthe Roentgen radiografada em 22 de Dezembro de 1895

Conceitos básicos dos Aceleradores e sua aplicação em Medicina.

Esquema básico do acelerador de partículas



FONTES DE PARTÍCULAS



Por efeito termo-iônico podemos obter elétrons livres

Equipamentos comuns, encontrados em praticamente todas as residências podem servir de exemplo para a assimilação dos conceitos básicos dos Aceleradores de Partículas. Uma simples lâmpada incandescente é fonte de elétrons livres obtidos através do efeito termo-iônico. Outro dispositivo conhecido pelos estudantes e que pode ser mencionado é o aparelho de TV mais antigo que utiliza o cinescópio e que contém um “canhão de elétrons” que certamente é um acelerador de partículas.

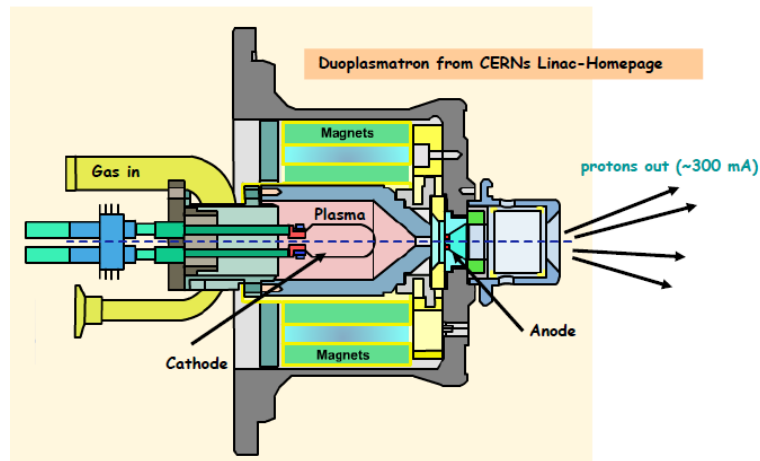


Canhão de elétrons do cinescópio de um televisor (antigo!)

Um tubo de TV, na realidade é um tubo de raios catódicos, um tipo de válvula termo-iônica que contém um ou mais canhões de elétrons e um ecrã fluorescente como detector onde pode se ver as imagens. Esses

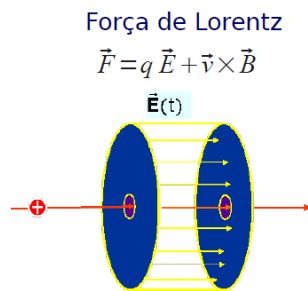
tubos são utilizados em monitores de computadores, televisores (cinescópios de deflexão eletromagnética) e osciloscópios (cinescópios de deflexão eletrostática).

Fontes de prótons

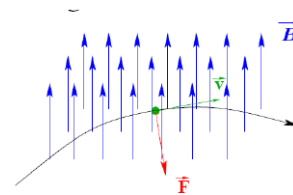


O DUOPLASMATRON foi inventado por Manfred Von Ardenne (1907-1997). É uma fonte de íons que opera da seguinte maneira: um cátodo emite elétrons dentro de uma câmara de vácuo, um gás inerte, como o argônio é introduzido em pequenas quantidades dentro da câmara, se tornando eletricamente carregado (ionizado) com as interações com os elétrons livres do cátodo dando origem a um plasma. O plasma é acelerado por uma série de grades altamente carregadas, transformando-se num feixe de íons.

Como acelerar partículas?



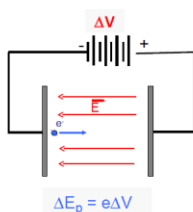
$E(t)$ aumenta a energia



$B(t)$ modifica a trajetória

A força de Lorentz produz aceleração da carga, o campo elétrico, assim acelera a partícula na direção de sua trajetória. Já o campo magnético “controla” a trajetória da partícula.

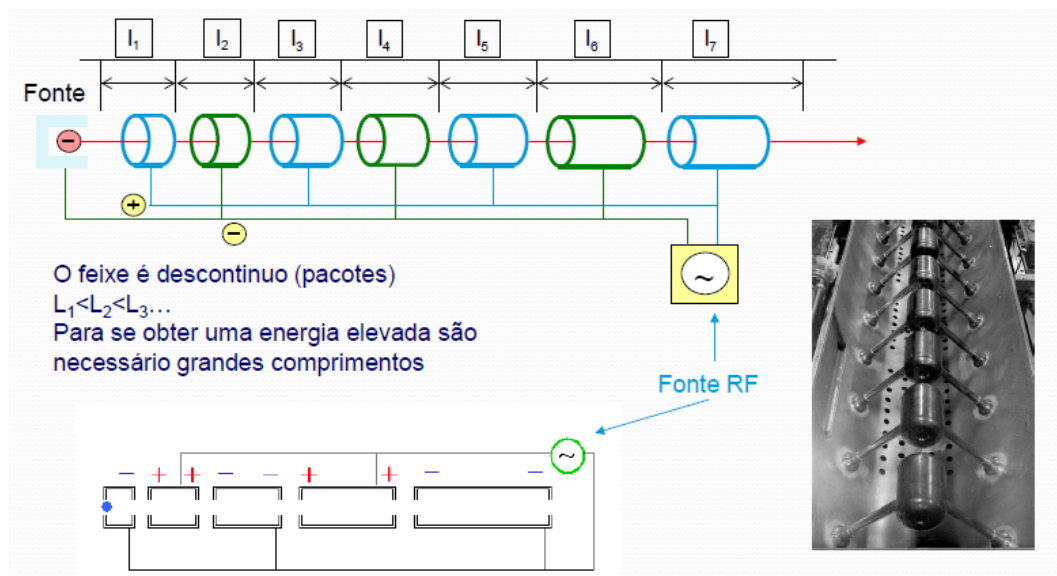
Aceleradores Eletroestáticos



Os aceleradores possuem uma d.d.p (diferença de potencial) que criam os campos elétricos.

Acelerador Linear LINAC

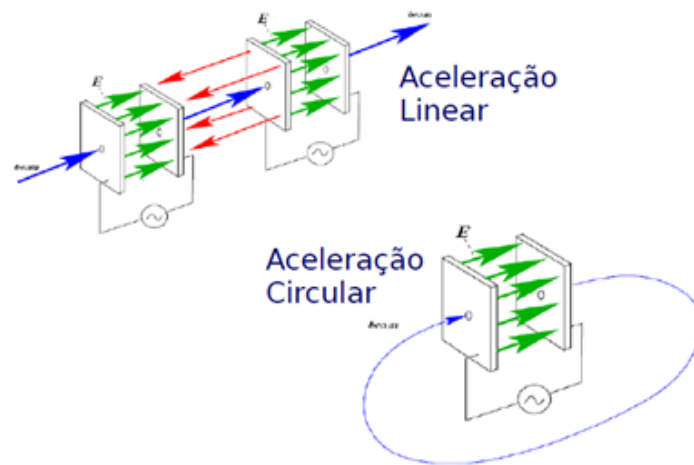
LINAC sigla em inglês de **L**inear **P**article **A**ccelerator (*Acelerador de Partículas Linear*) é como o seu nome indica um acelerador de partículas linear (de forma retilínea) - em oposição aos aceleradores cíclicos (de forma trapezoidal ou circular) como o Síncrotron a Prótons, o (PS) do CERN - e que tem como finalidade aumentar a velocidade de partículas subatómicas eletricamente carregadas os íons. Para acelerar as partículas a máquina envia uma série de oscilações elétricas no sentido do feixe. Este método de acelerador foi inventado em 1928 pelo físico norueguês Rolf Widerøe (1902-1996).



A figura a cima esquematiza o funcionamento de um acelerador linear da fase inicial.

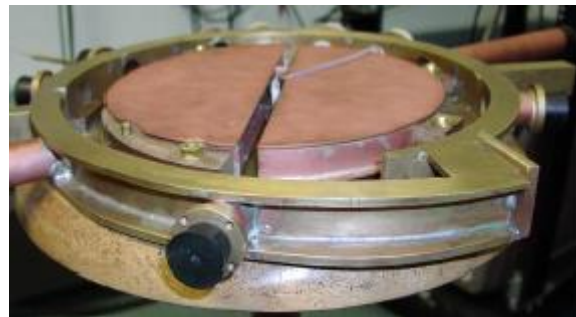
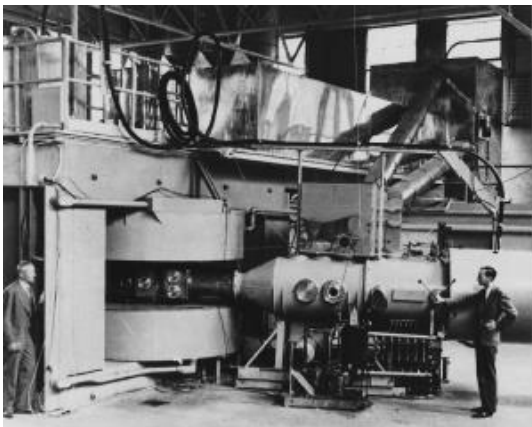
Os aceleradores lineares permitem-nos acelerar partículas com carga elétrica, que basicamente viajam dentro de dispositivos que parecem copos, dentro desses “copos” não ocorre nada, mas nos intervalos entre eles existe uma diferença de potencial que está sincronizada de maneira que quando a partícula passa ela é acelerada. É importante esclarecer, observando a figura acima, que em cada seção (entre cada copo) a polaridade deve ser invertida para conseguir acelerar os elétrons, esta inversão é feita através de radio frequência, pois precisamos sincronizar a passagem do elétron com a fase da onda. Outro detalhe a ser observado é que o comprimento de cada “copo” aumenta sequencialmente devido ao aumento da velocidade dos elétrons.

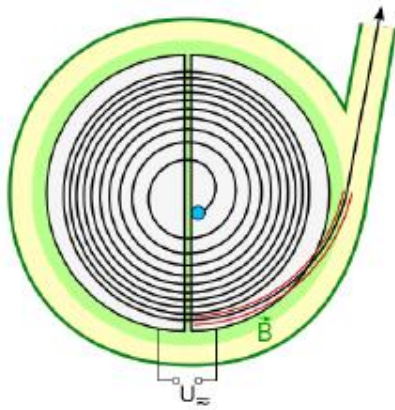
Tornando os Aceleradores mais compactos



CICLOTRÃO ou CÍCLOTRON

É um acelerador inventado em 1929 por Ernest Lawrence, no qual um feixe de partículas sofre a ação de um campo elétrico com uma frequência alta e constante e um campo magnético perpendicular estático.





O ciclotron possui dois eletrodos com a forma de um D que são ocos e semicirculares. Sua montagem é numa câmara de vácuo entre os pólos de um eletromagneto. As partículas começam a se locomover dentro dos eletrodos. Uma ddp alternada de alta frequência é injetada nos eletrodos (D) cuja frequência de ressonância é próxima a da circulação iônica, produzindo assim aumento de velocidade. A cada passagem de um eletrodo para outro as partículas adquirem uma trajetória em forma de espiral. Em seguida ocorre uma trajetória em forma de semicírculos, cujos raios são crescentes ocasionado uma perda de foco do feixe. É necessário criar um sistema que focalize o feixe, forçando os íons em uma trajetória pré-determinada (bobinas colimadoras) evitando a perda iônica.

SÍNCROTRON (Brasil) **ou SINCROTRÃO** (Portugal).

Pode se dizer que é uma evolução do ciclotron trata-se de um acelerador cíclico e da mesma forma de seu antecessor possui um campo elétrico que acelera as partículas e um campo magnético responsável pela mudança de direção destas partículas.

Ciclotron convencional não funciona bem quando os prótons possuem energia superior a 50 MeV. A hipótese fundamental de seu projeto é válida para partículas carregadas circulando com velocidades muito menores que a velocidade da luz. Para velocidades acima de 10% da velocidade da luz, devem ser usadas as equações da Teoria da Relatividade, segundo a qual, quanto maior a velocidade da partícula, maior a massa e menor a frequência de rotação, assim as partículas atrasam-se em relação à frequência do oscilador, que tem um valor, uma frequência fixa, desta maneira a energia da partícula passa a aumentar cada vez menos a cada rotação tendendo a um valor constante.

Temos outro problema; para um próton de 500 GeV num campo de 1,5 T, o raio da trajetória é de 1,1 km. No caso de um ciclotron convencional, o campo magnético teria que ser aplicado em toda a região da trajetória o que exigiria um imã impraticável com peças da ordem de quatro x 10^6 m².

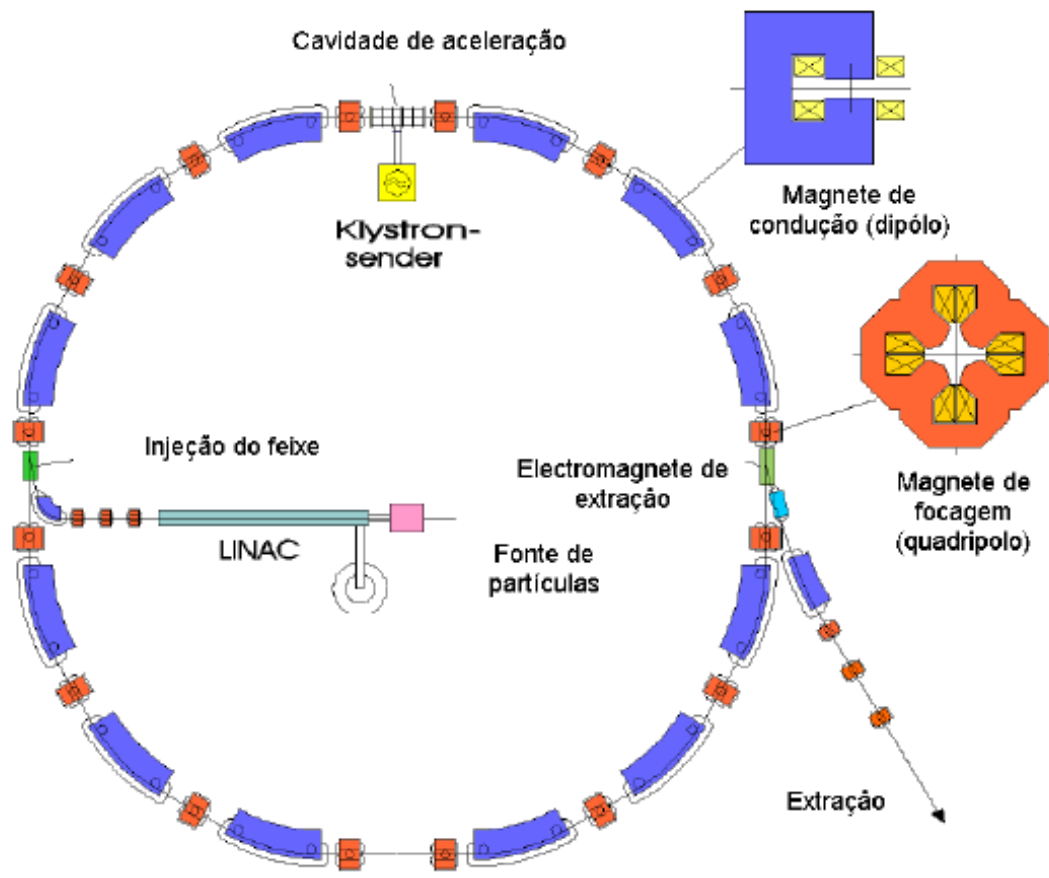
O sincrotron foi criado para solucionar esses dois problemas. Seu campo magnético não possui valores fixos variando junto com sua frequência enquanto as partículas são aceleradas.

Desta forma:

- A frequência de rotação das partículas permanece em equilíbrio com a frequência do oscilador.
- As partículas descrevem uma trajetória circular em espiral diminuindo a área de cobertura do campo magnético.

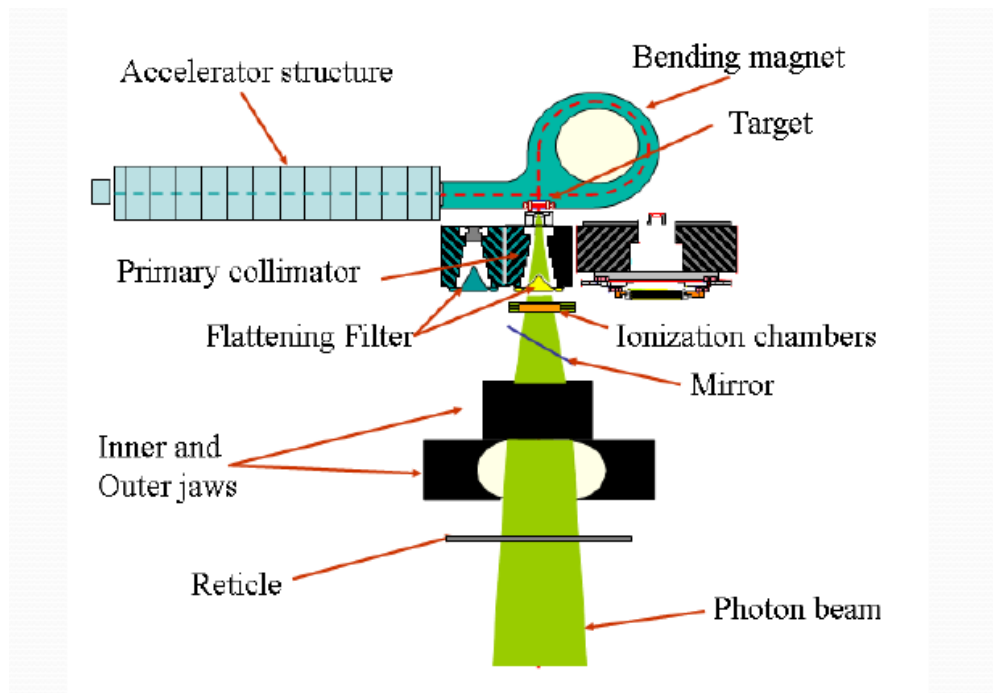
Mesmo assim, no caso de partículas de alta energia, o raio da trajetória ainda deve ser grande. O sincrotron do Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory) em Illinois EUA tem uma circunferência de 6,3 km podendo produzir prótons com energia de 1 TeV.

O funcionamento do sincrotron em resumo: um feixe de elétrons é produzido pela fonte que é semelhante ao tubo de raios catódicos. Estes elétrons são acelerados por um campo elétrico intenso no LINAC, a tensão de aceleração é da ordem de 250 MV, a energia dos elétrons à saída do LINAC é da ordem de 250 MeV. Segue-se uma aceleração na ordem dos GeV num pequeno acelerador circular conhecido como Booster. Em seguida os elétrons são ejetados do pequeno anel para o principal, que é constituído por uma série de segmentos lineares em que existem dipolos unidos a quadripolos que defletem os elétrons de segmento em segmento, é nessa deflexão que ocorre a aceleração (no caso do LHC que é um grande sincrotron, prótons e íons).

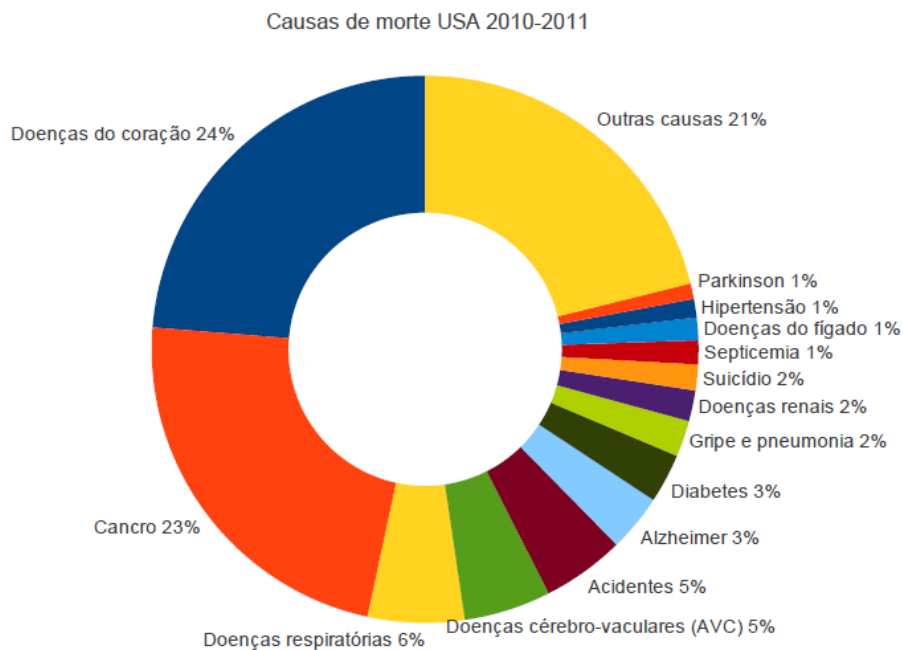


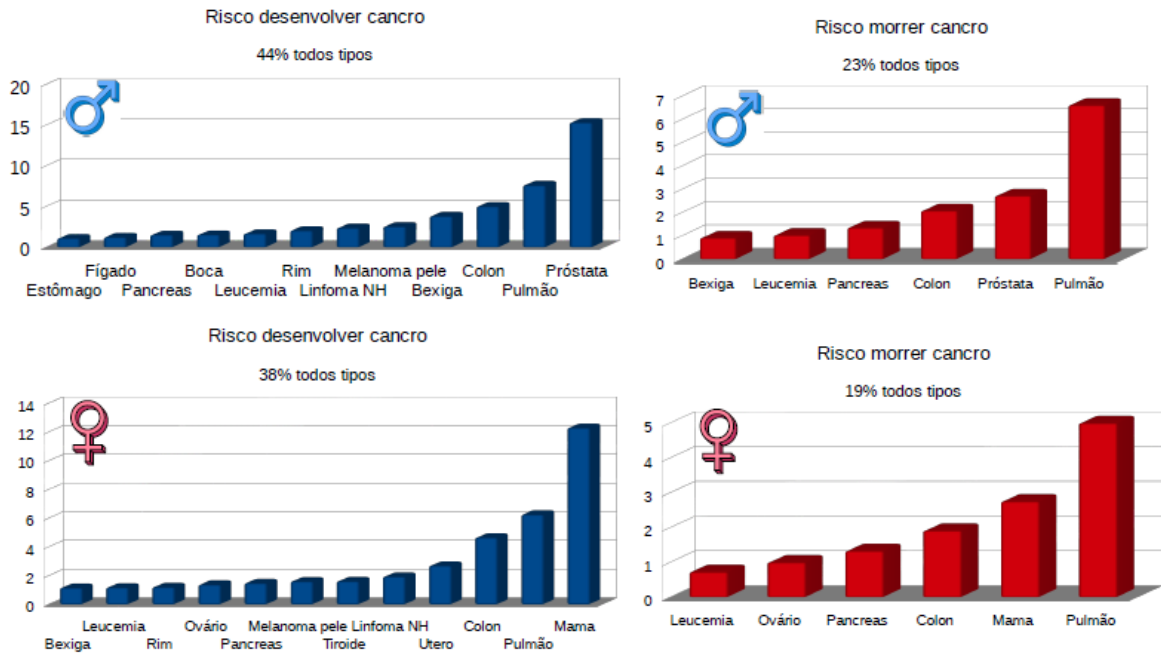
<https://prezi.com/lgz8qvbqryaz/das-zyklotron/>

Um acelerador de elétrons moderno (clínico).

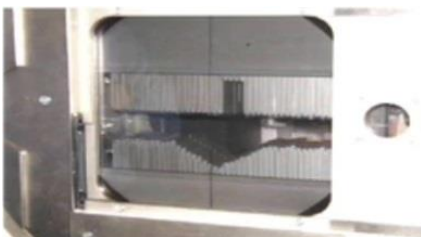


A importância do investimento em pesquisas na área da Física Médica é de fácil entendimento. O câncer é uma doença que acomete todo tipo de animal e tende, no caso do homem, a aumentar a incidência, pois a probabilidade de desenvolvimento de uma célula cancerígena aumenta com o tempo de vida do ser humano, pois certamente ocorreram mais divisões celulares que por sua vez podem gerar células “defeituosas”.



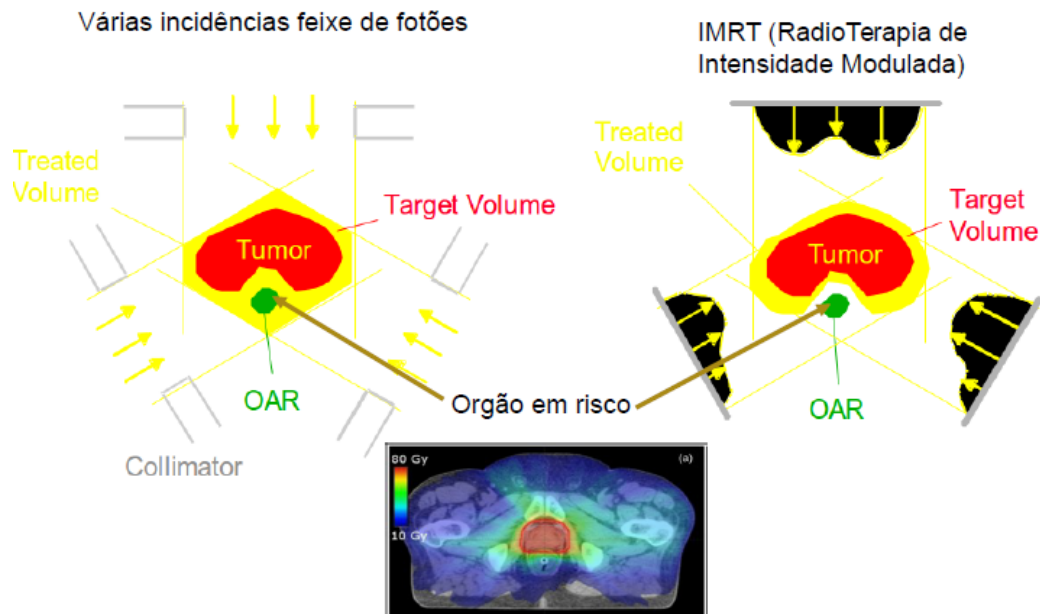


O objetivo da radiação é quebrar o DNA da célula cancerígena, isto pode ser feito com elétron, fótons, prótons e íons (radiações ionizantes). Atualmente a maior parte do tratamento é realizada irradiando elétrons, estes, porém possuem pouca interação com a matéria resumindo-se a tratamentos superficiais, assim na maioria dos equipamentos os elétrons são convertidos em fótons mais energéticos. Como ocorre nos tubos de raios X a criação de fótons energéticos na maioria das vezes se dá pelo efeito de frenagem (bremsstrahlung).



Parece que atingimos a máxima eficiência para a utilização dos aceleradores de elétrons, mesmo os que possuem um colimador adaptável (com dentes) que podem configurar o feixe de fótons para se adaptar a região a ser irradiada, os efeitos desta radiação em outros órgãos ainda é considerável. Tentando contornar o problema é feita a "conformação dos feixes dos fótons", observe na figura que são realizadas várias incidências de feixes ao redor do paciente a fim de diminuir a incidência em um só ponto.

Conformação do feixe de fótons

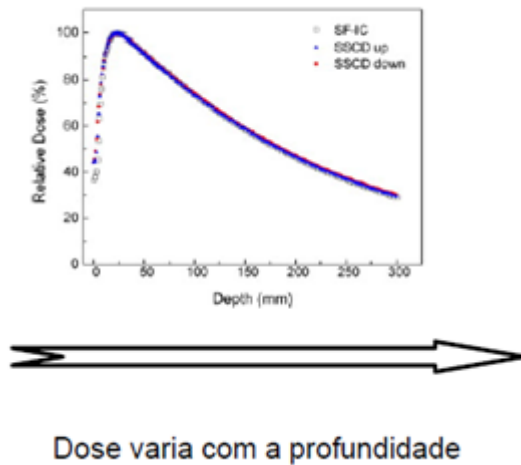


Devemos considerar que no caso da irradiação de fótons a maior parte da radiação (DOSE)* é dada nos primeiros momentos logo ao incidir na pele da pessoa, mas o tumor pode estar localizado mais internamente e para fazer a radiação atingi-lo de uma só vez a dose deveria ser muito grande, o que quase sempre seria fatal para o paciente. Por esse motivo a dose é distribuída em várias seções, estudos indicam que as células sadias se recuperam mais rapidamente da radiação do que as doentes, desta forma o intervalo de tempo faz com que elas suportem outras irradiações.

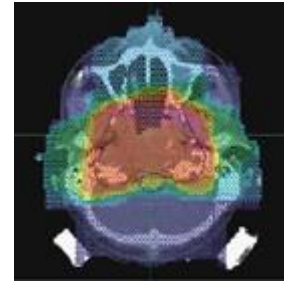
As células tumorais apresentam um metabolismo mais acelerado, consomem mais oxigênio por isso são mais sensíveis à radiação. Uma dose menor nas células tumorais tem maior efeito do que nas células normais.

* A dose é medida em Gray (1 J/kg), ou seja é uma medida de energia por unidade de massa. Uma dose de 10Gy é quase sempre fatal.

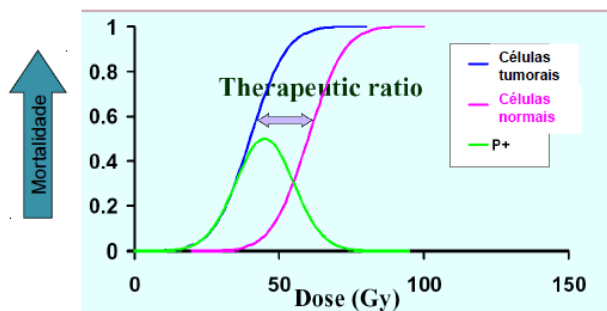
TRATAMENTO COM UM FEIXE DE FÓTONS:



Observe que a maior dose é depositada logo no início do processo e vai diminuindo a medida que se aprofunda na pessoa.



Sobrevivência de células tumorais / normais



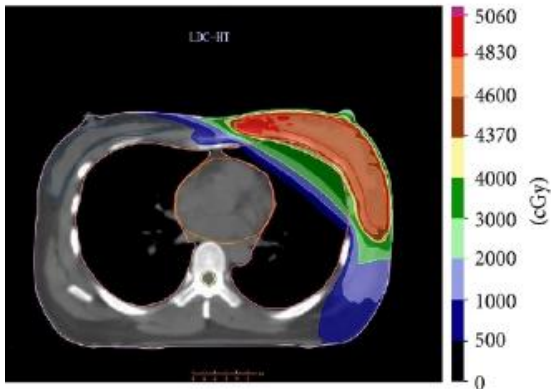
O gráfico ao lado mostra a relação de sobrevivência frente a radiação entre células normais e tumorais, observe que as células tumorais são mais sensíveis.

- O hipofracionamento é uma nova modalidade que permite diminuir o número de dias de aplicação, geralmente a radioterapia externa é administrada num total de 25 sessões sendo uma por dia, mas utilizando a nova modalidade a radioterapia passa a ser aplicada por 5 dias por semana. O hipofracionamento é uma técnica ainda em desenvolvimento e se mostra muito eficiente em “alguns” tipos de cancer.

Disponível em: <<http://www.oncoguia.org.br/conteudo/tratamento-radioterapico-do-cancer-de-mama/1406/265/>> Acesso : dia 20 de set 2015.

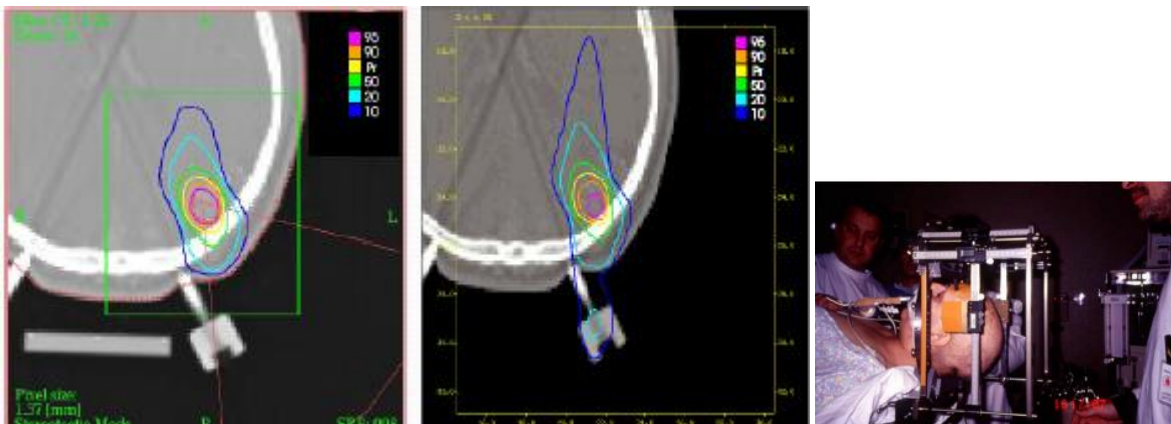
Hipofracionamento

50 Gy -> 25 sessões (padrão)
12 sessões (hipo)



© Mayo Foundation for Medical Education and Research. All rights reserved.

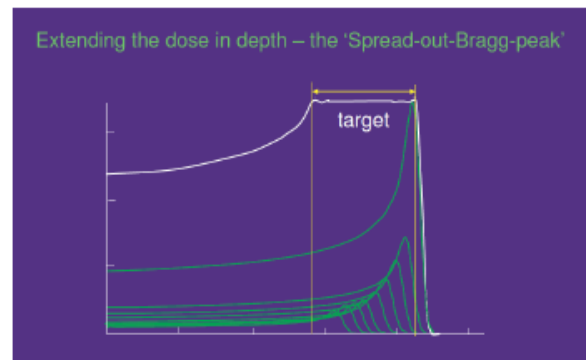
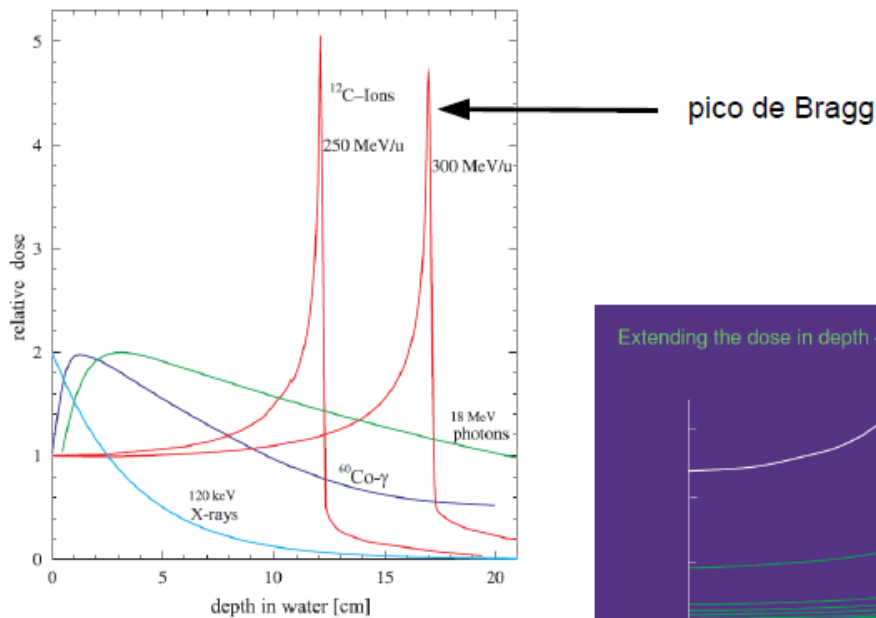
RADIOCIRURGIA – feixes finos com fótons de alta energia.



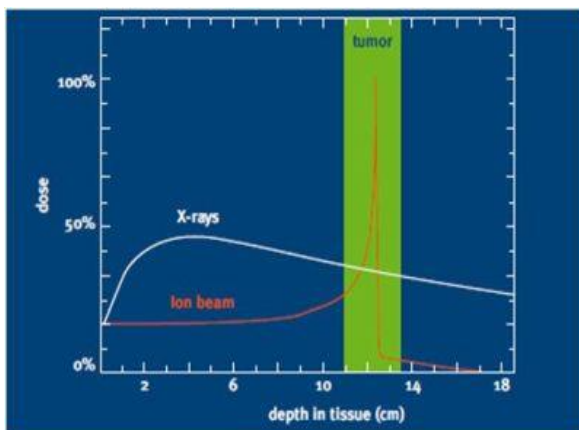
A radiocirurgia é realizada com alta energia depositada de uma só vez, por isso podemos observar que a cabeça do paciente é aparafusada na mesa cirurgica para ficar totalmente imóvel durante o procedimento.

HADRONTERAPIA

O comportamento dos prótons ao interagir com a matéria já era conhecido desde os anos de 1930/1940.

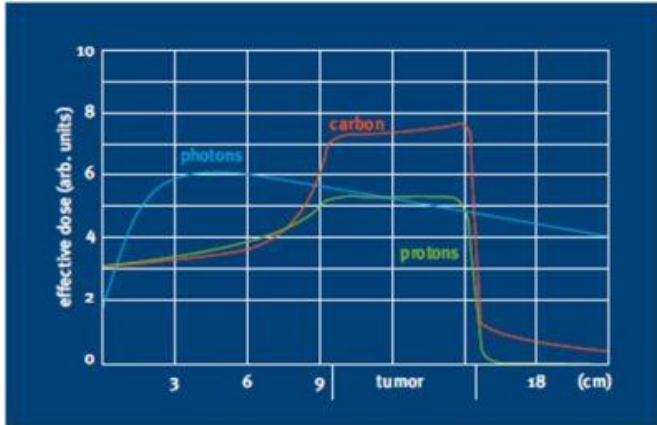


O primeiro gráfico mostra o comportamento de um feixe de prótons interagindo com água em comparação com fótons, raios x e raios gama. Observe que o feixe de prótons ou de íons praticamente não perde energia ao atravessar a água e deposita quase toda energia num ponto determinado. O que torna essa técnica muito mais eficiente do que as técnicas que utilizam fótons. O segundo gráfico mostra a aplicação em radioterapia, observe que o pico máximo é alongado, pois o tumor não é um ponto e sim uma massa, a dose deve ser depositada em todo o seu volume.



Distribuição da dose para raios X e feixe de íons em tecidos biológicos.

Observe que a dose máxima alcançada pela radiação por fótons atinge seu máximo antes de atingir o tumor prejudicando tecidos saudáveis, ao passo que o feixe de íons atua especificamente dentro do tumor, liberando aí toda a sua energia deletéria.



Doses biologicamente efetivas para fótons, prótons e íons carbono.

Cortesia HIT

Observe que a dose biologicamente efetiva tem distribuição diferente para diferentes tipos de terapia. Note que para a terapia com fótons a dose máxima ocorre antes de atingir o tumor e decresce exponencialmente com

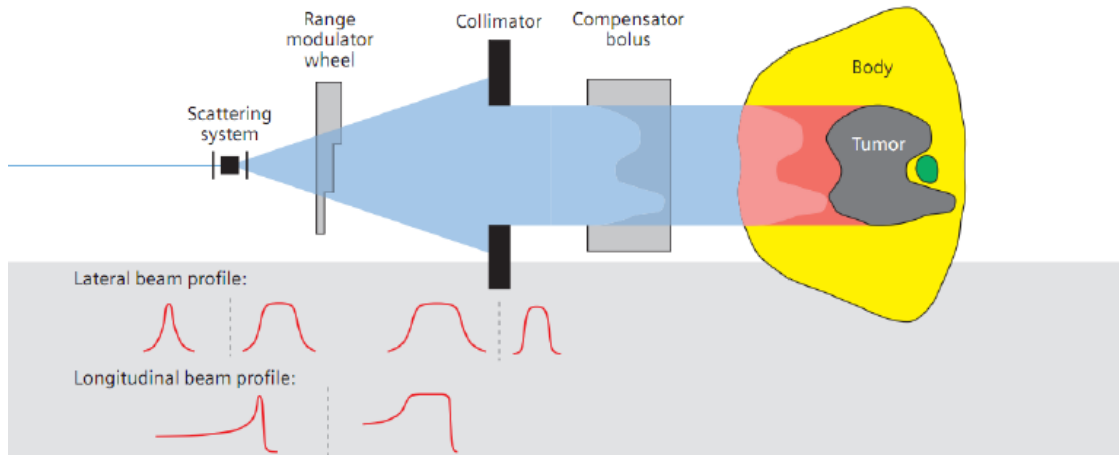
o aumento da profundidade. A próton terapia e a terapia com uso de íons carbono, a dose é aumentada em toda a extensão do tumor e cai rapidamente após alcançar seus limites com efeito deletério máximo dentro do tecido tumoral, os íons carbono são muito mais efetivos biologicamente.

Nos aceleradores, prótons ou íons de carbono são acelerados em feixes em até $\frac{3}{4}$ da velocidade da luz, cerca de 225.000 km/s, podendo penetrar até 30 cm no interior do corpo humano sem causar danos ao tecido biológico atravessado. Quase toda energia das partículas é passada no exato momento e no lugar em que as mesmas cessam o movimento, esse ponto de parada pode ser controlado com precisão e direcionado para um tumor que receberá uma dose de energia concentrada maior do que atualmente é fornecida pela radioterapia convencional.

O hospital da Universidade de Heidelberg tem o centro mais avançado de emprego desta tecnologia (2009), que por ser cara esta disponível em apenas 40 centros médicos ou hospitais (nenhum no Brasil).

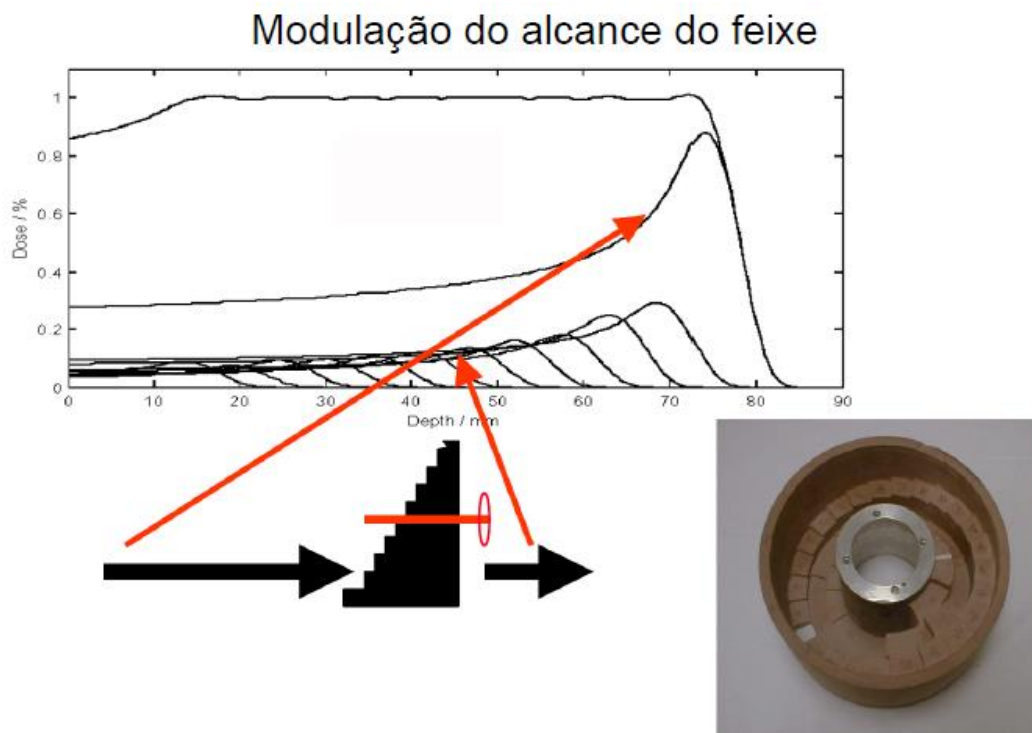
PICO DE BRAGG é a denominação dada para esse efeito de concentração de energia das partículas no ponto de parada.

Sistemas passivos de formatação do feixe de prótons



Sistema de espalhamento → roda de modulação do feixe → colimador → compensador.

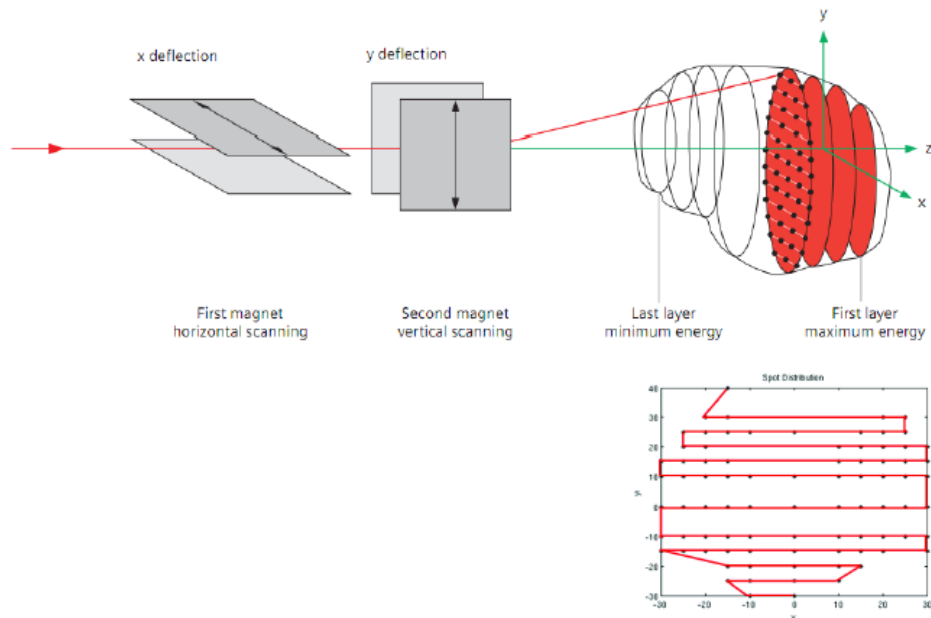
Perfil do feixe lateral e perfil de feixe longitudinal.



Para ajustar o pico de Bragg, o feixe passa pela roda de modulação que apresenta degraus, o feixe que atravessa o degrau mais grosso perde energia enquanto os direcionados aos degraus mais finos podem ir mais longe no corpo.

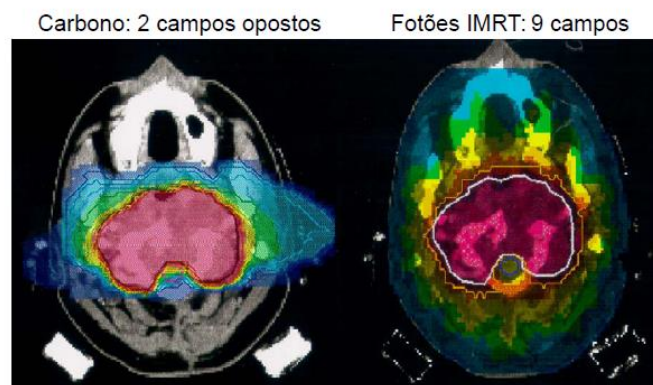
Esse tipo de equipamento é utilizado nos cíclotrons, os aceleradores mais modernos não utilizam esse mecanismo, os síncrotrons podem variar a energia não necessitando das rodas de modulação.

Sistemas ativos de formatação do feixe



Defletindo os feixes o síncrotron vai “pintando” o tumor de forma semelhante a um tubo de TV antigo defletindo os fótons para os pixels, no caso do síncrotron direcionando e demarcando a célula tumoral reduzindo muito a irradiação de órgãos periféricos. No caso da TV o feixe “pintaria os pixels na tela, já no caso dos feixes do síncrotron o tumor é “fatiado” e o feixe inicia a pintura a partir da fatia mais profunda subindo até a fatia externa do tumor.

Diferenças partículas / fótons



U. Amaldi & G. Kraft, Rep. Prog. Phys. 68 (2005) 1861–1882

A terapia com feixes de carbono permite poupar os tecidos normais

A figura acima mostra uma comparação entre um tratamento utilizando fótons e outro com íons, é fácil notar que a zona irradiada no caso dos íons é bem menor reduzindo a radiação de periferia do tumor.

A irradiação de prótons, embora seja muito mais poderosa que a propiciada pela radioterapia tradicional com fótons, é cerca de três vezes menos energética do que a radiação de íons de carbono, considerada a mais promissora para casos mais complicados.

Graças ao Pico de Bragg, uma propriedade física das partículas subatômicas eletricamente carregadas, a hadronterapia pode ser letal para os tumores e ao mesmo tempo quase inócua aos tecidos saudáveis. Os íons de carbono são mais pesados e tem menor dispersão lateral do que os prótons isso os faz um poderoso tratamento contra tumores resistentes à radiação. De forma abrangente a hadronterapia (HT) é uma terapia de radiação usando partículas altamente interativas, como prótons, nêutrons, pions, íons (alfa, C, Ne). Como vimos acima, a força da HT está nas propriedades físicas e radiobiológicas destas partículas. Elas podem penetrar nos tecidos com pequena difusão e depositam energia máxima pouco antes de parar, permitindo precisão da região a ser irradiada. A HT permite o acesso a uma distância mais controlada do que a radioterapia convencional, o prejuízo aos tecidos saudáveis é bem menor do que com os raios X.

A hadronterapia não é uma técnica nova, já vem sendo utilizada nos últimos 50 anos, porém seu crescimento foi muito pequeno durante todo esse período, pois é uma tecnologia muito cara, cerca de 10 vezes maior do que a terapia convencional com fótons.

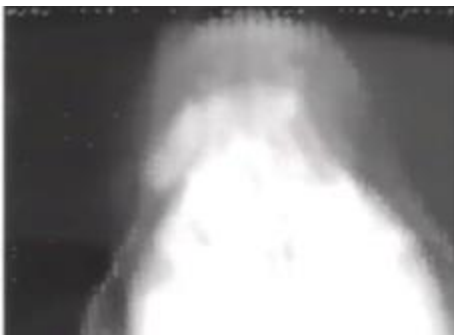
“Podemos tratar poucas pessoas com uma técnica ótima ou tratar muitas pessoas com uma terapia não tão excelente, mas que produz resultados significativos. Obviamente faz-se a opção pelo segundo tipo.”

Desta forma muitos tratamentos utilizando prótons e principalmente íons são feitos em centros de física e não em hospitais, imagine um paciente já debilitado pela doença ao entrar num centro de pesquisas físicas poderia se sentir como um rato de laboratório, uma cobaia humana o que certamente não é bom para o tratamento.

Já contamos com cerca de cem anos de pesquisas e de aprendizagem sobre a interação da radiação com a matéria, mas ainda não sabemos tudo e nem temos a precisão para ditar um tratamento geral com a utilização da radiação, cada ser humano é único e a radiação produz efeitos impares.

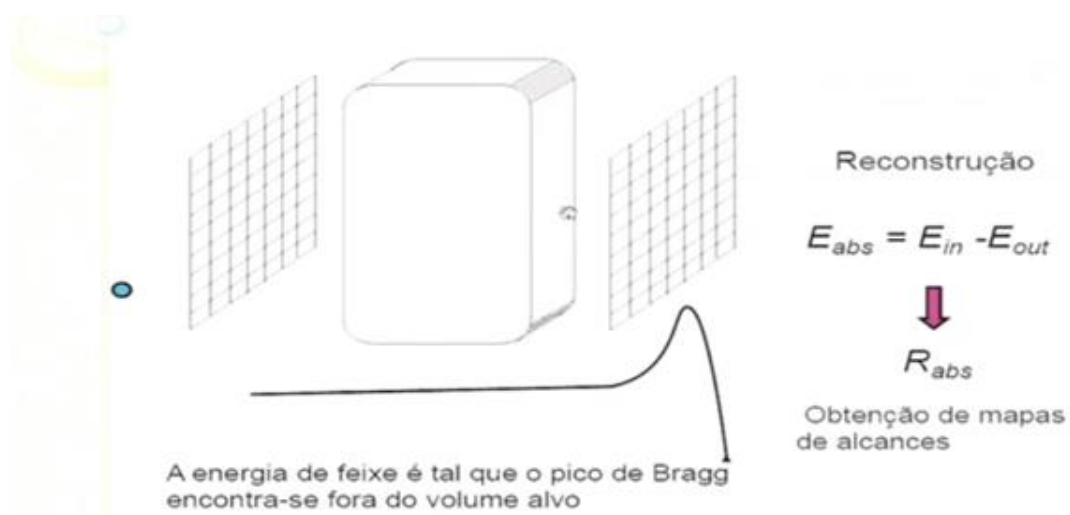
Temos muita dificuldade em determinar a densidade dos tecidos atravessados causando incerteza no alcance dos prótons, devemos aprimorar as técnicas de obtenção de

imagens. Existe uma grande dificuldade na determinação da densidade dos tecidos atravessados gerando uma incerteza no alcance dos prótons.

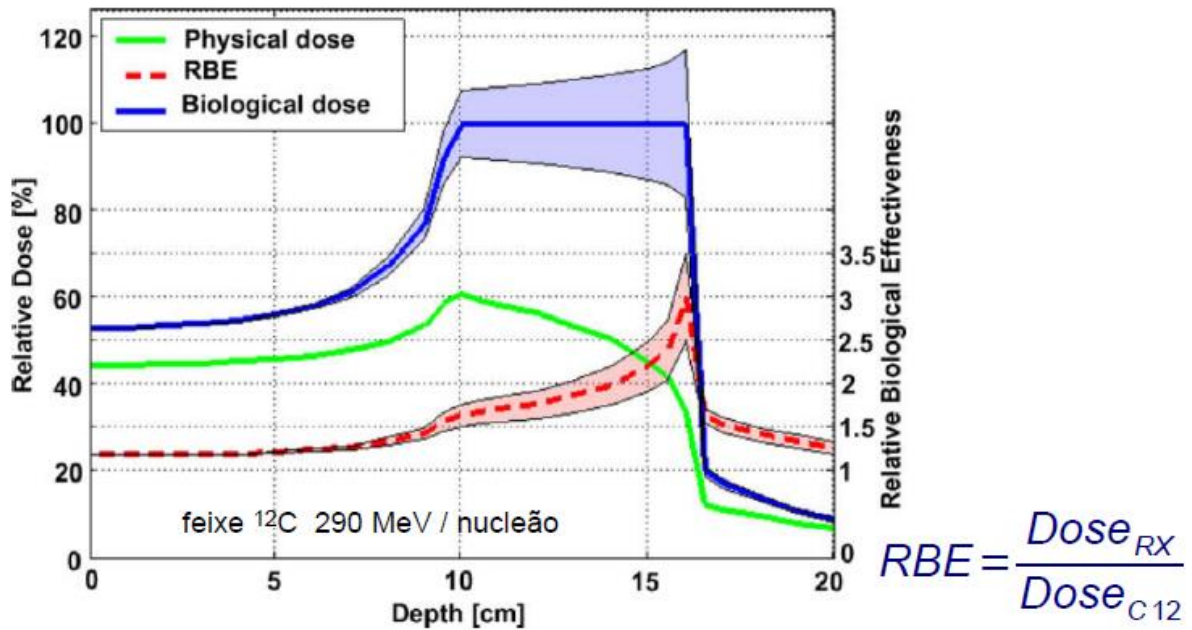


A radiografia convencional fornece informação sobre a densidade eletrônica, mas não sobre a distribuição nuclear.

Radiografia com prótons.



Eficácia biológica relativa

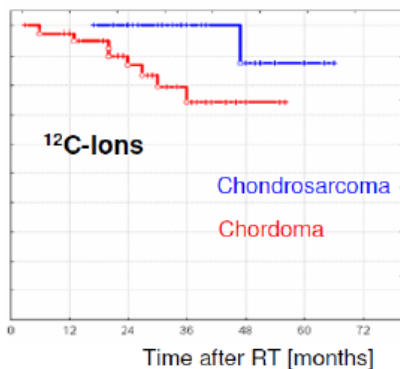


Interação físico biológica.

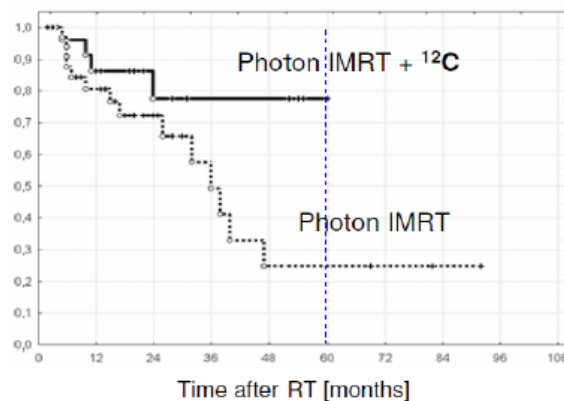
A dose física é dada pela energia depositada em função da profundidade, a dose biológica ajuda na **resposta biológica efetiva**, isto significa que a ação biológica ajuda na resposta das células ampliando o efeito da radiação física.

Melhor controlo local do tumor

Chordoma and Chondrosarcoma



Adenoid-cystic carcinoma

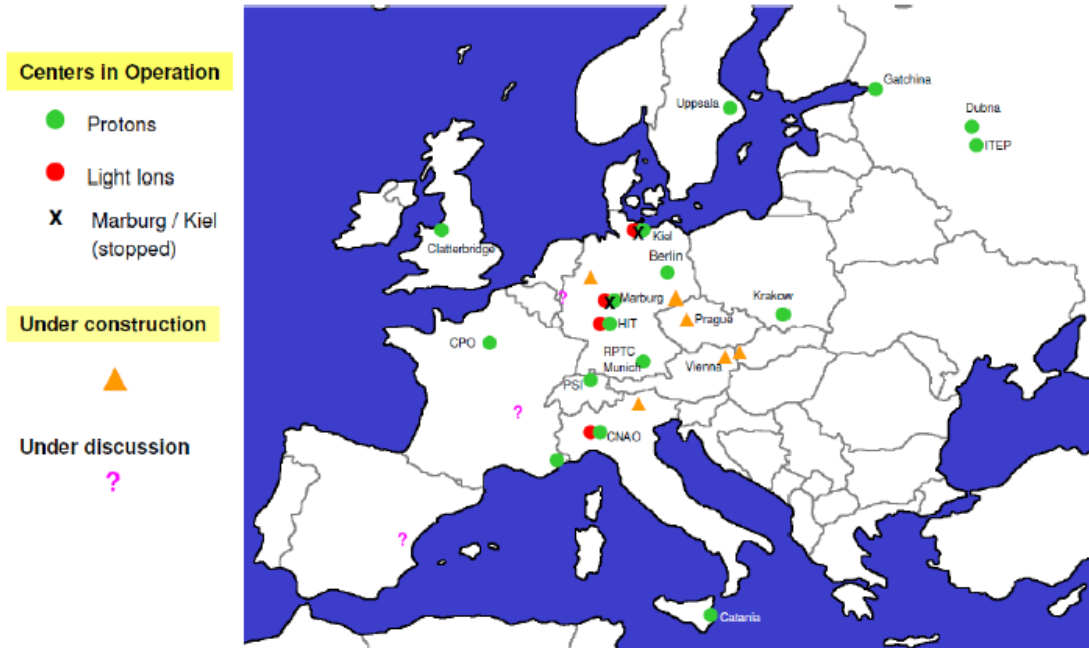


Apenas alguns países possuem o recurso da Hadronterapia, na América do Sul existe apenas um projeto na Argentina (BNCT BoronNeutron Capture Therapy).

Centros tratamento com feixes prótons



39 centros de terapia com prótons/iões em operação no mundo

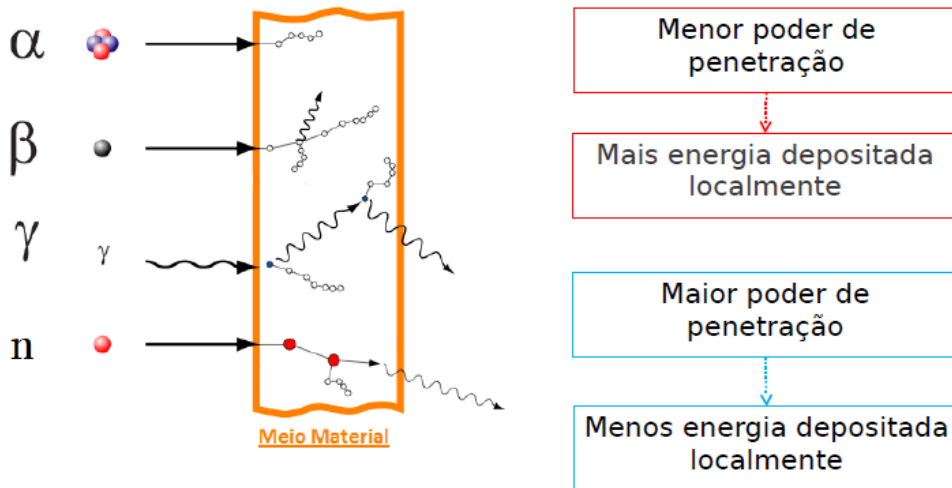


Heidelberg Ion Beam Therapy Centre (HIT)



REVENDO CONCEITOS.

Tipos de Radiação

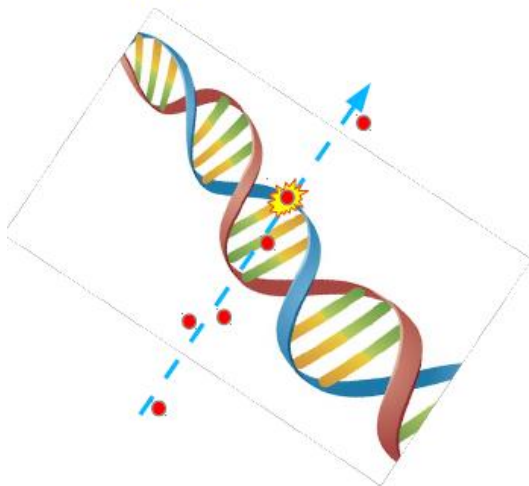


Interação com as células

Efeito direto:

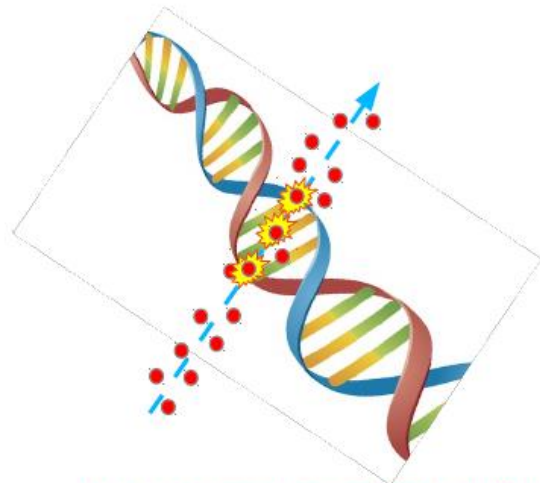
Alvo preferencial: DNA da célula

Radiação pouco ionizante



Lesões isoladas: reparação fácil

Radiação altamente ionizante

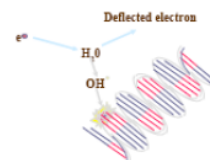
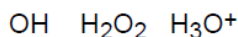


Lesões agrupadas: reparação difícil

Interação com as células

Efeito indireto

A partir das moléculas de água existentes na célula formam-se íons ou radicais livres



que podem reagir com outras moléculas da célula (carboidratos, proteínas) alterando o metabolismo celular.

REFERÊNCIAS

ESCOLA DE FÍSICA CERN:

<https://indico.cern.ch/event/347864/>

<http://www.sbfisica.org.br/v1/escolacern/>

- [1] Y. Chevallard, *La Transposicion Didáctica: Del Saber Sábido al Saber Ensinado* (Aique Grupo Editor, Buenos Aires, 1991).
- [2] HARRY, J. O. **Contribuição Bruneriana para o Ensino de Ciências.**
- [3] Gordon Isaacs, 1957, fu il primo paziente trattato con un acceleratore di particelle per curare il cancro che lo avrebbe destinato alla cecità totale. Disponível em: <<http://www.shan-newspaper.com/web/scienze/982-lacceleratore-di-particelle-per-sconfiggere-il-cancro.html>> Acesso 10 de set 2015.
- [3] Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (Ministério da Educação, Brasília, 1999).
- [4] Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - OCNEM (BRASIL, 2006);
- [5] Teacher programm <<https://indico.cern.ch/event/347864/>>
- [6] PERALTA, L. <https://indico.cern.ch/event/347864/>
- [7] F. Ostermann e M.A. Moreira: **Investigações em Ensino de Ciências** p.5-23 (2000).

[8] Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza Matemática e suas Tecnologias* (Ministério da Educação, Brasília, 1999).

[9] Brasil, *PCN+ Ensino Médio {Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais}*. *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (Ministério da Educação, Brasília, 2002), p.32.

[10] HARRY, J.O. **A SINERGIA ENTRE A QUARTA COMUNIDADE E O CERN ('ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE') PARA A MELHORIA DO ENSINO DE FÍSICA NO NÍVEL MÉDIO**: Dissertação mestrado PPGEICM. Maceió, 2016.

[11] M. Pietrocola, *Inovação Curricular em Física: Transposição Didática de Teorias Modernas e a Sobrevivência dos Saberes* (Projeto Temático FAPESP, São Paulo, 2008).



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE EDUCAÇÃO - CEDU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
– PPGE CIM

JOSÉ OSVALDO HARRY

UTILIZANDO O LHC PARA AUXILIAR O ENSINO DE FÍSICA NO NÍVEL MÉDIO.

Maceió – AL

2016

INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido como parte do produto final do Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas. Sua meta principal é apresentar um módulo de ensino sobre o estudo dos fenômenos elétricos (fundamentalmente a eletrostática), componente do currículo tradicional, que costuma apresentar dificuldades, fundamentalmente no que diz respeito às cargas elétricas e campo elétrico, às unidades utilizadas, à equação de Coulomb com sua constante que não é tão constante assim visto que depende do meio em estudo. Todos esses conceitos abstratos são apresentados habitualmente através de exemplos pouco motivadores.

Defende-se a inserção dos conceitos de física moderna no Ensino Médio, isto pode ser justificado entre outras coisas, pelo notável desenvolvimento tecnológico com que convivemos. Desta forma, apresentar aos alunos os conceitos de Eletrostática através do LHC (Large Hadron Collider), pode trazer à baila conceitos descritos somente pela física moderna. Sendo o LHC, atualmente, o maior instrumento científico, e que o mesmo utiliza, principalmente dados fornecidos pelos conceitos desenvolvidos pela física de ponta, devido às dimensões de suas instalações e do grande interesse demonstrado pela mídia, podemos utilizá-lo para despertar um maior interesse por parte dos alunos e, portanto uma aprendizagem mais significativa dos conceitos físicos envolvidos.

Um pouco da história e dos números do LHC

O túnel que abriga o LHC tem exatamente 26.659 km e antes abrigava o LEP, (Grande Colisor de Elétrons e Pósitrons) um acelerador que colidia elétrons com suas antipartículas, os pósitrons, que iniciou suas atividades em 1988 sendo desmontado a partir de 2002, para dar início à construção do LHC. A energia produzida no LEP era da ordem de 200 bilhões de elétrons-volt, 70 vezes menor do que a do LHC.

Os números do LHC são imensos, mais U\$ 7 bilhões foram gastos em sua construção e um grande montante é gasto para mantê-lo. No LHC a cada segundo um pacote com cerca de três trilhões de prótons, viajando com velocidade muito próxima da velocidade da luz no vácuo atravessa outro pacote com as mesmas características. Choques frontais ocorrem à taxa de 40 milhões por segundo, e a cada colisão, é produzida centenas de partículas de massas variadas.

Quando em energia máxima, cada próton contorna o anel de 27 km 11 mil vezes a cada segundo. Nesse momento cada próton adquire aproximadamente 7 TeV, nas colisões, a energia total chega a 14 TeV. Devemos observar que apesar da unidade elétron-volt ser muito pequena se comparada com as unidades utilizadas para mensurar energias no nosso dia-a-dia, faz-se necessário lembrar que as dimensões das entidades portadoras (no caso, próton) são trilhões de vezes menores que um grão de areia. Somadas as energias dos prótons envolvidos nas colisões seriam equivalentes, por exemplo, à de um veículo de 1,5 tonelada viajando a 25 mil km/h.

Até então o maior acelerador de prótons existente era o Tévatron, situado no Fermilab (Estados Unidos), a energia gerada pelo LHC é cerca de 10 vezes superior. A título de curiosidade, o LHC é milhões de vezes mais energético do que o acelerador da Universidade da Califórnia EUA, no qual o físico brasileiro Cesar Lattes (1924-2005) e seu colega norte-americano Eugene Gardner (1913-1950) há mais de 60 anos, detectaram os primeiros mésons pi (partículas que mantêm prótons e nêutrons ‘colados’ no núcleo).

Outro fato espantoso, o LHC foi projetado para trabalhar com 100 vezes mais prótons circulando o anel em relação ao Tévatron, assim em seu interior temos um vácuo no qual há menos matéria do que no espaço a mil km de altitude em relação ao solo terrestre, por comparação a Estação Orbital Internacional está a 380 km de altura. Somente 3 milhões de moléculas por cm^3 circulam pelo anel do LHC, algo incrível para um vácuo artificial. O LHC utiliza ímãs supercondutores que forçam o feixe de prótons a fazer curvas e permanecer sempre na trajetória quase circular do anel. Estes equipamentos trabalham a 271 graus Celsius negativos, valor que é inferior à temperatura do espaço intergaláctico.

Sobre o feixe de prótons é aplicado um campo magnético 100 000 vezes superior ao da Terra. 1.640 ímãs supercondutores de 14 m de comprimento estão colocados ao longo do túnel. São utilizados 12 milhões de litros de nitrogênio líquido para iniciar o processo de refrigeração e, em seguida, 700 000 litros de hélio líquido, para atingir a temperatura desejada próximo dos 2 kelvin. É interessante citar que os ímãs do LHC foram produzidos com fios de liga de cobre, titânio e nióbio (este metal foi comprado do Brasil, que detém praticamente todas as reservas mundiais), essas ligas quando resfriadas praticamente não oferecem resistência à passagem da corrente consequentemente não dissipam pouquíssimo calor.

No momento da colisão de um próton com outro, a energia no LHC será suficiente para criar centenas de outras partículas, incluindo outros prótons.

Contextualizando o problema.

Os dados citados acima permanecem longe das salas de aula, a Física no Ensino Médio encontra-se limitada, na maioria das vezes, ao estudo dos conceitos clássicos, sem abordar os avanços atuais. Observamos que o currículo trata quase somente o período anterior ao século XXI, sendo que o grande peso recai em Galileu, Newton e Boyle por exemplo. Aparecem timidamente as contribuições surgidas no século XX relacionadas basicamente aos modelos de Thomson e Bohr. Esses feitos estão muito longe no tempo, o que os tornam negativos do ponto de vista dos adolescentes. Somamos a isso o fato de que quase sempre a apresentação desse conteúdo vem acompanhada de problemas e exemplos descontextualizados, nos perdemos no tempo enquanto nossos alunos não compreendem as notícias relacionadas à ciência contemporânea ficando atônitos frente às imagens televisivas, posto que quando muito são apenas mencionadas em sala de aula.

O ensino usual da ciência é o principal responsável pelo grande desinteresse dos discentes face aos estudos científicos. O ensino habitual da física centrado em aspectos conceituais e propedêuticos ao mesmo tempo em que ignora outros aspectos que poderiam aumentar a motivação nos alunos, e seu interesse pelas ciências de maneira mais experimental, mais contextualizada, que ajude a resolver problemas atuais e a responder questões fundamentais. É preciso mudar a imagem negativa de que a ciência é pouco interessante, difícil, entediante, destinada apenas aos gênios.

A utilização do LHC para exemplificar os conceitos relacionados com grandezas elétricas, já foi abordada em outros trabalhos¹, portanto, estou referenciando-as no desenvolvimento deste produto.

Como poderíamos abordar o problema da eletrostática utilizando o LHC?

Os conceitos de carga elétrica, partícula (próton ou elétron) e o conceito de átomo ou íon são conceitos abstratos e trazem, portanto grandes dificuldades para alunos em estudos cognitivos pouco formais. Para tanto, o LHC torna-se um exemplo perfeito para estudar os conceitos relacionados com grandezas elétricas, pois a carga e o campo elétrico são fundamentais e as partículas carregadas as protagonistas do experimento. Normalmente um

novo descobrimento científico é apresentado como algo excepcional encontrando pouca afinidade no conteúdo curricular. Podemos contornar esse problema fazendo com que a abordagem científica se torne estratégia didática de forma contextualizada.

Por que o LHC trabalha com cargas carregadas?

Especificamente o LHC utiliza prótons em seus experimentos, seu antecessor o LEP² utilizava elétrons e pósitrons. Os prótons apresentam além da carga elétrica a carga nuclear forte, que permite com que eles atraiam-se mutuamente, como os nêutrons possuem também essa carga podem interagir no núcleo atômico junto aos prótons e entre si. A carga nuclear forte supera em muito a carga elétrica, por isso os prótons podem ficar unidos no núcleo atômico.

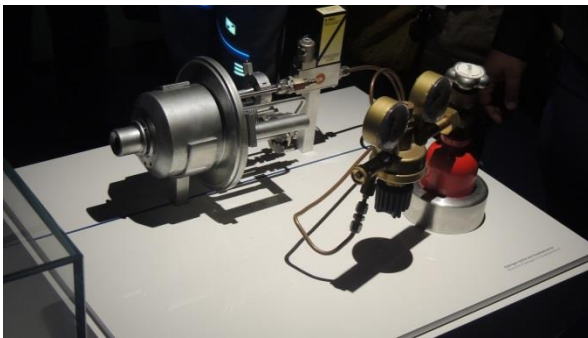
O LHC utiliza partículas carregadas em seus experimentos porque podem acelerá-las facilmente utilizando o fenômeno da repulsão e atração elétrica. Devemos ressaltar que no CERN existem vários dispositivos aceleradores em conjunto que vão incrementando a velocidade dos prótons até chegarem ao LHC onde adquirem a maior velocidade possível e depois colidem.

Vale a pena comentar com os alunos que as partículas quando colidem entre si, fornecem-nos informações sobre a estrutura interna da matéria, e que os cientistas se comportam como crianças quando arremessam objetos ao chão para ver o que há dentro deles.

² LEP - (Grande Colisor de Elétrons e Pósitrons) utilizava elétrons e pósitrons com partículas colisoras, estava instalado no túnel onde hoje se encontra o LHC, foi desmontado em 2002.

Como geramos os prótons utilizados nos experimentos do LHC?

Tudo começa um pequeno cilindro, como um extintor de incêndio de automóveis, contendo hidrogênio. O gás hidrogênio é formado pelos átomos mais simples que existem: um elétron girando ao redor de um próton. Necessitamos separar o elétron do próton, para isso utilizamos um equipamento com duas regiões carregadas com cargas de sinais opostos, desta forma o elétron será atraído para um lado (positivo) e próton para o outro lado (negativo). Esse dispositivo é chamado Duoplasmatron dentro do qual o hidrogênio é submetido a uma ddp de 100 kV, desta maneira os elétrons são separados dos prótons, sendo que os últimos são expelidos de uma das extremidades do aparelho seguindo como partículas livres rumo ao LHC. Observe que podemos introduzir o conceito de voltagem ao falar do processo de separação das partículas. Podemos fazer uma comparação com a ddp doméstica de 127 ou 220V, sobre a ddp das baterias das pilhas e associar que quanto maior a voltagem (alta tensão) maior a energia disponível. Já temos um conceito prévio e ainda não falamos de potencial elétrico.

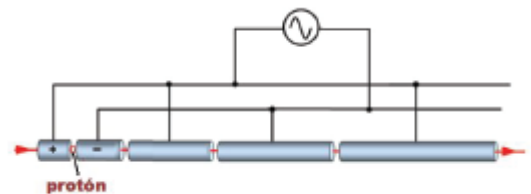


Na foto podemos observar em primeiro plano o cilindro que contém hidrogênio e o *Duoplasmatron* onde o elétron e o próton do átomo H são separados.

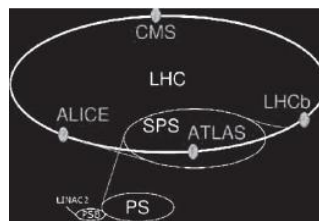
Na foto podemos observar em primeiro plano o cilindro que contém hidrogênio e o

Como os prótons são acelerados?

Os prótons são ejetados do Duoplasmatron já com certa velocidade, porém a quantidade de informações será proporcional à velocidade, quanto maior a velocidade maior a quantidade de informação nas futuras colisões³. Para aceleramos utilizamos a importante propriedade do próton: sua carga elétrica. Na sua versão clássica, o que temos que fazer é acelerá-los e atraí-los para uma região carregada negativamente e que, uma vez por ai passando, essa zona se torne positiva, “empurrando-os” na direção correta, o que deve ser repetido inúmeras vezes. Como outros prótons seguem, temos que mudar as zonas positivas em negativas alternadamente falando de modo simples, é nisto que consiste um acelerador de partículas.



A figura ao lado representa o mecanismo de aceleração dos prótons, observe que à medida que a velocidade aumenta o comprimento dos tubos que vão alternando sua carga elétrica para atrair ou repelir os prótons também aumentam de tamanho, pois como os mesmos são acelerados, percorrem distancias cada vez maiores dentro de um mesmo intervalo de tempo. Existem dois tipos de aceleradores: lineares e circulares. Nos primeiros as partículas que pretendemos acelerar passam somente uma vez pelo sistema adquirindo um incremento de velocidade (ou energia) em uma única passagem. Nos aceleradores circulares, as partículas em trajetória circular passam seguidamente pela zona onde está o sistema de aceleração, aumentando de forma escalonada a sua velocidade. Ambos apresentam vantagens e inconveniências, no CERN o processo tem início em um acelerador linear o LINAC2, para depois conduzir os prótons a sucessivos aceleradores circulares cada vez maiores; PSBoost, OS, SPS e finalmente o LHC.



Faz parte deste projeto a história e definição dos tipos de aceleradores de partículas, mas podemos, nesse momento citar como os aparelhos de TV tradicionais (com tubos de raios catódicos) aceleram elétrons desde a parte traseira do aparelho para que eles atravessem o interior do tubo de TV a uma grande velocidade e colidam com a tela, a colisão gera pontos de luz que depois são captados pelos nossos olhos e processados em nossos cérebros como imagens.

Para efeito de comparação, os elétrons dentro de uma TV são acelerados sob uma tensão de 20 kV ao passo que a cadeia de aceleradores do CERN proporciona uma voltagem de 7 TeV, ou seja 7 trilhões de Volts. Podemos representar a energia dada a uma partícula multiplicando a voltagem aplicada pela sua carga elétrica, considerando cada próton ou elétron como unidade: $\text{Energia} = 7 \text{ TV} \times 1e \rightarrow \text{Energia} = 7 \text{ Tev (Tera - elétron - Volt)}$.

Isto significa que a energia comunicada a cada próton é 350 milhões de vezes maior que aquela proporcionada pelos tubos de TV, precisaríamos de 350 milhões de tubos de TV um atrás do outro para conseguir essa voltagem. Considerando um tubo com 12 cm de

comprimento teríamos $350.10^6 \times 0,12 = 40.10^6 \text{ m} = 40.000 \text{ km}$ o que daria a volta a Terra, assim comparado aos 27 km do LHC não parecem tão absurdos.

Como fazemos para que as partículas apesar de se repelirem, fiquem juntas em um feixe?

Sabemos que os prótons, devido a força eletromagnética se repelem, como o objetivo do experimento é checar os resultados das colisões entre os prótons de maior energia possível, a tecnologia empregada pelo LHC visa conseguir grandes concentrações de prótons nos feixes contrários para conseguir o máximo de colisões. Desta forma os prótons produzidos nos Duoplasmatron, depois de acelerados são agrupados em pacotes (*bunches*) que visam satisfazer duas condições; conter o maior número possível de partículas e a maior duração de estabilidade. Como a força eletrostática faz com que os elétrons se repeliram, o *bunch* se torna instável. A melhor eficácia é obtida com $1,15.10^{11}$ prótons em cada *bunch* sendo a dimensão de cada um deles no feixe é de 7,48 cm de comprimento em secção reta de 1 mm^2 . Quando esses *bunches* se cruzam nos detectores, são comprimidos até uma dimensão de $16 \times 16 \text{ }\mu\text{m}$ (micrometros, 10^{-6}m) para aumentar as probabilidades de colisões. Quando longe da região de colisão, o volume esférico disponível para cada próton é de aproximadamente:

$$\frac{7,48 \times 0,01}{1,15 \times 10^{11}} = 6,5 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{próton}.$$

O raio de cada uma destas esferas é de aproximadamente $8 \times 10^{-5} \text{ cm}$ e portanto a distância média entre os prótons é: $d \sim 2 \times 10^{-6} \text{ m}$, podemos assim estimar a força coulombiana de repulsão entre eles :

$$F = k \frac{q \times q}{d^2} \rightarrow F = 9 \times 10^9 \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-6})^2}$$

$$F \approx 6 \times 10^{-17} \text{ N}$$

Esta é a força com a qual os prótons se repelem dentro de um mesmo pacote. Para partículas com uma massa da ordem de 10^{-27} kg é uma força enorme que tende a separá-los jogando-os contra as paredes do tubo. Para evitar este processo, utilizam-se potentes sistemas magnéticos (quadrupolos magnéticos) que alternadamente vão se contrapondo a esta repulsão no eixo vertical e depois no eixo horizontal.

O processo é anda mais radical nos pontos de colisão onde a secção reta passa a ser $16 \times 16 \text{ }\mu\text{m}$;

$$\frac{7,48 \times (16 \times 10^{-4})^2}{1,15 \times 10^{11}} = 2 \times 10^{-16} \text{ cm}^3 / \text{próton}$$

O raio de cada uma das esferas é $r \sim 5,0 \times 10^6$ cm, e portanto a distância média próton-próton é $\sim 10^{-7}$ m o que resulta em uma força de repulsão de:

$$F = 9 \times 10^9 \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(10^{-7})^2} \rightarrow F \sim 2 \times 10^{-14} \text{ N}$$

Temos uma repulsão de três ordens de grandeza maior que aquela longe das zonas de colisão. Novos sistemas magnéticos (sextupolos, decapolos, etc.) são encarregados de corrigir as deformações sofridas pelos pacotes devido às repulsões elétricas.

Devemos observar que os pacotes também se repelem. Portanto foi otimizado o número de pacotes em cada um dos feixes a 2.808 separados por uma distância de aproximadamente 10 km (27 000 m do LHC/ 2808 pacotes). Como cada pacote (*bunch*) possui $1,15 \times 10^{11}$ prótons sua carga total é de: $1,15 \times 10^{11} \times 1,6 \times 10^{-19} = 18,4 \times 10^{-9} \text{ C}$. Cada pacote repele o que tem por

perto de si com uma força de: $F = 9 \times 10^9 \times (18,4 \times 10^{-9})^2 / (10)^2 \sim 3 \times 10^{-8} \text{ N}$

Devido à pequena massa envolvida, é uma força considerável, contudo, pelo fato de cada pacote ter um outro a sua frente e um outro atrás de si os efeitos da repulsão tendem a cancelar-se.

Entretanto com a configuração dos pacotes não é completamente simétrica, temos uma instabilidade que aumenta com o decorrer do tempo, somados a outros fenômenos repulsivos temos um tempo limite de operação dos feixes de prótons (*luminosity life time*) que não excede 10 horas de funcionamento. Decorrido esse tempo é necessário descartar os pacotes do acelerador preenchendo-o com novos pacotes.

Qual é a corrente elétrica que circula pelo LHC?

Toda carga em movimento gera uma corrente elétrica. Dentro dos tubos do LHC temos centenas de bilhões de prótons (cargas) movendo-se a grande velocidade, o que representa uma corrente elétrica (*circulating current beam*). O número total de prótons em cada feixe é $3,23 \times 10^{14}$. A cada segundo eles dão cerca de 11 000 voltas pelo acelerador, assim a cada segundo temos uma carga de: $Q = 3,23 \times 10^{14} \times 1,6 \times 10^{-19} \times 11\,000 = 0,57 \text{ C/s}$, ou seja, 0,57 A. Em uma linha de transmissão de energia convencional necessitaríamos de: $N = 0,57 / 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,6 \times 10^{18}$ prótons para obter tal corrente (cerca de 10 000 vezes mais).

Conclusão:

Podemos utilizar a maior máquina já construída pela ciência para levar conceitos da física clássica para a sala de aula, ao mesmo tempo, podemos introduzir conceitos de física moderna abordando outros resultados dos experimentos, mesmo que de forma superficial, pois ao facilitarmos a aprendizagem de conteúdos abstratos e pouco atrativos aos estudantes do Ensino Médio, apresentamos, concomitantemente, um dos resultados científicos e tecnológicos mais importantes de todos os tempos. Desta forma introduzimos na aula de forma contextualizada, os grandes sucessos científicos relacionando-os aos conceitos com os quais pretendemos trabalhar.

REFERÊNCIAS

CERNLand. Disponível em <<http://www.lhc-closer.es> > Acesso em 16 de out 2015.

MANZANO C. R. Universidade de Santiago de Compostela- Didáctica de las Ciencias Experimentales **Revista Española de Física**., 2006.