

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PROPOSTA DE ENSINO
PARA A DISCIPLINA DE ESTRUTURA DA MATÉRIA BASEADA NA
TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

Isabel Krey

Tese realizada sob orientação do Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Porto Alegre, Dezembro de 2009.

Para Gilnei, com amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Marco Antonio Moreira, pela orientação, amizade, respeito, disposição em sanar minhas dúvidas e por tudo que aprendi em sua companhia.

A UNIVATES, onde realizei minhas práticas e aos alunos que participaram destas.

Aos professores entrevistados que tão bem me receberam.

Ao meu companheiro Gilnei, pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis.

À minha família, especialmente minha mãe, que sempre me incentivou.

RESUMO

Partindo da premissa de que o currículo de Física no Ensino Médio necessita ser atualizado através da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea e que, para isso, é necessário preparar os professores, foi conduzida uma pesquisa na disciplina Estrutura da Matéria do currículo de um curso de formação de professores em um curso universitário no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A investigação, baseada na teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud e na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, envolveu três estudos em três semestres consecutivos. O primeiro deles, realizado segundo uma metodologia tradicional, baseada em classes expositivas, serviu como sistema de referência. Os outros dois envolveram uma metodologia diferenciada centrada na participação do aluno, enfatizando situações-problema (elaboração de textos, micro-aulas, mapas conceituais, por exemplo). Além desses três estudos foi também feita uma análise da disciplina Estrutura da Matéria em outras instituições de ensino superior do mesmo estado. Os resultados sugerem alta receptividade dos alunos em relação à metodologia diferenciada e fornecem evidências de aprendizagem significativa de tópicos dos conteúdos abordados (Radiação, Física Nuclear, Física de Partículas). Sugerem também que os futuros professores se sentiram motivados para abordar tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, o que não aconteceu com aqueles que tiveram ensino tradicional no primeiro estudo.

ABSTRACT

Assuming that the high school physics curriculum must be updated through the insertion of topics of Modern and Contemporary Physics and that teachers must be prepared for that, a research was carried out in the subject Structure of Matter of the curriculum of a physics teacher formation course offered by a community college in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The research based on the Gérard Vergnaud's conceptual Field theory and on David Ausubel's learning theory involved three studies in three consecutive terms. The first one conducted under a traditional lecture based methodology served as frame of reference. The other two involved a differentiated student centred methodology, emphasizing problem-situations (writing didactical texts, microteaching, and concept mapping, for instance). In addition, to these three studies an analysis of the subject Structure of Matter in the curriculum of the same kind of teacher preparation course in other institutions of higher education in the same state was also carried out. Research findings suggest a high level of receptivity from the students regarding the new methodology and provide evidences of meaningful learning of some topics of the contents (Radiation, Nuclear Physics, and Elementary Particles) studied in the Structure of Matter subject. They also suggest that the prospective teachers felt motivated to introduce Modern and Contemporary Physics topics in their high school classes, what did not happen with those taught with the traditional methodology in the first study.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
CAPÍTULO 1: REFERENCIAIS TEÓRICOS	12
1.1 Referenciais Teóricos em Física	12
1.1.1 Radiação	12
1.1.2 Física Nuclear	14
1.1.3 Partículas Elementares	17
1.2 Referenciais Teóricos em Ensino-Aprendizagem	19
1.2.1 A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud	19
1.2.2 A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel	25
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA	30
2.1 Artigos sobre Física Nuclear	30
2.2 Artigos sobre Radiação	33
2.3 Artigos sobre Partículas Elementares	40
2.4 Artigos sobre Formação de Professores	43
2.5 Artigos sobre a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud	49
2.6 Considerações sobre a Revisão da Literatura	52
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA	55
3.1 Estudo I	58
3.2 Estudo II	61
3.3 Estudo III	93
3.4 Considerações sobre os Estudos.....	106
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	108

4.1 Textos elaborados pelos alunos.....	109
4.2 Mapas conceituais construídos pelos alunos.....	114
4.3 Provas	119
4.4 Situações-problema propostas pelos alunos	129
4.5 Apresentação das micro-aulas	131
4.6 Avaliação da disciplina	135
CAPÍTULO 5: ANÁLISE DA DISCIPLINA DE ESTRUTURA DA MATÉRIA EM CURSOS DE LICENCIATURA	145
Algumas considerações	153
CONCLUSÃO	155
REFERÊNCIAS	159
APÊNDICES	
APÊNDICE I – Texto sobre evolução dos modelos atômicos	169
APÊNDICE II – Lista de material disponibilizado para os alunos sobre Partículas Elementares	174
APÊNDICE III – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	176
ANEXOS	
ANEXO I – Apresentação sobre Radiação.....	178
ANEXO II – Lista dos acidentes radioativos apresentados aos alunos	193
ANEXO III – Exemplos de textos elaborados pelos alunos	196
Texto 1: Categoria superior-Estudo I.....	197
Texto 2: Categoria Superior-Estudo II	205
Texto 3: Categoria Superior-Estudo III	216
Texto 4: Categoria Intermediária-Estudo I	226
Texto 5: Categoria Intermediária-Estudo II	238
Texto 6: Categoria Intermediária-Estudo III	249
Texto 7: Categoria Inferior-Estudo I	259
Texto 8: Categoria Intermediária-Estudo II	262
ANEXO IV – Questões propostas pelos alunos	269

INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos tenho me dedicado à preparação de professores em cursos de licenciatura e de extensão (como os pró-ciências, por exemplo). Quando fui incumbida de ministrar as disciplinas de Mecânica Quântica e de Estrutura da Matéria num curso de licenciatura, me questioneei sobre que tipo de formação um licenciando deveria receber sobre estes temas. A princípio, poderia ter adotado um dos seguintes caminhos: aquele que não distingue a formação de um licenciando da de um bacharelado, e outro que diferencia as duas formações. Optei pela segunda opção. Numa revisão bibliográfica preliminar verifiquei que existem inúmeros trabalhos sobre o ensino de Mecânica Quântica, e quase nenhum sobre os tópicos abordados na disciplina de Estrutura da Matéria. Surgiu então a idéia de investigar como era tratada a disciplina de Estrutura da Matéria em outras universidades do Estado que têm cursos de Licenciatura. Como veremos mais adiante, no capítulo 5, esta disciplina se mantém com este nome apenas nas universidades federais e no Centro Universitário UNIVATES. Nas demais universidades, ela foi desmembrada e incorporada em disciplinas que também contemplam tópicos de Mecânica Quântica.

Sobre os tópicos de Física Moderna que pretendia abordar nas disciplinas mencionadas, verifiquei que muito tem se discutido em eventos e muito tem se pesquisado sobre a importância do ensino da Física Moderna no Ensino Médio, desde a “Conferência sobre o Ensino de Física Moderna”, realizada no *Fermi National Accelerator Laboratory*, Batavia, Illinois, em abril de 1986, evento considerado como marco nesta linha, até nossos Parâmetros Curriculares. Em um artigo sobre revisão da literatura, Ostermann e Moreira (2000a) constataram que *existia uma escassez de trabalhos sobre concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, bem como de pesquisas que relatem propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem* (op. cit., p. 23).

Desnecessário dizer que a inserção de qualquer tópico de Física no Ensino Médio envolve particularmente o trabalho do professor. Então, me interessei em como este pode ser devidamente preparado para tal função. Da mesma forma, me questionei se seria possível apresentar aos futuros professores uma metodologia que pudesse ser utilizada não só no ensino de Física Moderna, mas também em outras áreas da Física. Percebi logo que a resposta a estas e outras questões interligadas depende de pesquisa. Assim como também depende de pesquisa encontrar formas inovadoras de abordagens e metodologias destes temas na formação inicial destes professores para melhor capacitá-los no seu desempenho posterior. Me propus então a investigar estas questões. Para isto, foi realizado um levantamento sobre a disciplina de Estrutura da Matéria (ou equivalente) nos cursos de Licenciatura em Física de universidades do Rio Grande do Sul, em particular a do Curso de Ciências Exatas Licenciatura Plena (com habilitação em Física, Química e Matemática) no Centro Universitário UNIVATES (Lajeado – RS), onde trabalho.

Por ser um curso de licenciatura, escolhi abordar esta disciplina de uma forma diferenciada da que é usualmente utilizada, a partir de situações de aprendizagem baseadas nas teorias dos Campos Conceituais e da Aprendizagem Significativa, para que os futuros professores fossem preparados para trabalhar com conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio através de uma aprendizagem significativa, com base nos referenciais teóricos adotados. Além disso, pretendi que os licenciandos fossem influenciados a trabalhar futuramente utilizando esta metodologia.

Resumindo, a questão-foco da presente pesquisa é a seguinte: *Como conduzir o ensino na(s) disciplinas(s) de Estrutura de Matéria (ou equivalente) no curso de Licenciatura em Física a fim de que futuros professores de Física aprendam, de maneira significativa, conteúdos de Física Moderna e Contemporânea e sejam capazes de fazer a transposição didática necessária para abordá-los no Ensino Médio?*

O principal referencial teórico escolhido para abordar as questões citadas foi a *Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud* (Vergnaud, 1990), ao qual foi agregado o da *Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel* (Ausubel et al., 1980). Estas teorias estão detalhadamente discutidas no capítulo 1.

Na área do ensino da Física, pesquisas que utilizaram o referencial de Vergnaud (que serão descritas mais detalhadamente no capítulo 2) têm se concentrado no processo de aprendizagem através da detecção e análise de *invariantes operatórios* (que é um dos aspectos da teoria, que será tratado mais adiante na seção 1.2.1), cujos objetivos gerais têm sido os seguintes:

- considerar os níveis de conceitualização iniciais dos sujeitos;
- investigar os invariantes operatórios utilizados em situações e nos aspectos que possam dificultar esta conceitualização;
- analisar o papel mediador da linguagem e outras expressões simbólicas nos esquemas;
- trabalhar conteúdos através de metodologias baseadas em situações.

Com base nestas pesquisas já realizadas (Caballero e Moreira, 2003 e 2006), pode-se supor que a teoria dos campos conceituais é um referencial adequado para analisar as dificuldades dos alunos em resolução de problemas em ciências e, portanto, da conceitualização em ciências; e que *a função principal do docente é propor situações que explicitem invariantes operatórios e que promovam aprendizagem significativa.*

No desenvolvimento de nosso trabalho de investigação, partimos da premissa de que há uma estreita relação entre a formação inicial e a prática docente, e nos baseamos nos seguintes pontos:

- os conceitos aprendidos significativamente (Ausubel et al., 1980) pelo futuro professor em sua formação inicial exercem influência na escolha dos conteúdos que irá trabalhar em sua prática profissional;
- as experiências didáticas vivenciadas através de situações potencialmente significativas (Vergnaud, 1990) na formação inicial influenciam na metodologia utilizada na prática docente do professor.

Resumindo, a presente pesquisa se concentrou na elaboração e aplicação de uma metodologia baseada no referencial dos Campos Conceituais e da Aprendizagem Significativa e análise de indicativos de aprendizagem significativa e de sua influência na futura prática docente.

A estrutura de apresentação desta tese está dividida em cinco capítulos mais a presente introdução que aborda o contexto em que a pesquisa foi realizada, as questões abordadas e uma conclusão. O primeiro capítulo trata dos referenciais teóricos adotados, incluindo, além dos já mencionados, o da própria Física envolvida.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica de artigos que tratam dos seguintes temas: Ensino de Radiação, de Física de Partículas e de Física Nuclear; Formação de Professores; Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud.

No terceiro capítulo apresentamos a metodologia utilizada na pesquisa, no quarto descrevemos como foi feito o estudo da disciplina de Estrutura da Matéria nos cursos de Licenciatura em Física em diversas Universidades do RS e como foram desenvolvidos os três estudos que consistem a base dos dados analisados.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação dos registros de pesquisa, de sua categorização e dos resultados obtidos.

No quinto capítulo apresentamos uma análise de como a disciplina de Estrutura da Matéria é trabalhada em outras universidades do Rio Grande do Sul.

Na conclusão são apresentadas as considerações finais, uma síntese do trabalho e os aspectos mais relevantes da pesquisa são destacados, bem como as principais contribuições para o Ensino do tema abordado, seguida de sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAIS TEÓRICOS

Neste capítulo serão apresentados os referenciais teóricos que norteiam este trabalho. Estes referenciais foram divididos em duas seções: 1) *Referenciais Teóricos em Física*, que trata dos principais conceitos Físicos abordados na pesquisa e 2) *Referenciais Teóricos em Ensino*, que aborda os referenciais de ensino-aprendizagem nos quais esta pesquisa se baseou.

1.1 Referenciais teóricos em Física

Os conceitos trabalhados na disciplina de Estrutura da Matéria que foram objeto desta pesquisa são os seguintes: *Radiação*, *Física Nuclear* e *Partículas Elementares*. Neste capítulo, enfocaremos os principais aspectos destes tópicos, e que são relevantes para a pesquisa. através de seus conceitos organizadores (Vergnaud, 2007, p. 13). Para isso, faremos breve exposição das principais idéias trabalhadas em nossa investigação através de *conceitos-chave*, que são os principais pontos que queremos destacar em nossa abordagem de sala de aula e correspondem aos objetivos que queremos que os alunos alcancem.

1.1.1 Radiação

A descoberta da radioatividade por Becquerel, em 1896, se deu antes de serem conhecidos todos os componentes do átomo, pois somente em 1903 J. J. Thomson incorporou

o elétron ao modelo atômico de Dalton, que considerava o átomo indivisível. Em 1911, a descrição da estrutura interna do átomo foi modificada de acordo com resultados experimentais encontrados por Rutherford. Historicamente, o desenvolvimento de novos modelos atômicos foi de suma importância na compreensão de mecanismos envolvidos na radioatividade. Os raios β (beta), por exemplo, só tiveram sua origem e distribuição de energia explicados 30 anos após seu descobrimento. Com base nisso, pode-se dizer que o domínio dos modelos atômicos, suas limitações e aplicações, é de fundamental importância na aprendizagem do campo conceitual da radiação. O estudo destes modelos é abordado no curso de Ciências Exatas da UNIVATES na disciplina de Mecânica Quântica, ministrada um semestre anterior à disciplina de Estrutura da Matéria, além de ser abordado também em disciplinas de Química já cursadas anteriormente pelos estudantes. Na disciplina de Estrutura da Matéria estes modelos são retomados com o objetivo de enfatizar sua evolução e desenvolvimento histórico. A seguir, listamos os conceitos-chave, do tópico *Radiação*:

- Evolução dos modelos atômicos (e da ciência como um todo) através da interação entre teoria – experimento.
- Diferença na visão que se tem de grandezas macroscópicas e microscópicas.
- A ciência está em constante transformação e não acabada.
- Processos radioativos são decorrentes de reações nucleares, não atômicas.
- Principais tipos de radiação (α , β e γ) e suas características.
- Tipos de decaimentos nucleares: alfa, beta, gama, emissão de pósitron e captura de elétron e consequentes resultados
- Definição e cálculo da atividade de uma amostra.
- Conceito e cálculo de meia-vida.
- Conceito e unidades de desintegração.
- Decaimento radioativo como indicação de que as leis que governam o mundo subatômico são estatísticas (interpretação quântica).
- Efeitos biológicos da radiação.
- Datação radioativa.
- Aplicações médicas.
- Funcionamento de uma usina nuclear e sua relação com o meio ambiente. Aspectos positivos e negativos.
- Funcionamento de uma bomba atômica e implicações sociais.
- Uso consciente e responsável da energia nuclear.

A partir do estudo de decaimentos radioativos e de reações nucleares obtidas em aceleradores de partículas tornou-se possível compreender algumas das propriedades da estrutura nuclear, demonstrando mais uma vez a estreita relação entre teoria e experimento. Através do estudo das propriedades nucleares é possível compreender os processos de decaimento radioativo e através do entendimento das reações nucleares é possível compreender processos alternativos de geração de energia e de formação de elementos químicos no interior de estrelas.

Os conceitos envolvidos estão diagramados e relacionados em esquemas conceituais, apresentados nas figuras 1.1 e 1.2.

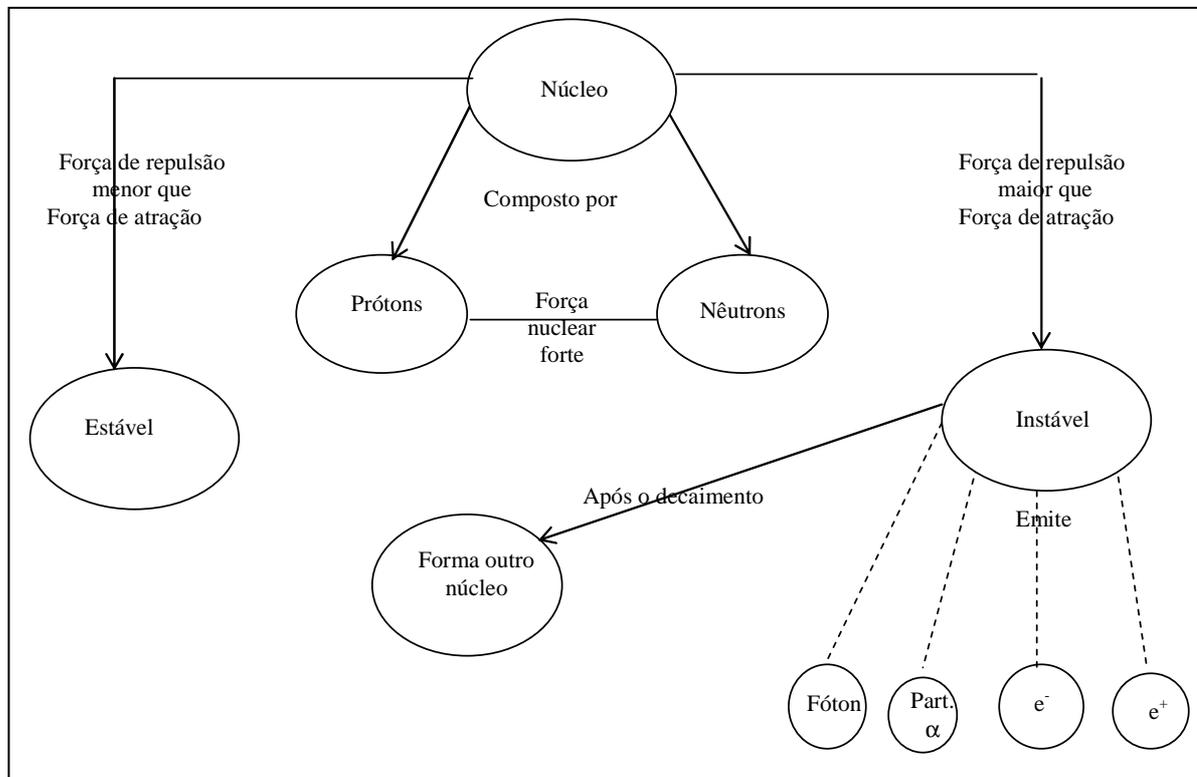


Figura 1.1: Esquema conceitual sobre *Estabilidade Nuclear*.

1.1.2 Física Nuclear

A primeira indicação da existência do núcleo atômico foi obtida a partir de experimentos sobre a radioatividade natural. Como exemplo, podemos citar os experimentos de Rutherford que, em 1911, determinou a existência e estimou o tamanho do núcleo

atômico, e de James Chadwick que, em 1932, sugeriu a existência do nêutron no núcleo. Através de experimentos com partículas aceleradas artificialmente tornou-se possível compreender algumas das características da estrutura nuclear, como seus componentes e suas propriedades. O primeiro acelerador foi construído em 1927 pelos físicos J. D. Cockcroft e E. T. S. Walton na Universidade de Cambridge, Inglaterra.

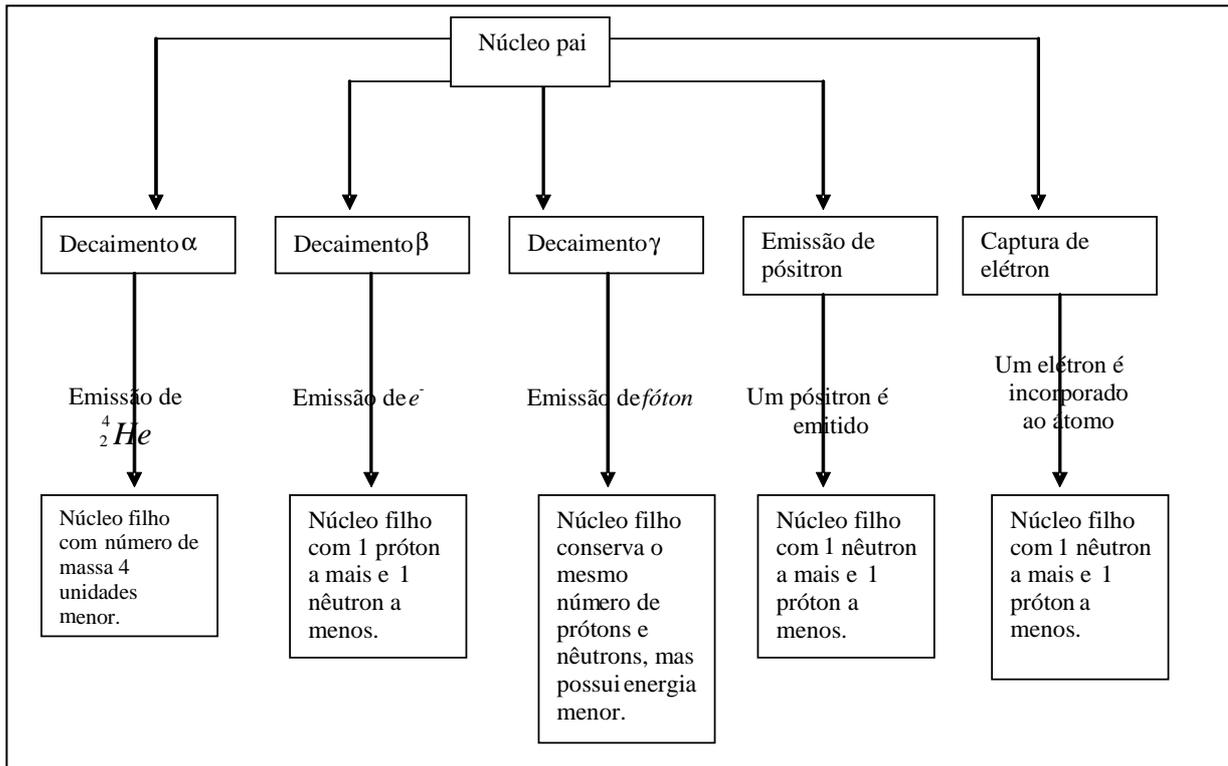


Figura 1.2: Esquema conceitual sobre *Decaimentos Radioativos*.

Este tópico teve como objetivo introduzir conceitos básicos de Física Nuclear, explorar o processo de modelização envolvido nas hipóteses levantadas historicamente na construção dos modelos nucleares e explicação de propriedades nucleares. As reações nucleares e sua relação com fontes de energia foram abordadas por se tratarem de temas atuais e aplicáveis ao Ensino Médio

Conceitos-chave sobre o tópico *Física Nuclear*:

- Composição do núcleo e propriedades das partículas que o compõem.
- Motivos que levaram à suposição de que existiam elétrons no núcleo e refutação desta hipótese.
- Estabilidade nuclear e força nuclear.

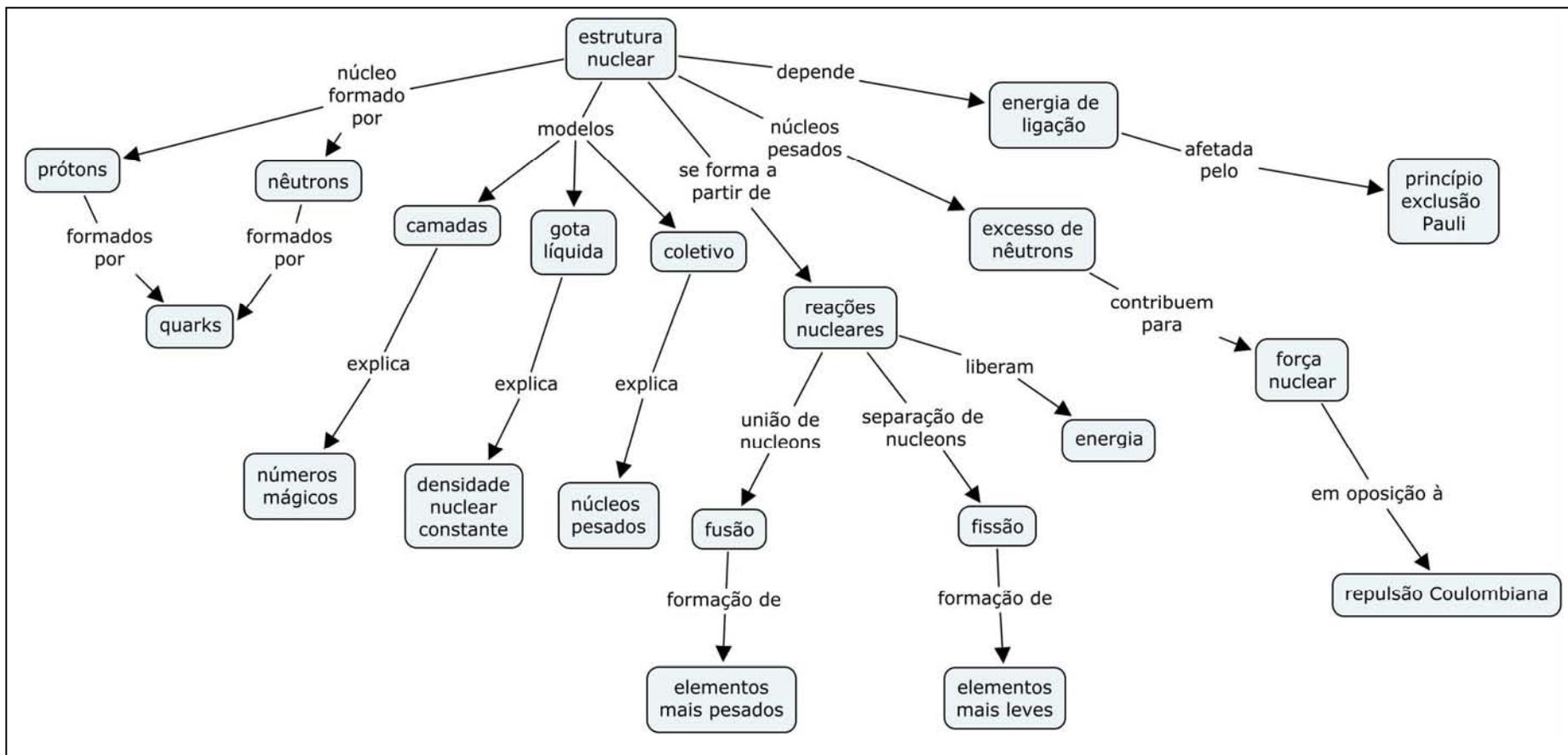


Figura 1.3: Esquema conceitual sobre *Física Nuclear*.

- Necessidade de surgimento do nêutron.
- Classificação dos núcleos e carta de nuclídeos.
- Interpretação da linha de estabilidade – quantidade de prótons e nêutrons no núcleo.
- Propriedades do núcleo: tamanho e sua proporcionalidade com o número de massa; densidade de massa, de carga elétrica e forma dos núcleos.
- Massa e energia de ligação dos núcleos e sua relação com a conversão massa-energia.
- Modelos nucleares: da gota líquida, de camadas e coletivo.
- Reações nucleares e sua relação com fontes alternativas de energia e formação de elementos químicos no interior de estrelas.

Na figura 1.3 apresentam-se conceitos-chave de Física Nuclear relacionados em um esquema conceitual.

1.1.3 Partículas Elementares

O átomo e posteriormente o próton e o nêutron já foram consideradas partículas elementares. Mais tarde, a interação entre teoria-experimento modificou estes modelos. As partículas verdadeiramente elementares não possuem estrutura interna e as energias envolvidas nos experimentos que investigam estas partículas são muito elevadas, da ordem de GeV/c^2 .

Conceitos-chave do tópico *Partículas Elementares*:

- Os componentes do núcleo não são elementares, mas são formados por outras partículas.
- Surgimento da hipótese dos quarks.
- Classificação das partículas elementares e suas propriedades.
- Antipartículas.
- Modelo padrão.
- Interação. Interações fundamentais.
- Partículas mediadoras.
- Aceleradores de partículas: princípios de funcionamento e aplicações.

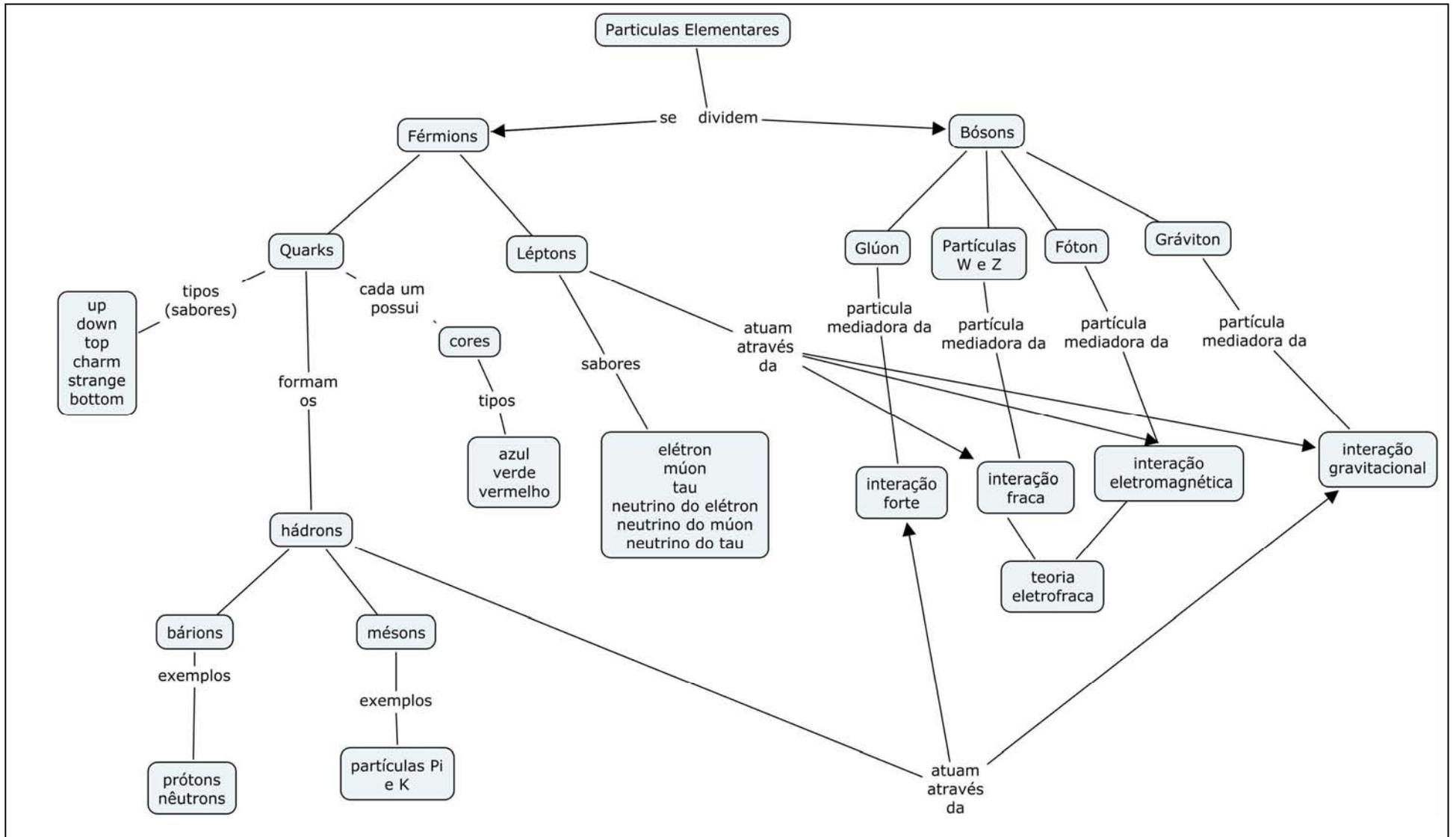


Figura 1.4: Esquema conceitual sobre *Partículas Elementares*.

Os conceitos-chave do tema partículas elementares estão relacionados em um esquema conceitual apresentado na figura 1.4.

Na seção seguinte serão apresentados os referenciais teóricos em ensino-aprendizagem que nortearam a pesquisa.

1.2 Referenciais Teóricos em Ensino-Aprendizagem

Nesta seção apresentamos os referenciais teóricos em ensino-aprendizagem utilizados na pesquisa: a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud e a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

1.2.1 A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

Para Vergnaud (1987, 1990, 1993, 1994, 1998), o conhecimento se encontra organizado em campos conceituais, dos quais o sujeito se apropria ao longo do tempo. Campos conceituais podem ser definidos como grandes conjuntos, informais e heterogêneos, de situações e problemas cuja análise e tratamento requerem diversas classes de conceitos, procedimentos e representações simbólicas que se conectam umas com outras (Vergnaud, 1990, p. 23). Um campo conceitual resulta em uma unidade de estudo cujas componentes – situações, conceitos, procedimentos, etc. – podem ser tratados de forma independente em relação a outros conjuntos. Apesar disto, diferentes campos conceituais podem ser importantes para a compreensão de outros. Segundo Greca e Moreira (2002, p. 5), na Física os campos conceituais seriam definidos a partir de situações-problema envolvidas na conceitualização e nos modelos e teorias que explicam e interpretam a realidade. Poderíamos, então, falar de campos conceituais da Física: Mecânica Clássica, Eletricidade, Termodinâmica, Relatividade Mecânica Quântica, entre outros. O conceito de força é um conceito que se relaciona com vários campos conceituais da Física, como o da Mecânica e o da Eletricidade, por exemplo.

Campo conceitual é também definido por Vergnaud como um conjunto de situações cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos de naturezas distintas (1990, p. 146). Desta forma, relaciona, então, campos conceituais com situações através dos

seguintes pontos (Vergnaud 1998): 1) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situações; 2) uma situação não é analisada com apenas um conceito; 3) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou de todos os aspectos de uma situação é um processo que pode se estender ao longo de anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal entendidos entre situações, entre conceitos, entre procedimentos e entre representações simbólicas. Ou seja, o domínio de um campo conceitual pode não ocorrer em alguns meses, nem mesmo em alguns anos. Ao contrário, novos problemas e novas propriedades devem ser estudados ao longo de muito tempo se quisermos dominar, progressivamente, o campo conceitual em questão. De nada serve tentar contornar as dificuldades conceituais; elas são superadas na medida em que são encontradas e enfrentadas, mas isso não ocorre de uma só vez (op. cit. p. 401).

O conceito não é apenas sua própria definição. É através de situações e problemas a resolver que um conceito adquire sentido para o aluno. Este processo também foi importante na história das Ciências (Vergnaud, 1993, p. 1). Então, as situações é que dão sentido aos conceitos (no nosso caso, aos conceitos físicos). Pode-se dizer que o sujeito que domina um conjunto de situações, que relacionam vários conceitos, domina o campo conceitual que engloba estes conceitos. É importante ressaltar que situação é um conceito chave nesta teoria, e não tem o mesmo sentido que uma situação didática, mas sim o mesmo sentido atribuído pelos psicólogos – os processos cognitivos e as respostas do sujeito são funções das situações com que ele se confronta. Em outras palavras, pode-se dizer que situações são problemas ou tarefas, e toda a situação complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas mais simples (op. cit. p. 9). Mas apesar de o conceito adquirir sentido através das situações, o sentido não está nas situações em si mesmas, assim como não está nas palavras nem nos símbolos (Vergnaud, 1994, p. 158).

Nesta teoria, um conceito é constituído de três conjuntos (Vergnaud 1990, p.145), $C = (S, I, R)$ onde:

- S (*referente*) é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;
- I (*significado*) é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) que permitem a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto;
- R (*significante*) é o conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e as situações e procedimentos para lidar com elas.

Um conceito pode ser considerado como um conjunto de invariantes utilizáveis na ação, que também implica um conjunto de situações que constituem o referente e um conjunto de esquemas postos em ação pelos sujeitos nestas situações. Daí o triplete (S, I, R) onde, em termos psicológicos, S é a realidade e (I, R) a representação que pode ser considerada como dois aspectos interagentes do pensamento, o significado (I) e o significante (R) (Vergnaud, 1998, p. 141). Para estudar o desenvolvimento e o uso de um conceito ao longo da aprendizagem ou de sua utilização, é necessário considerar estes três componentes do conjunto simultaneamente.

É importante reiterar que *situação* é um conceito-chave nesta teoria, e não tem o mesmo sentido que uma situação didática. Por outro lado, podemos dizer que a situação faz parte de um *evento didático*, que pode ser entendido como um “recorte” da aula, estando delimitado no espaço e no tempo. Então, a situação ocorre em um determinado momento na aula e tem a participação do professor e dos alunos.

Com respeito às situações, são ressaltadas duas idéias principais (op. cit., p. 12):

1. de *variedade*: existe grande variedade de situações num dado campo conceitual;
2. de *história*: os conhecimentos dos alunos são elaborados por situações que eles enfrentaram e dominaram progressivamente.

Para que o aluno aprenda, deve ser apresentada a ele uma grande variedade de situações, de forma que este possa ir dominando progressivamente os conceitos abordados. Em contrapartida, não seria possível abordar em uma situação de sala de aula *todas* as situações referentes à um determinado campo conceitual; e o domínio de um conceito é progressivo, passando inclusive pelas concepções alternativas¹. Isto porque, segundo Vergnaud (1994, p. 12) existe uma grande variedade de situações num dado campo conceitual (idéia de variedade) e os conhecimentos dos alunos são elaborados por situações que eles enfrentam e dominam progressivamente (idéia de história).

O funcionalismo cognitivo do sujeito em situação depende do estado de seus conhecimentos, implícitos ou explícitos. Deve-se, pois, dar grande atenção ao desenvolvimento cognitivo, as suas continuidades, rupturas, passagens forçadas, à complexidade relativa das classes de problemas, procedimentos e representações

¹ Concepções alternativas são idéias que os alunos utilizam espontaneamente para enfrentar (compreender) problemas ou fenômenos científicos (Pintó et al., 1996, p. 221) e não são necessariamente as científicas.

simbólicas, à análise dos erros principais e dos principais insucessos (op. cit. p. 25).

As situações podem também ser classificadas como *as que o sujeito já domina* e aquelas onde o *sujeito não possui todas as competências necessárias*, levando-o à reflexão e à exploração (Vergnaud, 1993, p. 2). Os esquemas² utilizados pelo indivíduo ao resolver uma dada situação é que dão sentido a ela, e o funcionamento cognitivo de um sujeito baseia-se no seu repertório de esquemas disponíveis (op. cit., p. 5). As situações escolhidas pelo professor devem permitir aos estudantes sentir que o domínio de seus conhecimentos está crescendo, além de não serem contra-intuitivas, apoiando-se em situações já conhecidas. Para o autor (op. cit. p. 10), a analogia e a metáfora também são situações com papel importante na aprendizagem, ainda que não se tratem de verdadeiras conceitualizações.

Outro conceito-chave desta teoria é o de *invariante operatório*, que pode ser de dois tipos: *conceito-em-ação* e *teorema-em-ação*. O esquema é a organização da conduta para uma certa classe de situações e os invariantes operatórios são componentes essenciais dos esquemas. Teorema-em-ação é uma proposição sobre o real considerada como verdadeira; conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como relevante (Vergnaud, 1996, pg. 202). Os invariantes operatórios fazem a articulação essencial entre teoria e prática, pois a percepção, a busca e a seleção de informação baseiam-se inteiramente no sistema de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação subjacentes à sua conduta (loc. cit.). Cabe dizer que, na maioria das vezes, os invariantes operatórios, assim como os esquemas, não são utilizados conscientemente pelo sujeito, e cabe ao professor mediar a explicitação deste conhecimento.

A teoria de Vergnaud tem uma forte base piagetiana que se manifesta principalmente no papel importante que o conceito de esquema tem nesta teoria. Por outro lado, tem também influência vygotkskyana, pois considera o professor como importante ao longo do processo que caracteriza o progressivo domínio de um campo conceitual pelo aluno (Greca e Moreira 2004, p. 79). Sua tarefa consiste principalmente em ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações. A linguagem e os símbolos são importantes no processo de acomodação e o professor faz amplo uso deles em sua função mediadora. Mas o principal ato mediador do professor é o de promover situações frutíferas aos alunos (Vergnaud, 1998, p. 181).

² O esquema é a forma estrutural da atividade, é a organização invariante do sujeito sobre uma classe de situações dadas, e contém conhecimentos-em-ação que são implícitos.

Em nosso trabalho, as situações têm especial importância; por isso, salientamos ainda os seguintes aspectos que consideramos importantes:

- a elaboração de situações potencialmente significativas para os alunos não é tarefa fácil, e demanda um longo tempo de preparação;
- situações baseadas apenas no domínio conceitual não são suficientes para que o aluno se sinta completamente envolvido;
- situações consideradas desafiantes por cientistas em sua vivência profissional nem sempre são consideradas da mesma forma pelos alunos;
- uma situação potencialmente significativa (frutífera) para o aluno é aquela que o motive e o envolva, gerando grande interesse para que ele se empenhe em resolvê-la;
- podemos ainda diferenciar as situações quanto ao seu emprego em sala de aula: aquelas que se destinam à *introdução de conceitos* e as utilizadas como *avaliação* da aprendizagem. Sem esquecer que em situações de avaliação pode também ocorrer aprendizagem.

Vergnaud (2007, p. 2) também faz uma distinção entre a *forma operatória* do conhecimento, que permite atuar na situação, e a *forma predicativa* do conhecimento, que enuncia os objetos de pensamento, suas propriedades, suas relações e suas transformações. Então, em nosso entendimento, as situações propostas aos alunos devem dar conta destas duas formas de conhecimento.

Resumindo, esta teoria permite analisar como se organizam e se relacionam os conceitos e na apresentação de conceitos novos a tarefa principal do professor seria a de providenciar situações para que os alunos desenvolvam seus esquemas na zona de desenvolvimento proximal³. Estas situações podem ser devem ser cuidadosamente escolhidas e apresentadas no momento certo, para que ocorra a aprendizagem desejada. Na figura 1.5 apresentamos um mapa conceitual sobre a teoria dos campos conceituais de Vergnaud (mapa retirado de Moreira e Greca, 2004, pg. 80).

³ Segundo Vygotsky, a *zona de desenvolvimento proximal* é a distância entre o *nível de desenvolvimento real*, determinado pela capacidade de resolver um problema sem ajuda, e o *nível de desenvolvimento potencial*, determinado através de resolução de um problema sob a orientação de um adulto ou em colaboração com outro companheiro. Quer dizer, é a série de informações que a pessoa tem a potencialidade de aprender mas ainda não completou o processo, ou de conhecimentos fora de seu alcance atual, mas potencialmente atingíveis.

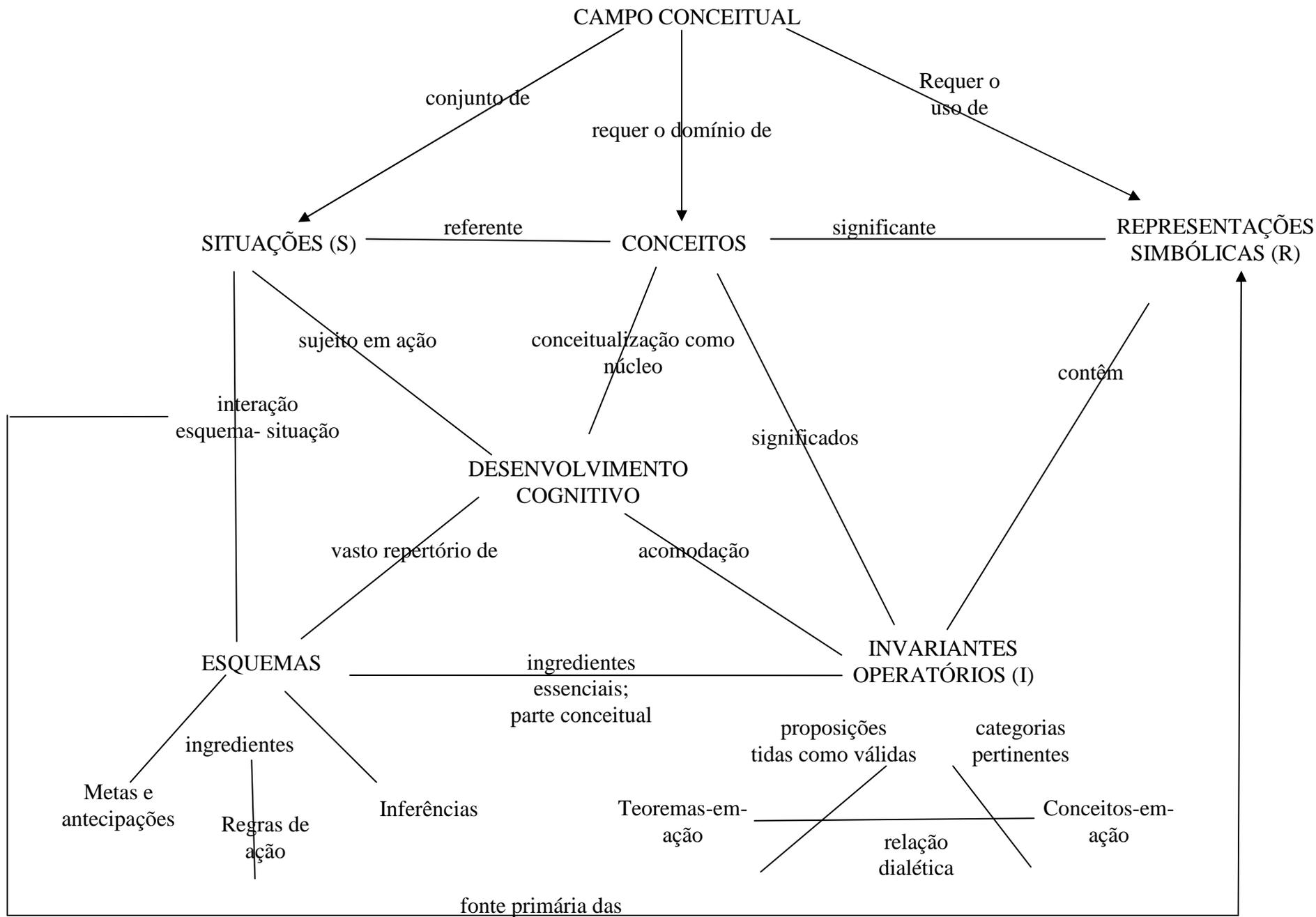


Figura 1.5: Mapa conceitual sobre a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (Greca e Moreira, 2004).

2.2.2 A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

O conceito central da teoria de Ausubel é o de *aprendizagem significativa*, um processo através do qual uma nova informação se relaciona, de maneira não-arbitrária e substantiva (não-literal), a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de “conceito subsunçor”, existente na estrutura cognitiva de quem aprende (Moreira, 1999, p. 46). Desta forma, ocorre uma aprendizagem significativa quando a nova informação “ancora-se”, interativamente, em conceitos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva.

Novas idéias, conceitos, proposições podem ser aprendidos significativamente (e retidos), na medida em que outras idéias, conceitos, proposições, relevantes e inclusivos estejam, adequadamente claros e disponíveis, na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às primeiras. Neste processo, os conceitos já existentes (subsunçores) se modificam em função desta interação. Nesta teoria, o conhecimento prévio (subsunçor) é o principal fator isolado que influencia na aquisição de novos conhecimentos.

Entretanto, existem ocasiões em que o aprendiz não possui os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa. Nestes casos, Ausubel propõe a utilização de *organizadores prévios*, que sirvam de apoio para o novo conhecimento e levem ao desenvolvimento de subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. Os organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do próprio material a ser aprendido, mas em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusão que este material (op. cit. p. 11). São uma estratégia proposta para manipular deliberadamente a estrutura cognitiva do sujeito com o intuito de facilitar a aprendizagem significativa.

Ausubel distingue três tipos de aprendizagem significativa: *representacional*, *de conceitos* e *proposicional*. A *aprendizagem representacional* envolve a atribuição de significado a determinados símbolos (como palavras, por exemplo), sendo o tipo mais básico de aprendizagem. Ausubel (1978, p. 86) define conceitos como “objetos, eventos, situações ou propriedades que possuem atributos criteriosais comuns e são designados, em uma dada cultura, por algum signo ou símbolo aceito”, sendo, pois, também representações. Por outro lado, são genéricos e categóricos, representando regularidades em objetos e eventos. A aprendizagem deste tipo de representação é chamada de *aprendizagem de conceitos*. A

aprendizagem de proposições que contêm idéias e relações se refere à *aprendizagem proposicional*. Obviamente, para que se possam aprender os significados de uma proposição verbal é preciso antes aprender o significado de seus termos componentes e o que eles representam (Moreira, 2003, p. 15). Por isso, a aprendizagem representacional é básica ou pré-requisito para a aprendizagem proposicional (Moreira, *ibid.*).

Para que ocorra aprendizagem significativa, Ausubel aponta duas condições básicas complementares: que o novo conhecimento seja *potencialmente significativo*, e que o estudante tenha *disposição para aprender*. Desta forma, os materiais apresentados com a nova informação devem ser suficientemente não arbitrários e não aleatórios, logicamente significativos, de modo que possam ser relacionados com idéias relevantes e incorporados ao sistema cognitivo do sujeito. Por outro lado, a disposição do aluno em fazer as associações entre conceitos é fundamental para a ocorrência de aprendizagem significativa.

Ausubel faz uma distinção entre significado *lógico* e *psicológico* (Ausubel et al, 1978, pp. 49-50): o significado lógico depende somente da “natureza do material”. É um dos requisitos que determina se o material é potencialmente significativo para o aprendiz. O significado psicológico se refere ao relacionamento do material logicamente significativo com a estrutura cognitiva do aprendiz individualmente.

Em contraposição à aprendizagem significativa, o autor apresenta a *aprendizagem mecânica*, em que as novas informações são aprendidas de forma automática, sem interação com conceitos subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito. Neste caso, a nova informação é armazenada de forma arbitrária e literal. Apesar de seu caráter memorístico, a aprendizagem mecânica pode, em alguns casos, ser desejável ou necessária. Por exemplo, em uma fase inicial de aquisição de um novo corpo de conhecimentos (Moreira, 2003, p. 5).

A ocorrência de aprendizagem significativa deve, segundo esta teoria (op. cit. p. 146-147), apresentar evidências de compreensão genuína de um conceito ou proposição, implicando a aquisição de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Para tal, as questões e problemas propostos para este fim devem ser apresentados de forma diferente das trabalhadas anteriormente, consistindo de novas situações que exijam que o estudante aplique corretamente os conceitos e os relacione adequadamente.

Quando a aprendizagem se dá através da relação de subordinação de um novo conceito em relação à estrutura cognitiva já existente, é chamada de *aprendizagem subordinada*, que pode ser de dois tipos: *derivativa* e *correlativa*. No primeiro tipo o material aprendido é entendido como um exemplo específico de um conceito já estabelecido na estrutura cognitiva, ou ilustra uma proposição geral previamente aprendida. No segundo tipo o novo material

aprendido funciona como uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de conceitos já aprendidos.

Quando um conceito ou proposição potencialmente significativo, mais geral e inclusivo dos que os já existentes na estrutura cognitiva do sujeito, é adquirido a partir destes e passa a assimilá-los, ocorre a chamada *aprendizagem superordenada*. As idéias anteriores são identificadas como instâncias mais específicas da nova idéia e se subordinam a ela (Moreira, 2003, p. 22).

A *aprendizagem combinatória* é uma aprendizagem de proposições e, em menor escala, de conceitos que não guardam uma relação de subordinação ou de superordenação com proposições ou conceitos específicos e sim com um conteúdo amplo, *relevante de uma maneira geral*, existente na estrutura cognitiva (op. cit., p. 23). Isto é, a nova proposição não pode ser assimilada por outras já estabelecidas na estrutura cognitiva nem é capaz de assimilá-las. Este tipo de aprendizagem consiste em combinações relevantes que podem ser relacionadas, de maneira não arbitrária com conceitos mais gerais, já existentes na estrutura cognitiva. É como se a nova informação fosse potencialmente significativa por ser relacionável à estrutura cognitiva como um todo, de uma maneira geral, e não com aspectos específicos desta estrutura, como ocorre nas aprendizagens subordinada e superordenada (op. cit., p. 24).

De acordo com esta teoria, dois processos cognitivos ocorrem durante a aprendizagem significativa: a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integradora*.

Quando a aprendizagem ocorre por subordinação, através da interação e ancoragem do novo conhecimento em um conceito subsunçor, ambos se modificam. A *diferenciação progressiva* do conceito subsunçor se dá quando este processo ocorre uma ou mais vezes, e está quase sempre presente neste tipo de aprendizagem. Por outro lado, na *reconciliação integradora* ocorre uma recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, juntamente com as novas idéias.

Estes dois processos também podem ser encarados do ponto de vista instrucional: a diferenciação progressiva através da apresentação de conteúdos mais gerais no início da instrução e progressivamente diferenciados através de suas especificações; a reconciliação integrativa pela exploração das relações entre idéias, enfatizando similaridades e diferenças importantes e reconciliando discrepâncias reais ou aparentes.

Um mapa conceitual sobre a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (Moreira, 2003, p. 32) é apresentado na figura 1.6.

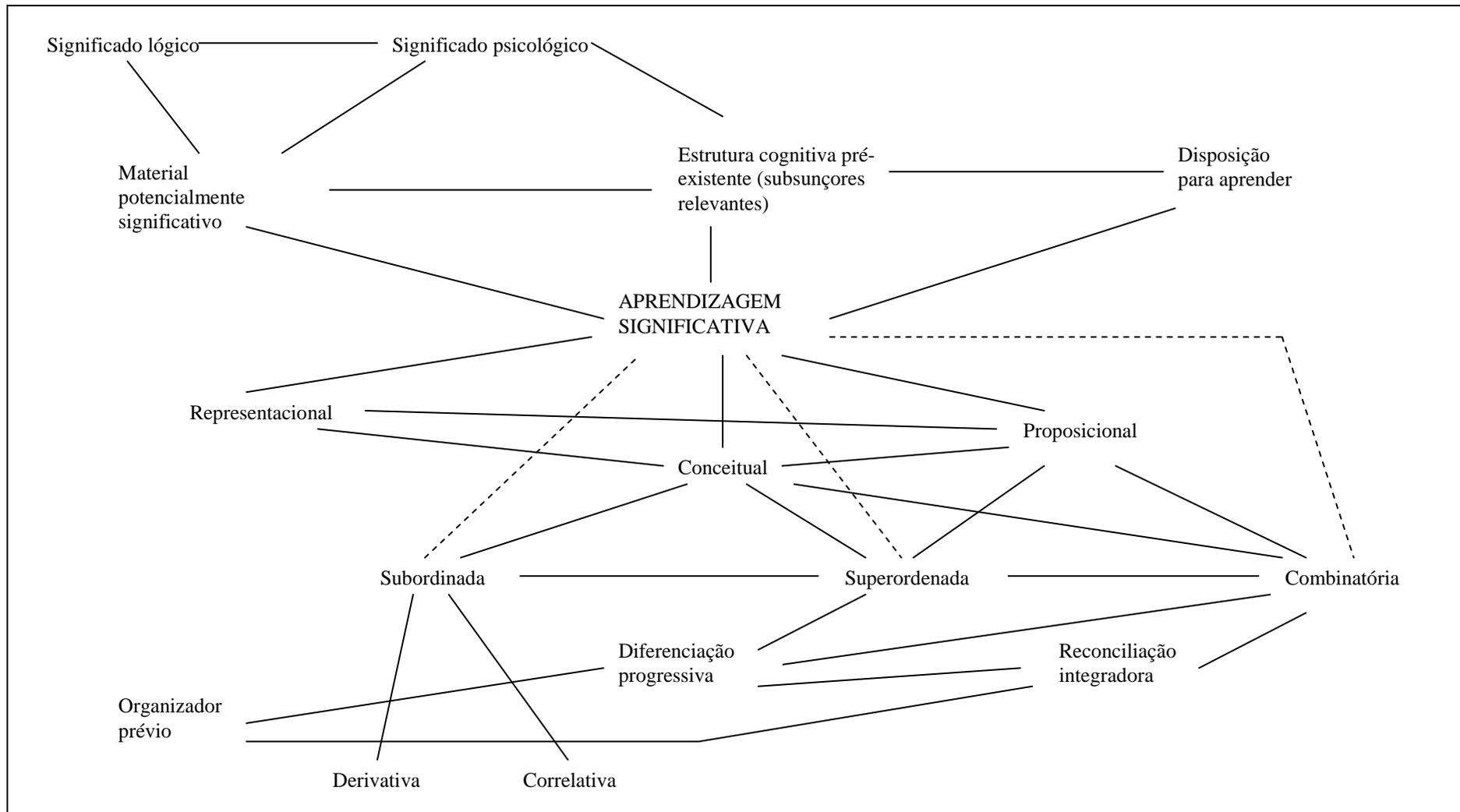


Figura 1.6: Mapa conceitual sobre a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (Moreira, 2003).

As teorias de Vergnaud e de Ausubel são semelhantes no que tange à importância do conhecimento prévio, e o que para Ausubel são campos organizados de conhecimentos, para Vergnaud são campos conceituais (Moreira, 2004, p. 83).

Para Vergnaud é normal que os alunos apresentem as chamadas concepções alternativas e elas devem ser consideradas como precursoras de conhecimentos científicos a serem adquiridos, atuando, neste caso, como subsunçores. A ativação destes subsunçores é necessária e deve ser guiada pelo professor (Greca e Moreira, 2004, p. 82). Por outro lado, pode ocorrer que certos conceitos só possam ser construídos se certas concepções prévias forem abandonadas, pois funcionam como obstáculo epistemológico (Vergnaud, 1990, p. 83), sendo necessária a construção de novos subsunçores.

De acordo com os referenciais adotados, o professor tem como papel principal o de providenciar, através da elaboração de situações, oportunidades aos alunos para que desenvolvam seus esquemas na zona de desenvolvimento proximal; além de preparar materiais potencialmente significativos, utilizando-se de técnicas de diferenciação progressiva e reconciliação integradora. A necessidade do professor de compartilhar significantes e significados com seus estudantes permite detectar as discordâncias, servindo como apoio para a construção dos significados necessários ou subsunçores para a formação dos conceitos cientificamente aceitos (aprendizagem significativa) e conseqüente domínio de um campo conceitual.

Segundo Moreira (2004, p. 86), para que um estudante aprenda um determinado modelo (ocorra aprendizagem significativa), não basta que o mesmo seja apresentado a ele, mas sim que lhe seja proposta uma série de situações que lhe permitam perceber os conceitos, relações e propriedades dos modelos físicos que correspondem aos invariantes operatórios que se deseja desenvolver. Como já foi dito, estas situações devem ser potencialmente significativas e que o aluno tenha disposição para aprender. Voltamos então ao argumento básico de que são as situações que dão sentido aos conceitos e que a conceitualização é que permite dominar um campo conceitual e dirigir o desenvolvimento cognitivo do ser que aprende.

No capítulo seguinte será feita uma revisão da literatura pertinente à pesquisa feita.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo apresentamos uma revisão da literatura sobre os principais tópicos abordados nesta tese. Para isso foram consultados, a partir de 1990, os seguintes periódicos: *Physics Education*, *The Physics Teacher*, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Investigações em Ensino de Ciências*, *International Journal of Science Education*, *Science Education*. Além disso, a base de dados ERIC (Education Resources Information Center) também foi consultada.

Procuramos trabalhos que tratassem dos seguintes temas: *Formação de Professores*, *Física Nuclear*, *Radiação*, *Partículas Elementares* e aplicação da *teoria dos campos conceituais de Vergnaud no Ensino da Física*. Dentro destes temas, selecionamos os trabalhos que apresentassem abordagens de ensino, estudo de concepções dos alunos sobre estes tópicos e preparação de professores para ensiná-los.

Vale ressaltar que esta revisão não deve ser considerada exaustiva nem definitiva, e que pretendemos apresentar apenas os trabalhos considerados mais relevantes para esta pesquisa.

2.1 Artigos sobre Física Nuclear

Este tema tem sido sugerido como parte das aulas de Física no Ensino Médio desde os anos oitenta. Podemos citar como exemplo, os trabalhos de Eijkelhof et al. (1984) e de Marinelli (1989). Eijkelhof et al. discutem os aspectos positivos e negativos da introdução do conteúdo “armas nucleares” e salienta que a Física tem uma contribuição específica nos

seguintes pontos: diferença entre uma bomba nuclear e uma convencional, relação entre a aplicação civil e militar da energia nuclear, relação entre o desenvolvimento de tecnologia (Física) e a corrida armamentista. Encontrou também que os alunos têm boa aceitação do tema e sugere algumas atividades, tais como análise de textos, filmes, entrevistas com especialistas, jogos de simulação, pôsteres e discussão em classe. Marinelli (op. cit.) discute em termos didáticos o significado da palavra “ver” no contexto da Física do Microcosmo. Para ele a Física Nuclear corresponde a um bom exemplo de como é possível desenvolver teorias a partir de métodos “indiretos” de medição e de como teorias previamente estabelecidas podem ser comprovadas a partir destes métodos. Descreve em termos didáticos como é o processo de espalhamento com diversos tipos de partículas e utiliza uma analogia entre o espalhamento de partículas e a difração da luz. Conclui dizendo que o movimento das partículas nucleares pode ser revelado experimentalmente e analisado através de modelos teóricos, sendo assim melhor compreendido.

Sobre o entendimento dos alunos em relação a este tema destacam-se os trabalhos de Dulski et al. (1995) e de Yang (2003). No primeiro, os autores identificam as atitudes dos alunos do Ensino Médio para diversas áreas da ciência relacionadas com a atualidade, ou seja, energia nuclear, questões ambientais, noções de energia, conceitos científicos, exploração do espaço e sistemas de unidades. Seu objetivo foi reforçar nos estudantes atitudes científicas sobre os tópicos abordados.

No segundo trabalho, o autor examinou os tipos de informação que os estudantes de Ensino Médio têm sobre Energia Nuclear. A seguir utilizou este assunto para verificar diferentes tipos de raciocínio, pois considera que a tomada de decisão das pessoas é uma manifestação das suas estruturas de conhecimento e de suas crenças epistemológicas sobre que tipos de informação são importantes para tomar decisões.

Apesar da discussão sobre a inclusão deste tópico ser de longa data, existem trabalhos que relatam que os professores não se sentem preparados para incluí-los em suas aulas, como por exemplo, o de Sorpreso e Almeida (2008). Ao pesquisar alunos licenciandos na disciplina de Estágio Supervisionado, os autores encontraram que os sujeitos pesquisados não associam Física Nuclear com *resolução de problemas*, por considerarem que esta abordagem seria difícil de ser trabalhada com alunos de Ensino Médio devido a dificuldades matemáticas, embora considerem que este tópico deva ser incluído no trabalho efetivo de sala de aula.

Sobre sugestões de abordagens para este tópico, encontramos trabalhos que sugerem o uso de tecnologias. Dias et al. (2002) apresentam um programa desenvolvido para simular um conjunto de equipamentos (detector e contador de radiação, fontes radioativas e placas absorvedoras) usados em um laboratório básico de Física Nuclear.

Já o trabalho de Shastri (2007) descreve a construção de uma *slide-rule*⁴ de computador que pode determinar rapidamente a magnitude de pequenos efeitos que resultam da detonação de um dispositivo nuclear. Também sugere exercícios que podem ser incluídos para estudantes de Ensino Médio e no início da graduação que exploram cenários envolvidos nestes efeitos.

Também foram encontrados trabalhos que descrevem iniciativas de levar este tópico para o público em geral. Johansson e Nilsson (2000) acreditam ser importante dar ao público geral a oportunidade de um bom entendimento da ciência. Eles elaboraram um conjunto de experimentos sobre Física Moderna e o disponibilizaram para o público em geral. As seções de laboratório iniciaram com demonstrações simples e discussões informais; depois com a apresentação de um especialista sobre o tema; e a última parte consistiu de um trabalho de laboratório, onde todos foram convidados a tomar parte em algum experimento. Foram trabalhados os seguintes temas: (a) partículas e anti-matéria; (b) física nuclear em nosso meio ambiente; (c) cor, luz e o olho; (d) o olho, a velocidade da luz e a relatividade; (e) supercondutividade e levitação magnética; (f) podemos entender Mecânica Quântica? (g) astronomia com um telescópio na internet; (h) som, o ouvido e os tons; (i) a via-láctea e as ondas de rádio.

Mackintosh (2001) fala da importância da Física Nuclear na vida das pessoas e descreve uma iniciativa da PANS (Conscientização Pública da Ciência Nuclear), uma organização europeia que tem se encontrado regularmente desde 1998 e considera que a imagem pública negativa da Física Nuclear deve ser corrigida. Estas discussões levaram à tomada de várias ações: exposição itinerante chamada *Radioatividade, uma face da natureza* (que teve umas poucas edições); edição de livros populares; página na internet (não totalmente implementada); e também popularização das publicações sobre o tema.

Por último, apresentamos o trabalho de Carmona e Criado (2008). Seu trabalho trata de uma análise de conteúdos, do tipo descritivo, sobre a introdução e o tratamento de conteúdos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), referidos à Energia Nuclear e ao fenômeno

⁴ Régua de cálculo.

radioativo, em livros de texto de Física e Química de 3^o de ESO⁵. Foram analisados os 11 livros de texto mais populares no ensino da Física e da Química nesse nível na Comunidade Autónoma de Andaluzia. Como principais resultados, destacam:

- Que a produção de energia elétrica, em centrais nucleares, e o uso de isótopos radioativos em medicina são as aplicações tecnológicas tratadas com maior frequência nos textos.
- Uma baixa presença nos textos sobre os aspectos sócio-econômicos e/ou políticos relacionados com a Energia Nuclear.
- A construção e desenvolvimento da ciência nuclear, assim como sua influência na história, são contemplados em praticamente um terço dos livros. O episódio tratado com maior frequência é o relativo ao descobrimento da radioatividade por Becquerel.
- Os avanços alcançados na ciência atômica e nuclear, como uma consequência do trabalho coletivo dos cientistas são abordados apenas por aproximadamente a terceira parte dos textos analisados. E menor ainda é o número de textos (inferior à quinta parte) que mencionam o papel da mulher no desenvolvimento da Física Nuclear (se limitam a expor a biografia de Maria Curie).
- Nem todos os textos (cerca da metade) tratam como conteúdo básico os benefícios e prejuízos – tanto potenciais como constatados – da geração de energia nuclear.

Seus resultados fortalecem a hipótese de que as interações CTS surgidas em torno da energia nuclear não recebem a atenção que merecem na educação científica básica. Sobre-tudo, tendo-se em conta que é – e possivelmente siga sendo no futuro próximo – um dos temas de maior controvérsia em escala mundial.

Apesar de ser uma pesquisa realizada com livros adotados em outro país, selecionamos este trabalho por acreditarmos que os livros texto em geral seguem uma tendência mundial e muito provavelmente os livros brasileiros apresentam características semelhantes.

2.2 Artigos sobre Radiação

A seguir apresentamos os trabalhos encontrados que tratam de **concepções** de estudantes e do público em geral sobre Radiação e Radioatividade.

Ruz e Aparício (1990) fizeram questionamentos e entrevistas com estudantes de primeiro e terceiro ano de bacharelado⁶ com respeito a situações onde aparece o tópico

⁵ Escola Secundária Obrigatória.

Radioatividade. Encontraram que os alunos têm conhecimento sobre diversos aspectos da Radioatividade, que denominaram “sociais” e que sua fonte de conhecimento é principalmente extra-escolar.

Partindo da premissa de que a aprendizagem é influenciada por sentimentos e emoções, Alsop et al. (1998) pesquisaram concepções de professores e estudantes de Física, através de questões como: De que forma o raio X pode ser prejudicial para você? Quais os riscos do uso da máquina de raios X do aeroporto? Você comeria morangos irradiados?

Os respondentes tinham poucos conhecimentos de Física. Nas respostas, os alunos misturavam idéias e emoções. Encontraram três tipos de respondentes: estudantes que têm dificuldades em aprendizagem de tópicos que não são do seu agrado ou que apresentam desgosto referente ao assunto; estudantes que são inibidos em sua aprendizagem através de diferentes emoções (de agrado ou desagrado) com o tópico propriamente dito; e os que apresentam equilíbrio entre os aspectos positivos e negativos. Resumindo, encontraram que, em algumas circunstâncias, a natureza do conteúdo pode inibir ou bloquear a aprendizagem.

Henriksen e Jorde (2001) aproveitaram uma exposição do Museu de Ciência e Tecnologia na Noruega para investigar as concepções dos sujeitos da pesquisa e incluíram atividades pré e pós-visitação. As atividades foram centradas em “histórias da vida real” envolvendo emissão de radiação, que foram usadas como ponto de partida para reflexão e discussão. As respostas dos estudantes às questões propostas foram analisadas com dois propósitos: 1) melhorar o entendimento de atitudes dos estudantes sobre emissão de radiação em seu último ano de instrução; 2) explorar se a referida exposição fornecia informações científicas para que os estudantes fossem capazes de fazer julgamentos pessoais sobre emissões no meio ambiente. Os autores pesquisaram o entendimento de estudantes de 16 anos da Noruega sobre esse tema e notaram que há muitos aspectos similares àqueles descritos para estudantes de outras idades e nacionalidades, que estão apresentados a seguir. Também concluíram que a visita à exposição proporcionou aprendizagem sobre ciência para a maioria dos estudantes. Entretanto, para estudantes que têm fortes concepções alternativas sobre o assunto suas percepções tenderam a inibir sua correta interpretação dos novos conceitos introduzidos na exposição. O estudo se concentrou nas seguintes questões: (1) que tipos de concepções e atitudes sobre tópicos de radiação os estudantes apresentam; (2) qual a influência da visita dos estudantes à exposição para o seu entendimento sobre radiação e o

⁶ Bacharelado significa Escola Secundária.

meio ambiente. As atividades pré e pós-visitação tinham as seguintes características: (1) os tópicos sobre radiação trabalhados deviam ser considerados pelos estudantes relevantes para a vida real; (2) deviam exigir que os estudantes articulassem seus próprios conhecimentos sobre emissão; (3) para aqueles estudantes que não tinham inicialmente um claro entendimento dos aspectos científicos envolvidos na emissão, a atividade de pré-visita deveria criar uma necessidade de buscar informações relevantes e motivá-los para isso; (4) a atividade pós-visita deveria incitar os alunos a usar as informações científicas adquiridas durante a exposição para que pudessem articular uma opinião justificada sobre a emissão de radiação.

Concepções encontradas nesse estudo sobre Radiação:

- Radiação ionizante como uma coisa não natural e perigosa.
- Noção de “boa radiação” (achada na natureza e usada na medicina) e “má radiação”(usada na comida e em armas nucleares).
- Confusão entre radiação ionizante e outras “perigosas para o ambiente” como os campos elétricos e magnéticos com aplicações elétricas, pesticidas químicos, aditivos para comida, etc.
- Confusão entre o conceito de radiação e material radioativo.
- Noção de que substâncias irradiadas se tornam radioativas.
- Confusão entre a emissão de radiação com a diminuição da camada de ozônio e o aquecimento global.
- Confusão entre radiação ultra-violeta com outros tipos de radiação.

Alsop (2001) fez um estudo comparativo entre dois grupos de estudantes: um que vive e foi educado em um ambiente com radiação, e outro não.

Concepções encontradas para a maioria dos estudantes nos dois grupos:

- Os estudantes não fazem diferença entre os termos radiação e radioatividade.
- A substância radioativa pode ser de três tipos: sólida (maioria dos estudantes), gasosa (segundo lugar) e líquida (terceiro lugar).
- A emanção de radioatividade pode ser por: gás (maioria), ondas de partículas ou entidade imaterial.
- A origem da radioatividade pode ser: fenômeno natural (maioria) e ambos, natural e sintético.
- Atividade: as fontes foram vistas como permanecendo ativas por longos períodos, de 100 a 200 anos; ou então infinitamente.

- Perceberam que a radiação é capaz de provocar transformações e está associada com perigo.
- Efeitos: consideravam que afeta objetos de metal de forma diferente que objetos de não-metal, sendo que os objetos de metal teriam a habilidade de “atrair” radioatividade.

Como conclusão, o estudo aponta que não há diferenças significativas entre as concepções dos dois grupos de estudantes, e questiona se as escolas estão realmente se utilizando dos procedimentos corretos no ensino de tópicos que são comuns ao cotidiano dos alunos.

Prather e Harrington (2001) pesquisaram o que 150 estudantes universitários pensavam sobre Radiação e Radioatividade antes de receber instrução formal sobre o tema, através de entrevistas individuais e em pequenos grupos. Detectaram que metade dos estudantes de Física introdutória acredita que um objeto exposto à radiação se torna radioativo. Além disso, os estudantes utilizam os termos radiação, radioatividade e radioativo inapropriadamente e indiscriminadamente. Os autores acreditam que para uma melhor compreensão dos fenômenos radioativos, é preciso um conhecimento de como o átomo (ou o núcleo) se comporta durante o processo de decaimento. A partir dos resultados, foram construídas estratégias instrucionais, que incluem leituras interativas, atividades baseadas em laboratório, e “folhas de trabalho” (tutoriais direcionados) sobre um tópico específico.

A seguir, apresentamos trabalhos com **propostas de diferentes abordagens didáticas** ao tópico de Radiação.

Alsop e Watts (1997) estudaram a aprendizagem informal de Radiação e de Radioatividade no público em geral. A ênfase deste trabalho foi estudar a utilização do modelo de mudança conceitual (Strike e Posner, 1982) para descrever o engajamento das pessoas pesquisadas com a ciência envolvida em situações perigosas e em suas vidas diárias. Os sujeitos da pesquisa são moradores de uma vila rural da Inglaterra onde a radiação natural apresenta níveis elevados. Para isso, eles consideraram três premissas básicas: (1) a aprendizagem de domínio público é significativamente diferente da que tem lugar na aprendizagem formal; (2) indivíduos têm múltiplas fontes para construir seu conhecimento científico e tecnológico, e a profundidade e a exatidão deste conhecimento depende do contexto em que está inserido; (3) as interações entre os indivíduos têm um papel importante na elaboração deste conhecimento. Resumindo, eles procuraram saber como o entendimento

particular dos perigos da radiação afeta a vida diária das pessoas. Para isso eles adotaram (com adaptações) um modelo de mudança conceitual originado na educação formal de ciências e o aplicaram em um ambiente informal. Seu interesse foi o de procurar como as pessoas entendem os perigos da radiação e como ela afeta sua vida diária; além de aplicar um modelo de mudança conceitual originário da educação formal na educação informal. Os seguintes aspectos foram apontados pelos autores: a) qualquer modelo de mudança conceitual que negligencia a dimensão afetiva não obtém os melhores resultados; b) um modelo de mudança conceitual que não leve em conta a aplicabilidade dos conceitos é incompleto; c) um modelo de mudança conceitual que desconsidera a auto-estima e a auto-percepção dos estudantes é falho.

Em outro trabalho, Cruz e Zylbersztajn (2000) apresentam um estudo de caso que teve como objetivo investigar as possibilidades didáticas da abordagem da Aprendizagem Centrada em Eventos (ACE). A idéia que fundamenta esta abordagem é a de que os conceitos científicos e suas aplicações tecnológicas, assim como suas relações com o social, podem ser explorados se a aprendizagem dos mesmos é centrada em eventos que funcionam como um pólo de integração da tríade Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS). As principais características do ACE são: a ênfase na resolução de problemas reais, a responsabilidade do aluno na aprendizagem, e a natureza integrada dos conhecimentos. Como situação-problema foi proposto inicialmente aos alunos (de Ensino Médio) a elaboração de um guia para a TV sobre o acidente de Goiânia, a ser desenvolvido por grupos compostos de 4 a 5 alunos. O programa deveria destacar os aspectos científicos, tecnológicos e sociais ligados ao evento, e ter um caráter educativo, não sensacionalista e ser dirigido ao público leigo. O objetivo desta atividade foi o de levar os alunos a relacionarem os conceitos científicos com os temas tecnológicos e sociais, de forma interdisciplinar. Inicialmente foram desenvolvidas duas atividades com os alunos: a primeira foi uma redação que teve como tema o acidente de Goiânia para avaliar o conhecimento dos alunos sobre o mesmo; a segunda foi a aplicação de um questionário que incluía questões sobre o tema radiação nuclear, cujo objetivo era verificar o nível de entendimento sobre o fenômeno e ter um instrumento para avaliar a evolução ou não das idéias dos alunos com relação aos conceitos envolvidos. Como conclusão, obtiveram que o ACE se mostrou efetivo e os seguintes aspectos foram alcançados: visualização do processo de construção do conhecimento científico, entendimento de conceitos específicos, envolvimento dos professores em forma diferenciada a que normalmente utilizam em sala de aula, construção do entendimento em conjunto entre professores e alunos e vinculação de aspectos científicos, tecnológicos e sociais.

Os artigos relatados a seguir apresentam sugestões de abordagens sobre o tópico de **Radiação**.

Crippen e Curtrig (1998) utilizaram em aulas de Química um programa que traça gráficos a partir de dados das atividades das amostras. Os estudantes utilizaram o programa para desenvolver conceitos de decaimento nuclear. Eles tiveram a oportunidade de relacionar matematicamente importantes conceitos, como o de decaimento radioativo e formação de isótopos. Descrevem as atividades e questões propostas aos alunos e concluem dizendo que atividades de coleta e manipulação de dados favorecem o desenvolvimento de noções sobre radioatividade produzida por fissão nuclear. Como seguimento, propõem que sejam discutidos aspectos envolvendo o tema ciência, tecnologia e sociedade com discussão sobre usos da energia nuclear, análise de riscos-benefícios e responsabilidade governamental.

Anjos et al. (2000) descrevem uma proposta implementada no curso de graduação em Física, na disciplina de Laboratório Profissional I, para melhorar a aprendizagem de fenômenos de interação da radiação com a matéria, mais especificamente espectroscopia γ . Um aluno do curso coletou amostras de solo em Goiânia para obter informações atuais sobre a contaminação ambiental pelo ^{137}Cs . Os alunos trabalharam as amostras, coletaram dados e analisaram os resultados. Os resultados da experiência em termos didáticos foram considerados por eles extremamente satisfatórios, despertando grande motivação e empenho dos estudantes na sua realização.

Em seu trabalho, Hughes e Zalts (2000) sugerem como gráficos de atividade de amostras podem ser construídos e aplicados, juntamente com o conceito de datação radioativa, no Ensino Médio. Falam sobre a persistência dos materiais radioativos, lançando as seguintes questões, que podem ser trabalhadas em sala de aula:

- Quanto tempo o resíduo nuclear pode ser estocado sem ser considerado prejudicial?
- O que aconteceu com os elementos radioativos produzidos no acidente de Chernobyl?
- Como os objetos arqueológicos são datados com o método da datação radioativa?

O trabalho de Dunne e Miller (2001) descreve como os alunos mediram raios cósmicos no laboratório de Física Avançada de uma escola secundária. Neste experimento as interações entre os raios cósmicos secundários com o ar e com materiais mais densos foram avaliadas pelos estudantes. Como resultado principal obtiveram que as interações entre raios cósmicos secundários com o ar e com materiais densos podem ser demonstradas num laboratório onde os detectores apropriados estejam disponíveis.

Em outro artigo, King e Kennett (2002) consideram que o contexto de ciências da Terra pode ser usado para o ensino de energia e de Radioatividade para alunos entre 11 e 16 anos. Em sua abordagem incluem tópicos sobre efeito estufa e aquecimento global. Seu trabalho é uma tentativa de inserção no currículo de tópicos de Física Moderna. Os tópicos trabalhados foram os seguintes: o Sol como fonte de energia; energia geotérmica como fonte renovável de energia; transferência de energia no ciclo da água; resfriamento do magma e sua propriedade isolante; efeito estufa; a causa do aquecimento global; a Terra como um planeta único; sensoriamento remoto e as propriedades da superfície da Terra; fontes naturais de radiação; o conceito de meia-vida e sua importância no estudo da Terra. Para os autores, a inclusão dos tópicos citados se mostrou apropriada assim como o contexto de discussão sobre o planeta Terra, e se propõem a continuar pesquisando sobre o tema.

Em seu artigo, Deacon (2003) descreveu como os estudantes podem medir os efeitos da radiação de fundo em experimentos modificando a teoria comumente encontrada nos livros. Através de dois experimentos argumenta que os resultados nem sempre são os esperados e uma explicação alternativa deve ser procurada. No caso relatado, os dados experimentais de meia vida foram alterados devido à radiação de fundo.

Grove e Masters (2008) desenvolveram um análogo mecânico experimental para ajudar na aprendizagem do conceito de meia vida, mais especificamente para clarear a idéia de função exponencial. Notaram que os estudantes conseguiam construir a curva mais apropriadamente quando anteriormente haviam tido contato com o análogo mecânico. Como principal resultado, apontam que a investigação experimental através do análogo mecânico providencia uma correlação direta visual com a meia-vida.

Lapp (2008) utilizou a história de Alexander Litvienko para apresentar o tópico de radiação nuclear no Ensino Médio. A história de Alexander Litvienko, um agente da KGB que foi envenenado por uma amostra de polônio 210, esteve recentemente exposta nos meios de comunicação. O autor discutiu com seus alunos sobre os seguintes conceitos: isótopos, atividade, meia-vida, decaimentos e conversão de unidades. Para o autor, o uso da história de Alexander Litvienko teve um forte impacto não somente no interesse dos estudantes sobre o tópico, mas também na qualidade do entendimento adquirido pelos alunos.

2.3 Artigos Sobre Partículas Elementares

Percebe-se na literatura também uma preocupação com a preparação dos professores para abordar no Ensino Médio o tópico Partículas Elementares.

Moreira (1989), por exemplo, apresenta um mapa conceitual sobre partículas elementares como alternativa instrucional vantajosa em relação à tabela (produzida pela conferência no Fermilab em 1986) por diluir um pouco a informação e, sobretudo, por ter uma organização conceitual hierárquica mais bem definida do que a que se pode chegar através de uma tabela. O autor considera que o mapa apresentado oferece uma visão contemporânea da natureza da matéria, e o uso do mapeamento conceitual implica em uma visão moderna, construtivista, do processo ensino-aprendizagem.

A seguir apresentamos trabalhos que propõem sugestões de abordagem deste tópico.

Swinbank (1992) descreve um curso pós-médio introdutório de Física de Partículas contendo os seguintes módulos: física atômica e nuclear básica, aceleradores e detectores, partículas fundamentais, forças fundamentais e cosmologia. Os professores envolvidos foram preparados e receberam como material o guia do professor. Os alunos receberam os seguintes materiais: guia de exercícios, exercícios de compreensão e questões de avaliação.

Para Barlow (1992) muitos estudantes procuram o curso de Física querendo saber mais sobre o universo e como ele funciona, mas muitos desistem no meio do caminho, pois a hora de estudar estes tópicos não chega nunca... Para ele a base do curso é longa demais, os tópicos de Física Moderna são vistos apenas em nível de pós-graduação e os estudantes não são encorajados a procurar material fora do oferecido nos cursos regulares. Além disso, normalmente os cursos de Física de Partículas são dados nos últimos anos para que os alunos tenham conhecimento de Mecânica Quântica e de Relatividade para entender as suas propriedades. Ele se propôs então a desenvolver um curso de Física de Partículas no início do curso de Física. Apresenta em seu artigo sugestões de como explicar o modelo de quarks sem este corpo de conhecimentos, a partir da apresentação de alguns decaimentos, mas aponta a necessidade deles na abordagem da classificação octal.

Farmelo (1992) apresenta e discute quatro tópicos que têm sido apresentados na unidade de Física de Partículas na Fundação de Ciência Universidade Aberta. Estes tópicos também são sugeridos para que se discuta e possa ilustrar importantes pontos sobre a natureza da

ciência: (1) a descoberta da partícula ômega menos (Ω^-), que é um exemplo clássico de como uma nova teoria pode se estabelecer firmemente após ser usada para fazer previsões verificadas experimentalmente; (2) a história de como se estabeleceu que prótons, nêutrons e outros hádrons são formados por outros constituintes fundamentais, os quarks, e o paralelo com a história de como foi estabelecido que cada elemento químico consiste de uma combinação característica de elétrons, prótons e nêutrons; (3) a descoberta do J/Ψ e o lépton pesado fez parte de uma revolução científica onde dados experimentais não esperados reformulações na visão dos constituintes básicos da matéria; (4) a descoberta das partículas W e Z dão forte suporte à teoria que inicialmente foi acreditada como sendo válida. A interpretação destas partículas como mediadoras de força é, entretanto, complexa, e tentar o uso de imagens quase newtonianas provoca erro e confusão. Para este autor sujeitos em nível elementar podem ser ensinados com sucesso sobre Física de Partículas e este assunto pode ser usado para enfatizar idéias importantes sobre a verdadeira natureza da ciência.

O trabalho de Ostermann (1999) tem o objetivo de apresentar de maneira acessível para professores de Física deste nível aspectos do Modelo Padrão. Em outro trabalho, Ostermann e Cavalcanti (1999) apresentam um pôster elaborado para ser utilizado como material didático para a incorporação, na formação inicial e continuada de professores, sobre Partículas Elementares e Interações Fundamentais.

Hanley (2000) descreve uma experiência curricular em um curso de *Advanced Level (A-Level)*⁷. Dos tópicos abordados no curso, o mais popular foi o de cosmologia. O tópico de partículas não causou muito entusiasmo. Entretanto, o autor considera o tema muito significativo para qualquer idade, mesmo ao nível do Ensino Médio, especialmente quando abordado junto com o átomo e o núcleo. Para ele, este tópico poderia servir de conexão entre vários tópicos, como o movimento circular, a conservação da quantidade de movimento, interações fundamentais e campos, equivalência entre massa e energia, relatividade, estatística, questões morais e econômicas envolvendo o uso de tecnologia, cosmologia, aplicações na medicina e outros usos da radiação. Ele tem introduzido o tema com crianças de 10 anos e jovens (capazes e motivados) com sucesso. Também tem apresentado o tema em cursos de um dia para pessoas que nunca tiveram contato com Física na vida e considerou que as experiências foram satisfatórias e divertidas. O autor também cita formas de abordagem e

⁷ A-level é um curso pós-ensino médio preparatório para cursos universitários na Inglaterra.

programas de computador que existem também em outras instituições. Paralelamente ao trabalho com alunos, desenvolve continuamente programas de discussão e apoio para professores de Ensino Médio. Por outro lado, reconhece que, experimentalmente, o tópico de Física de Partículas é um problema. Desta forma, sugere que sejam utilizados outros recursos, como vídeos e simulações computacionais.

O autor conclui o artigo com as seguintes considerações sobre o ensino deste tópico: a) uma das dificuldades é o conceito de interação à distância, que não é intuitivo; b) deve ser bastante enfatizado que os léptons não sofrem interação forte e que são muito diferentes dos prótons.

Ao desenvolver a estrutura para um ano do curso opcional em Física Moderna na escola secundária da Suíça, Mühry e Ritter (2002) procuravam por novas motivações sobre experimentos de Física de Partículas que pudessem retratar os experimentos modernos sobre técnicas nesta área do conhecimento e fizessem com que os estudantes sentissem um pouco da excitação da descoberta de novas partículas. Eles acreditam que a identificação de múons presentes nos raios cósmicos, a investigação de seu decaimento e a medida de sua meia vida podem ser experimentos fascinantes. Como obstáculo, a investigação destas partículas exige um equipamento que não está acessível às escolas. Para resolver isso, eles percorreram pesquisadores e indústrias à procura de equipamentos obsoletos. Com o uso destes equipamentos fizeram experimentos sobre os múons e suas formas de decaimento. Apesar dos resultados experimentais não serem perfeitos, o experimento foi considerado pelos pesquisadores um sucesso para os estudantes.

O trabalho de Dunne (2002) teve como objetivo verificar a possibilidade de oferecer aos alunos uma descrição alternativa para o processo de interação de Yukawa por troca de partículas sem a analogia da bola de basquete. A primeira parte do artigo traça o desenvolvimento da mudança do pión por força internuclear que leva a reconhecer que a força nuclear forte é melhor descrita em termos da mudança da carga cor entre quarks. A segunda parte reforça a idéia de que a transferência de carga cor é um processo coesivo e estende a idéia para sugerir uma figura plausível da mudança do pión internuclear.

Macdonald e Bean (2009) descrevem o projeto de Educação em Física da Universidade do Kansas chamado *Quarked! Aventuras no universo subatômico*, que introduz para estudantes dos níveis elementar e médio o mundo subatômico através de oficinas para grupos

de estudantes e de uma página na internet com vídeos animados, games e planos de estudo. A oficina “*Quão pequeno é pequeno?*” explora o conceito de partículas através de uma série de atividades sobre tamanho e escala; e a oficina “*Quarks: up, down e o universo*” introduz a teoria de partículas através de relações da matéria com conceitos de densidade e energia. Este programa é muito bem aceito pelos professores que levam seus alunos para lá. Também é utilizado na universidade para introduzir conceitos de Física de Partículas para estudantes de graduação e pós-graduação.

2.4 Artigos Sobre Formação de Professores

Inicialmente destacamos um artigo que trata da formação de professores na área de Física Moderna e Contemporânea, dentro dos tópicos abordados nesta tese de doutorado ocorrido no Brasil. Trata-se do trabalho de Ostermann e Moreira (2000b), onde foi feita uma investigação dos tópicos de FMC que deveriam ser abordados no Ensino Médio segundo especialistas, a elaboração de materiais instrucionais, a preparação de professores para o ensino destes tópicos e sua utilização em aula com estudantes de Ensino Médio. Segundo os autores, a literatura apresenta as seguintes razões para a atualização dos conteúdos de Física: (a) despertar a curiosidade dos alunos; (b) colocar os alunos em contato com a Física atual; (c) motivar os jovens para a carreira científica; (d) discutir temas como buracos negros e Big Bang nas aulas de Física e não somente na televisão; (e) a Física Moderna é considerada difícil e abstrata, mas a Física Clássica também o é; (f) o ensino de temas atuais de Física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta da Ciência. Ainda segundo estes autores, não havia muito na literatura em como enfocar temas modernos e contemporâneos no Ensino Médio e que, de uma maneira geral, existiam três vertentes mais representativas de propostas de enfoques metodológicos: 1) exploração dos limites dos modelos clássicos, 2) a não-utilização de referências a modelos clássicos e 3) a escolha de tópicos especiais. Os tópicos abordados no referido trabalho foram Física de Partículas e Supercondutividade. Como principais resultados, obtiveram que: (a) os futuros docentes deram muita importância à problemática da atualização curricular; (b) as maiores dificuldades por eles enfrentadas foram a indisciplina dos alunos, a falta de pré-requisitos, muita abstração requerida em alguns aspectos dos tópicos, e sua insegurança a respeito do domínio do conteúdo; (c) os futuros professores afirmaram que pretendiam incorporar tópicos de FMC em sua futura prática docente; (d) eles consideraram que a disciplina esteve bem organizada e

contribuiu para sua formação, tanto sobre ensino como sobre os conteúdos; (e) destacaram como positivo o fato deles mesmos terem elaborado os textos que usaram com os alunos em vez de o terem recebido pronto; (f) o vestibular foi mencionado como obstáculo para a inovação curricular; (g) a fase de preparação dos professores é uma fase crucial do processo de atualização curricular e a atualização curricular em Física passa necessariamente pela atualização dos mesmos sobre o conteúdo ou por uma disposição à mudança; (h) os alunos de Ensino Médio podem aprender significativamente tópicos de FMC e eles se sentiram mais motivados para o estudo da Física ao estudar estes tópicos.

Trabalho semelhante sobre formação de professores é o de Nanes e Jewett Jr. (1994), realizado com professores de Física do Ensino Médio no sul da Califórnia através do programa *National Science Foundation*, com o objetivo de prepará-los para incorporar conceitos de Física Moderna em suas aulas.

A seguir apresentamos outros trabalhos considerados relevantes sobre preparação de professores em geral e recomendações sobre este tema.

Péres (1991) faz uma síntese dos conhecimentos científicos e habilidades desejáveis no ensino de ciências. Para ele, é importante conhecer profundamente a matéria a ensinar, e ressalta os seguintes pontos que o professor de ciências deve saber: (1) conhecer a história das ciências: conhecer os problemas que originaram a construção dos conhecimentos científicos, como evoluíram, quais foram as dificuldades; (2) conhecer as orientações metodológicas empregadas na construção dos conhecimentos, a forma com que os cientistas abordam os problemas, as características mais notáveis de sua atividade; (3) conhecer as interações ciência/tecnologia/sociedade associadas a esta construção, sem ignorar o caráter do papel social das ciências, a necessidade da tomada de decisões; (4) ter algum conhecimento dos desenvolvimentos científicos recentes e suas perspectivas para poder transmitir uma visão dinâmica e não fechada da ciência; (5) saber selecionar conteúdos adequados que proporcionem uma visão atual da ciência e sejam acessíveis aos alunos e susceptíveis de lhes interessar. Não considera conveniente nem necessário transmitir propostas didáticas como produtos acabados, mas de forma que conduzam os professores, a partir de suas próprias concepções, a ampliar seus recursos e modificar suas perspectivas. O eixo condutor para um trabalho de renovação didática deve ser a problemática que gera a prática e as próprias concepções espontâneas.

Para Blanco e Pérez (2000) um modelo curricular com caráter processual, aberto e flexível, demanda uma participação ativa do professor. A delimitação e seqüência do conteúdo de ensino são, sem dúvida, tarefas-chave no ensino. Para eles, estas tarefas devem ser guiadas através de fundamentos e procedimentos como análise do conteúdo disciplinar e das dificuldades da sua aprendizagem em função das características dos alunos. Destacam os seguintes pontos que devem ser dominados pelos professores: (a) conhecer em profundidade a disciplina, inclusive sobre as reflexões epistemológicas envolvidas; (b) saber detectar, analisar e interpretar as concepções dos alunos para orientar sua aprendizagem; (c) dispor de propostas de critérios e estratégias que dirijam e fundamentem suas reflexões e tomadas de decisão. Enfatizam que os conhecimentos acadêmicos, como didática das ciências, são necessários, mas não suficientes, para gerar um novo conhecimento profissional desejável, se justapondo e integrando com os derivados de sua prática. As concepções dos professores influem decisivamente em suas aprendizagens e, por conseqüência, nas possíveis mudanças que se possam gerar em suas concepções e práticas em decorrência de seus processos formativos. Os programas que têm como base o desenho e desenvolvimento do currículo e a investigação da prática docente são válidos para promover o contraste e a integração dos diferentes saberes e fontes de conhecimento profissional. Também para estes autores a viabilidade das inovações que se pretendem está condicionada à disposição e formação prévia dos participantes e à adoção de uma perspectiva de mudança como um processo a longo prazo que requer que se proporcionem e mantenham apoios durante sua implementação. O objetivo de seu trabalho foi o de analisar as concepções e práticas de um grupo de professores em relação à seleção e seqüência do conteúdo de ensino e em que medida evoluíam através de um programa de formação. As dificuldades encontradas foram duas: (a) a análise e seleção dos conteúdos procedimentais se traduzem, em geral, em simples habilidades de investigação mais ou menos manipulativas, não contemplando que estes devem ser ao mesmo tempo estratégias para a aprendizagem dos conteúdos conceituais e o desenvolvimento cognitivo dos alunos,. (b) análise das exigências cognitivas dos conteúdos. A identificação dos esquemas de conhecimento que estão implícitos na aprendizagem dos conteúdos foi uma tarefa considerada difícil e, mais ainda, foi determinar se o nível de desenvolvimento que os alunos têm é adequado aos mesmos. Por último, um problema comum a todos os professores, que deve ser superado para a tarefa de desenho do currículo, é a necessidade de ter que dedicar um tempo maior às tarefas docentes, o que não tem sido contemplado pela administração educativa.

Para Porlán (2003), o pensamento docente de “sentido comum” é gerado na formação inicial, por um processo tácito de impregnação ambiental onde está ausente a reflexão consciente e argumentada. Além disso, a formação inicial não provoca a ruptura epistemológica e didática necessária para que dela emergja um conhecimento realmente profissionalizado e crítico, mas superpõe as crenças e pautas já interiorizadas a um conhecimento disciplinar academicista, fragmentado e descontextualizado que perde, assim, todo seu potencial transformador. Desta forma, a socialização e a transmissão da cultura e da prática profissional funciona através de procedimentos extra-acadêmicos, ocultos, eficazes e muito resistentes à mudança. Aqueles modelos formativos em que os professores ou os licenciandos aprendem a questionar suas concepções e suas práticas em relação aos problemas curriculares fundamentais (o que ensinar e para quê?, que tarefas colocar para a classe?, como fazer um segmento da evolução da classe e da aprendizagem dos alunos?, etc.), e a desenhar e aplicar mudanças controladas nas aulas, favorecem significativamente a evolução e o desenvolvimento profissional dos participantes, especialmente daqueles com uma atitude prévia favorável à mudança escolar. Quer dizer, quando os professores e os licenciandos são orientados em um processo de re-construção crítica da conduta docente majoritária e do saber implícito que a sustenta (o modelo tradicional de ensino), submetendo-os a um contraste significativo e funcional com conhecimentos e experiências mais coerentes com os resultados da investigação educativa, podem surgir neles modelos de ensino-aprendizagem mais conscientes, complexos e evoluídos capazes de sustentar uma prática inovadora e realmente profissionalizada.

Guisasola et al. (2004) argumentam que a investigação em ensino a nível universitário é apenas incipiente e não alcançou o desenvolvimento da do nível médio. Os professores universitários seguem alheios a investigações recentes sobre ensino e seguem mantendo sua velha prática. Por exemplo, não levam em conta as pré-concepções dos alunos e reconhecem que não têm preparado seus alunos para resolver problemas. Porém, ultimamente os professores têm se mostrado mais receptivos aos resultados das pesquisas sobre ensino. Os autores enumeram as diferentes linhas de investigação em ensino como sendo: (a) sobre o ensino habitual na universidade; (b) como melhorar a aprendizagem de Física dos estudantes; (c) como avaliar a compreensão dos estudantes; (d) se as novas tecnologias contribuem para a aprendizagem; (e) investigações sobre as motivações e interesses dos alunos de Física. Para eles, o papel da investigação em didática da Física pode ser o de fomentar novas e melhores estratégias de ensino nas classes de teoria e problemas, assim como nas práticas de

laboratório, controlar seus efeitos tanto na aprendizagem e compreensão da Física como na motivação por sua aprendizagem. Os autores também sugerem que a investigação em ensino deveria impulsionar e controlar a qualidade das inovações educativas, que os colegas dos departamentos de Física deveriam tomar consciência da necessidade de realizar investigação didática nos próprios departamentos e de cooperação entre investigadores em didática e professores.

Já para Bueno et al. (2005), no programa de formação inicial deve haver uma maior presença de conteúdos relativos ao desenvolvimento de habilidades, conhecimento de técnicas e estratégias concretas, ao desenvolvimento de atitudes positivas frente ao ensino.

Na opinião de Borges (2006), o estudante deve, ao final da educação básica: (a) conhecer os principais modelos da ciência; (b) ter aprendido a modelar fenômenos, eventos e situações e (c) ter desenvolvido a capacidade e adquirir o hábito de buscar, avaliar, julgar a qualidade dos argumentos e das evidências disponíveis para a produção de conhecimento novo sobre os fenômenos e problemas tratados. Diz esse autor que há muitas fontes de dificuldades para se implementar este tipo de currículo. (1) Em sua prática docente cotidiana e de forma geral, os professores de Física enfatizam demais a memorização de fatos e fórmulas, assim como a sua aplicação na resolução de exercícios de fim-de-capítulo, em detrimento do desenvolvimento do pensar científico. Eles não fazem isso por mero acaso, mas por estarem reproduzindo a abordagem e os métodos de ensino de Física que vivenciaram em sua formação. Reproduzem, pois, o que lhes ensinaram, tácita e inconscientemente, seus ex-professores. (2) Outra das dificuldades está ligada à abordagem e ao uso dos modelos nos materiais de ensino e na sala de aula. Ao se apresentar um modelo conceitual aos estudantes, os autores de livro-texto, e os professores em sala de aula, em geral, tomam como certo que os estudantes assimilam o modelo tal qual como é apresentado. Raramente os modelos são usados como ferramentas efetivas para se pensar sobre sistemas e fenômenos físicos. Os modelos não são explorados como ferramentas para o raciocínio, mas como meros recursos auxiliares para o ensino de fatos e teorias científicas. Aqui também os professores reproduzem o modelo de ensino em que foram formados. (3) Em sala de aula, em geral, os docentes não se empenham em desenvolver o pensar científico e em ensinar sobre como planejar e conduzir investigações, em desenvolver as habilidades de argumentação e de comunicação de idéias científicas para pessoas do mesmo nível cultural. Novamente, eles não procedem assim por mero acaso, mas por não terem tido acesso a um

tipo de ensino que lhes proporcionasse uma base empírica pessoal capaz de servir de modelo a ser imitado nos primeiros anos da profissão. De fato, os professores, em geral, não tiveram, em sua graduação, uma experiência mais autêntica de pensar cientificamente. Não conduziram investigações científicas ou tiveram a experiência de ler e discutir comunicações científicas autênticas. Assim, não tiveram uma experiência pessoal sobre como desenvolver as habilidades de argumentação, a capacidade de analisar e tratar dados transformando-os em evidências, avaliar e julgar o poder de convicção das evidências e a habilidade de comunicar seus resultados a outras pessoas. Desta forma, os professores não ensinam isso em suas aulas reproduzindo o ensino que tiveram. O autor critica o modelo de formação de professores normalmente adotado nas universidades e que pode ser descrito em três etapas: ensinar aos estudantes a ciência básica relevante, ensinar a eles a ciência aplicada relevante e dar a eles um espaço para praticar. Cita Schön (1987) para dizer que a vida de qualquer profissional e não apenas a do professor, exige que ele atue nas chamadas zonas indeterminadas da prática, nas quais ele se vê diante de situações de incerteza, confusão e desordem, e nas quais ele não sabe imediatamente qual é o problema. O autor argumenta que a fraqueza essencial do modelo de formação atual é a ausência de preparação do profissional para considerar problemas de natureza não-técnica, ou casos únicos, que não se enquadram nos modelos descritos na literatura. Diz ainda que o modelo de formação profissional tem implementação frágil e não se apóia nos resultados de pesquisas científicas. A formação deve considerar que a atuação de um professor de Física será diferente da atuação do físico profissional. Baseado em referenciais buscados na literatura, aponta dois caminhos para um novo programa de formação: basear o ensino em métodos e técnicas cientificamente pesquisados e utilizar os recursos proporcionados pelas modernas tecnologias.

Em sua pesquisa, Oliveira et al. (2007) encontraram que dos 10 professores do ensino público do Rio de Janeiro entrevistados, 7 nunca trabalharam com Física Moderna. Segundo estes autores, a lacuna provocada por um currículo de Física desatualizado resulta numa prática pedagógica descontextualizada da realidade do aluno. Além disso, não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar esta disciplina que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a Física desempenha no mundo em que vive.

2.5 Artigos sobre a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990) foi desenvolvida inicialmente na área de ensino da Matemática, mais especificamente no estudo das estruturas aditivas e multiplicativas. Na área da Física, este referencial vem sendo utilizado com sucesso no estudo das dificuldades dos alunos e na aplicação de novas metodologias. Apresentaremos a seguir alguns trabalhos que utilizam, recentemente, este referencial na Pesquisa em Ensino de Física.

Sousa e Fávero (2002) entrevistaram alunos do Ensino Médio que se consideravam com dificuldades em Eletricidade. Cada um dos alunos foi submetido a cinco sessões individuais de resolução de problemas. Como resultado, obtiveram que é possível, a partir de uma situação problema, levar o sujeito a trabalhar com os invariantes operatórios de um dado campo conceitual, que a motivação exerce um papel fundamental na aprendizagem e que, como sugere Vergnaud, o domínio de um campo conceitual é progressivo.

Quando o sujeito toma consciência de alguns elementos do campo conceitual e da sua própria compreensão, mesmo que parcial sobre eles, ele se sente “motivado”. Isto indica, portanto, que o domínio do campo conceitual é progressivo e que o sujeito estava desmotivado porque não havia dominado sequer alguns teoremas-em-ação e conceitos-em-ação iniciais que lhe permitissem “entrar” no campo conceitual dos circuitos simples.

Llancaqueo et al. (2003) pesquisaram o conceito de campo em alunos de bacharelado, adotando o referencial teórico dos campos conceituais de Vergnaud para compreender e explicar o processo de aprendizagem deste conceito. Observaram ausência de invariantes para enfrentar as situações-problema propostas. A maioria dos estudantes se encontra nos níveis mais baixos de conceitualização do conceito de campo, o que está de acordo com o baixo desempenho nas categorias de análise. Estes resultados estão de acordo com o referencial adotado que afirma que um baixo nível de conceitualização se caracteriza por baixos níveis de explicitação de invariantes e suas representações, com predomínio de aspectos procedimentais das operações sobre o uso de predicados de maior riqueza conceitual.

Em outro trabalho, Sousa et al. (2004), buscaram inferir se os alunos construía modelos mentais ao resolver as situações propostas sobre o tópico de ondas e identificar os invariantes operatórios usados na construção de tais modelos. Para isso, foram entrevistados

seis alunos de uma turma de Física Geral de um curso universitário. Como conclusão, obtiveram que os alunos pareciam trabalhar com modelos mentais causais, que nos casos dos sujeitos de médio e baixo desempenho, não apresentaram *robustez*, no sentido de que não se mostravam capazes de se reestruturarem perante variações na situação problemática. Já os sujeitos de alto desempenho pareciam demonstrar maior habilidade em criar e utilizar tais modelos no trato com a situação problemática. Para estes autores, a resolução de uma situação problemática é facilitada quando o aluno é capaz de construir modelos mentais adequados e eficientes para dar conta dela, e a construção de tais modelos depende fortemente dos invariantes operatórios significativos presentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Além disso, para tais autores, uma das primeiras tarefas do professor ao trabalhar determinado campo conceitual seria a de promover o desenvolvimento de invariantes operatórios dos alunos, no sentido de levá-los o mais próximo possível dos cientificamente aceitos.

Stipcich et al. (2004 e 2006) apresentam uma proposta didática para a aprendizagem da interação gravitacional que foi implementada com estudantes de 15 anos de idade. Esta proposta, fundamentada na teoria dos campos conceituais de Vergnaud, teve os seguintes objetivos: (a) compreender os conceitos, leis, teorias e modelos mais gerais que permitam alcançar uma visão mais genérica da Física; (b) analisar criticamente hipóteses e teorias alternativas para dar resposta a um mesmo problema; (c) avaliar a importância histórica de determinados modelos para a interpretação de certos fenômenos; (d) reconhecer as limitações do emprego do modelo de ação a distância com respeito à noção de força; (e) identificar diferentes circunstâncias pelas quais é possível reconhecer a interação gravitacional; (f) identificar variáveis que participam na interação e sua influência na intensidade da força de atração. A proposta foi constituída de dezessete atividades com diferentes níveis de generalidade. Como resultado principal foi observada uma evolução conceitual, a respeito desse conceito, por parte dos alunos.

A partir de questionários respondidos pelos professores de Física da Fundação Liberato (Novo Hamburgo, RS) sobre as dificuldades já identificadas por eles anteriormente nos alunos, Grings et al. (2006) elaboraram um instrumento para detectar significados, dificuldades e indicadores de possíveis invariantes operatórios apresentados no campo conceitual da Termodinâmica, na conceitualização de temperatura, calor, trabalho, energia interna e entropia, por estudantes de nível médio e técnico. Como resultado, encontraram que a teoria dos campos conceituais de Vergnaud mostrou-se um potente referencial teórico para a

pesquisa em Ensino de Física; e que esta teoria é importante não só para entender o domínio de um campo conceitual, mas para buscar invariantes operatórios que possam estar servindo de obstáculo à aprendizagem significativa, uma vez que tal aprendizagem é um processo onde a nova informação interage com os conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva. Em trabalho posterior (Grings et al. 2008a), com entrevistas a outro grupo de alunos, confirmaram que o progresso dos alunos em um determinado campo conceitual não é linear: possui avanços e retrocessos e é distinto para diferentes alunos. Além disso, observaram a importância dos signos, que de acordo com o referencial teórico adotado, fazem parte do conceito. Esta não compreensão dos significados dos signos implica a não compreensão dos conceitos e utilização de regras inadequadas.

Para introduzir o conceito de temperatura Grings (2008b) desenvolveu uma metodologia a partir de situações, baseadas na TCC de Vergnaud, em que os estudantes viram-se confrontados com o fato de o conceito de temperatura estar relacionado com o movimento de átomos e moléculas. Como resultado, obteve evidências do desenvolvimento de esquemas pelos alunos durante sua exposição às situações apresentadas e de que estas situações facilitaram a conceitualização e deram sentido ao conceito de temperatura.

Já Carvalho Jr. (2008) acompanhou as trajetórias de aprendizagem de alunos do Ensino Médio, com o objetivo de investigar a efetividade da diversificação de estratégias e atividades de ensino, assim como a importância da aquisição do modelo cinético-molecular por parte dos estudantes. Construiu uma seqüência de ensino calcada na diversificação de estratégias e, a partir dela, acompanhou a evolução dos modelos explicativos dos estudantes sobre conceitos da Física Térmica. Como conclusão, ressalta que os conceitos estudados, o nível de profundidade das abordagens e as avaliações das aprendizagens podem ser planejados a partir da seleção das situações que deverão ser enfrentadas pelos estudantes, ao longo de um determinado período de tempo. Ressaltou também que a teoria dos campos conceituais se apresenta como referencial teórico promissor para pesquisas em que se quer focar o sujeito-em-ato, envolvido em tarefas de ensino e aprendizagem. Do mesmo modo, esta teoria se apresenta como ferramenta poderosa na construção de planejamentos didáticos por parte dos professores, pois os auxilia no desenho das situações de ensino, na seleção dos conceitos e teoremas-chave e suas relações, assim como na análise da evolução temporal dos modelos explicativos dos sujeitos a partir da verificação dos conceitos e teoremas-em-ação utilizados.

2.6 Considerações sobre a Revisão da Literatura

Como podemos ver nos trabalhos apresentados, a abordagem de tópicos de FMC, incluindo os tópicos de *Física Nuclear, Radiação e Partículas Elementares* é uma tendência internacional e são apresentadas várias razões para a introdução de temas de FMC no Ensino Médio. Apesar disso, os professores de Ensino Médio, em muitos casos, não são considerados bem preparados para trabalhar satisfatoriamente com estes tópicos, havendo vários exemplos de iniciativas de preparação de professores em exercício. Por outro lado, pode-se constatar que alunos de Ensino Médio podem aprender conceitos de FMC, assim como o público em geral.

Observa-se também que a preparação dos professores de Física, através da formação inicial, é uma fase crucial do processo de atualização curricular, mas esta também passa, necessariamente, pela atualização dos professores em serviço. A importância da formação inicial também se evidencia no sentido de que as concepções dos professores, adquiridas em seus processos formativos, influem decisivamente em suas aprendizagens e na resistência a mudanças em suas concepções e práticas, pois eles tendem a reproduzir abordagens e métodos de ensino de Física que vivenciaram em sua formação. Como aspectos que devem ser levados em consideração na formação inicial, podemos, a partir da revisão feita, destacar os seguintes:

- A formação inicial deve considerar que a atuação de um professor de Física será diferente da atuação do físico profissional.
- Em um programa de formação inicial deve haver uma maior presença de conteúdos relativos ao desenvolvimento de habilidades, conhecimento de técnicas e estratégias concretas, e ao desenvolvimento de atitudes positivas frente ao ensino.
- Não é conveniente, nem necessário, transmitir propostas didáticas como produtos acabados, mas de forma que conduzam os professores, a partir de suas próprias concepções, a ampliar seus recursos e modificar suas perspectivas.
- A análise e seleção dos conteúdos procedimentais devem ser ao mesmo tempo estratégias para a aprendizagem dos conteúdos conceituais e para o desenvolvimento cognitivo dos alunos.
- Os modelos científicos devem ser explorados como ferramentas para o raciocínio.
- Os professores e os licenciandos devem ser orientados em um processo de reconstrução crítica da conduta docente majoritária e do saber implícito que a sustenta (o modelo tradicional de ensino), submetendo-os a um contraste significativo e

funcional com conhecimentos e experiências mais coerentes com os resultados da investigação educativa; podem surgir neles modelos de ensino-aprendizagem mais conscientes, complexos e evoluídos capazes de sustentar uma prática inovadora e realmente profissionalizada.

- Conhecer a história das ciências: (1) conhecer os problemas que originaram a construção dos conhecimentos científicos, como evoluíram, quais foram as dificuldades; (2) conhecer as orientações metodológicas empregadas na construção dos conhecimentos, a forma com que os cientistas abordam os problemas, as características mais notáveis de sua atividade; (3) conhecer as interações ciência/tecnologia/sociedade associadas a esta construção, sem ignorar o caráter do papel social das ciências, a necessidade da tomada de decisões; (4) ter algum conhecimento dos desenvolvimentos científicos recentes e suas perspectivas para poder transmitir uma visão dinâmica e não fechada da ciência; (5) saber selecionar conteúdos adequados que proporcionem uma visão atual da ciência e sejam acessíveis aos alunos e susceptíveis de lhes interessar.
- Os tópicos de FMC são normalmente trabalhados ao final do curso de graduação, na maioria das vezes nos cursos de pós-graduação.
- Em sala de aula, em geral, os professores não se empenham em desenvolver o pensar científico e em ensinar sobre como planejar e conduzir investigações, em desenvolver as habilidades de argumentação e de comunicação de idéias científicas para pessoas do mesmo nível cultural. Eles não procedem assim por mero acaso, mas por não terem tido acesso a um tipo de ensino que lhes proporcionasse uma base empírica pessoal capaz de servir de modelo a ser imitado nos primeiros anos da profissão. Assim, não tiveram uma experiência pessoal sobre como desenvolver as habilidades de argumentação, a capacidade de analisar e tratar dados transformando-os em evidências, avaliar e julgar o poder de convicção das evidências e a habilidade de comunicar seus resultados a outras pessoas. Desta forma, os professores não ensinam isso em suas aulas, apenas reproduzem o ensino que tiveram.
- O pensamento docente de “sentido comum” é gerado na formação inicial, por um processo tácito de impregnação ambiental onde está ausente a reflexão consciente e argumentada. Além disso, a formação inicial não provoca a ruptura epistemológica e didática necessária para que dela emergja um conhecimento realmente profissionalizado e crítico, mas superpõe as crenças e pautas já interiorizadas a um

conhecimento disciplinar academicista, fragmentado e descontextualizado, que perde, assim, todo seu potencial transformador.

- É possível, a partir de uma situação problema, levar o sujeito a trabalhar com os invariantes operatórios de um dado campo conceitual, que a motivação exerce um papel fundamental na aprendizagem e que o domínio de um campo conceitual é progressivo.
- A construção de modelos pelos alunos depende fortemente dos invariantes operatórios significativos presentes na estrutura cognitiva deles.
- Uma das primeiras tarefas do professor ao trabalhar determinado campo conceitual seria a de promover o desenvolvimento de invariantes operatórios dos alunos, no sentido de levá-los o mais próximo possível dos cientificamente aceitos.
- A teoria dos campos conceituais se apresenta como ferramenta poderosa na construção de planejamentos didáticos por parte dos professores, pois os auxilia no desenho das situações de ensino, na seleção dos conceitos e teoremas-chave e suas relações, assim como na análise da evolução temporal dos modelos explicativos dos sujeitos a partir da verificação dos conceitos e teoremas-em-ação utilizados.
- O progresso dos alunos em um determinado campo conceitual não é linear: possui avanços e retrocessos e é distinto para diferentes alunos.
- Os esquemas dos alunos se desenvolvem durante sua exposição às situações-problema trabalhadas. Estas situações facilitam a conceitualização e dão sentido aos conceitos.

De todos estes aspectos a presente investigação se concentra particularmente nos últimos, aqueles relacionados com campos conceituais, situações-problema e conceitualização, tomando como fenômeno de interesse a disciplina de Estrutura da Matéria e nela os tópicos Radiação, Física Nuclear e Partículas Elementares.

Passamos agora à Metodologia.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Neste capítulo é descrita a metodologia utilizada na pesquisa, a qual teve como **objetivo principal investigar como conduzir a disciplina de Estrutura da Matéria em um curso de Licenciatura para que a aprendizagem significativa dos temas de Física Moderna e Contemporânea estudados seja favorecida e, desta forma, os futuros professores sejam capazes de fazer a transposição didática necessária para abordá-los no Ensino Médio.**

Para isso, realizamos uma intervenção didática (a pesquisadora atuando como professora) na disciplina de Estrutura da Matéria do curso de Ciências Exatas do Centro Universitário UNIVATES (Lajeado – RS) com habilitação integrada em Física, Química e Matemática. Esta disciplina ocorre no oitavo semestre de um curso noturno de 4 anos e consiste de um encontro semanal de 4 horas-aula, num total de 16 encontros (64 créditos, onde cada crédito corresponde a 1 hora-aula). Os tópicos abordados na pesquisa foram: *Física de Partículas, Radiação e Física Nuclear*. A unidade *Ligações Químicas* apresentada na tabela 3.1 não fez parte desta pesquisa, pois o tempo disponível no decorrer da disciplina não permitiu que a metodologia desenvolvida fosse utilizada.

A investigação consistiu de várias etapas, que foram sendo executadas ao longo do processo. Estas etapas, descritas a seguir, não foram realizadas numa ordem temporal rigorosamente idêntica a apresentada e muitas vezes elas se superpuseram.

- Análise conceitual da disciplina de Estrutura da Matéria, através da identificação de seus conceitos-chave, de suas idéias e proposições-chave, de quais os conhecimentos prévios (subsunçores) e situações que deveriam ser dominadas pelos alunos, futuros professores, para um bom aproveitamento na disciplina. Esta análise se deu através de estudo na bibliografia, de conhecimentos próprios sobre a disciplina, de

entrevistas com especialistas e de um mapeamento conceitual completo dos respectivos conteúdos através da escolha dos conceitos-chave descritos na seção 1.1 e nas figuras nele apresentadas.

- Organização da disciplina na linha dos referenciais teóricos adotados, a partir de situações, conforme referencial teórico descrito na seção 1.2, levando em conta o que foi feito na etapa anteriormente descrita visando facilitar a aprendizagem significativa. Estas situações estão descritas mais adiante neste capítulo. Além disso, foram preparadas avaliações com o objetivo de evidenciar a aprendizagem significativa dos estudantes.
- Elaboração de situações e de instrumentos de avaliação, que serviram para a coleta de material produzido pelos alunos para sua avaliação da aprendizagem.
- Estudo I, onde a disciplina foi trabalhada de forma tradicional para posterior triangulação entre as observações sobre a aprendizagem dos alunos (futuros professores) e sua disposição em fazer a transposição didática dos conteúdos abordados.
- Estudo II e estudo III, onde a proposta formulada foi implementada e houve o acompanhamento da aprendizagem dos alunos através de um estudo qualitativo tendo como base as situações de avaliação.
- Investigação de como a disciplina de Estrutura da Matéria ou equivalente é ministrada atualmente nos cursos de Licenciatura em Física em diversas universidades do Rio Grande do Sul (UFRGS, UFSM, UFPEL, FURG, PUCRS e UNISINOS), bem como qual o papel que ocupa no currículo de cada curso, sua importância e relevância. Esta investigação ocorreu através de análise dos planos de ensino e envolveu os conteúdos abordados, ementas, metodologia utilizada, bibliografia utilizada e objetivos destas disciplinas no curso. Além disso, foram feitas entrevistas semi-estruturadas com os professores que usualmente ministram estas disciplinas. Essa análise está descrita no capítulo 5.
- Ao final dos estudos II e III foi feita a aplicação de um questionário de atitudes, onde se analisou a opinião/aceitação dos estudantes sobre a metodologia aplicada e sua disposição em trabalhar com estes conteúdos e com a metodologia em seu futuro profissional.

Como já foi mencionado, a metodologia de ensino utilizada nos estudos II e III foi baseada na Teoria dos Campos Conceituais, através da construção e aplicação de situações-problema, de forma a favorecer a aprendizagem significativa dos conteúdos trabalhados. Segundo este referencial, a principal função do docente é a de propor situações que promovam a aprendizagem significativa e atuar como mediador do processo.

De acordo com seu emprego em sala de aula, as situações desenvolvidas poderiam ter como objetivo tanto a *introdução de conceitos* como a *avaliação*, como citado no capítulo 1.

As *situações de avaliação* desenvolvidas visaram obter indícios da aprendizagem dos alunos e foram classificadas em dois tipos: *teóricas* e *procedimentais*. As *avaliações teóricas* consistiram de provas escritas, com questões que abordam conceitos tanto em sua forma teórica, propriamente dita, onde o estudante deveria enunciar suas propriedades, suas relações e transformações para dar conta das situações apresentadas, como em sua forma aplicada, através de resolução de problemas numéricos. As *avaliações procedimentais* tiveram o objetivo de abordar a forma prática do conhecimento, permitindo ao aluno atuar na situação⁸. As avaliações deste tipo elaboradas nesta pesquisa consistiram nas seguintes tarefas: confecção de um texto para alunos de Ensino Médio, organização de um mapa conceitual, criação de situações-problema e análise destas situações propostas pelos colegas, e elaboração e apresentação de uma micro-aula. Os resultados destas avaliações estão descritos no capítulo 4.

As situações que se destinavam à introduzir novos conceitos estão detalhadamente apresentadas na descrição dos estudos II e III.

A fase de intervenção didática ocorreu em condições reais de sala de aula em três semestres: 2005/B (estudo I), 2006/B (estudo II) e 2007/B (estudo III). A seguir procuramos descrever como as aulas transcorreram em cada estudo, de uma forma geral, através das *situações propostas* e da *atuação da professora*. Obviamente houveram intervenções dos alunos e particularidades na dinâmica de sala de aula que não estão descritas. Optamos por deixá-las fora para demonstrar como a metodologia foi desenvolvida e aplicada na perspectiva da professora pesquisadora. Desta forma, as contribuições orais dos alunos não foram registradas e a nossa ênfase foi a de registrar como as aulas foram planejadas de acordo com os referenciais adotados. **Em nossa pesquisa optamos por considerar como indicativos de aprendizagem significativa somente os registros escritos produzidos pelos alunos.**

⁸ Nos dois tipos de situação ocorre a atuação do aluno, mas no segundo tipo esta atuação é de caráter procedimental.

3.1 Estudo I

Neste primeiro estudo, a disciplina foi trabalhada de forma tradicional numa turma de 28 alunos, sem que a metodologia desenvolvida no decorrer da pesquisa fosse utilizada. Optou-se por este tipo de abordagem para fins de comparação do desempenho dos alunos nos diversos estudos. Por este motivo as avaliações utilizadas em todos os estudos foram iguais ou muito semelhantes. A descrição das aulas neste primeiro estudo não está apresentada em detalhe, pois acreditamos que o tipo de aula tradicional é bem conhecido: o professor expõe, os alunos anotam, aplicam a teoria nos problemas e estudam para as provas.

Na tabela 3.1. é apresentado como os conteúdos neste estudo foram divididos em unidades, correspondendo à ordem em que foram apresentados.

Tabela 3.1: Unidades trabalhadas na disciplina de Estrutura da matéria em 2005/B (Estudo I).

Unidade	Conteúdos	Carga horária
Unidade 1	<i>Física de Partículas:</i> Partículas e antipartículas. Interações fundamentais e classificação das partículas. Leis de conservação e simetrias. Modelo padrão.	16 h/aula
Unidade 2	<i>Física Nuclear:</i> A composição do núcleo. Radioatividade. Decaimentos alfa, beta e gama. Força nuclear.	16 h/aula
Unidade 3	<i>Reações Nucleares e suas Aplicações:</i> Reações nucleares. Fissão, fusão e reatores nucleares. Aplicações.	16 h/aula
Unidade 4	<i>Estrutura e Espectros das Moléculas:</i> Ligação iônica. Ligação covalente. Outros tipos de ligação. Níveis de energia e espectros de moléculas diatômicas.	16 h/aula

A disciplina foi baseada na seguinte bibliografia: *Física Moderna* (Tipler, 2001) e *Fundamentos de Física* (Halliday et al., 2003).

Como instrumento de avaliação foi realizada uma prova em duplas e um texto foi confeccionado (também em duplas) pelos alunos. Os demais instrumentos de avaliação, tais como os procedimentais, citados anteriormente, não foram aplicados e fazem parte da metodologia utilizada nos Estudos II e III.

Para a confecção do texto, os alunos receberam as seguintes instruções:

Elabore um texto para alunos de Ensino Médio sobre *Partículas Elementares e Interações Fundamentais*. Este texto deve estar inserido em um contexto, ou seja deve estar explicitado em que momento se planeja trabalhar com ele.

A seguir é apresentada a prova escrita, que foi respondida em duplas com consulta.

AVALIAÇÃO (Estudo I)

1. (a) Explique como o núcleo, que é formado por partículas positivas e neutras pode se manter estável.

Conceitos-chave: *Estabilidade nuclear e força nuclear.*

(b) Explique o papel de cada componente nesta estabilidade.

Conceitos-chave: *Composição do núcleo e propriedades das partículas que o compõem.*

(c) Explique como podem existir núcleos superpesados estáveis.

Conceitos-chave: *Estabilidade nuclear e força nuclear. Composição do núcleo e propriedades das partículas que o compõem.*

2. O nuclídeo ^{244}Pu ($Z = 94$) é um emissor de partículas alfa. Dentre as alternativas abaixo, qual é o núcleo resultante do decaimento? Explique o porquê de cada alternativa ser correta ou falsa.

Conceito-chave: *Decaimento alfa.*

a) ^{240}Np ($Z = 93$)

b) ^{240}U ($Z = 92$)

c) ^{248}Cm ($Z = 96$)

d) ^{244}Am ($Z = 95$)

3. Todos os isótopos do chumbo têm 82 prótons.

a) Se um dos isótopos do chumbo tivesse 82 nêutrons, onde estaria situado na carta de nuclídeos?

Conceitos-chave: *Classificação dos núcleos e carta de nuclídeos.*

b) Se fosse possível fabricar este isótopo, ele decairia emitindo pósitrons, decairia emitindo elétrons ou seria estável?

Conceitos-chave: *Estabilidade nuclear e tipos de decaimento.*

c) De acordo com a carta de nuclídeos, quantos nêutrons, aproximadamente, deve ter um isótopo estável do chumbo?

Conceito-chave: *Carta de nuclídeos.*

4. O nuclídeo ^{238}U ($Z = 92$) pode se fissionar em dois fragmentos com o mesmo número atômico e o mesmo número de massa.

Conceito-chave: *Carta de nuclídeos.*

a) O nuclídeo ^{238}U está cima ou abaixo da reta $Z = N$ da carta de nuclídeos?

b) Os dois fragmentos estão acima ou abaixo desta reta?

c) Os fragmentos são estáveis ou radioativos?

5. Utilizando conceitos abordados durante nossa disciplina, explique as seguintes frases:

a) “Somos feitos de estrelas”.

Idéias-chave: *Reação de fusão e liberação de energia. Formação de elementos químicos através de fusão no interior de estrelas.*

b) “O decaimento radioativo foi a primeira indicação de que as leis que governam o mundo atômico são estatísticas”.

Idéia-chave: *Decaimento radioativo como indicação de que as leis que governam o mundo subatômico são estatísticas.*

6. A meia-vida de um isótopo radioativo é de 140 dias. Quantos dias são necessários para que a taxa de decaimento de uma amostra deste isótopo diminua para um quarto do valor inicial?

Conceitos-chave: *Conceito e cálculo de meia-vida.*

Além das avaliações já citadas, ao final do semestre os alunos fizeram uma avaliação da disciplina, que teve 20 respondentes. As questões propostas nesta avaliação foram construídas em conjunto pelos professores do curso de Ciências Exatas e aplicadas em todas as disciplinas que ocorreram no curso naquele semestre. O objetivo desse questionário era que os alunos avaliassem as disciplinas quanto à metodologia utilizada, à atuação do professor, os conteúdos trabalhados e o sistema de avaliação. Apesar de ter sido construído pelo grupo de professores que não faz parte da pesquisa, o consideramos válido para verificar a opinião dos

estudantes sobre a disciplina, o professor, os conteúdos abordados, a metodologia e o sistema de avaliação. O questionário foi respondido de forma anônima e as questões propostas foram as seguintes:

Avaliação da disciplina

1. Qual tua opinião sobre o trabalho da turma, considerando os seguintes aspectos: envolvimento, participação, compromisso, relacionamento, aprendizagem, entre outros?
2. Qual a tua opinião sobre o professor, com respeito à sua interação com os alunos, seu envolvimento com a disciplina e no sentido de proporcionar um bom ambiente de trabalho?
3. Com respeito aos conteúdos abordados, qual tua opinião sobre sua importância, sua aplicabilidade e sua relevância?
4. Na tua opinião, a metodologia, através das atividades propostas tem facilitado (ou não) os seguintes aspectos (ou outros): a construção do conhecimento, a participação do aluno, a aquisição de habilidades? De que forma? O que necessita de reformulação?
5. Na tua opinião, o sistema de avaliação é coerente com a metodologia utilizada e com os conteúdos abordados? Por que pensas isso? O que necessita de reformulação?

As respostas dos alunos serão apresentadas no capítulo 4.

3.2 Estudo II

No segundo semestre de 2006, em uma turma de 37 alunos, a metodologia adotada na disciplina foi diferenciada, baseada na Teoria dos Campos Conceituais, e os conteúdos não foram apresentados de forma tradicional desde a primeira aula. A escolha deste referencial já foi discutida anteriormente e acreditamos que mesmo que a mediação através da linguagem tenha um papel crucial no ensino de ciências, isso não significa que o papel do professor se limite a colocar em palavras o conteúdo conceitual dos conhecimentos (Vergnaud, 2007, p. 4). **A abordagem se baseou então em situações de aprendizagem, onde os conceitos a serem trabalhados não eram apresentados de imediato, em um primeiro momento, como acontece numa aula tradicional. Em vez disto, os alunos eram levados até o**

conceito através de argumentação, tarefas a serem cumpridas por eles, exemplos de situações, analogias e questionamentos. Quer dizer, o formato tradicional aplicado no Estudo I, que inicia com a apresentação das teorias e leis na forma de equações matemáticas, segue com a apresentação de exemplos de casos específicos, aplicação do formalismo à solução de exercícios; não foi utilizado.

As situações que fizeram parte da metodologia tinham como objetivo gerar no aluno uma “necessidade cognitiva” do conceito trabalhado, de forma que a situação proposta ganhasse sentido através do conceito que se queria introduzir, ou seja, deveriam ser situações *potencialmente significativas*. Foram então desenvolvidas situações que podem ser classificadas em dois tipos: *teóricas*, que são apresentadas através de discussões dirigidas e questionamentos, e *procedimentais*. As situações deste segundo tipo procuraram fazer com que o aluno se envolvesse diretamente na execução de tarefas, fazendo com que ele participasse de uma forma diferenciada das situações do primeiro tipo. Ambos os tipos de situações tem como objetivo principal favorecer a aprendizagem significativa do aluno. Esta diferenciação entre os tipos de situações é compatível com a teoria, pois Vergnaud faz uma diferenciação entre problemas de natureza prática e de natureza teórica (1990, p. 135) e, como já foi mencionado anteriormente, distingue entre a forma prática do conhecimento, que permite atuar na situação e sua forma teórica, que enuncia os objetos de pensamento, suas propriedades, suas relações e suas transformações (Vergnaud, 2007, p.2).

Nas *situações teóricas* a linguagem tem um papel essencial, através da negociação de significados e da mediação do professor, podendo consistir de experimentos de pensamento, analogias e discussões dirigidas em grande grupo. Foram utilizadas quando se desejava ativar os conceitos subsunçores dos alunos para que estes pudessem relacioná-los com os conceitos novos, colocar em dúvida a validade de alguma teoria já conhecida e para motivá-los na introdução de novos conceitos, sua importância e aplicabilidade.

A seguir relatamos como decorreram as aulas e como foram utilizadas as situações. Para facilitar sua identificação, a situação está apresentada dentro de um quadro; o objetivo ou propósito da situação está grifado em itálico, assim como o conceito-chave. A seguir é descrito o transcorrer da aula, que inclui a narração da professora e o material fornecido aos alunos. Como já foi dito, as intervenções dos alunos não foram registradas, **pois a intenção é a de expor como as aulas foram planejadas através das situações propostas**. A eficácia da metodologia foi analisada a partir da aprendizagem significativa dos alunos, que foi inferida

com base nos registros escritos (provas, textos e mapas) e também através da avaliação da disciplina (capítulo 4).

- **AULA 1** (31/07) (Estudo II)

Introdução e apresentação do plano da disciplina; explicação da metodologia. Entrega das provas (disciplina de Mecânica Quântica ocorrida no semestre anterior) e comentários sobre essas provas.

- **AULA 2** (07/08)

Partículas elementares

Situação 1:

Questionamento aos alunos: *Quais as forças que vocês conhecem?* (situação teórica)

Objetivo: *A intenção desta questão foi a de iniciar um debate sobre os tipos de força conhecidos pelos alunos, para que através de argumentação e exemplos dados pela professora, fossem reduzidas aos tipos já conhecidos por eles que fazem parte das forças fundamentais: força gravitacional e eletromagnética.*

Conceitos-chave: *Forças e interações fundamentais.*

A partir do que os alunos respondiam, eram levados, através de argumentação, a reduzir a apenas duas as forças conhecidas por eles: gravitacional e eletromagnética.

Através de questionamento e exemplos, foi ressaltado que ambas as forças são de ação à distância.

Situação 2:

Questionamento aos alunos: *O que é força?* (situação teórica)

Objetivo: *A partir desta questão pretendeu-se que os alunos se manifestassem e falassem sobre sua noção de força como um puxão ou empurrão. A partir daí, procurou-se introduzir o conceito de força como interação entre dois ou mais corpos.*

Conceito-chave: *Interação.*

Conforme os alunos iam respondendo que a força é um puxão ou um empurrão, a professora ia questionando sobre a possibilidade de um corpo fazer força nele mesmo (aplicações da terceira lei de Newton), fazendo surgir a idéia de que força é uma interação entre dois ou mais corpos, também através de exemplos.

A seguir, introduziu-se a idéia de força como interação por troca de partículas, como originalmente proposto por Yukawa em 1935 e discutiu-se a aplicação desta idéia nas duas forças já comentadas:

- partícula mediadora da força eletromagnética: *fóton*
- partícula mediadora da força gravitacional: *gráviton (ainda não detectado)*.

Situação 3:

Ilustração do conceito de interação como troca de partículas mediadoras através de analogias. (*situação teórica*)

Objetivo: *As analogias foram propostas com o objetivo de fazer relações entre os conceitos novos (interação e partículas mediadoras) com conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno [troca de objetos (bolas) entre pessoas]. Além disso, mostrar como ocorre o processo de modelagem que acompanha uma teoria.*

Conceitos-chave: *Interação e partículas mediadoras.*

Através de narração, a professora apresentou as seguintes analogias para os alunos, que também as receberam por escrito, sendo que a qualquer momento eles podiam fazer perguntas e observações.

- **Patins** (*ilustra como seria a força de repulsão*): Imagine duas pessoas de patins, sobre uma superfície sem atrito, uma em frente à outra. Ambas estão inicialmente paradas, e uma delas segura uma bola em suas mãos. Quando a primeira pessoa atira a bola para a segunda, esta segunda pessoa sofre um recuo. Analogamente, quando a bola for atirada novamente para a primeira pessoa, ela sofrerá um recuo também. Os recuos sofridos por ambas as pessoas foram na mesma direção e sentidos opostos. Podemos dizer então que estas pessoas

se afastaram, ou sofreram “repulsão”. Neste caso, a bola funciona como a partícula mediadora da interação.

- **Partida de tênis** (*ilustra a relação entre tamanho da partícula mediadora e distância entre objetos que interagem*): Na maioria dos jogos com bola, quanto maior a bola, menor deve ser a distância entre os jogadores e menor a velocidade desta. Assim, num jogo de vôlei (bola grande), a distância entre os jogadores é menor do que a distância entre jogadores de tênis (bolinha menor). Além disso, a velocidade da bolinha de tênis é maior do que a de vôlei.

- **Partida de futebol observada pelos aliens** (*ilustra como a interação através de troca de partículas foi proposta como sendo um modelo explicativo*): Imagine a seguinte situação: Uma comitiva de *aliens* veio ao nosso planeta para estudar nossos costumes. Entre estes costumes, estava uma partida de futebol. Só que estes seres extraterrestres, devido à sua estrutura visual, não conseguiam ver objetos de cor branca e preta. Então, no jogo de futebol, não conseguiam ver a bola. Durante o jogo, eles viam os jogadores se movendo e fazendo gestos, dando a entender que trocavam entre si algum tipo de objeto. Eles também podiam ver que em determinados momentos, que a rede se mexia, e havia uma grande comoção na torcida. Também perceberam que nestas ocasiões, a rede adquiria um formato arredondado. Estes seres observaram vários jogos e faziam muitas anotações, na tentativa de entendê-lo. Ao final de varias observações e análise de suas anotações, perceberam que toda a movimentação dos jogadores adquiria sentido se eles estivessem trocando entre si um objeto, e que este objeto deveria ter uma forma arredondada. Todas estas conclusões foram tiradas sem que os *aliens* pudessem ver efetivamente a bola.

Situação 4:

Questionamento aos alunos: *Ao analisar o interior do átomo, podemos continuar usando estas mesmas forças?* (situação teórica)

Objetivo: *Com esta situação, buscou-se fazer com que os alunos se questionassem sobre a validade das forças que conheciam até o momento.*

Idéias-chave: *Composição do núcleo e propriedades das partículas que o compõem.*

A professora conduz a discussão através dos seguintes argumentos:

- na eletrosfera: sim, atração entre prótons e elétrons (*força eletromagnética e gravitacional*).

- no núcleo: deveria haver repulsão entre as partículas positivas (*força eletromagnética*) e elas não poderiam ficar unidas.

Situação 5:

Questionamento aos alunos: *Por que então o núcleo é estável?* (situação teórica)

Objetivo: *Com as forças conhecidas pelos alunos esta questão apresenta um paradoxo. Pretendeu-se, então, criar a necessidade de uma nova força que explicasse esta situação.*

Conceitos-chave: *Estabilidade nuclear e força nuclear.*

Podemos ver em nossa vida diária que os átomos são estáveis, ou então não teríamos os materiais ao nosso redor, como mesas, cadeiras, e até nós mesmos.

Neste caso, deve haver uma outra força atuando, de forma a haver atração entre as partículas. Esta força é chamada de **força nuclear**.

Yukawa propôs que a partícula mediadora da força nuclear fosse chamada de **méson π** ou **píon**, e que deveria ter as seguintes propriedades:

- massa menor que a do próton,
- massa maior que a do elétron,
- seria trocada entre prótons (p-p), entre nêutrons (n-n) ou entre próton e nêutron (p-n),

Atualmente são consideradas quatro interações fundamentais:

- **interação gravitacional** – atrativa
- **interação eletromagnética** – atrativa ou repulsiva
- **interação forte** (ou nuclear forte) – atrativa
- **interação fraca** (ou nuclear fraca) – atrativa

Situação 6: (não é uma situação-problema no estilo proposto por Vergnaud)
Entrega do texto introdutório sobre modelos atômicos (*situação teórica*).

Objetivo: *Este texto visou reativar na estrutura cognitiva dos alunos os conceitos sobre modelos atômicos que eles possuíam, bem como evidenciar a estreita relação entre experimentos e teorias na evolução destes modelos, através da discussão de suas falhas e experimentos que refutaram ou deram origem a novas teorias.*

Idéias-chave: *Evolução dos modelos atômicos através da interação entre teoria – experimento. Os componentes do núcleo não são elementares, pois são formados por outras partículas. Diferença na visão que se tem de grandezas macroscópicas e microscópicas. A ciência está em constante transformação e não é algo acabado.*

O texto (APÊNDICE I) foi lido pelos alunos e comentado pela professora, ocasião em que os alunos tiraram dúvidas.

A seguir, a professora faz a seguinte exposição, retomando a força nuclear:

- Para que a teoria de Yukawa fosse considerada satisfatória, esta partícula mediadora deveria ser detectada. (interação teoria e experimento)

- Em 1936 foi encontrada experimentalmente uma outra partícula, o **múon**, semelhante ao elétron, porém 200 vezes mais pesada.

- O pión foi detectado apenas em 1947.

Uma série de outras partículas foram sendo descobertas, resultando num número bastante grande. Por isso, houveram várias tentativas de classificação destas partículas.

Situação 7:

Exemplos de classificação de objetos. (*situação teórica*)

Objetivo: *Através desta situação pretendeu-se que os alunos percebessem a variedade de formas de classificação possível de vários objetos (conhecimento subsunçor) e que pudessem relacioná-los com as possíveis classificações das partículas elementares.*

Idéias-chave: *Classificação das partículas elementares e suas propriedades. Surgimento da hipótese dos quarks.*

Todas as classificações são baseadas em algumas das propriedades dos objetos que se quer classificar. Por exemplo, se quisermos classificar livros, podemos utilizar um das seguintes propriedades, entre outras:

- peso;
- cor;
- gênero ou assunto;
- capa mais bonita;
- altura do livro;
- ordem alfabética do autor;
- ordem alfabética do título;
- ordem cronológica de aquisição;
- ordem cronológica de edição.

A propriedade escolhida para a classificação deve ser a mais adequada às necessidades de quem utiliza ou deseja utilizar os objetos em questão. No caso dos livros, geralmente se utiliza a classificação por assunto e autor.

No caso das partículas subatômicas, uma das classificações possíveis é de acordo com a massa:

- **léptons** - menor peso: elétrons, nêutrons, múon, tau.
- **hádrons** – maior peso:
 - mésons, ex. pión.
 - bárions, ex. prótons.

Em 1960/61 dois cientistas (Murray Gell-Mann e George Zweig), independentemente, propuseram a classificação octal, ou seja, a partir de determinadas propriedades as partículas poderiam ser agrupadas em famílias de oito partículas.

Em 1964 esta classificação resultou na proposta de uma nova partícula fundamental, chamado de **quark**, que para completar corretamente seu lugar na classificação octal, deveria ter carga fracionária ($\pm 1/3 e$, $\pm 2/3 e$,...). Os quarks seriam as partículas formadoras de outras partículas, chamadas de hádrons, como os prótons, por exemplo.

Situação 8:

Questionamento aos alunos: *Como pode haver carga menor que a carga do elétron?* (situação teórica)

Objetivo: *Nesta atividade queria-se que os alunos avaliassem se o novo conhecimento (partícula elementar quark) está de acordo com conhecimentos anteriores (quantização e conservação da carga elétrica)*

Idéias-chave: *Classificação das partículas elementares e suas propriedades.*

Os quarks não existem como partículas livres, mas apenas confinados nos hádrons de tal forma que a carga de uma partícula continuaria sendo múltiplo de e , a carga elementar do elétron.

Outra evidência que favorecia a existência dos quarks era a existência de apenas seis léptons e de muitos hádrons, o que não era uma situação simétrica.

O primeiro quark foi detectado nos anos 70 e o último em 1995.

Situação 9:

Os alunos receberam a tarefa de elaborar um texto em duplas sobre partículas elementares para alunos de Ensino Médio. (situação procedimental)

Objetivo: *Esta situação teve como objetivo fazer com que os estudantes, além de aprenderem significativamente os conceitos físicos, se preparassem para usá-los em atividades em seu futuro profissional.*

Conceitos e idéias-chave: *Classificação das partículas elementares e suas propriedades; antipartículas; modelo padrão; interações fundamentais; partículas mediadoras; aceleradores de partículas: princípios de funcionamento e aplicações.*

Para a confecção deste texto, os alunos receberam as seguintes instruções:

O texto deve ser criado com o propósito de ser trabalhado com alunos de Ensino Médio e deverá conter as seguintes ilustrações e assuntos:

- uma tabela com as principais propriedades das partículas elementares;
 - um esquema conceitual sobre o assunto;
 - aceleradores de partículas;
 - raios cósmicos;
 - modelo padrão e suas limitações;
 - quantos e quais quarks existem ao todo;
 - quantos léptons existem;
 - qual a diferença entre força nuclear fraca e forte;
- Deve estar inserido num contexto (o que foi trabalhado antes e o que será trabalhado depois).
 - Não deve ser cópia de textos que já existem;
 - Pode conter trechos de textos, desde que a referência seja citada;
 - Todas as fontes consultadas devem ser citadas na bibliografia.

Os alunos também tiveram acesso a um material disponibilizado no setor de reprografia, que encontra especificado no APÊNDICE II.

Para a execução desta tarefa, os alunos receberam o seguinte cronograma:

- 14/08 (aula 3) – até o fim da aula deve ser apresentado à professora o primeiro esboço do texto de cada dupla.
- 21/08 (aula 4) – avaliação individual sobre partículas elementares.
- 28/08 (aula 5) – entrega do texto

- **AULA 3 (14/08)**

- Apresentação do primeiro esboço do texto de cada dupla.

- **AULA 4 (21/08)**

- Avaliação individual com consulta contendo as seguintes questões:

Questão 1. Faça o seu mapa conceitual sobre partículas elementares. Use apenas conceitos ou nomes.

Objetivo: *Ao construir o mapa conceitual, pretendemos investigar como o aluno relaciona os conceitos envolvidos, além de verificar quais os conceitos considerados mais importantes por eles.*

Conceitos-chave: *Aqueles mais destacados pelo aluno.*

Questão 2. Escolha dois conceitos sobre partículas elementares e proponha *situações-problema* que facilitem para os alunos de Ensino Médio a aprendizagem destes conceitos.

Objetivo: *Os alunos foram solicitados a elaborar suas próprias situações problemáticas, pois não queríamos passar a idéia de que a metodologia aplicada seja uma idéia pronta e acabada. Desta forma, pretendeu-se conduzir os futuros professores a partir de suas próprias construções para que eles aplicassem a metodologia futuramente com seus alunos.*

Idéias-chave: *As situações propostas pelos alunos.*

- **AULA 5** (28/08)

- Entrega do texto pelos alunos.

Situação 1:

Os alunos receberam a tarefa de analisar e comentar as questões propostas pelos colegas na avaliação da aula passada. (*situação procedimental*)

Objetivo: *As respostas dos alunos à questão 2 da avaliação individual não corresponderam às expectativas, ou seja, não puderam ser consideradas situações-problema. Eles apresentaram, em sua maior parte, exercícios comuns, como “complete a frase...” ou muito amplos, como “pesquise sobre raios cósmicos...”. Então, nesta atividade pretendeu-se que os alunos discutissem as questões propostas pelos colegas, analisando-as criticamente e propondo novas questões.*

As *situações-problema* criadas pelos alunos na questão 2 da avaliação individual foram digitadas pela professora, numeradas e distribuídas aleatoriamente para análise da turma. Para isto, os alunos em grupos de três ou quatro integrantes receberam as seguintes instruções:

- Analisar e comentar cada questão (situação-problema), levando em conta os seguintes itens:

- se faz parte do conteúdo;
- se o grupo consegue identificar o conceito envolvido;
- se o grupo consegue responder a questão;
- se facilita a construção do conhecimento ou é apenas memorística;
- se for o caso, propor reformulações à questão;
- numerar a questão analisada para identificação.

- **AULA 6** (04/09)

Radiação

Situação 1:

Problematização feita através de imagens referentes às conseqüências de acidentes radioativos através de apresentação no data-show. (*situação teórica*)

Objetivo: *O objetivo desta apresentação⁹ foi o de motivar os alunos sobre a importância do estudo da radioatividade no Ensino Médio e sua importância social, sendo que enfoca principalmente a importância do conhecimento na prevenção de acidentes que poderiam ter sido evitados.*

Conceitos-chave: *Uso consciente e responsável da Energia Nuclear e da Radiação.*

A apresentação completa se encontra no ANEXO I. Foram também apresentados alguns acidentes, suas causas e conseqüências. A listagem dos acidentes apresentados está no ANEXO II.

⁹ Esta apresentação foi cedida pelo professor da UFRGS Jose Túlio Moro e mostra fotos de vítimas e de acidentes radioativos como o de Goiânia e de Chernobyl.

Situação 2:

Questionamento aos alunos: *Sabendo da descoberta dos raios X por Roentgen no ano anterior, Becquerel queria descobrir se os minerais que se tornavam fluorescentes depois de serem expostos à luz solar também emitiam raios X espontaneamente. Como ele fez para testar isto?* (situação teórica)

Objetivo: *Buscou-se preparar os alunos para a apresentação das formas de detecção da Radiação (o conceito de raios X foi abordado no semestre anterior). Também se pretendeu motivá-los para a apresentação das técnicas de detecção de radiação mais utilizadas naquela época, além de enfatizar o processo de “criação” de uma teoria na ciência (modelagem), ou de como a ciência funciona.*

Idéias-chave: *Diferença na visão que se tem de grandezas macroscópicas e microscópicas. Evolução dos modelos atômicos (e da própria ciência) através da interação entre teoria – experimento.*

Ele (Becquerel) colocou uma amostra de um destes minerais, o sulfato duplo de urânio e potássio, em cima de uma placa fotográfica embrulhada em papel preto e expôs o conjunto à luz solar no peitoril de uma janela. Nos primeiros experimentos, uma imagem da amostra apareceu na placa revelada, o que sugeria que o material realmente estava emitindo raios X. Durante um período de tempo nublado, porém, uma amostra que tinha sido guardada em uma gaveta, sem ser exposta à luz, também impressionou uma chapa fotográfica, o que levou Becquerel a concluir que o material estava emitindo espontaneamente uma radiação penetrante até então desconhecida; o cientista acabara de descobrir a radioatividade. (Tipler, 2001, p. 329).

Situação 3:

Os alunos receberam a tarefa de preparar uma micro-aula para os colegas. *(situação procedimental)*

Objetivo: *Esta atividade foi elaborada para ser potencialmente significativa para os alunos, de forma que se sentissem comprometidos também com a aprendizagem dos colegas, elaborando situações-problema que favorecessem esta aprendizagem e que poderiam ser usadas também posteriormente em seu futuro profissional.*

De acordo com as instruções da professora, os alunos se organizaram em grupos de quatro alunos e cada grupo foi encarregado de preparar uma aula para os colegas, com duração de 15 min de apresentação mais 10 min para perguntas e discussão. Esta aula devia ser sobre um dos pontos indicados pelo professor e apresentar o conteúdo em questão na forma de situações-problema que facilitassem a aprendizagem dos colegas sobre os conceitos abordados.

Os temas sorteados para os grupos foram os seguintes:

1) Experimento de Rutherford para estudar a radiação e contador Geiger.

Conceitos-chave: *Principais tipos de radiação (α , β e γ) e suas características.*

2) Modelos nucleares.

Conceitos-chave: *Modelos nucleares: da gota líquida, de camadas e coletivo. Números mágicos e sua analogia com as camadas eletrônicas.*

3) Decaimento α e exemplos.

Conceito-chave: *Decaimento α .*

4) Decaimento β^+ (explicar através dos quarks) e exemplos.

Conceito-chave: *Decaimento β^+ .*

5) Decaimento β^- e exemplos.

Conceito-chave: *Decaimento β^- .*

6) Processo de fusão e energia nuclear.

Conceito-chave: *Reação nuclear de fusão e sua relação com fontes alternativas de energia e formação de elementos químicos no interior de estrelas.*

7) Processo de fissão e energia nuclear. Famílias radioativas.

Idéia-chave: *Reação nuclear de fissão, energia nuclear e famílias radioativas.*

8) Funcionamento de uma usina nuclear. Lixo atômico.

Conceitos-chave: *Funcionamento de uma usina nuclear e sua relação com o meio ambiente. Aspectos positivos e negativos.*

9) Funcionamento de uma bomba atômica.

Idéia-chave: *Funcionamento de uma bomba atômica e implicações sociais.*

10) Acidentes: Chernobill e Goiânia.

Idéia-chave: *Uso consciente e responsável da energia nuclear.*

11) Aplicações: datação radioativa e traçadores.

Idéia-chave: *Datação radioativa e aplicações médicas.*

12) Efeitos biológicos da radiação.

Idéia-chave: *Efeitos biológicos da radiação.*

- **AULA 7 (11/09)**

Através de narração, a professora expôs como foi feita a análise da radiação emitida no experimento de Rutherford. Ele estudou a radiação emitida e constatou como sendo formada por três tipos:

- radiação α : núcleos de hélio. São pouco penetrantes, pois até uma fina folha de papel consegue detê-las;

- radiação β : composta de elétrons. Possuem um poder de penetração maior, e uma camada de poucos milímetros de metal é suficiente para amortecer o seu movimento;

- radiação γ : ondas eletromagnéticas (fótons) de alta frequência (maior que a dos raios X). Os raios γ são os mais penetrantes, pois chegam a atravessar um bloco de chumbo de alguns centímetros de espessura, alguns elementos emitem um, dois ou os três tipos de radiação.

Situação 1:

Questionamento aos alunos: *De onde vinham estas partículas? A emissão continuava mesmo quando o material sofria transformações físicas: trituração, pulverização, congelamento ou colocado em ebulição. O que podia significar isto? (situação teórica)*

Objetivo: Após o estudo dos três tipos de radiação emitida, alfa, beta e gama, pretendeu-se que os alunos refletissem sobre a origem destas partículas, formulando hipóteses, até que surgisse a idéia de que estas partículas devem vir de alguma parte do átomo.

Idéia-chave: Processos radioativos são decorrentes de reações nucleares e não de reações atômicas.

A partir das respostas dos alunos, a professora formulou a seguinte hipótese:

Se as partículas vêm do átomo, elas podem vir da eletrosfera ou do núcleo.

Situação 2:

Questionamento aos alunos: *Estas partículas podem ter origem na eletrosfera?*
(situação teórica)

Objetivo: Fazer com que os alunos questionassem sobre a validade da primeira das hipóteses levantadas.

Idéia-chave: Motivos que levaram à suposição de que existiam elétrons no núcleo e refutação desta hipótese.

Através de argumentos e questionamentos, a professora verificou com os alunos a validade da hipótese:

Os elétrons (partículas beta) até poderiam vir da eletrosfera.

Há a emissão de fótons pela eletrosfera (explicados por Bohr através dos espectros de emissão e absorção), mas com energias menores que a dos fótons γ .

Situação 3:

Questionamento aos alunos: *Além disso, de onde viriam as partículas α , que são compostas de prótons e nêutrons?* (situação teórica)

Objetivo: *Esta questão teve o mesmo objetivo da anterior, e pretende refutar a hipótese testada.*

Idéia-chave: *Motivos que levaram a suposição de que existiam elétrons no núcleo e refutação desta hipótese.*

Desta forma, a hipótese de que as partículas emitidas na radiação beta têm origem na eletrosfera é considerada falsa pelos estudantes.

Para analisar a segunda hipótese, foi utilizada da seguinte situação:

Situação 4:

Questionamento aos alunos: *O que ocorre com o elemento químico após emitir radiação?* (situação teórica)

Objetivo: *Através deste questionamento, objetivou-se abordar o problema da origem das partículas emitidas na radiação através da análise do estado final do material radioativo e utilizar os conhecimentos que os alunos já tinham sobre os elementos químicos e suas propriedades.*

Idéia-chave: *Processos radioativos são decorrentes de reações nucleares e não de atômicas.*

Inicialmente, tem-se o elemento radioativo A. Após certo tempo, tem-se os elementos A e B. Este segundo elemento (B) varia para cada elemento radioativo (A).

Este segundo elemento pode ser explicado através da ocorrência de um **decaimento**, ou seja, o elemento químico “pai” (A) se transforma no elemento químico “filho” (B).

Situação 5:

Questionamento aos alunos: *E o que difere um elemento químico de outro?* (situação teórica)

Objetivo: *Através desta atividade procurou-se fazer com que os alunos relacionassem os conhecimentos já existentes em sua estrutura cognitiva sobre os elementos químicos e suas propriedades, com as questões anteriormente propostas, para que concluíssem que estas*

modificações apresentadas pelos materiais radioativos resultam de modificações em seus núcleos.

Idéia-chave: *Processos radioativos são decorrentes de reações nucleares e não de atômicas.*

O que difere um elemento químico de outro é seu número de prótons. Como os prótons estão no núcleo e este se modifica à medida que o elemento químico emite radiação, **as partículas emitidas neste processo devem vir do núcleo.**

Composição do núcleo (retirado de Halliday et al., 2003, p. 214)

Conceitos-chave: *Propriedades do núcleo: tamanho e sua proporcionalidade com o número de massa; densidade de massa, de carga elétrica e forma dos núcleos.*

Através de exposição, a professora apresentou o seguinte conteúdo:

Os núcleos são feitos de prótons e nêutrons. O **número de prótons** do núcleo (também conhecido como **número atômico**) é representado pela letra Z ; o **número de nêutrons** é representado pela letra N . A soma do número de prótons e do número de nêutrons é conhecida como **número de massa** e representada pela letra A :

$$A = Z + N$$

Os prótons e nêutrons recebem o nome genérico de **núcleons**. Os nuclídeos são representados por símbolos como ${}^1\text{H}$, ${}^{31}\text{P}$, ${}^{157}\text{Gd}$. Considere, por exemplo, o nuclídeo ${}^{197}\text{Au}$. O índice superior 197 indica o valor do número de massa A . O símbolo químico Au indica que o elemento é ouro, cujo número atômico é 79. De acordo com a expressão acima, o número de nêutrons deste nuclídeo é $197 - 79 = 118$.

Os nuclídeos com mesmo número atômico Z e diferentes números de nêutrons N são chamados de **isótopos**. O elemento ouro possui 32 isótopos, desde o ${}^{173}\text{Au}$ até o ${}^{204}\text{Au}$. Apenas um destes nuclídeo é estável; os outros 31 são radioativos. Estes **radionuclídeos** sofrem um processo espontâneo de **decaimento** (ou **desintegração**) no qual emitem uma ou mais partículas e se transformam em um nuclídeo diferente.

Situação 6:

Questionamento aos alunos: *Qual a fonte de energia das partículas emitidas?* (situação teórica)

Objetivo: *Pretendeu-se com esta questão discutir com os alunos sobre as energias envolvidas nos processos radioativos e sobre as fontes das energias envolvidas e introduzir o novo tópico.*

Conceitos-chave: *Massa e energia de ligação dos núcleos e sua relação com a conversão massa-energia.*

Através de narração, a professora falou sobre o assunto:

Para responder a esta questão, chegou a ser proposta uma teoria que dizia que o elemento “captava” a energia do meio ambiente e a transformava. (*hipótese refutada de imediato pelos estudantes*).

Para responder a esta questão vamos analisar o seguinte caso (retirado de Maleh, 1977, p. 104).

Situação 7:

Análise de um exemplo de transformação massa-energia. (*situação teórica*)

Objetivo: *Através deste exemplo, procurou-se mostrar como ocorre a transformação relativística massa-energia.*

Conceitos-chave: *Massa e energia de ligação dos núcleos e sua relação com a conversão massa-energia.*

O elemento químico hidrogênio (H) é composto de 1 elétron e 1 próton. A massa do átomo de H (m_H) deveria ser a soma da massa do elétron (m_e) e da massa do próton (m_p):

$$m_H = m_e + m_p = 0,000911 \times 10^{-27} \text{ kg} + 1,672621 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,673532 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Entretanto, a massa do H encontrada experimentalmente é dada por: $1,007825 \times 10^{-27}$ kg (de acordo com Halliday et al., 2003). O que aconteceu com a diferença?

A diferença das massas se transformou em energia, que é utilizada para manter unidos o elétron e o próton.

Equivalência massa-energia (retirado de Halliday et al., 2003, p. 217)

A massa M de um núcleo é *menor* que a massa total Σm das partículas que o compõem. Isto significa que a energia de repouso Mc^2 de um núcleo é *menor* que a energia de repouso total $\Sigma(mc^2)$ dos prótons e nêutrons que fazem parte do núcleo. A diferença entre estas duas energias é chamada de **energia de ligação** do núcleo:

$$\Delta E_{el} = \Sigma(mc^2) - Mc^2 \quad \text{energia de ligação}$$

Atenção: A energia de ligação não é uma energia de ligação existente no núcleo e sim a diferença entre a energia de repouso do núcleo e a soma das energias de repouso das partículas existentes no núcleo. Quanto maior é o valor desta diferença, mais estável é o núcleo.

Uma medida ainda melhor da estabilidade de um núcleo é a energia de ligação por núcleon ΔE_{eln} , que é a razão entre a energia de ligação ΔE_{el} de um núcleo e o número A de núcleons do núcleo:

$$\Delta E_{eln} = \frac{\Delta E_{el}}{A}$$

Podemos pensar na energia de ligação por núcleon como a energia média necessária para arrancar um núcleon do núcleo. A figura 3.1 a seguir mostra um gráfico da energia de ligação por núcleon ΔE_{el} em função do número de massa A para um grande número de núcleos.

- Discussão sobre interpretação e propriedades do gráfico.

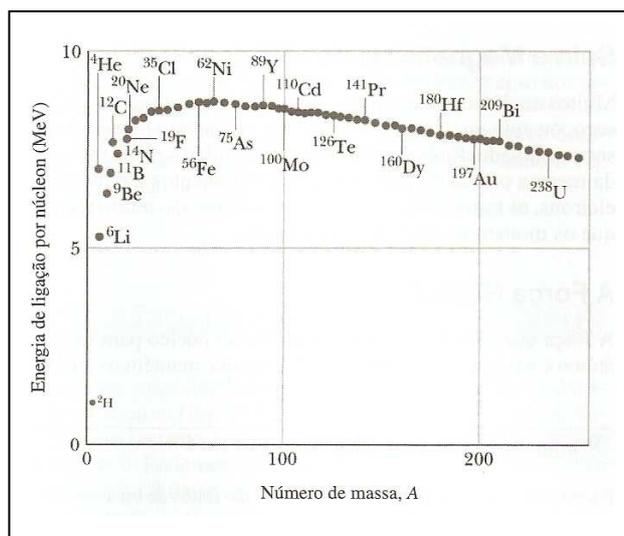


Figura 3.1: Energia de ligação por núcleon, mostrando alguns núcleons representativos. (retirada de Halliday et al., 2003, p. 217)

Situação 8:

Exemplo (retirado de Halliday et al., 2003, p. 218) feito em conjunto com os alunos: *Qual é a energia de ligação por núcleon do ^{120}Sn ?* (situação teórica)

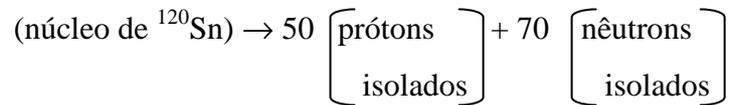
Objetivo: *Através da situação apresentada, melhorar a compreensão dos alunos sobre a energia de ligação dos núcleons (o mesmo da situação 7).*

Conceito-chave: *Massa e energia de ligação dos núcleos e sua relação com a conversão massa-energia.*

Através de exposição, de forma argumentativa, a professora conduziu a aula através das seguintes idéias fundamentais:

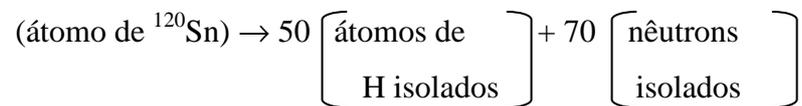
- (1) De acordo com a equação que estabelece a energia por núcleon, podemos determinar a energia de ligação por núcleon calculando a energia de ligação total e dividindo pelo número A de núcleons do núcleo.
- (2) De acordo com a equação que estabelece a energia de ligação através da diferença entre as energias de repouso, podemos determinar esta energia de ligação através do cálculo das energias de repouso.

De acordo com a tabela periódica, o núcleo de ^{120}Sn contém 50 prótons ($Z = 50$) e 70 nêutrons ($N = A - Z = 120 - 50 = 70$). Assim, precisamos imaginar que um núcleo de ^{120}Sn tenha sido separado em 50 prótons e 70 nêutrons,



e então calcular a variação de energia de repouso resultante.

Para realizar este cálculo, precisamos conhecer as massas do núcleo de ^{120}Sn , do próton e do nêutron. Entretanto, a massa de um átomo neutro (núcleo mais elétrons) é muito mais fácil de medir que a massa de um núcleo isolado, os cálculos das energias de ligação quase sempre são feitos a partir de massas atômicas. Assim, vamos modificar a equação acima de forma a usar a massa do átomo de ^{120}Sn em vez da massa do núcleo de ^{120}Sn . Para isso, temos que acrescentar as massas de 50 elétrons do lado direito da equação, de modo a compensar a massa dos 50 elétrons do átomo de ^{120}Sn . Estes 50 elétrons podem ser combinados com os 50 prótons para formar 50 átomos de hidrogênio. Assim, temos



De acordo com a tabela periódica, a massa M_{Sn} de um átomo de ^{120}Sn é 119,902 199 u e a massa m_{H} de um átomo de hidrogênio é 1,007 825 u; a massa m_{n} do nêutron é 1,008 665 u. Temos então que:

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{el}} &= \Sigma(mc^2) - Mc^2 \\ &= 50(m_{\text{H}}c^2) + 70(m_{\text{n}}c^2) - M_{\text{Sn}}c^2 \\ &= 50(1,007\,825\text{ u})c^2 + 70(1,008\,665\text{ u})c^2 - (119,902\,199\text{ u})c^2 \\ &= (1,095\,601\text{ u})c^2 = (1,095\,601\text{ u})(931,5\text{ MeV/u}) \\ \Delta E_{\text{el}} &= 1020,6\text{ MeV} \end{aligned}$$

E a energia de ligação por núcleon é: $\Delta E_{e_{\text{ln}}} = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{A} = \frac{1020,6\text{ MeV}}{120}$

$$\Delta E_{\text{eln}} = 8,51 \text{ MeV/núcleon .}$$

Situação 9:

Questionamento aos alunos: *Se elétrons são emitidos pelos materiais radioativos, haveria elétrons no núcleo?* (situação teórica)

Objetivo: *Com esta situação pretendeu-se discutir a validade da hipótese da existência de elétrons no núcleo através da apresentação de argumentos experimentais e teóricos, salientando novamente a relação entre estes dois aspectos.*

Idéia-chave: *Motivos que levaram à suposição de que existiam elétrons no núcleo e refutação desta hipótese.*

Através de argumentação, a professora destacou os seguintes pontos (retirado de Beiser, 1995, p.338).

Podemos enunciar os motivos abaixo para refutar a mencionada hipótese:

- 1) **Tamanho nuclear.** De acordo com a equação de Schrödinger, um elétron confinado dentro de uma caixa do tamanho do núcleo teria a energia de aproximadamente 20MeV, e os elétrons emitidos no decaimento β têm energias em torno de 2 ou 3 MeV.
- 2) **Spin nuclear.** Elétrons e prótons são férmions, com spin $\frac{1}{2}$. Então, um núcleo com número par de prótons e elétrons deveria ter spin nulo ou inteiro; e com um número ímpar de elétrons e prótons deveria ter spin semi-inteiro, o que não ocorre. Como exemplo, podemos citar o núcleo de deutério ${}^2_1\text{Hm}$, consistindo de 2 prótons e 1 elétron, ele deveria ter spin $1/2$ ou $3/2$. O spin observado experimentalmente é 1.
- 3) **Momento magnético.** O momento magnético do próton tem valor de 15% do valor do momento magnético do elétron. Se os elétrons fossem parte do núcleo, o momento magnético deste deveria se aproximar do valor do momento magnético do elétron. Mas o momento magnético observado para o núcleo se assemelha ao valor do momento magnético do próton.
- 4) **Interação elétron-núcleo.** As forças que mantêm os constituintes do núcleo unidos tem energias de ligação de 8MeV por partícula. Se alguns elétrons

pudessem se ligar tão fortemente com os prótons no núcleo, não haveria motivo para existir elétrons fora do núcleo.

A hipótese da existência de elétrons dentro do núcleo foi descartada definitivamente em 1932, com a descoberta do nêutron.

Estabilidade dos núcleos

Situação 10:

Questionamento aos alunos: *Como os prótons (cargas positivas) e os nêutrons (carga nula) podem se manter unidos no núcleo? Por que ele não colapsa?*
(situação teórica)

Objetivo: *Esta questão foi retomada para motivar os alunos para o estudo do tópico sobre a estabilidade do núcleo e o papel da força nuclear forte nesta estabilidade.*

Conceitos-chave: *Estabilidade nuclear e força nuclear.*

Após os alunos responderem que se deve à força nuclear forte, seguiu-se a apresentação abaixo (retirado de Halliday et al., 2003, p. 214).

Os núclídeos podem ser organizados em uma **carta de núclídeos** como a da figura 3.2, na qual um núclídeo é representado através de um par de coordenadas, uma para o número de prótons e outra para o número de nêutrons. Os pontos pretos indicam os 266 núclídeos estáveis. A região entre as linhas irregulares representa os núclídeos instáveis conhecidos com um tempo de vida maior que um milissegundo. A linha que passa pelo meio dos núclídeos estáveis é chamada de *linha de estabilidade* ($N = Z$), o que significa que estes núclídeos possuem um número aproximadamente igual de prótons e nêutrons. Como se pode ver, os radionúclídeos estão acima, abaixo e à direita desta linha. Observa-se também que os núclídeos estáveis mais leves estão próximos da linha de estabilidade. Os núclídeos pesados, porém, têm um número muito maior de nêutrons que de prótons. Assim, por exemplo, o ^{197}Au possui 118 nêutrons e 79 prótons, ou seja, um *excesso* de 39 nêutrons.

No início do ano 2000, nuclídeos com números atômicos até $Z = 118$ ($A = 293$) tinham sido observados em laboratório. Não existem na Terra nuclídeos naturais com Z maior que 92. Não existem nuclídeos estáveis com $Z > 83$ (bismuto).

Situação 11:

Questionamento aos alunos: *Por que há este excesso de nêutrons em comparação com prótons?* (situação teórica)

Objetivo: *Este questionamento visou relacionar os novos conceitos de força nuclear e estabilidade com o já existente na estrutura cognitiva dos estudantes de repulsão eletrostática.*

Conceitos e idéias-chave: *Estabilidade nuclear e força nuclear. Classificação dos núcleos e carta de nuclídeos. Interpretação da linha de estabilidade – quantidade de prótons e nêutrons no núcleo.*

Coordenando as opiniões dos estudantes e os questionamentos que surgiram, a professora em conjunto com os alunos pretendeu chegar à seguinte conclusão:

- Deve haver mais prótons que nêutrons para compensar a repulsão entre os prótons, que têm cargas de sinais iguais, logo se repelem.

Em continuidade, seguiram-se discussões sobre o que seriam núcleos estáveis e núcleos instáveis.

A professora apresentou a “carta de nuclídeos” (figura 3.2), e discutiu com os alunos suas propriedades.

Resolução de exercício (retirado de Halliday et al., 2003, p. 216) proposto aos alunos.

Idéias-chave: *Classificação dos nuclídeos e da carta de nuclídeos. Interpretação da linha de estabilidade – quantidade de prótons e nêutrons no núcleo.*

Exercício: Com base na carta de nuclídeos, indique quais dos nuclídeos a seguir provavelmente não existem. Discuta com seus colegas cada caso e justifique sua resposta.

a) ^{52}Fe ($Z = 26$)

- b) ^{90}As ($Z = 33$)
- c) ^{158}Nd ($Z = 60$)
- d) ^{175}Lu ($Z = 71$)
- e) ^{208}Pb ($Z = 82$)

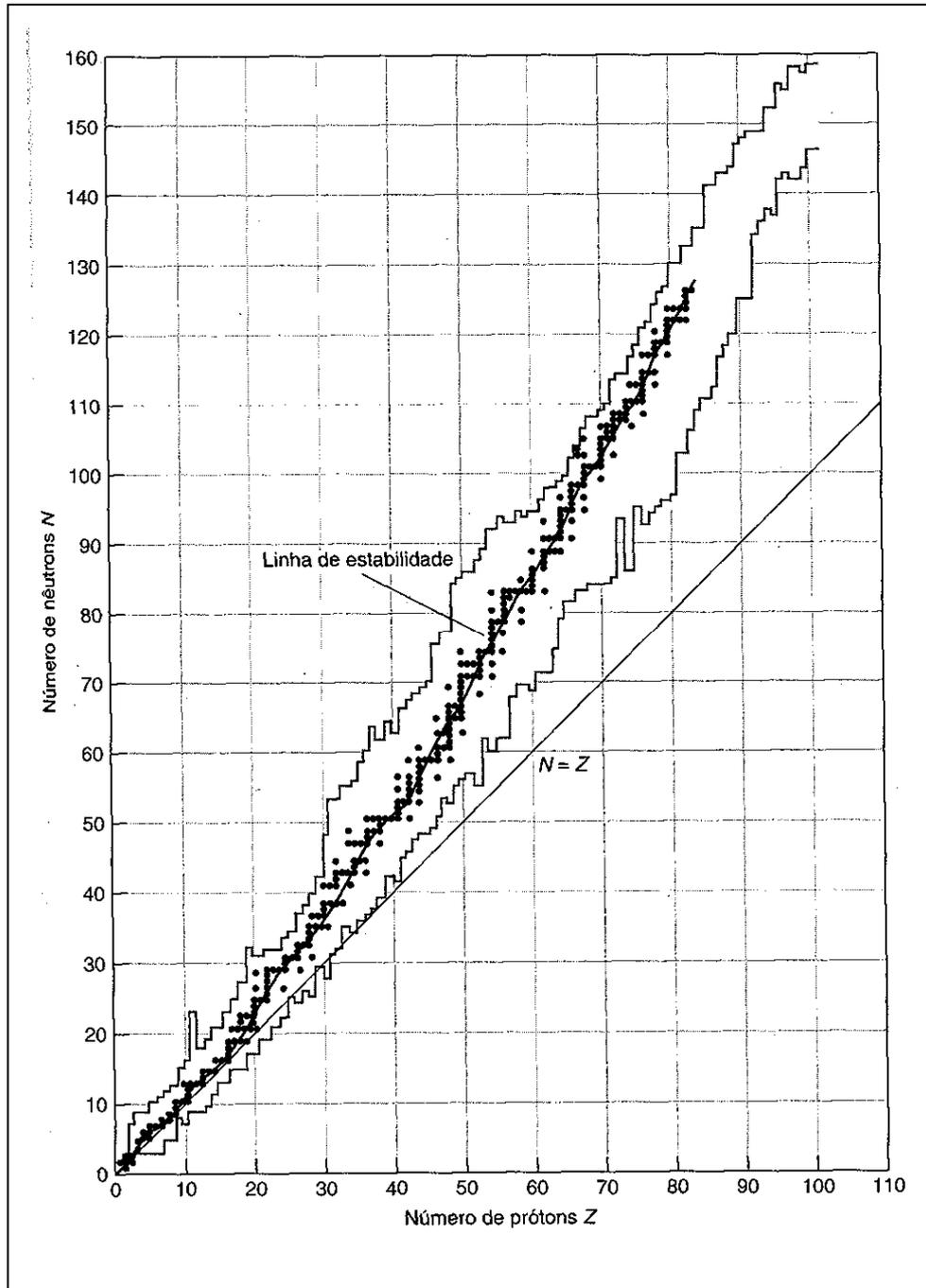


Figura 3.2: Carta de Nuclídeos (retirada de Tipler, 2001, p. 335)

- **AULA 8** (18/09)

Meia vida

Situação 1:

Questionamento aos alunos: *Os núcleos radioativos decaem todos ao mesmo tempo?* (situação teórica)

Objetivo: *Através desta questão buscou-se introduzir o conceito de meia vida, que é um conceito estatístico, confrontando-o com a idéia clássica de determinismo.*

Conceitos e idéias-chave: *Decaimento radioativo como indicação de que as leis que governam o mundo subatômico são estatísticas (interpretação quântica). Definição e cálculo da atividade de uma amostra. Conceito e cálculo de meia-vida. Conceito e unidades de desintegração.*

Através de narração, a professora introduziu os conceitos de meia-vida, atividade, taxa de decaimento, definiu a constante de decaimento e apresentou as unidades de atividade.

A *atividade* de uma amostra é definida como a taxa de decaimento dos N núcleos presentes nesta amostra:

$$\text{Atividade} = \frac{dN}{dt} = R$$

A atividade é proporcional à N :

$$R = \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Reescrevendo, temos:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Se integrarmos os dois membros da equação acima, obtemos:

$$\int_{N_o}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_o}^t dt$$
$$\ln N - \ln N_o = -\lambda (t - t_o) \rightarrow \ln \frac{N}{N_o} = -\lambda t$$

Tomando a exponencial de ambos os membros,

$$\text{Decaimento radioativo} = N = N_o e^{-\lambda t}$$

Onde N_o é o número inicial de átomos ativos presentes e λ é a *constante de desintegração radioativa*.

A lei exponencial de desintegração é característica de todos os processos radioativos e tem comprovação experimental. Ela também dá conta tanto do desaparecimento por desintegração de partículas instáveis de vida curta, como de elementos radioativos de vida longa. A probabilidade de desintegração de um dado átomo em um determinado tempo é independente da vida anterior do átomo. A emissão radioativa é um processo aleatório, fato que foi demonstrado experimentalmente pela observação das flutuações do número de partículas α emitidas por uma certa fonte durante um determinado intervalo de tempo. O decaimento radioativo foi a primeira indicação de que as leis que governam o mundo subatômico são estatísticas. Pode-se prever quantos núcleos de uma amostra vão se desintegrar. Entretanto, não existe nenhum meio de prever se um dado núcleo de uma amostra radioativa estará entre os que decairão no segundo seguinte (Halliday et al., 2003, pg. 219).

As unidades básicas de **atividade** são o curie e o becquerel:

$$1 \text{ curie (Ci)} = 3,7 \times 10^{10} \text{ desintegrações /s}$$

$$1 \text{ becquerel (Bq)} = 1 \text{ desintegração /s}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

A descoberta do nêutron

Em 1932, James Chadwick propôs a existência do nêutron, partícula sem carga que deveria conviver com os prótons no núcleo. Neste mesmo ano ela foi detectada.

Situação 2:

Questionamento aos alunos: *Se não há elétrons no núcleo, de onde vem a radiação beta?* (situação teórica)

Objetivo: *Esta questão visou motivar os alunos, ou mostrar para eles, que algo deve acontecer no núcleo que dê origem a um elétron.*

Idéia-chave: *Necessidade do surgimento da hipótese do neutrino.*

Situação 3:

Análise do decaimento do carbono 14. (situação teórica)

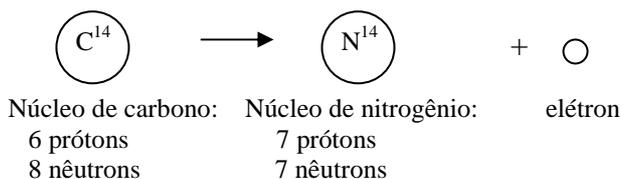
Objetivo: *Este exemplo procurou explicar a partir de um resultado experimental como surgiu a hipótese do neutrino.*

Idéia-chave: *Necessidade do surgimento da hipótese do neutrino.*

Exemplo: (retirado de Braz Júnior, 2002, p. 62)

O carbono 14 decai no hidrogênio 14. Neste caso, o número de prótons aumenta, o de nêutrons diminui e aparece um elétron ejetado.

Se o número de nêutrons diminui e o de prótons e elétrons aumenta, pode-se deduzir que o nêutron decaiu em um próton e em um elétron:



Desta forma, o elétron não seria proveniente da eletrosfera, mas do decaimento de um nêutron em um próton e um elétron.

Haveria, ainda outro aspecto a ser considerado neste decaimento: a presença do **neutrino**.

Após o intervalo da aula, os alunos iniciaram a preparação para o trabalho de apresentação das micro-aulas através de busca em bibliografia.

- **AULA 9** (25/09)

Preparação dos alunos e apresentação do esboço do planejamento da micro-aula.

- **AULA 10** (02/10)

Neutrino (baseado em Braz Júnior, 2002, p. 62)

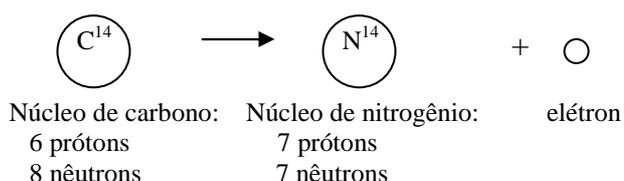
Situação 1:

Apresentação de um decaimento beta. (*Situação teórica*)

Objetivo: *Apresentar, através de uma situação real de decaimento beta, como surgiu a hipótese da partícula neutrino.*

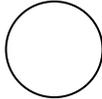
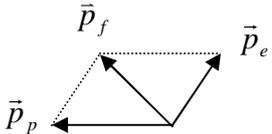
Conceito-chave: *Necessidade do surgimento da hipótese do neutrino.*

Considere a seguinte situação envolvendo o decaimento beta: O carbono 14 decai no nitrogênio 14:



Neste caso, o número de prótons aumenta, o de nêutrons diminui e aparece um elétron ejetado. Como já vimos, um nêutron dá origem a um próton e a um elétron.

Uma análise mecânica mais criteriosa deste decaimento revela que o próton sofria um recuo, ao passo que o elétron era “espirrado” em uma direção diferente daquela em que o elétron se movia (quadro 3.1).

ANTES	DEPOIS	Vetor \vec{p}_f
 Nêutron	 Próton elétron	
Quantidade de movimento inicial: $\vec{p}_i = m_n \mathbf{v}_i = 0$	Quantidade de movimento final: $\vec{p}_f = m_p \vec{v}_p + m_e \vec{v}_e \neq 0$	Viola o princípio de conservação, pois: $\vec{p}_i \neq \vec{p}_f$

Quadro 3.1: Análise mecânica do decaimento do nêutron.

Além disso, foi detectado experimentalmente que parte da energia inicial era “perdida” após o decaimento. A única coisa que parecia estar certa era a validade do princípio da conservação da carga elétrica, pois o nêutron tem carga nula e decaía em um próton e um elétron que, juntos, continuavam a ter carga total nula.

Situação 2:

Questionamento aos alunos: *Será que os princípios de conservação da quantidade de movimento e da conservação da energia não são válidos para as partículas subatômicas?* (situação teórica)

Objetivo: *Esta questão visava confrontar a situação experimental apresentada com princípios já conhecidos e preparar para a introdução do conceito de partícula elementar neutrino.*

Idéia-chave: *Necessidade da hipótese do neutrino.*

Não havia motivos para se pensar que os princípios acima não fossem válidos. Desta forma, em 1930 Wolfgang Pauli sugeriu a existência de uma partícula que fosse originada durante o decaimento beta.

Situação 3:

Questionamento aos alunos: *Que características esta partícula deveria ter?*(situação teórica)

Objetivo: *Esta questão teve como objetivo de relacionar a nova informação (características do neutrino) com as já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes.*

Idéia-chave: *Necessidade da hipótese do neutrino.*

O neutrino teria carga elétrica nula e massa pequena.

Com esta manobra teórica, estariam resolvidos os dois problemas de violação de princípios físicos importantes:

1. O neutrino, de alguma forma, deveria “carregar” a energia que faltava, garantindo a conservação da energia.
2. O neutrino “espurraria” numa direção tal que estava garantida a conservação da quantidade de movimento do sistema.

A idéia era tão boa que foi aceita, mesmo sem evidências experimentais desta nova partícula, o que só ocorreu em 1956.

- **AULA 11** (09/10)

Apresentação das micro-aulas dos 6 primeiros grupos.

- **AULA 12** (16/10)

Apresentação das micro-aulas dos últimos 6 grupos.

- **AULA 13** (23/10)

Avaliação individual (prova sobre o tópico Radiação) .

- **AULA 14** (06/11)

Correção da prova em aula.

O restante das aulas (restante da aula 14, e aulas 15 e 16) foi dedicado ao estudo das ligações químicas, tema não abordado nesta pesquisa.

3.3 Estudo III

No segundo semestre de 2007, a metodologia adotada foi semelhante à do estudo II, com algumas diferenças em relação ao tempo dedicado a cada conteúdo, sua ordem e alguns textos foram acrescentados. Quando o andamento da aula foi idêntico ao estudo II, apenas aparece aqui sua citação. Quando algumas modificações foram feitas, mesmo que mínimas, optou-se por descrever completamente a aula.

- **AULA 1** (08/08)

Introdução à disciplina.

Segue conforme aula 2 do estudo II até a situação 5.

- **AULA 2** (15/08)

Iniciou com a situação 6 da aula 2 do estudo II, seguindo a mesma ordem. Para a situação 9 a tarefa da execução do texto pelos alunos seguiu o seguinte cronograma:

- 22/08 (aula 3) – até o fim da aula foi apresentado o primeiro esboço do texto por cada dupla.

- 29/08 (aula 4) – avaliação individual, com consulta, sobre Partículas Elementares e mapa conceitual.

- 05/09 (aula 5) – entrega do texto elaborado por cada dupla.

- **AULA 3** (22/08)

Entrega do esboço do texto para a professora e discussão com alunos sobre dúvidas.

- **AULA 4** (29/08)

1ª avaliação individual.

AVALIAÇÃO (Estudo III)

1. Escolha dois conceitos sobre **partículas elementares** (o que foi estudado até aqui e o que seu texto aborda) e proponha uma *situação-problema* que facilite para alunos de Ensino Médio a captação dos significados de cada um destes conceitos.

Objetivo: *Os alunos foram solicitados a elaborar suas próprias questões, pois não queríamos passar a idéia de que a metodologia aplicada fosse uma idéia pronta e acabada. Desta forma, pretendemos conduzir os futuros professores a partir de suas próprias concepções para que eles apliquem a metodologia futuramente com seus alunos.*

Conceitos-chave: *Todos os conceitos citados pelo aluno.*

- **AULA 5** (05/09)

Entrega do texto pelos alunos.

Seguiu conforme aula 5 do estudo II, mais a situação 1 da aula 6 desse estudo.

- **AULA 6** (12/09)

Iniciou conforme situação 2 da aula 6 do estudo II

Na situação 3 (deste estudo) os temas propostos foram os seguintes:

1) Modelos nucleares.

Conceito-chave: *Modelos nucleares: da gota líquida, de camadas e coletivo.*

2) Processo de fusão e energia nuclear.

Idéias-chave: *Reação nuclear de fusão; fontes alternativas de energia e formação de elementos químicos no interior de estrelas.*

3) Processo de fissão e energia nuclear. Famílias radioativas.

Conceitos-chave: *Energia nuclear e famílias radioativas.*

4) Funcionamento de uma usina nuclear. Lixo atômico.

Idéias-chave: *Funcionamento de uma usina nuclear e sua relação com o meio ambiente. Aspectos positivos e negativos.*

5) Funcionamento de uma bomba atômica.

Idéia-chave: *Funcionamento de uma bomba atômica e implicações sociais.*

6) Aplicações: datação radioativa e traçadores.

Conceitos-chave: *Datação radioativa e aplicações médicas.*

7) Efeitos biológicos da radiação.

Conceitos-chave: *Efeitos biológicos da radiação.*

Seguiu conforme aula 7, e situações 1, 2, 3, 4, 5 do estudo II.

Composição do núcleo

Situação 4:

Questionamento aos alunos: *Se elétrons são emitidos pelos materiais radioativos, haveria elétrons no núcleo?* (situação teórica)

Objetivo: *Através desta situação pretendeu-se discutir a validade da hipótese da existência de elétrons no núcleo através da apresentação de argumentos experimentais e teóricos, salientando novamente a relação entre estes dois aspectos.*

Idéia-chave: *Motivos que levaram a suposição de que existiam elétrons no núcleo e refutação desta hipótese.*

A professora fez então a seguinte argumentação/exposição: (retirado de Beiser, 1995, p.388)

Em 1914, um modelo com núcleo contendo prótons e elétrons tentava explicar a coesão nuclear. A presença dos elétrons era justificada para compensar a enorme repulsão entre os prótons.

Podemos enunciar os motivos abaixo para refutar esta idéia:

1. **Tamanho nuclear.** De acordo com a equação de Schrödinger, um elétron confinado dentro de uma caixa do tamanho do núcleo teria a energia de aproximadamente 20MeV, e os elétrons emitidos no decaimento β têm energias em torno de 2 ou 3 MeV.
2. **Spin nuclear.** Elétrons e prótons são férmions, com spin $\frac{1}{2}$. Então, um núcleo com número par de prótons e elétrons deveria ter spin nulo ou inteiro; e com um número ímpar de elétrons e prótons deveria ter spin semi-inteiro, o que não ocorre. Como exemplo, podemos citar o núcleo de deutério ${}^2_1\text{H}$, consistindo de 2 prótons e 1 elétron, ele deveria ter spin $\frac{1}{2}$ ou $\frac{3}{2}$. O spin observado experimentalmente é 1.
3. **Momento magnético.** O momento magnético do próton tem valor de 15% do valor do momento magnético do elétron. Se os elétrons fossem parte do núcleo, o momento magnético deste deveria se aproximar do valor do momento magnético do elétron. Mas o momento magnético observado para o núcleo se assemelha ao valor do momento magnético do próton.
4. **Interação elétron-núcleo.** As forças que mantêm os constituintes do núcleo unidos tem energias de ligação de aproximadamente 8MeV por partícula. Se alguns elétrons pudessem se ligar tão fortemente com os prótons no núcleo, não haveria motivo para existirem elétrons fora do núcleo.

A hipótese da existência de elétrons dentro do núcleo foi descartada definitivamente em 1932, com a descoberta do nêutron.

A descoberta do nêutron

Em 1932, James Chadwick propôs a existência do nêutron, partícula sem carga que deveria conviver com os prótons no núcleo. Neste mesmo ano ela foi detectada.

Situação 5:

Questionamento aos alunos: *Se não há elétrons no núcleo, de onde vem a radiação beta?* (situação teórica)

Objetivo: *Esta questão visou motivar os alunos ou mostrar para eles que algo deve acontecer no núcleo que dê origem a um elétron.*

Idéia-chave: *Necessidade da hipótese do nêutron.*

Situação 6:

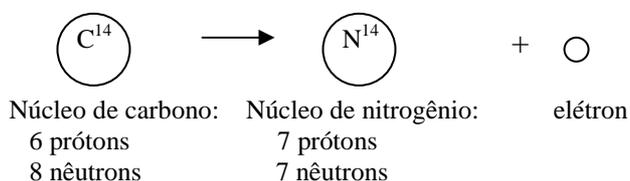
Análise do decaimento do carbono 14. (*situação teórica*)

Objetivo: *Este exemplo ilustrou o que ocorre num decaimento através de um exemplo.*

Conceito-chave: *Necessidade do surgimento da hipótese do nêutron.*

Exemplo: O carbono 14 decai no hidrogênio 14. Neste caso, o número de prótons aumenta, o de nêutrons diminui e aparece um elétron ejetado.

Se o número de nêutrons diminui e o de prótons e elétrons aumenta, pode-se deduzir que o nêutron decaiu em um próton e em um elétron:



Desta forma, o elétron não seria proveniente da eletrosfera, mas do decaimento de um nêutron em um próton e um elétron.

Haveria outro aspecto a ser considerado neste decaimento: a presença do **neutrino**.

- **AULA 7 (19/09)**

Iniciou com as situações 6, 7, 9 e 10 da aula 7 do estudo II.

Exercício proposto aos alunos (retirado de Halliday et al., 2003, p. 216).

Conceito-chave: *Classificação dos núcleos e carta de nuclídeos.*

Com base na carta de nuclídeos, indique quais dos nuclídeos a seguir provavelmente não existem. Para cada item, discuta com seus colegas e justifique sua resposta.

- a) ^{52}Fe ($Z = 26$)
- b) ^{90}As ($Z = 33$)
- c) ^{158}Nd ($Z = 60$)
- d) ^{175}Lu ($Z = 71$)
- e) ^{208}Pb ($Z = 82$)

Situação 1:

Situação 1 da aula 8 do estudo II.

Situação 2:

Um exemplo foi resolvido em conjunto com os alunos e outros exercícios foram propostos. (*Situação teórica*)

Objetivo: *através das situações propostas nos exemplo e exercícios, melhorar a compreensão dos alunos sobre os conceitos abordados.*

Conceitos-chave: *Conceito e cálculo de meia-vida. Conceito e unidades de desintegração. Definição e cálculo da atividade de uma amostra.*

Exemplo: (Retirado de Halliday et al., 2003, p. 220)

O nuclídeo ^{131}I é radioativo, com uma meia vida de 8,04 dias. Ao meio dia de primeiro de janeiro, a atividade de uma certa amostra é 600Bq. Usando o conceito de meia-vida, determine, sem fazer cálculos por escrito, se a atividade da mostra ao meio dia de 24 de janeiro será um pouco menor que 200Bq, um pouco menor que 75 Bq ou um pouco maior que 75 Bq.

Exercícios extras propostos aos alunos:

1. A meia vida de um isótopo radioativo é 140 dias. Quantos dias são necessários para que a taxa de decaimento de uma amostra deste isótopo diminua para um quarto do valor inicial?

2. A meia vida de um certo isótopo radioativo é de 6,5 horas. Se existem inicialmente $48 \cdot 10^{19}$ átomos do isótopo, quantos átomos haverá após 26 horas?
3. Um isótopo radioativo do mercúrio, ^{197}Hg se transforma em ouro, ^{197}Au , com uma constante de desintegração de $0,0108\text{h}^{-1}$. (a) calcule a meia-vida deste isótopo. Que fração de uma amostra continua a existir após (b) três meias-vidas? (c) 10 dias?

- **AULA 8** (26/09)

Situação1: (não é uma situação-problema tal como proposta por Vergnaud):
Aula expositiva sobre o funcionamento dos decaimentos.

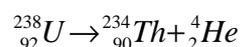
Objetivo: *Demonstrar aos alunos como ocorrem os decaimentos.*

Conceitos-chave: *Tipos de decaimentos nucleares: alfa, beta, gama, emissão de pósitron e captura de elétron e conseqüentes resultados.*

Decaimentos

Decaimento alfa

Neste modo de desintegração é emitida uma partícula α (núcleo de ^4He), sendo este processo energeticamente possível para núcleos pesados. Um exemplo é o decaimento abaixo:



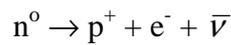
com a emissão de uma partícula alfa de 4,2 MeV. A desintegração α é responsável pela inexistência de elementos estáveis com $Z > 83$.

Decaimento beta

Núcleos leves estáveis têm seu número de prótons Z semelhante ao número de nêutrons N . Nos núcleos pesados um maior número de nêutrons é necessário para compensar a força coulombiana entre os prótons.

Negativo (β^-)

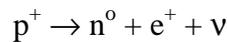
Quando um núcleo tem um valor de N maior do que o necessário para o equilíbrio, ele pode se desintegrar pela emissão de um elétron e um antineutrino, aproximando-se assim de uma situação de maior equilíbrio. Neste decaimento é o nêutron que dá origem a um próton e um elétron e um antineutrino é emitido:



Como exemplo, temos: $^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}\text{S} + e^- + \bar{\nu}$

Positivo (β^+)

Em oposição ao caso anterior, quando N é menor que o necessário, o decaimento consiste na transformação de um próton em um nêutron, com a emissão de um pósitron e de um neutrino:

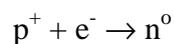


Como exemplo, temos: $^{64}\text{Cu} \rightarrow ^{64}\text{Ni} + e^+ + \nu$

O decaimento beta negativo diminui o número de nêutrons, e o positivo aumenta este número. Em ambos os casos, o núcleo do elemento filho não é necessariamente estável, podendo também decair pela mesma via ou por outra forma de desintegração.

Captura de elétron

Um processo que compete com a emissão de pósitron é a captura de elétron de uma camada mais interna pelo núcleo. O elétron é absorvido pelo próton nuclear e se transforma num nêutron:



Neste processo ocorre a diminuição de número de prótons e um aumento do número de nêutrons em uma unidade. O efeito é o mesmo causado pelo decaimento β^+ e a captura eletrônica é capaz de competir fortemente com este em núcleos pesados.

Em muitos núcleos, o decaimento através de partículas alfa e beta é seguido da emissão de energia em forma de uma onda eletromagnética. Esta onda é chamada de radiação gama (γ) e se origina de uma instabilidade energética surgida no núcleo após a emissão.

A tabela 3.2 fornece alguns exemplos de transformações nucleares¹⁰.

Tabela 3.2: exemplos de transformações nucleares.

Tipo de decaimento	Transformação	Exemplo
Decaimento alfa	${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$	${}^{238}_{92} U \rightarrow {}^{234}_{90} Th + {}^4_2 He$
Decaimento beta	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + e^-$	${}^{14}_6 C \rightarrow {}^{14}_7 N + e^-$
Emissão de pósitron	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + e^+$	${}^{64}_{29} Cu \rightarrow {}^{64}_{28} Ni + e^+$
Captura de elétron	${}^A_Z X + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} Y$	${}^{64}_{29} Cu + e^- \rightarrow {}^{64}_{28} Ni$
Decaimento gama ¹¹	${}^A_Z X^* \rightarrow {}^A_Z X + \gamma$	${}^{87}_{38} Sr^* \rightarrow {}^{87}_{38} Sr + \gamma$

Resumidamente, pode-se dizer que: no decaimento gama a emissão de um fóton reduz a energia do núcleo; a emissão de uma partícula alfa reduz o tamanho do núcleo; no decaimento beta um nêutron emite um elétron e se torna um próton; a captura de um elétron ou a emissão de um pósitron por um próton o transforma em um nêutron.

Neutrino

A aula seguiu conforme as situações 1, 2 e 3 da aula 10 do Estudo II.

Exercícios extras propostos aos alunos:

1. Todos os isótopos do chumbo têm 82 prótons.
 - a) Se um dos isótopos do chumbo tivesse 82 nêutrons, onde estaria situado na carta de nuclídeos?
 - b) Se fosse possível fabricar este isótopo, ele decairia emitindo pósitrons, decairia emitindo elétrons ou seria estável?

¹⁰ Retirada de Beiser (1995) p. 417.

¹¹ O símbolo * indica um estado excitado do núcleo e γ indica um fóton de raios gama.

c) De acordo com a carta de nuclídeos, quantos nêutrons, aproximadamente, deve ter um isótopo estável do chumbo?

2. O radionuclídeo ^{196}Ir decai emitindo um elétron.

a) Indique a posição do núcleo resultante do decaimento na carta de nuclídeos.

b) Este núcleo resultante é estável?

3. O nuclídeo ^{238}U ($Z=92$) pode se fissionar em dois fragmentos com o mesmo número atômico e o mesmo número de massa.

a) Qual a posição do núcleo pai na carta de nuclídeos?

b) Os núcleos filhos são estáveis ou radioativos?

4. Se a massa de uma amostra radioativa é multiplicada por dois:

a) a atividade da amostra aumenta, diminui ou permanece constante?

b) A constante de desintegração aumenta, diminui ou permanece constante?

5. São dadas as seguintes massas atômicas:

^{238}U 238,050 79 u

^{234}Th 234,043 63 u

^{237}Pa 237,051 21 u (prolactínio, $Z = 91$)

^4He 4,002 60 u

^1H 1,007 83 u

a) Calcule a energia liberada no decaimento alfa do ^{238}U . A reação de decaimento é



b) Qual seria a reação onde o urânio emite um próton?

c) Calcule a energia liberada nesta reação. Ela seria possível?

- **AULA 9(10/10)**

Preparação dos alunos para a apresentação das micro-aulas.

- **AULA 10** (17/10)

Apresentação das micro-aulas dos grupos 1 a 5.

- **AULA 11** (24/10)

Apresentação das micro-aulas dos grupos 6 e 7.

Situação 1:

Os seguintes exercícios foram propostos (*situação teórica*).

Objetivos: *Através de situações diferentes das já apresentadas, pretendia-se que os alunos aprimorassem seus conhecimentos sobre os conceitos abordados até agora na disciplina.*

Conceitos-chave: *Classificação dos núcleos e carta de nuclídeos. Interpretação da linha de estabilidade – quantidade de prótons e nêutrons no núcleo. Tipos de decaimentos nucleares: alfa, beta, gama, emissão de pósitron e captura de elétron e conseqüentes resultados. Definição e cálculo da atividade de uma amostra. Massa e energia de ligação dos núcleos e sua relação com a conversão massa-energia. Números mágicos. Meia-vida. Energia nuclear.*

Exercícios extras propostos aos alunos:

1. O nuclídeo ^{244}Pu ($Z = 94$) é um emissor de partículas alfa. Qual destes é o núcleo resultante do decaimento?

- a) ^{240}Np ($Z = 93$);
- b) ^{240}U ($Z = 92$);
- c) ^{248}Cm ($Z = 96$);
- d) ^{244}Am ($Z = 95$).

2. O que são os números mágicos nucleares?

3. Quais dos nuclídeos a seguir são mágicos ou duplamente mágicos?

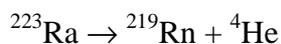
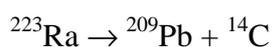
- a) ^{122}Sn ;
- b) ^{132}Sn ;
- c) ^{98}Cd ;
- d) ^{198}Au ;
- e) ^{208}Pb .

4. Um nuclídeo radioativo tem uma meia-vida de 30 anos. Que fração de uma amostra inicialmente pura deste nuclídeo permanece intacta após:

- a) 60 anos?
- b) 90 anos?

5. O isótopo do céscio ^{137}Cs é produzido nas explosões nucleares. Como decai para ^{137}Ba com uma meia vida relativamente longa (30,2 anos), liberando uma quantidade considerável de energia no processo, é considerado muito perigoso. As massas atômicas do ^{137}Cs e do ^{137}Ba são 136,9071 u e 136,9058 u, respectivamente. Calcule a energia total liberada no decaimento de um átomo de ^{137}Cs .

6. Em raros casos, um núcleo pode decair emitindo uma partícula de massa maior que uma partícula alfa. Considere os decaimentos:



Calcule a energia liberada em cada reação e diga se ela é possível.

Dados:

$$^{223}\text{Ra} \quad 223,018 \, 50 \, \text{u}$$

$$^{209}\text{Pb} \quad 208,981 \, 07 \, \text{u}$$

$$^{219}\text{Rn} \quad 219,009 \, 48 \, \text{u}$$

$$^{14}\text{C} \quad 14,003 \, 24 \, \text{u}$$

$$^4\text{He} \quad 4,002 \, 60 \, \text{u}$$

• **AULA 12** (07/11)

Avaliação: Individual com consulta.

Objetivo: *verificar o conhecimento dos alunos sobre os conceitos envolvidos.*

1. (a) Explique como o núcleo, que é formado por partículas positivas e neutras, pode se manter estável.

(b) Explique o papel de cada componente nesta estabilidade.

Idéias-chave: *Composição do núcleo e propriedades das partículas que o compõem.*

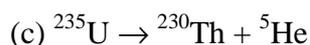
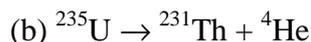
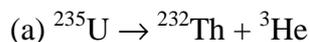
(c) Explique como podem existir núcleos superpesados estáveis. Neste caso, quem é maior, Z ou N? Explique

Idéias-chave: *Estabilidade nuclear e força nuclear.*

2. Estudamos mais de um modelo nuclear. Pode-se dizer que um deles é mais correto? Por que não adotamos apenas um modelo? Explique.

Conceitos e idéia-chave: *Modelos nucleares: da gota líquida, de camadas e coletivo. A ciência está em constante transformação e não é algo acabado.*

3. Os radionuclídeos pesados emitem partículas alfa em vez de outras combinações de núcleos porque as partículas alfa formam uma estrutura particularmente estável. Baseado nisso, calcule as energias resultantes das desintegrações para as reações hipotéticas a seguir.



Dados: ^{232}Th : 232,0381 u ^3He : 3,0160 u

^{231}Th : 231,0363 u ^4He : 4,0026 u

^{230}Th : 230,0331 u ^5He : 5,0122 u

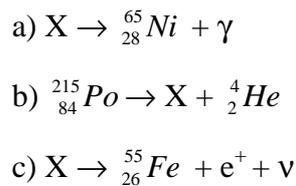
^{235}U : 235,0439 u

Conceitos-chave: *Massa e energia de ligação dos núcleos e sua relação com a conversão massa-energia.*

4. A meia-vida do núcleo radioativo ${}^{226}_{86}\text{Ra}$ é de $1,6 \cdot 10^3$ anos. Se uma amostra contém $3 \cdot 10^{16}$ desses núcleos no instante inicial t_0 , determine:
- a) a meia-vida em segundos.
 - b) a constante de decaimento;
 - c) a atividade da amostra no instante inicial.

Conceitos-chave: *Definição e cálculo da atividade de uma amostra. Conceito e cálculo de meia-vida.*

5. Identifique o nuclídeo ou a partícula X que está faltando:



Conceitos-chave: *Tipos de decaimentos nucleares: alfa, beta, gama, emissão de pósitron e captura de elétron e conseqüentes resultados.*

6. Considere uma amostra de 100 g de um isótopo radioativo com uma meia-vida de 40 dias. Quantos gramas vão restar deste isótopo após um período de 1 ano (360 dias)?

Conceitos-chave: *Conceito e cálculo de meia-vida.*

- Aulas seguintes: ligações químicas, que não fizeram parte desta pesquisa.

3.4 Considerações sobre os Estudos

O estudo I foi conduzido de forma tradicional, quanto à metodologia, a fim de servir como referente em comparação aos estudos II e III. As diferenças entre os estudos II e III consistiram basicamente de alteração na ordem em que os conteúdos foram abordados e por haver menos alunos no estudo III, os tópicos referentes aos tipos de decaimento que foram abordados por micro-aulas no estudo II foram abordados pela professora. Por se tratar de um curso noturno, onde os alunos moram em locais distantes, optou-se por reservar algumas aulas para que estes se preparassem para as tarefas solicitadas na disciplina.

Pode-se dizer que a metodologia descrita acima teve bastante aceitação por parte dos alunos, conforme será melhor descrito no capítulo 4. Além disso, constatou-se que trabalhar desta forma demanda um considerável tempo de preparação por parte do professor, exigindo um maior tempo de trabalho de sala de aula em cada tópico e um grande empenho dos estudantes nas tarefas propostas. Estas são dificuldades que podem ser consideradas razoáveis em comparação com os resultados alcançados, descritos mais detalhadamente no capítulo 4 e na conclusão.

Acreditamos que esta metodologia pode ser empregada em qualquer área por qualquer professor que se disponha a preparar situações relevantes, conforme salientamos no capítulo 2 sobre os referenciais teóricos. Salientamos também que as situações descritas acima são apenas exemplos de situações que podem ser empregadas na abordagem dos conteúdos trabalhados e não se constituem na única opção possível. É perfeitamente possível que outro professor adote situações diferentes das descritas neste trabalho e obtenha resultados satisfatórios. Esta pesquisa trata de uma realidade específica num contexto específico e não tem a pretensão de ser um modelo do tipo “receita”, mas sim de averiguar as possibilidades metodológicas decorrentes da Teoria dos Campos Conceituais numa disciplina normalmente trabalhada de forma convencional.

Os resultados dos Estudos serão apresentados no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

De acordo com os referenciais teóricos adotados, a aprendizagem significativa ocorre quando o sujeito domina progressivamente um campo conceitual, sendo capaz de estabelecer relações entre conceitos e organizar estas relações num corpo coerente de conhecimentos, de forma a se expressar através da linguagem formal e transferir tais conhecimentos a situações novas.

Para verificar o nível de aprendizagem dos alunos, os dados referentes às situações de avaliação descritos no capítulo 4 foram analisados e categorizados. A partir desta análise, foram definidas três categorias em diferentes níveis: *superior*, *médio* e *inferior*. Salientamos mais uma vez que os resultados constantes neste trabalho foram obtidos a partir dos registros escritos dos alunos, e consistem de: *texto didático*, *mapas conceituais*, *provas*, *situações-problema desenvolvidas pelos alunos* e *avaliações da disciplina*. A apresentação das micro-aulas foi filmada e também analisada e categorizada.

As categorias citadas anteriormente foram utilizadas para classificar os materiais produzidos e não para categorizar os alunos.

Os alunos que se encaixam na primeira categoria demonstram ter um bom domínio dos principais conceitos envolvidos e das relações entre eles, apresentando-as através da utilização de linguagem precisa, demonstrando também um bom entendimento dos significados e significantes em cada situação proposta. Na segunda categoria o domínio dos conceitos não é tão completo, assim como as relações entre eles; e na terceira categoria se enquadram os alunos que demonstram conceitos errôneos ou confusão entre eles, além de falta de relações ou relações errôneas entre os mesmos.

4.1 Textos elaborados pelos alunos

Nas situações de elaboração do texto e do mapa conceitual o *referente* (situações que dão sentido ao conceito) se apresenta na forma da tarefa em si, e o material produzido fornece indícios sobre o conhecimento dos autores em relação aos *significados* e os *significantes* contemplando a tríade (S, R, I) proposta por Vergnaud. Além de dar evidências sobre o nível de aprendizagem dos alunos, o processo de execução destas tarefas propiciou que os alunos socializassem, organizassem e “negociassem” seus conhecimentos, colaborando também para o processo de aprendizagem. Desta forma, podemos supor que tais situações são adequadas aos objetivos que esta pesquisa se propôs a alcançar.

Nos três estudos, os textos elaborados pelos alunos foram divididos nas categorias mencionadas anteriormente; os que aqui são apresentados como exemplos estão na sua versão completa no ANEXO III. Um texto foi enquadrado na categoria *superior* quando seus autores demonstraram domínio dos principais conceitos envolvidos, dos invariantes operatórios científicos inerentes ao campo conceitual envolvido (Partículas Elementares) e das relações entre eles, os apresentando de forma organizada e através de linguagem escrita coerente e acessível ao nível proposto.

Exemplos da categoria superior

ESTUDO I: texto de Caren, Poliana e Sônia¹². O texto inicia por situar seu emprego em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio com a recomendação de que deve ser trabalhado em partes, por ser muito extenso. Após, introduz um esquema que mostra a composição do núcleo atômico em quarks e cita os tipos de quarks. Segue falando do Modelo Padrão, sem mencionar suas dificuldades. Fala das propriedades dos núcleons, como carga e tamanho. Depois fala das Partículas Elementares de forma mais genérica, os tipos que existem e como estão divididos. Apresentam um mapa sobre partículas elementares e um sobre interações fundamentais retirados da literatura, explicam o que são antipartículas e falam sobre as interações fundamentais. Ao final do texto, apresentam um resumo contendo os principais conceitos abordados.

¹² Os nomes dos alunos são fictícios.

ESTUDO II: texto de Flávia. O texto faz uma pequena introdução sobre o início da pesquisa sobre Partículas Elementares. A seguir, fala que no Ensino Médio somente o modelo de átomo com prótons, nêutrons e elétrons é abordado e que o estudo do Modelo Padrão pode ser trabalhado no sentido de explorar “do que o mundo é feito”, “o que o mantém unido” e abrir espaço para novos questionamentos para que os alunos percebam que ainda existem muitas questões a serem respondidas. Além disso, sugere que os alunos possam fazer um trabalho de investigação sobre as teorias vigentes e sobre as explicações mais satisfatórias. Após as apresentações dos alunos, o professor poderia propor o estudo das partículas através da leitura do texto. O texto dirigido aos alunos de Ensino Médio, propriamente dito, inicia com a conceitualização de Partículas Elementares, dizendo que o elétron é verdadeiramente uma Partícula Elementar e que o próton e o nêutron são formados por partículas menores ainda. A seguir, apresenta a seguinte questão: “Você saberia dizer de que forma podemos ‘observar’ a existência de tais partículas?”. Como seqüência, apresenta o Modelo Padrão e as interações fundamentais, com uma tabela contendo as interações, as partículas mediadoras e sua intensidade relativa, e fala de cada interação separadamente. Após, introduz o conceito de partícula mediadora e sugere que seja utilizada uma analogia (retirada da bibliografia, diferente da apresentada pela professora) para melhor ilustrar este conceito. Apresenta, então, um quadro (retirado da bibliografia) onde apresenta a constituição da matéria, segundo o Modelo Padrão, e um quadro que apresenta definições sobre algumas partículas, como férmions, bósons, mésons, etc. (também retiradas da bibliografia). A seguir, retoma a questão da detecção das partículas para falar dos aceleradores e dos raios cósmicos. Finaliza observando que para que este conteúdo seja trabalhado no Ensino Médio é necessário que os alunos considerem a existência do átomo e das principais partículas e que é um conteúdo que merece estar nos currículos de Ensino Médio, pois proporciona ao aluno um melhor entendimento dos fenômenos que o cercam e um conhecimento mais moderno do campo da Física.

ESTUDO III: texto de Cíntia e Jane. Na apresentação, sugerem que este tema seja trabalhado em diversas áreas, tanto da Física como da Química, e que os professores podem trabalhar de forma conjunta os tópicos de Física Moderna. Como diferencial, no decorrer do texto são feitos vários “links” ou quadros com pequenas explicações ou indicações de quadros ou tabelas que aparecerão mais tarde e estão relacionados com algum aspecto do texto. Inicia com o questionamento: “Do que as coisas são feitas?” para fazer uma breve descrição histórica da visão da matéria, partindo de Demócrito até os dias atuais, chegando ao

conceito de partícula elementar. Termina com um pequeno quadro indicando que ao final do mesmo há uma tabela com as partículas elementares, seus símbolos, carga elétrica, spin e massa. Segue com a questão: “Partículas Elementares: o que são?” para introduzir o Modelo Padrão e apresenta quadros com explicações do que são quarks e o que são léptons. Apresenta a questão: “Partículas Elementares: como tudo começou?” para fazer um histórico do estudo destas partículas e das forças nucleares. Ao falar da força fraca, que é responsável por alguns tipos de desintegrações atômicas, faz uma ligação entre a palavra *radiação* e um quadro contando como foi a descoberta de Becquerel e a de Rutherford, e sobre os três principais tipos de radiação: alfa, beta e gama. Para dar seguimento ao texto, são utilizadas várias questões, como “Como a eletrosfera continuava intacta, de onde vinha este elétron?” para justificar o fato da radiação ser uma reação nuclear; e “O que vem a ser força?” para introduzir o conceito de interação. Fala da dificuldade de aceitação da teoria envolvendo quarks, e os motivos pelos quais os cientistas chegaram a ela, das forças fundamentais e da teoria da unificação. Finaliza com a questão: “Por fim: do que isso nos serve?” para discutir implicações filosóficas e tecnológicas relacionadas ao assunto. Por último, apresenta uma tabela com as principais partículas elementares e suas propriedades.

Podemos perceber um grande avanço dos textos do estudo I e dos estudos II e III enquadrados na mesma categoria. Mesmo que no texto do estudo III possa parecer uma “cópia” do que foi feito em aula, percebe-se que os conceitos envolvidos foram re-elaborados e corretamente relacionados, além de serem apresentados de uma forma completamente original.

Na categoria *intermediária*, se enquadram os textos que evidenciaram que seus autores possuem certo conhecimento das palavras que representam alguns conceitos sugerindo indícios de alguns invariantes operatórios inerentes ao campo conceitual envolvido, mas não conseguiram relacionar todos adequadamente sem a mediação do professor. A utilização da linguagem foi deficiente em alguns pontos, demonstrando confusão entre conceitos e relações incompletas.

Exemplos da categoria intermediária

ESTUDO I: texto de Otília e Rosaura. Introduzem o texto a partir do átomo para chegar nas partículas elementares, falam das interações da radiação com a matéria, dos léptons, das

partículas estranhas, do modelo dos quarks, e das antipartículas. Mas ao abordar as leis de conservação, o fazem de forma incompleta e quando abordam as interações fundamentais não falam das partículas mediadoras nem fazem uma classificação das partículas.

ESTUDO II: texto de Carla e Jurema. Situam o texto com o trabalho em sala de aula, propondo que os conceitos de Aceleradores de Partículas, Raios Cósmicos e Modelo Padrão devem ser apresentados no terceiro ano do Ensino Médio, considerando que a Física Moderna possui aspectos que favorecem a aquisição de uma compreensão mais abrangente sobre a constituição da matéria e dos modelos propostos pela ciência atualmente. Como ponto positivo, apresentam uma seqüência de atividades para apresentar os conceitos propostos aos alunos, com questionamentos e trabalhos em grupo. Apesar disso, o texto se apresenta de forma confusa, e as atividades poderiam ser melhor trabalhadas. Além disso, apresentam o acelerador de partículas de forma deslocada no texto e não apresentam uma conclusão ou fechamento, que deixaria o trabalho mais compreensível para alunos de Ensino Médio.

ESTUDO III: texto de Luciana e César. Iniciam com a seguinte questão: “Do que o mundo é feito?” para fazer uma breve introdução histórica sobre o estudo do átomo. Sem nenhuma conexão com o parágrafo anterior, falam brevemente sobre aceleradores de partículas e raios cósmicos, sem mencionar sua importância no estudo das partículas elementares. Seguem apresentando o Modelo Padrão e as partículas que fazem parte deste modelo, assim como de suas limitações. Seguem falando mais sobre quarks e léptons e apresentam quadros com as propriedades destes. Apresentam apenas as forças nuclear forte e fraca, sem mencionar o conceito de interação por troca de partículas e sem falar das partículas mediadoras. O seu fechamento ficou bastante confuso, parecendo uma colagem de frases sem conexão entre si.

Os textos em que os autores pareceram não ter compreendido de forma significativa vários conceitos, sem relacioná-los, não utilizando a linguagem de forma satisfatória, resultando em cópias de trechos de outras fontes, de leitura confusa e não adequado ao nível a que se propõe, estão na categoria *inferior*. Estes alunos aparentemente se encontravam na fase de desequilíbrio cognitiva, sem conseguir a acomodação referente a este campo conceitual, demonstrando abandono da execução da tarefa.

Exemplos da categoria inferior

ESTUDO I: texto de Zilda e Abgail, que é extremamente curto e direto, com vários conceitos ausentes, como o de Modelo Padrão e Interações.

ESTUDO II: texto de Mara, que apresenta uma série de tópicos desconexos, é extremamente direto e simplista. Ao falar dos aceleradores de partículas, apresenta o tubo de raios catódicos, mas não o relaciona adequadamente ao contexto. Além disso, uma série de conceitos estão ausentes, como partículas mediadoras, e ao apresentar o Modelo Padrão, não apresenta suas dificuldades.

ESTUDO III: texto de Everaldo e Michele, enquadrado nesta categoria, semelhantemente aos anteriores, não contemplava todos os conceitos e não era nada mais do que um resumo incompleto. Sua última versão não foi entregue ao professor pela dupla.

Na tabela 4.1 apresenta-se a categorização dos textos e o número de duplas e porcentagens em relação ao número de alunos de cada etapa, em cada categoria.

Ao compararmos os textos elaborados pelos estudantes nos três estudos, vemos que os textos do segundo e terceiro apresentaram um número maior de conceitos adequados, e uma maior quantidade de duplas teve seu texto na categoria superior. De acordo com Ausubel, a compreensão genuína de um conceito ou proposição implica a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis (Moreira, 1983, p. 65). No nosso caso esta posse se refletiu na elaboração de um texto de bom nível.

Tabela 4.1: categorização dos textos elaborados pelos alunos

CATEGORIA	CRITÉRIOS	ESTUDO I	ESTUDO II	ESTUDO III
SUPERIOR	- principais conceitos presentes; - texto coerente, bem escrito; - adequado ao nível médio.	2 duplas (~14%)	8 duplas (~42%)	10 duplas (~ 71%)
INTERMEDIÁRIA	- falta de conceitos e confusão entre eles; -relações incompletas; - texto deixando a desejar.	8 duplas (~57%)	7 duplas (~37%)	3 duplas (~ 21%)
INFERIOR	- falta de conceitos e confusão entre conceitos; - poucas relações; - texto mal escrito: cópia de várias fontes.	4 duplas (~29%)	4 duplas (~21%)	1 dupla (~7%)

Podemos admitir então que no segundo e terceiro estudos houve mais evidências de aprendizagem significativa do que no primeiro, pois ao escrever um texto que abrange mais conceitos, relacionando-os de uma forma clara, capaz de ser entendida por alunos de Ensino Médio, o estudante dá evidências de ter alcançado uma aprendizagem significativa e o domínio da tríade (S, I, R).

O fato de um número menor de duplas se encaixar na categoria superior no primeiro estudo não necessariamente é reflexo da metodologia adotada pela professora. Pode tratar-se apenas de uma menor capacidade dos alunos em realizar a tarefa. Por outro lado, no Estudo I os alunos tiveram aulas no formato tradicional sobre o tópico Partículas Elementares, e os alunos dos Estudos II e III não, o que pode sugerir uma influência da metodologia.

4.2 Mapas Conceituais construídos pelos alunos

Nos estudos II e III, os alunos confeccionaram mapas conceituais sobre Partículas Elementares que foram analisados e divididos também nas três categorias já mencionadas: *superior*, *intermediária* e *inferior*. Além disso, os mapas receberam uma pontuação, conforme Novak e Gowin (1984). Esta técnica propõe a elaboração de um mapa de referência, que foi confeccionado e recebeu 100 pontos e está apresentado na figura 4.1 e é o mesmo apresentado no capítulo 1. Este mapa de referência não pode ser considerado como o único “mapa correto”, podendo inclusive ocorrer que o mapa de algum aluno tenha uma pontuação maior que ele.

Pertencem à categoria *superior* os mapas que apresentam os principais conceitos envolvidos, dentro de uma hierarquia bem definida, demonstrando domínio das ligações entre os conceitos, e pontuação acima de 60 pontos. Nesta categoria, presença de relações que representam proposições cientificamente aceitas sugere que houve uma aprendizagem significativa dos conceitos envolvidos.

Nas figuras 4.2 (a) e 4.2 (b) são apresentados exemplos de mapas pertencentes à esta categoria. Nestes mapas percebe-se a presença dos principais conceitos, e de várias ligações cruzadas, e há uma hierarquia bem definida.

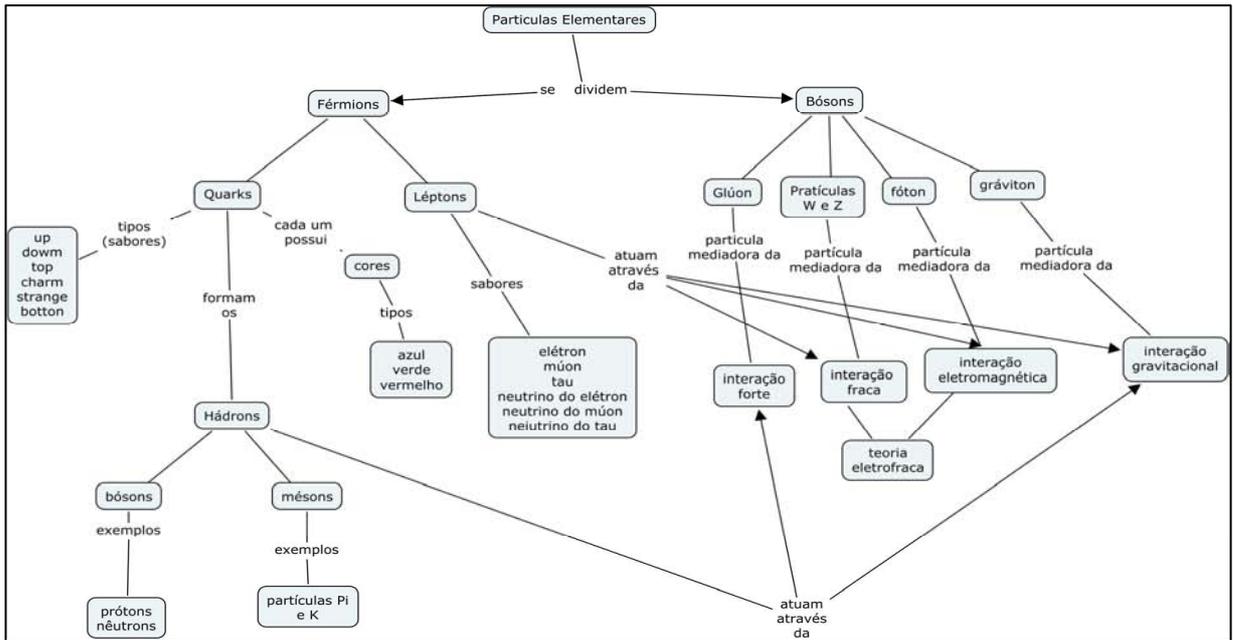


Figura 4.1: Mapa conceitual de referência sobre *Partículas elementares*.

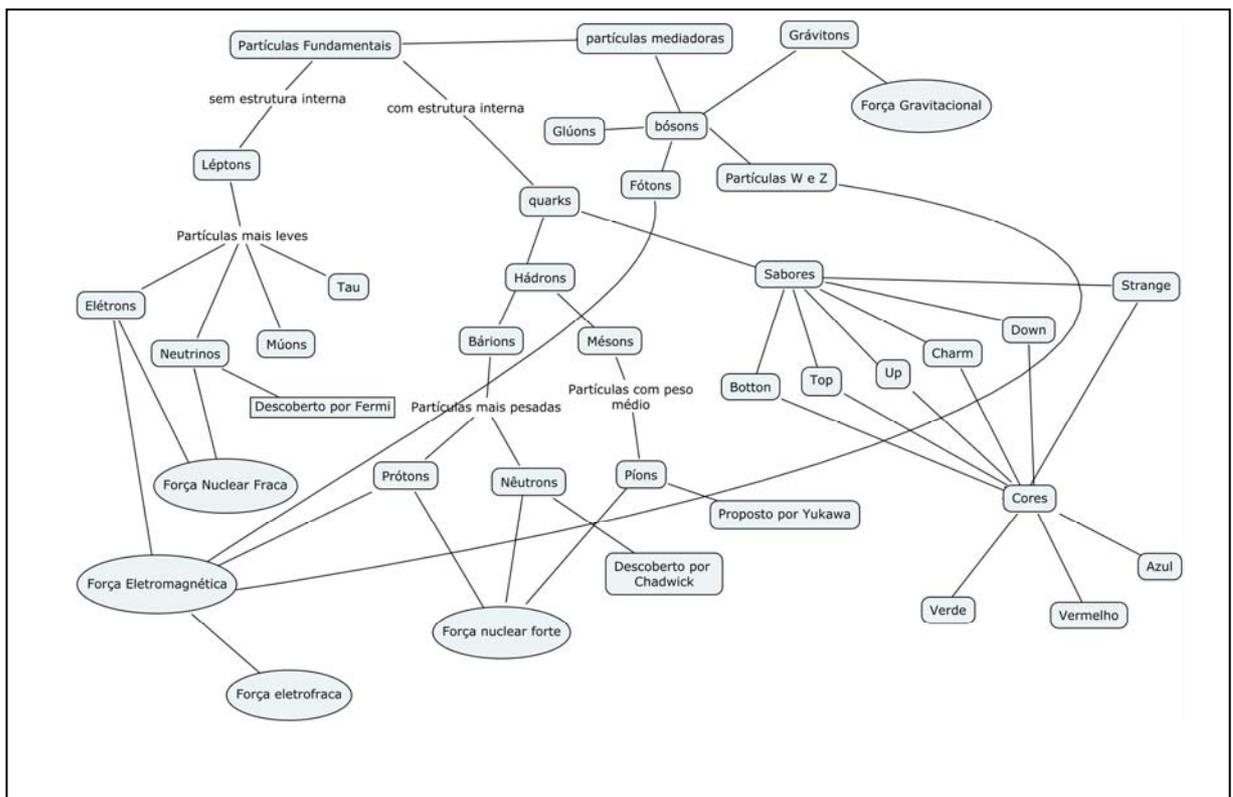


Figura 4.2 (a): Exemplo de mapa conceitual do Estudo II pertencente a categoria *superior*.

Um mapa foi categorizado na categoria *intermediária* se nem todos os conceitos relevantes estivessem presentes, não apresentasse boa hierarquia, não mostrasse todas as relações envolvidas, e recebesse pontuação entre 45 e 60 pontos.

Nas figuras 4.3(a) e 4.3(b) apresentamos exemplos de mapas categorizados como *intermediários*. Podemos observar nestes mapas poucas relações cruzadas, mas há uma hierarquia bem definida.

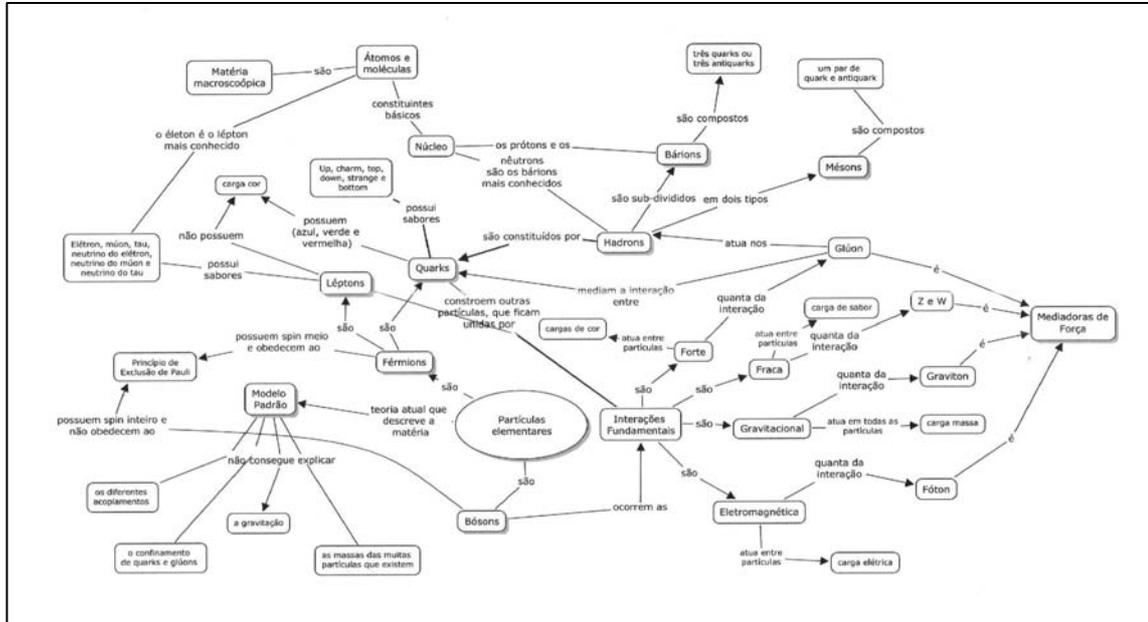


Figura 4.2 (b): Exemplo de mapa conceitual do Estudo III pertencente a categoria *superior*.

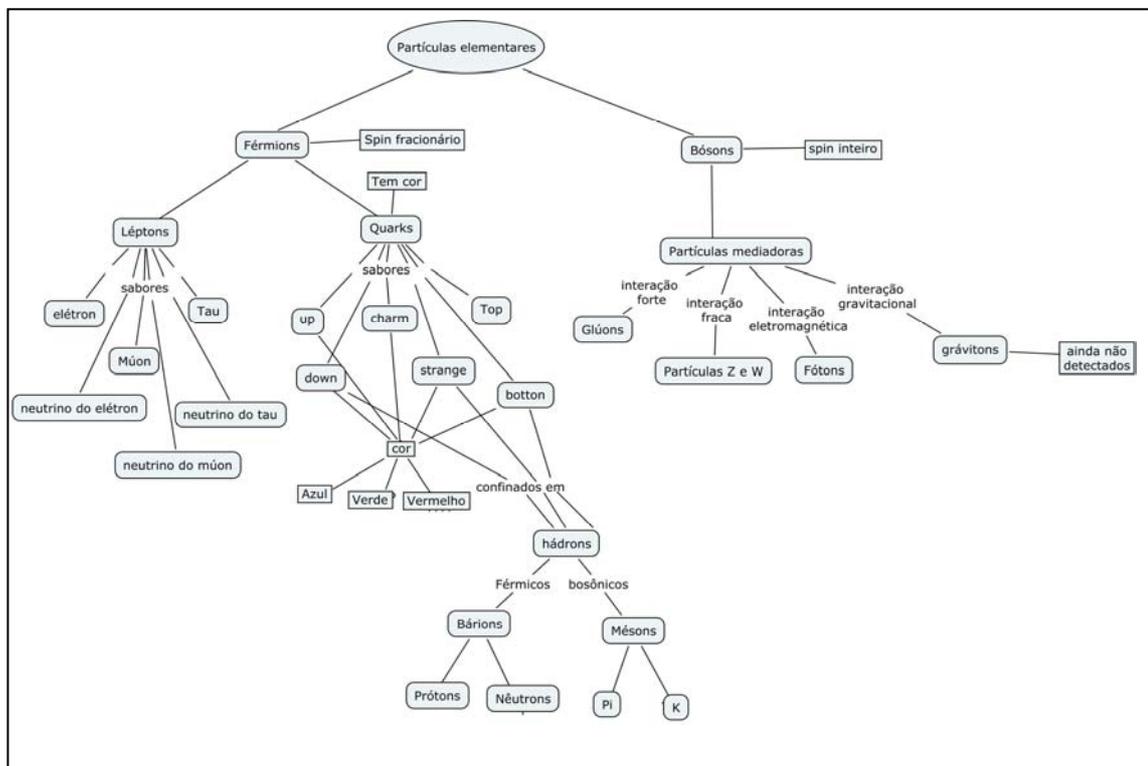


Figura 4.3 (a): Exemplo de mapa conceitual do Estudo II enquadrado na categoria *intermediário*.

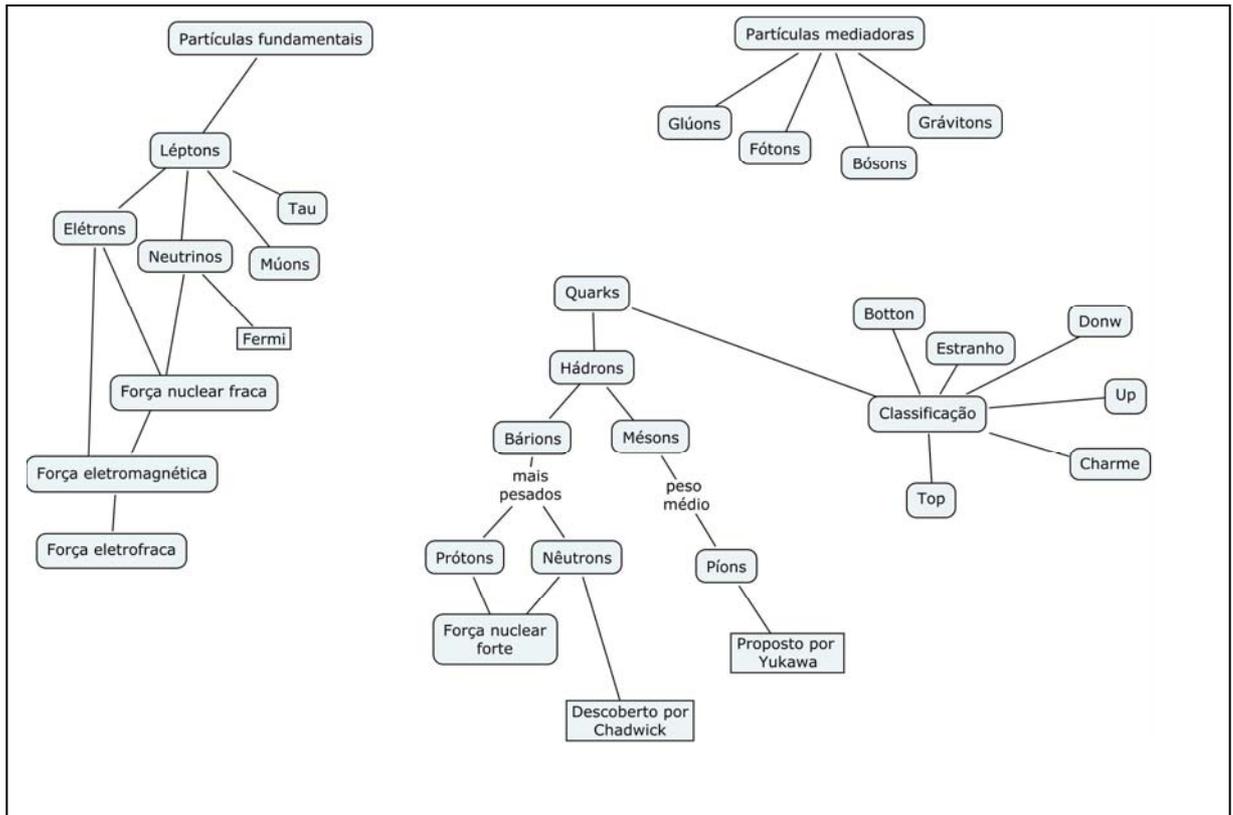


Figura 4.4 (a): Um exemplo de mapa conceitual do Estudo II da categoria inferior.

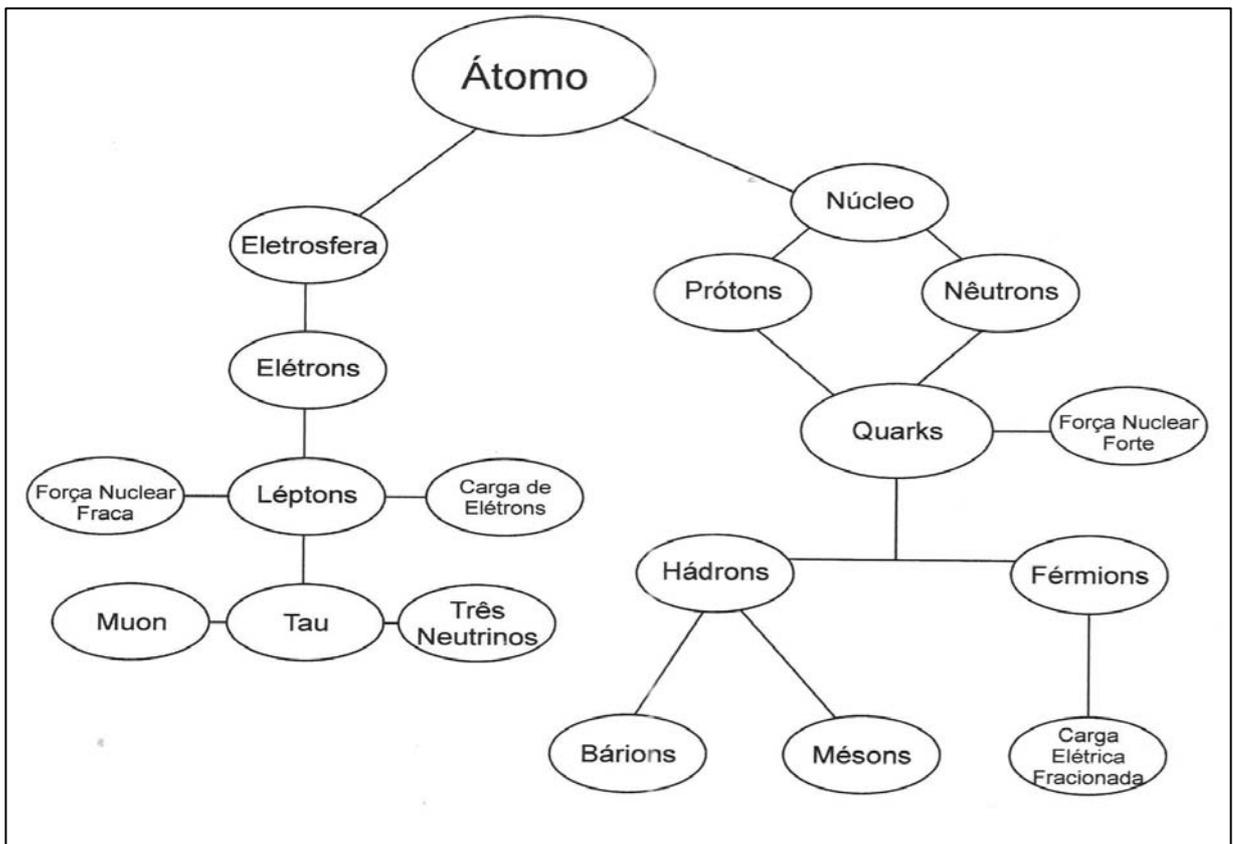


Figura 4.4 (b): Um exemplo de mapa conceitual do Estudo III da categoria inferior.

Tabela 4.2: Categorização dos mapas em cada estudo.

CATEGORIA	CRITÉRIOS	ESTUDO II (individual)	ESTUDO III (duplas)
SUPERIOR	-apresentam os principais conceitos; - apresentam uma hierarquia bem definida; - não apresentam ligações erradas (ou muito poucas); - apresentam ligações cruzadas; - têm pontuação acima de 60.	9 (~24%)	5 (~41,7%)
INTERMEDIÁRIA	- faltam conceitos; - apresentam hierarquia pobre; - apresentam ligações erradas; Têm pontuação entre 45 e 60.	18 (~7%)	4 (~33,33%)
INFERIOR	- apresentam poucos conceitos; - apresentam ligações erradas ou pobres; - não apresentam hierarquia; - pontuação abaixo de 45.	10 (~26%)	3 (~25%)

Como podemos ver na tabela, a maior parcela dos mapas foi categorizado como intermediário ou superior, sugerindo que a maior parte dos alunos (31% no estudo II e 75% no estudo III) aprendeu significativamente os conceitos sobre Partículas Elementares abordados.

4.3 Provas

Como indicativo de aprendizagem dos alunos sobre o tópico de *Radiação*, analisamos seu desempenho numa avaliação escrita, que no primeiro estudo foi realizada em duplas e no segundo e no terceiro foi individual. As questões presentes nessa avaliação tinham como objetivo avaliar a aprendizagem significativa de conceitos tanto em sua forma teórica, de modo que o sujeito pudesse enunciar suas propriedades, suas relações e transformações, como em sua forma prática, através da resolução de problemas numéricos.

Nesse tipo de avaliação as questões foram de dois tipos:

- *teóricas*: a serem respondidas através da correta aplicação dos conceitos envolvidos e de suas relações;

- *práticas*: para serem resolvidas exigem que os conceitos envolvidos sejam utilizados operacionalmente, como em problemas numéricos. Não são do tipo experimental.

Apesar de não ser objetivo deste trabalho, foi possível verificar indícios de possíveis invariantes operatórios utilizados pelos estudantes ao responderem a questão teórica 1.

A seguir apresentamos as questões de avaliação propostas aos estudantes em cada estudo, seus objetivos e a análise das respostas dos alunos.

Questões Teóricas:

Questão 1 (estudos I, II e III):

1. (a) *Explique como o núcleo, que é formado por partículas positivas e neutras, pode se manter estável.*

Nesta questão o objetivo foi o de avaliar o conhecimento do aluno sobre o conceito de força e estabilidade nuclear. No primeiro estudo aproximadamente 42%, no segundo cerca de 65% e no terceiro 81,5% dos alunos responderam que a estabilidade nuclear é devida à interação ou força nuclear. Além disso, no primeiro estudo 50% dos alunos e no terceiro 11,11% responderam que a estabilidade nuclear é devida à energia de ligação resultante da diferença entre as massas dos núcleons separados e entre o núcleo resultante da junção destes núcleons. Esta explicação, que não foi considerada como totalmente errônea, indica que para estes alunos essa é a principal razão para a estabilidade nuclear. Possivelmente este aspecto deve ter sido enfatizado durante as aulas. Desta forma observamos que estes alunos responderam de acordo com o seguinte raciocínio ou semelhante: *a energia de ligação é causada pela diferença entre as massas dos núcleos isolados e a massa do núcleo (7 alunos) e quanto maior o valor da energia de ligação, mais estável o núcleo (5 alunos).*

No segundo e terceiro estudos houve indícios das seguintes proposições que poderiam ser consideradas invariantes operatórias: *o que mantém os núcleons unidos é a força nuclear, ou seja, a força nuclear gera estabilidade (29 alunos – estudo II e 22 alunos – estudo III); a estabilidade é causada pelo equilíbrio de forças; os átomos devem possuir mais nêutrons (10 alunos – estudo II).*

1. (b) *Explique o papel de cada componente nesta estabilidade.*

Nesta questão, o objetivo foi o de verificar o conhecimento dos alunos sobre o papel dos prótons, que sofrem repulsão eletrostática e atração entre si e dos nêutrons, que sofrem apenas atração entre si e entre os prótons.

No primeiro estudo, apenas uma dupla (~7%) respondeu adequadamente, ou seja, de acordo com os conhecimentos cientificamente aceitos. As outras duplas responderam de maneira incompleta, mencionando apenas uma das forças (de atração ou de repulsão), ou que nêutrons também se repelem. Ou seja, apresentaram uma grande confusão entre os conceitos, não relacionando-os corretamente.

Aproximadamente 38% dos alunos do segundo estudo responderam que a troca de partículas mediadoras tem o papel mais importante para estabilidade. Esta resposta mostra que os alunos aplicaram o conceito de força (nuclear) como interação. Quer dizer, eles não responderam apenas através da aplicação de uma força, mas foram adiante, aplicando o conceito de interação através de troca de partículas. De acordo com os referenciais adotados, este tipo de resposta sugere uma aprendizagem significativa do conceito de força nuclear como uma interação que se dá através da troca de partículas mediadoras, demonstrando um avanço em relação ao estudo I. Nesta questão foi possível inferir que os alunos responderam utilizando-se do seguinte raciocínio: *a força nuclear é mediada por partículas* (13 alunos – 46%).

No segundo estudo houve também indícios de que os alunos apresentavam confusão entre estabilidade nuclear e atômica (4 alunos - ~10%), explicando a estabilidade nuclear através da estabilidade de alguns isótopos.

No terceiro estudo as respostas se dividiram basicamente em três tipos. O primeiro corresponde à resposta que concorda com os conceitos cientificamente aceitos (5 alunos - ~18,5%). No segundo tipo de resposta apenas o papel dos nêutrons para compensar a força de repulsão foi destacado (4 alunos - ~14,8%). No terceiro tipo, seis alunos (~22,2%) responderam que os núcleos podem ser organizados em uma carta de núcleos no. Provavelmente esta questão foi mal interpretada por eles.

1. (c) Explique como podem existir núcleos superpesados estáveis. Neste caso, quem é maior, Z ou N? Explique:

O objetivo neste caso foi o de verificar o entendimento dos alunos sobre como a presença de nêutrons em excesso pode interferir na estabilidade nuclear.

No primeiro estudo apenas uma dupla respondeu da maneira esperada. Cinco duplas (~38%) responderam que os núcleos instáveis se transformam em estáveis através de decaimentos, demonstrando não perceber a relação entre a presença dos nêutrons e o equilíbrio das forças que atuam no núcleo.

No segundo estudo, 15 alunos (~40%) e no terceiro 14 alunos (~51,8%) responderam de acordo com os conceitos cientificamente aceitos. 14 (~38%) alunos no segundo estudo e 9

alunos (~33,3%) no terceiro estudo responderam apenas que o número de nêutrons deve ser maior, sem explicar em termos de equilíbrio de forças.

Questão 2 (estudos II e III):

2. Estudamos mais de um modelo nuclear. Pode-se dizer que um deles é mais correto? Porque não adotamos apenas um modelo? Explique.

O objetivo desta vez foi o de inferir sobre o conhecimento dos alunos a respeito de seu entendimento sobre os modelos nucleares, sua validade e abrangência. Esperava-se que eles respondessem que nenhum modelo é mais correto, mas cada um explica melhor certas propriedades nucleares, sendo desta forma incorreto adotar apenas um modelo que explique todas as propriedades nucleares.

No estudo II, aproximadamente 78,4%, e no estudo III 88,9% dos alunos responderam que nenhum dos modelos é mais correto que o outro; sendo que no estudo II ~56,8% e ~85,2% no estudo III disseram que não adotamos apenas um modelo porque cada um explica algumas propriedades do núcleo.

Além disso, no estudo II cinco alunos (~13,5%) responderam que um modelo é uma construção teórica validada experimentalmente, sem responder de forma clara a pergunta; e cinco alunos que “um modelo é a junção do outro” (no sentido de apresentar características de um e de outro), sem demonstrar conhecer a validade e o domínio de cada um dos modelos.

No estudo III, 2 alunos (~7,4%) responderam que um modelo surge para explicar as incoerências ou inconsistências do outro, transparecendo a idéia de evolução dos modelos, semelhante à evolução dos modelos atômicos, 2 alunos disseram que o modelo da gota líquida é o mais correto e 2 alunos confundiram os modelos nucleares com os atômicos.

Questão 3:

3. Utilizando seus conhecimentos e com auxílio de bibliografia sobre Física Nuclear, explique as seguintes frases;

a) “Somos feitos de estrelas”. (Estudos I, II e III)

O objetivo desta questão era avaliar se os alunos conseguiam relacionar corretamente os conceitos de fusão e energia nuclear aos processos que ocorrem no interior das estrelas, inclusive no Sol, como a formação de elementos químicos mais pesados que o Hidrogênio.

Ao analisarmos as respostas, esperávamos encontrar indícios do seguinte tipo de raciocínio ou proposição: *elementos químicos pesados são formados a partir de elementos químicos mais leves. Isto ocorre a partir de fusões nucleares, que ocorrem no interior das estrelas. Logo, os elementos químicos presentes em nosso planeta, incluindo os do nosso corpo, são formados nas estrelas, ou então, algo equivalente.*

A questão foi respondida corretamente no primeiro estudo por ~21%, no segundo por ~46 % e no terceiro por ~33,3% dos alunos; e de forma incompleta por ~ 64% dos alunos no primeiro estudo, por ~13% no segundo e por ~26% no terceiro.

b) *“O decaimento radioativo foi a primeira indicação de que as leis que governam o mundo subatômico são estatísticas.”* (Estudos I e II)

Neste item o nosso objetivo foi o de analisar o conhecimento dos alunos sobre o significado estatístico do decaimento radioativo. Para isso, era esperado que os alunos respondessem de acordo com o seguinte raciocínio ou semelhante: *o decaimento radioativo ocorre de forma estatística, ou seja, não podemos determinar qual o núcleo da amostra que irá decair, apenas a porcentagem de núcleos que decairão, que é uma evidência do comportamento probabilístico da Mecânica Quântica.*

Ele foi respondido da forma esperada por ~78% dos alunos no primeiro e por ~11% no segundo estudo, e de forma incompleta por ~7% dos alunos no primeiro estudo e por ~8% no segundo.

O baixo índice de acertos nesta questão no primeiro e segundo estudos parece indicar que o caráter quântico probabilístico envolvido no processo de decaimento radioativo não ficou claro, principalmente no segundo estudo, sugerindo que as situações propostas para o desenvolvimento deste conceito devem ser reestruturadas ou mesmo substituídas.

c) *“Uma usina nuclear é uma bomba atômica controlada”.* (Estudo III)

Esta questão teve como objetivo avaliar a compreensão dos alunos sobre a fissão nuclear, que pode ter sua reação em cadeia controlada no caso da usina. Esperava-se que o seguinte raciocínio ou semelhante fosse utilizado: *tanto a usina como a bomba tem seu princípio de funcionamento baseado no processo de fissão nuclear, mas na usina este processo é controlado.*

Ela foi respondida de acordo com os conhecimentos cientificamente aceitos por ~70,4%, e de forma incompleta pelo restante dos alunos.

d) “A radiação pode tanto matar quanto salvar vidas”. (Estudo III)

Esta questão pretendeu avaliar os conhecimentos dos alunos sobre os aspectos biológicos envolvidos na radiação. Ao responder corretamente a questão, o aluno provavelmente utilizariam um raciocínio do tipo: *o que diferencia os efeitos da radiação sobre o organismo humano é a dose recebida por este. Altas doses podem causar vários danos, mas pequenas doses podem ser administradas com fins terapêuticos ou de diagnóstico.*

Aproximadamente 85% dos alunos responderam corretamente a questão, indicando um bom entendimento dos conceitos envolvidos.

Questões Práticas (estudos I e II)

1. O nuclídeo ^{244}Pu ($Z = 94$) é um emissor de partículas alfa. Dentre as alternativas abaixo, qual é o núcleo resultante do decaimento? Explique porque cada alternativa é correta ou falsa. (Retirada de Halliday et al., 2003, p. 229)

- a) ^{240}Np ($Z = 93$)
- b) ^{240}U ($Z = 92$)
- c) ^{248}Cm ($Z = 96$)
- d) ^{244}Am ($Z = 95$)

O objetivo desta questão foi verificar o conhecimento dos alunos sobre os mecanismos do decaimento alfa através da análise da situação apresentada.

No primeiro estudo, ~85% dos alunos responderam corretamente, e no segundo, 100%. De acordo com os referenciais adotados, inferimos que o aluno que respondeu corretamente seguiu um raciocínio semelhante a este: *decaimento alfa tem com resultado a emissão de partículas alfa; o átomo pai perde 2 prótons e 2 nêutrons e o átomo filho fica com 2 p e 2 n a menos; demonstrando um domínio do esquema envolvendo este conceito, pois foi capaz de aplicá-lo corretamente em uma situação nova, diferente das apresentadas anteriormente.*

2. Todos os isótopos do chumbo têm 82 prótons. (Retirada de Halliday et al., 2003, p. 229)

a) Se um dos isótopos do chumbo tivesse 82 nêutrons, onde estaria situado na carta de nuclídeos?

b) Se fosse possível fabricar este isótopo, ele decairia emitindo pósitrons, decairia emitindo elétrons ou seria estável?

c) De acordo com a carta de nuclídeos, quantos nêutrons, aproximadamente, deve ter um isótopo estável do chumbo?

Esta questão teve como objetivo investigar o entendimento do aluno sobre os mecanismos envolvidos nos decaimentos beta mais e beta menos e na utilização da carta de nuclídeos.

Para responder corretamente esta questão, o aluno devia ser capaz de interpretar a carta de nuclídeos corretamente, através do seguinte raciocínio ou semelhante: *a partir da localização do elemento na carta de nuclídeos, o ponto em questão deve se desviar até a linha de estabilidade. Ao analisar esta nova posição, deve-se verificar o número de prótons e nêutrons presentes nesta nova posição. A partir deste número de p e n, perdidos (ou ganhos), determinar o tipo de decaimento, através do seguinte raciocínio ou semelhante:*

Emissão beta mais: emissão de um pósitron por um próton o transforma em um nêutron.

No primeiro estudo, esta questão foi respondida da forma esperada por ~85% dos alunos na letra (a); por ~57% na letra (b); e 85% na letra (c). No terceiro estudo, a questão foi respondida da forma esperada por ~89 % dos alunos na letra (a); por ~76% na letra (b); e por ~78% na letra (c).

3. O nuclídeo ^{238}U ($Z = 92$) pode se fissionar em dois fragmentos com o mesmo número atômico e o mesmo número de massa. (Retirada de Halliday et al., 2003, p. 229)

a) O nuclídeo ^{238}U está acima ou abaixo da reta $Z=N$ da carta de nuclídeos?

b) Os dois fragmentos estão acima ou abaixo desta reta?

c) Os fragmentos são estáveis ou radioativos?

Esta questão também tem como objetivo avaliar a compreensão dos alunos sobre a utilização da carta de nuclídeos e utiliza para sua resolução um raciocínio semelhante ao já mencionado na questão anterior.

No primeiro estudo os itens (a) e (b) foram respondidos corretamente por ~93% dos alunos e o item (c) por ~78%. No segundo estudo os itens (a) e (b) foram respondidos corretamente por ~92 % e o item (c) por ~76%.

Desta forma, podemos dizer que nos três estudos temos indícios de que apresentam compreensão sobre a carta de núclídeos, assim como dominam sua utilização.

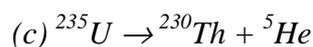
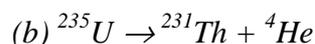
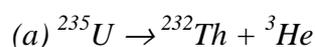
4. *A meia vida de um isótopo radioativo é de 140 dias. Quantos dias são necessários para que a taxa de decaimento de uma amostra deste isótopo diminua para um quarto do valor inicial?* (Retirada de Halliday et al., 2003, p. 231)

Nesta questão, pretendemos encontrar indícios da correta utilização do mecanismo envolvido no conceito de meia-vida: *no período de meia-vida, metade dos núcleos da amostra irão decair*, ou semelhante. Para resolver a situação apresentada acima, que pede quantos dias são necessários para que a amostra decaia $\frac{1}{4}$, o seguinte raciocínio ou equivalente deveria ter sido utilizado: *quando a amostra decai $\frac{1}{4}$, significa que se passaram 2 meias-vidas. Então, multiplicar a meia vida de 140 dias por 2, que é 280 dias.*

No primeiro estudo, ~64% dos alunos responderam corretamente e no segundo, ~92%.

Questões Práticas (estudo III).

3. *Os radionuclídeos pesados emitem partículas alfa em vez de outras combinações de núcleos porque as partículas alfa formam uma estrutura particularmente estável. Baseado nisso, calcule as energias resultantes das desintegrações para as reações hipotéticas a seguir.*



Dados: ${}^{232}\text{Th}$: 232,0381 u ${}^3\text{He}$: 3,0160 u

${}^{231}\text{Th}$: 231,0363 u ${}^4\text{He}$: 4,0026 u

${}^{230}\text{Th}$: 230,0331 u ${}^5\text{He}$: 5,0122 u

${}^{235}\text{U}$: 235,0439 u

O objetivo desta questão era verificar se o aluno era capaz de determinar a energia de ligação das reações propostas.

Responderam corretamente os itens (a) e (b) 24 alunos (~88,9%) e o (c) 22 alunos (~81,5%).

4. A meia-vida do núcleo radioativo $^{226}_{86}\text{Ra}$ é de $1,6 \cdot 10^3$ anos. Se uma amostra contém $3 \cdot 10^{16}$ desses núcleos no instante inicial t_0 , determine:

a) a meia-vida em segundos;

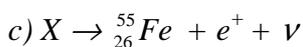
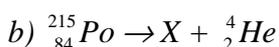
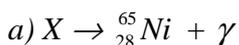
b) a constante de decaimento;

c) a atividade da amostra no instante inicial.

O objetivo desta questão foi o de verificar os conhecimentos dos estudantes sobre os conceitos de meia-vida, constante de decaimento e atividade de uma amostra, assim como do cálculo adequado para se encontrar seus valores.

O item (a) desta questão foi respondido corretamente por 12 alunos (~44,4%) e 4 alunos (~14,8%) deixaram a questão em branco; e o item (b) foi respondido corretamente por 13 alunos (~48,1%) e 4 alunos (~14,8%) deixaram a questão em branco. Já o item (c) foi respondido corretamente por 11 alunos (~40,7%) e a questão foi deixada em branco por 5 alunos (~18,55%).

5. Identifique o nuclídeo ou a partícula X que está faltando:



O objetivo desta questão foi o de verificar o conhecimento dos estudantes sobre os decaimentos, seus mecanismos, aplicando-os numa situação nova.

O item (a) foi respondido corretamente por 21 alunos (~77,8%) e deixado em branco por 5 alunos (~18,5%). O item (b) foi respondido corretamente por 23 alunos (~85,2%) e deixado em branco por 4 alunos (~14,8%). Já o item (c) foi respondido corretamente por 19 alunos (~70,4%) e deixado em branco por 4 alunos (~14,8%).

6. Considere uma amostra de 100 g de um isótopo radioativo com uma meia-vida de 40 dias. Quantos gramas vão restar deste isótopo após um período de 1 ano (360 dias)?

O objetivo desta questão foi o de averiguar os conhecimentos dos estudantes sobre o conceito de meia vida e aplicá-lo em uma situação nova.

Esta questão foi respondida corretamente por 21 alunos (~77,8%) e deixada em branco por 1 aluno (~3,7%).

Através das respostas dos alunos à questão teórica 1, embora não fosse o objetivo de nossa pesquisa, foi possível obter indícios de alguns possíveis invariantes operatórios utilizados pelos alunos, do tipo *teoremas-em-ação* e *conceitos-em-ação*. Na tabela 4.3 estão listados os invariantes operatórios coerentes com os cientificamente aceitos. Lembramos que teoremas-em-ação são proposições tidas como verdadeiras sobre a realidade e conceitos-em-ação são categorias pertinentes, atributos que se aplicam à situação.

Tabela 4. 3: Invariantes operatórios coerentes com os cientificamente aceitos

Invariante operatório do tipo <i>teorema-em-ação</i>	ESTUDO I (alunos)	ESTUDO II (alunos)	ESTUDO III (alunos)
Nêutrons e prótons se atraem.	5	2	4
Prótons se repelem.	3	4	14
Prótons podem se atrair e se repelir.	1	1	1
Nêutrons se atraem.	1	1	4
A força nuclear é mediada por partículas.		13	1
A estabilidade nuclear requer que hajam mais nêutrons que prótons no núcleo.	2	16	4
Quanto maior o valor da energia de ligação mais estável o núcleo.	5		1
Invariante operatório do tipo <i>conceito-em-ação</i>			
Diferença entre as massas dos núcleons separados e a massa do núcleo resulta na energia de ligação.	7		3
Átomos estáveis apresentam números mágicos.	1		
A força nuclear é de curto alcance.	5	9	17
Prótons interagem através da força elétrica e força forte.		1	
Nêutrons interagem através da força forte.		1	
No núcleo ocorre competição entre forças: nuclear de curto alcance e elétrica de repulsão.	3	2	15
Núcleos instáveis se tornam estáveis através de decaimentos.	5	1	1
A força nuclear é responsável pela coesão do núcleo.	2	29	21
A estabilidade se deve a que as forças de atração se igualam às forças de repulsão.	1		13
Estabilidade é causada pelo equilíbrio de forças, causando um aumento de nêutrons no núcleo.		10	4
Quando um átomo é estável, não sofre decaimento.		6	

Também foram identificados invariantes operatórios que não são coerentes com os conceitos cientificamente aceitos, demonstrando confusão entre significados científicos e alternativos. Este invariantes estão apresentados na tabela 4.4. Muitos destes conceitos/esquemas podem não fazer parte da estrutura cognitiva *permanente* do aluno, se

tratando apenas de uma confusão momentânea, a qual pode perfeitamente ter sido resolvida na correção das questões em sala de aula pela professora em grande grupo. O importante é que sejam explicitados, pois só assim a mediação docente pode ajudar.

Tabela 4. 4: Invariantes operatórios não coerentes com os cientificamente aceitos

Invariante operatório do tipo <i>teorema-em-ação</i>	ESTUDO I (alunos)	ESTUDO II (alunos)	ESTUDO III (alunos)
Nêutron é uma partícula negativa.	1		1
Átomos estáveis possuem o mesmo número de p e n.	2		1
Estabilidade resulta num equilíbrio de forças resultando num número maior de prótons.		4	
Invariante operatório do tipo <i>conceito-em-ação</i>			
Quando o número de p é próximo ao número de nêutrons o átomo é estável e mais leve.	1		
Núcleons são formados por prótons mais nêutrons.	1		
Nêutrons e prótons interagem através da força elétrica.		1	
Núcleo estável é um núcleo pequeno devido à força forte (equilíbrio).		1	
Nêutrons têm carga.		1	1

4.4 Situações-problema propostas pelos alunos

Na primeira avaliação (sobre Partículas Elementares) dos Estudos II e III, foi solicitado aos alunos a seguinte tarefa:

*Escolha dois conceitos Sobre **Partículas Elementares** (o que foi estudado até aqui e o que seu texto aborda) e proponha uma situação-problema que facilite para os alunos de Ensino Médio a construção de cada um destes conceitos.*

As situações propostas pelos alunos demonstraram confusão sobre o significado atribuído pelos alunos sobre uma *situação-problema*. As questões foram digitadas e separadas pela professora e se encontram no ANEXO IV. Na aula seguinte foram distribuídas (sem identificação) aleatoriamente para a turma, que foi dividida em grupos. Cada grupo de três ou quatro integrantes deveria analisar as questões recebidas de acordo com as seguintes instruções:

Analisar e comentar cada questão (situação-problema), levando em conta os seguintes itens:

- a) *se faz parte do conteúdo;*
- b) *se o grupo consegue identificar o conceito envolvido;*

- c) *se o grupo consegue responder a questão;*
- d) *se facilita a construção do conhecimento ou é apenas memorística;*
- e) *se for o caso, reformular a questão;*
- f) *numerar a questão analisada para sua identificação.*

As questões propostas pelos alunos se encontram no ANEXO IV e foram divididas em três categorias: *superior, médio e inferior*. No estudo II, 37 alunos responderam a esta questão, totalizando 73 questões, pois os alunos elaboraram 2 questões cada um. No estudo III, 28 alunos responderam a questão, totalizando 30 questões, pois os alunos elaboraram 1 questão cada um devido à interpretação da questão.

Na categoria *superior* estão as questões que mais se aproximam das *situações* anteriormente abordadas no referencial teórico (cap. 1), ou seja, que facilitam a construção do conceito em questão. No estudo II 22 questões (~30,1%) tiveram suas questões enquadradas nesta categoria e no estudo III 26 questões (~52%). Algumas destas questões (15 no estudo II e 19 no estudo III) foram baseadas no que foi abordado em aula, como a coesão do núcleo, analogia com pessoas em patins para explicar a interação e abordagem das partículas elementares a partir dos modelos atômicos. Por outro lado, 6 questões no estudo II e 9 questões no estudo III foram completamente diferentes das abordadas em aula. A seguir são mostrados alguns exemplos:

Em um aniversário muito animado, tinha um balão surpresa. O mesmo continha grande quantidade de guloseimas. Em certa hora, o balão foi estourado e todos e todas as crianças que ali estavam atacaram as guloseimas. Porém cada uma delas estava disposta a pegar só um tipo de doçura. João pegou 6 bombons, Marina pegou 6 pirulitos, Paulo catou 4 balas de chocolate, assim por diante até tudo estar distribuído de acordo com os gostos dos convidados. Também podemos, de maneira análoga, ver que dentro de um átomo existem inúmeras partículas que se agrupam conforme suas semelhanças ou conveniências.(Estudo II)

Poderíamos aproveitar o conceito de raios cósmicos para explicar para os alunos como funciona o forno de microondas, as ondas de rádio, raios ultravioletas e também como funciona o raio-x. Acho que os alunos gostariam de saber um pouco mais sobre estes assuntos. (Estudo II)

Como sabemos tantas coisas a respeito da constituição do Sol, se o ser humano nunca pisou, nem nunca vai pisar lá, e se nem satélites conseguem se aproximar de sua superfície, pois derretem? (Estudo III)

Imagine que o seu relógio estragou, e você ficou curioso para descobrir o que tem dentro dele, mas ele foi montado sem que você consiga desmontar. O que você faria para ver

o que tem dentro? E depois do que você viu que tem dentro, o que representa isto em relação ao relógio? E como você faria para ver se em alguma coisa dentro destas peças? (Estudo III)

No estudo II 26 questões (~35,6%) e no estudo III 13 questões (~26%) foram categorizadas no nível *médio*. As questões que pertencem a esta categoria por questão de algum detalhe ou através de uma modificação poderiam ser da categoria anterior. Como exemplo, podemos citar as seguintes questões:

No começo dos anos 30 do século passado, a estrutura do átomo estava bem estabelecida, acreditava-se que os componentes básicos da matéria seriam: elétrons, prótons, nêutrons e neutrinos. Mas com o passar dos anos surgiram várias novas partículas que manteriam prótons e nêutrons no núcleo. Você saberia explicar como foram feitas estas previsões teóricas, ou seja, como surgiram estas novas partículas? (Estudo II)

Propor que os alunos façam uma investigação em bibliografias sobre o funcionamento de uma máquina de raios X. Que os alunos investiguem, conceituem o que são raios X (radiação eletromagnética com frequência maior do que a do ultravioleta, emitidas por elétrons que saltam para estados de energia mais baixa de um átomo), conceitos de partícula alfa, beta e gama, sobre a meia-vida, a força nuclear que é a interação forte, falem de como um átomo é radioativo. (Estudo III)

No primeiro exemplo a idéia básica da questão seria a de relacionar os experimentos com as previsões teóricas, destacando a relação entre teoria e experimentação. No entanto, para pertencer à categoria superior, deveria ser modificada no sentido de não perguntar sobre esta relação para os alunos, mas introduzir o conteúdo de partículas elementares a partir de relações expostas pelo professor.

No segundo exemplo está bem a parte da pesquisa sobre os raios X, mas querer que os alunos a partir desta pesquisa cheguem aos conceitos de meia-vida, força nuclear e radioatividade é um pouco demais. Ela deveria ser modificada no sentido de se restringir mais ao assunto dos raios X e dos aceleradores de partículas.

Partindo do átomo que fica mais fácil de entender, e do que é composto basicamente, juntamente com os alunos. Separar o átomo em nêutrons, prótons e elétrons. Montar uma tabela para identificar do que os nêutrons são compostos de outras partículas que são os quarks e que o elétron é um lépton. (Estudo III)

Neste exemplo a idéia por trás seria a de começar com o estudo das partículas a partir dos constituintes dos átomos, mas a identificação das partículas a partir de uma tabela não está bem.

4.5 Apresentação das micro-aulas

A apresentação das micro-aulas pelos alunos foi filmada¹³ e a performance dos grupos foi posteriormente analisada e enquadrada nas categorias: *superior*, *médio e inferior*. Para esta categorização nos baseamos apenas na apresentação dos grupos e o desempenho de cada integrante durante a mesma, e não no trabalho escrito que foi entregue pelo grupo.

No estudo II 12 grupos de três componentes apresentaram, sendo que os trabalhos 1, 2, 9, 10 e 11 estão na categoria *superior*, os trabalhos 4, 6, 7 e 8 na categoria *intermediária* e os trabalhos 3, 5 e 12 na *inferior*. No estudo III 7 grupos de quatro componentes se apresentaram. Destes, os trabalhos 3, 4 e 5 se enquadram na categoria *intermediária* e os trabalhos 1, 2, 6 e 7 na categoria *superior*.

Na categoria *superior* estão os grupos que na sua apresentação demonstraram todos ou a maioria dos seguintes aspectos considerados importantes:

- *Clareza na abordagem dos conteúdos.*
- *Ilustração através de exemplos:* o grupo 11 (datação radioativa e traçadores) do estudo III apresentou exemplo de como se calcula a idade de um fóssil utilizando a datação radioativa; e o grupo 3 (fusão nuclear) do estudo III apresentou exemplos de reações que ocorrem no interior do Sol.
- *Utilização de analogias:* o grupo 9 (usina nuclear) do estudo II ao explicar o funcionamento da usina nuclear se utilizou dos conhecimentos de seus colegas sobre usinas hidrelétricas e termoeletricas para fazer comparações, ressaltando as diferenças e semelhanças entre elas; da mesma forma o grupo 3 (fusão nuclear) do estudo III ao explicar a fusão nuclear se valeu dos conhecimentos recém adquiridos pelos colegas sobre a fissão nuclear.
- *Utilização, de forma conveniente, de recursos audiovisuais, como lâminas e projetor multimídia,* de forma que estes recursos os auxiliassem durante a apresentação, mas não fossem lidos ou contivessem informações em demasia.
- *Interação com os colegas durante a apresentação através de perguntas e questionamentos.*

¹³ Os alunos assinaram um termo de compromisso livre e esclarecido que se encontra no APÊNDICE III.

- *Componentes bem preparados*, no sentido de ter domínio dos assuntos abordados, e segurança na sua fala, sem fazer somente leituras.
- *Abordagem dos principais aspectos dos conteúdos abordados*: o grupo 9 (usina nuclear) do estudo II que abordou desde o seu funcionamento, a questão do lixo nuclear, custos, benefícios e pontos negativos, e o grupo 10 (aspectos biológicos da radiação) do estudo III que iniciou apresentando alguns acidentes e suas conseqüências, abordando também unidades de medida, dose letal, efeitos de cada dose a curto e a longo prazo, efeitos genéticos, somáticos e congênitos e medidas de prevenção.
- *Utilização de situações ou questões motivadoras*: o grupo 2 (modelos nucleares) do estudo II iniciou sua apresentação fazendo passar pelos colegas uma caixinha com conteúdo desconhecido para que eles adivinhassem o que continha, desta forma pretenderam mostrar como é o trabalho dos cientistas que não conseguem enxergar o núcleo atômico e desenvolvem modelos que não podem ser comprovados diretamente. O grupo 3 (fusão nuclear) do estudo III questionou os colegas sobre “o que é o Sol, se ele é uma bola de fogo, o que está queimando?” e discutir a fonte de energia do Sol e apresentar a energia da fusão nuclear.
- *Apresentação de sugestões de como abordar os conteúdos no Ensino Médio*: o grupo 9 (usina nuclear) do estudo II sugeriu que se trabalhasse a usina nuclear juntamente com a hidrelétrica e outros tipos de usinas e propôs uma questão para debate com os alunos: “Você preferiria morar próximo a uma usina nuclear ou a uma usina termoelétrica? Com argumentos, defenda sua escolha.”. O grupo 5 (bomba atômica) do estudo II sugeriu para os colegas que este assunto poderia ser trabalhado com uma ênfase histórica, abordando aspectos sociais envolvidos na ocasião da segunda guerra.

Na categoria *intermediária* os grupos apresentaram as seguintes características:

- *Nem todos os componentes do grupo mostraram firmeza na apresentação.*
- *Houve interação do grupo com os colegas espectadores, mas não de todos os componentes.*
- *Apresentaram uma questão ou situação motivadora, mas era fraca ou colocada apenas no final da explicação*: o grupo 7 (fissão nuclear) do estudo II inicia sua apresentação perguntando “como funciona uma bomba atômica?”, e o grupo 1 (fissão

nuclear) do estudo III inicia com a questão “o que é energia nuclear?”. Em ambos os casos, a questão colocada nada mais é do que o próprio título do trabalho modificado, não servindo de grande motivação. O grupo 4 (decaimento beta mais) do estudo II no final de sua apresentação pergunta “onde decaimento pode ser utilizado?” para a seguir dar exemplos de aplicação tecnológica e na medicina.

- *Deixaram algum aspecto importante do trabalho de fora:* o grupo 6 (fusão nuclear) do estudo II não falou muito sobre a liberação de energias no processo, nem da conversão massa-energia; e o grupo 1 (fusão nuclear) do estudo III avançou muito em assuntos de outros trabalhos (usina nuclear, efeitos biológicos e bomba nuclear) e falou muito pouco sobre as famílias radioativas.
- *Os recursos audiovisuais utilizados pelos grupos foram poucos e/ou mal utilizados.*

Resumindo, um grupo pertence a esta categoria se alguma das características da categoria superior estiver ausente.

Enquadrados na categoria *inferior* os grupos que apresentaram as seguintes características:

- *Os componentes não mostraram firmeza na apresentação*, lendo materiais de forma expositiva sem interagir com os colegas.
- *Não utilizaram nenhum recurso audiovisual ou quando da sua utilização este foi mal aproveitado:* o grupo 5 (decaimento beta menos) do estudo II apresentou uma lâmina com muitas informações e que foi lida pelos componentes do grupo.
- *Não exploraram todos os aspectos considerados importantes ao conteúdo:* o grupo 12 (efeitos biológicos da radiação) do estudo II não abordou a radiação natural e seus efeitos; e o grupo 3 (decaimento alfa) do estudo II que não apresentou nenhum exemplo do esquema deste decaimento para os colegas, além de não utilizarem nenhum recurso audiovisual.

Resumindo, nesta categoria se enquadram os grupos que deixaram a desejar em várias das características pertencentes à categoria superior.

Como aspectos positivos desta atividade, podemos destacar, além do desenvolvimento das habilidades descritas no cap. 3, que ela enriquece a abordagem dos assuntos trabalhados, pois os alunos apresentam curiosidades e detalhes que não necessariamente seriam abordados

pelo professor e que o grupo aprofunda seus conhecimentos sobre o tema que está trabalhando.

Como aspectos negativos podemos dizer, a partir de comentários dos próprios alunos, o fato de haver vários trabalhos sendo apresentados no mesmo dia resultando numa grande quantidade de informação em pouco tempo para ser assimilada; e também que os alunos aprendem bastante com o trabalho de seu grupo, mas não conseguem aproveitar da mesma forma os trabalhos apresentados pelos colegas. Aqui cabe uma observação. Eles estão comparando seu aprendizado na execução da tarefa com o aprendizado durante a apresentação de um determinado conteúdo, mesmo que esta apresentação não seja considerada muito boa. Quer dizer, que o aluno aprende muito mais com este tipo de atividade do que com aulas normais, mesmo se forem baseadas em metodologias diferenciadas.

4.6 Avaliação da disciplina

Ao final dos estudos II e III os alunos realizaram uma avaliação da disciplina através de um questionário de atitudes. No estudo II esta avaliação foi respondida por 30 alunos e no estudo III por 26 alunos.

O questionário apresentado aos alunos se encontra na tabela 4.5, juntamente com os percentuais das respostas obtidos através da aplicação deste¹⁴.

De acordo com os percentuais das respostas, pode-se notar que os alunos perceberam que a metodologia utilizada no decorrer das aulas foi diferenciada (questões 1 e 15), e que facilitou a aprendizagem (questões 2 e 8). Outro resultado a ser destacado é que a maioria deles considera esta uma metodologia que pode ser aplicada no Ensino Médio (questão 5) e pretendem utilizá-la quando forem professores (questões 21 e 22).

Acreditamos que estes resultados confirmam nossa hipótese inicial de que uma aprendizagem significativa está relacionada com a disposição dos alunos em lecionar determinados conteúdos em seu futuro profissional.

Para uma análise mais criteriosa das respostas foi calculado o *coeficiente de fidedignidade*, que é uma medida da consistência interna do questionário aplicado. Para este

¹⁴A legenda de respostas corresponde a: CP – concordo plenamente; C – concordo; NO – não tenho opinião; D – discordo e DT – discordo totalmente.

cálculo, as questões foram divididas em dois grupos e o coeficiente alfa de Cronbach (Moreira e Silveira, 1993) foi calculado para cada grupo.

Tabela 4.5: Resultados do questionário de atitudes (Estudos II e III).

	ESTUDOS	CP (%)		C (%)		NO (%)		D (%)		DT (%)	
		II	III	II	III	II	III	II	III	II	III
1	É possível notar que a metodologia adotada difere das utilizadas em outras disciplinas.	40	23	60	57,7	0	0	0	15,4	0	3,9
2	A metodologia utilizada contribuiu para minha aprendizagem.	36,7	11,5	60	84,6	0	0	3,3	3,9	0	0
3	A metodologia utilizada contribuiu para um maior interesse dos alunos durante as aulas.	13,3	11,5	66,7	61,6	10	11,6	6,7	15,3	3,3	0
4	A metodologia utilizada contribuiu para tornar os conteúdos trabalhados mais interessantes.	23,3	15,4	50	50	16,7	15,4	10	19,2	0	0
5	A metodologia utilizada pode ser aplicada também com alunos de ensino médio.	36,7	26,9	46,7	61,5	6,7	0	10	11,6	0	0
6	Esta disciplina é importante para meu futuro profissional.	40	38,4	46,7	50	6,7	3,8	3,3	7,7	3,3	0
7	No meu ponto de vista, esta disciplina é apenas mais uma exigência do curso ¹⁵ .	0	3,9	13,3	3,8	6,7	7,8	53,3	61,5	23,3	23
8	A metodologia utilizada não influenciou minha aprendizagem.	0	0	3,3	3,8	0	3,8	70	69,2	26,7	23
9	A metodologia utilizada prejudicou minha aprendizagem.	0	0	0	3,9	0	3,8	60	65,4	40	26,9
10	Minha aprendizagem nesta disciplina foi pouco satisfatória.	0	3,9	0	7,7	3,3	0	63,4	69,2	33,3	19,2
11	Posso dizer que nesta disciplina aprendi muito sobre Física Moderna.	30	15,4	70	76,9	0	3,9	0	3,8	0	0
12	Posso dizer que nesta disciplina aprendi muito sobre uma forma alternativa de dar aula.	6,7	11,5	70	53,9	6,7	19,2	13,3	15,4	3,3	0
13	A metodologia deveria ser usada em outras disciplinas.	23,3	7,7	50	57,7	16,7	23	6,7	7,7	3,3	3,9
14	Não gostaria de cursar mais de uma disciplina com esta metodologia.	0	3,9	6,7	7,7	10	7,7	50	69,2	33,3	11,5

¹⁵ Nesta questão, a soma dos percentuais não é 100% no estudo II porque um aluno deixou esta questão em branco.

15	Não percebi que se tratava de uma nova metodologia.	0	0	6,7	11,5	3,3	11,6	60	69,2	30	7,7
16	Acho que teria aproveitado mais se a metodologia fosse a expositiva tradicional.	0	0	0	7,7	6,7	11,6	53,3	57,7	40	23
17	Esta disciplina em nada contribui para a formação do professor de Física.	0	7,7	0	3,9	0	3,8	50	69,2	50	15,4
18	Deveria haver, no curso, mais disciplinas de Física Moderna. ¹⁶	16,7	19,2	63,3	61,5	10	11,5	3,3	3,9	3,3	3,9
19	Essa metodologia deixa o conteúdo em uma posição secundária.	0	7,7	3,3	7,7	6,7	7,7	70	73	20	3,9
20	A metodologia valoriza o conteúdo da matéria de ensino ¹⁷ .	26,7	7,7	63,3	65,4	10	11,5	0	7,7	0	3,8
21	Pretendo utilizar esta metodologia quando for professor.	23,3	0	50	61,5	16,7	26,9	10	7,7	0	3,9
22	Difícilmente utilizarei esta metodologia em minha futura prática docente.	0	3,8	3,4	7,7	13,3	15,4	40	65,4	43,3	7,7

As questões foram divididas nos seguintes grupos: questões favoráveis (1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 18, 20, 21) e desfavoráveis (7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 22) à metodologia aplicada. Como resultado, obteve-se um coeficiente alfa de 0,89 no estudo II e 0,82 no estudo III para as questões favoráveis, de 0,88 no estudo II e de 0,69 no estudo III para as desfavoráveis, que foram obtidos sem a retirada de nenhum item. Estes resultados indicam que há uma boa correlação interna, pois os três primeiros valores calculados são maiores de 0,7 e o quarto está muito próximo deste, sendo valores aceitáveis para questionários de opinião (op. cit) e podem ser considerados fidedignos. Como tais resultados estão de acordo com os das avaliações qualitativas apresentadas a seguir, pode-se dizer que este instrumento tem validade dentro da finalidade a que se propõe, que é avaliar a opinião dos alunos sobre a metodologia utilizada.

No estudo I 20 alunos responderam à avaliação qualitativa da disciplina; no estudo II, 35 alunos e no estudo III, 26 alunos. Em todos os estudos as avaliações foram anônimas. Ao

¹⁶ Nesta questão, a soma dos percentuais não é 100% no estudo II porque um aluno deixou esta questão em branco.

¹⁷ Nesta questão, a soma dos percentuais não é 100% no estudo III porque um aluno deixou esta questão em branco.

compararmos as respostas dos alunos nos três estudos, podemos destacar os seguintes aspectos:

- A metodologia utilizada no estudo I foi considerada tradicional e desmotivadora (~35%)

“Quanto à metodologia, penso que foi a causa da desmotivação que foi aparecendo na turma ao longo das aulas, pois as aulas eram bastante teóricas e expositivas. Porém, não vejo outra maneira para se trabalhar com os conteúdos da disciplina, já que o assunto é bastante teórico.” (Irene)

“A metodologia é boa, porém às vezes as aulas não precisariam ser tão tradicionais.” (Lara)

“Para facilitar a construção, acho que se fosse possível mais praticidade nos conteúdos, seria bom experiências, atividades práticas, então ficaria melhor para visualizar, e a compreensão seria muito melhor.” (Abigail)

“Gostei da metodologia. Mas acho que seria interessante fazer um seminário. Cada aluno procurar sobre o assunto da próxima aula, trazer idéias, novidades...” (Kéli)

“... uma forma que talvez traga mais resultado é fazer mais trabalhos de pesquisa, pois é uma maneira de desafiar o aluno.” (Ema)

“Penso que uma das principais formas de reformulação deveria ser a de tentar o máximo possível ter exemplos, exercícios relacionando com o cotidiano para facilitar mais o aprendizado.” (Ricardo)

- Nos estudos II (~29%) e III (~35%) a metodologia foi percebida como diferenciada, eficaz e aplicável em aulas de Ensino Médio, assim como seu conteúdo:

“A metodologia de ensino usada na disciplina foi muito boa, porque praticamente foi baseada totalmente na participação ativa do aluno em atividades em grupo e individuais, o que é muito importante na formação de professores.” (Júlia - estudo II)

“No início achei o conteúdo um pouco difícil, mas com o passar das aulas fui entendendo mais o conteúdo através das explicações e muito mais com as apresentações que os grupos fizeram onde consegui entender mais fácil as coisas.” (Francisco - estudo II)

“No início achei que a disciplina seria difícil, só pelos nomes que aparecem no material que seria trabalhado no decorrer do semestre. Porém a cada aula que transcorria comecei a me interessar mais pelos assuntos que estavam sendo abordados e a mudar de idéia.” (Greice - estudo II)

“Esta disciplina me fez ver os conteúdos abordados com outros olhos, pois no início do semestre estava bem preocupada que iria ser um conteúdo chato e sem muito significado.”

Porém, no decorrer percebi que estava enganada, e que é muito bom aprender sobre Física Moderna.” (Vânia - estudo II)

“Penso que poderias adotar essa metodologia nas outras disciplinas também, principalmente Mecânica Quântica.” (Andréia - estudo II)

“A disciplina Estrutura da Matéria com a professora Isabel foi para mim, digamos que, diferente, principalmente diferente da disciplina do semestre anterior, Mecânica Quântica. Trata-se de uma metodologia diferente, e ao meu ponto de vista, melhor.” (Nara - estudo II)

“Adorei a metodologia utilizada pela profe, pois melhorou o meu aprendizado.” (Mara - estudo II)

“... acho que a metodologia utilizada contribuiu muito para o meu aprendizado.” (Andréia - estudo II)

“Gostei muito das atividades realizadas, pois podemos ver a partir delas o nosso aprendizado.” (Neide - estudo II)

“Gostei destas aulas, pois a metodologia utilizada contribuiu para um melhor aprendizado.” (Maria - estudo II)

“... achei interessante a metodologia que a professora usou. Não vejo uma melhor forma de aplicar este conteúdo e muitas coisas podem ser vistas e aproveitadas no Ensino Médio.” (Aluno não identificado 1 - estudo III)

“... percebo que aprendi muitas coisas, que no futuro vai me auxiliar quando trabalhar este conteúdo na escola. ... levo muitos conhecimentos que com certeza compartilharei com meus alunos, mostrando que a Física Moderna pode ser muito interessante!” (Cíntia - estudo III)

“... aquilo que aprendi contribui e muito para a minha formação profissional, enriquecendo meu conhecimento, e também é possível adaptar os conteúdos e ensinar no Ensino Médio, pois temos uma boa bagagem de conhecimento e materiais para utilizar.” (Gabriela - estudo III)

“Considero que cresci muito com esta disciplina e com esta forma de ensino.” (Luciana - estudo III)

“... a disciplina trouxe muito benefício para meu conhecimento, pois tive oportunidade de aprender Física Moderna e tive com quem esclarecer as dúvidas.” (Jane - estudo III)

“... a disciplina foi boa e aprendi muita coisa, pois me dediquei na realização de todas as atividades e na compreensão do conteúdo.” (Roberta - estudo III)

“Como aspecto positivo destaco a metodologia diversificada... Crescimento significativo da turma em relação ao conteúdo e avaliação. Aulas bem diversificadas, com poucas aulas expositivas, fazendo o aluno ir buscar e aprimorar seu próprio conhecimento.” (Denise- estudo III)

“A metodologia usada nesta disciplina foi boa e contribuiu para a aprendizagem no decorrer das aulas. ... Gostei muito desta disciplina” (Luisa - estudo III)

“... considero-a muito proveitosa. Com certeza tenho muito material para futuramente trabalhar estes conteúdos no Ensino Médio.” (Élen - estudo III)

- Por outro lado, no Estudo I (~40%) os conteúdos trabalhados não foram considerados importantes nem aplicáveis no Ensino Médio:

“Tudo que aprendi a mais é vantagem para nós alunos, mas na minha opinião é um conteúdo que foi muito complicado para ser compreendido e um conteúdo que não é ensinado no Ensino Médio.” (Laís)

“São importantes até um certo limite, depois acho que o conhecimento deve ser adquirido para quem faz Física pura.” (Kéli)

“Alguns conteúdos tem aplicação no Ensino Médio, mas acho que muitos deles são muito complicados para o Ensino Médio... Alguns não sei se vou explicar, mas aprendi o quanto temos a aprender.” (Ana)

“Em relação aos conteúdos abordados para mim não foram muito importantes, pois como estamos concluindo a faculdade, estamos mais preocupados com conteúdos do ‘Ensino Médio’ que vamos precisar mais de imediato...” (Elena)

- Nos estudos II (~11,4%) e III (~27%) houve uma inversão desta opinião:

“Agora vejo que estes conteúdos devem ser trabalhados em sala de aula, pois os alunos terão conhecimento do que se trata a Física Moderna para então chegarmos num ensino mais avançado com outra visão e mais conhecimento.” (Vânia - estudo II)

“Os conteúdos trabalhados em Estrutura da Matéria considero de grande importância para minha prática profissional pelo fato de não ter conhecimento algum antes desta disciplina dos principais conceitos da Física Moderna.” (Flávia - estudo II)

“Com a apresentação dos colegas também aprendi bastante e é desta forma que nós professores devemos transmitir nosso conhecimento aos alunos.” (Betina - estudo II)

“Verifiquei que os conteúdos eram muito interessantes e que poderiam ser trabalhados no Ensino Médio.” (Greice - estudo II)

“Os conteúdos também estavam satisfatórios, o que deixou esta disciplina satisfatória.” (Aluna não identificada 2 - estudo III)

“Gostei muito das apresentações dos trabalhos. Os alunos apresentaram muitas coisas diferentes e legais e que futuramente podemos aproveitar em nossas aulas.” (Joice - estudo III)

“O conteúdo abordado na disciplina não é nada trivial, por isso é muito importante utilizar uma metodologia diferenciada, e não tradicional.” (Virgínia - estudo III)

“Considero a disciplina importante para a minha formação como professora.” (Aluno não identificado 3 - estudo III)

Cabe ressaltar aqui que nesta avaliação não foi perguntado diretamente sobre a aplicabilidade dos conteúdos abordados no Ensino Médio. Desta forma, consideramos relevante que alunos se manifestem sobre isso.

- Além disso, alguns alunos nos estudos II (~27%) e III (~54%) se manifestaram favoravelmente, de forma espontânea, sobre as situações propostas:

“Considero muito importante os trabalhos que foram realizados, com certeza o nosso conhecimento e crescimento é muito maior quando nós alunos vamos em busca do saber.” (Nara - estudo II)

“... me senti incentivada a buscar conhecimento, querer saber mais principalmente nos conteúdos de partículas elementares e naqueles que apresentamos.” (Andréia - estudo II)

“Me empenhei bastante na construção e reformulação do trabalho em dupla. Com este aprendi bastante, pois precisava ler, entender, montar, refazer...” (Eneida - estudo II)

“Acredito que os trabalhos que realizamos contribuíram para ampliação dos nossos conhecimentos, sendo que houve uma maior participação e um maior empenho pelo grupo durante as aulas nesta disciplina. Penso que tudo que é cobrado exige mais dedicação e participação.” (estudo II)

“Li vários livros e artigos e sempre estava curiosa em querer saber mais, principalmente no assunto sobre radiação. Gostei muito de como a professora conduziu as aulas...” (Liane - estudo II)

“... o conteúdo na maioria das vezes foi colocado através de questões, no qual achei bem interessante...” (Danrlei - estudo II)

“O que eu mais achei interessante e onde eu aprendi mais foi quando fizemos o trabalho sobre quarks para entregar. Aprendi muito com isso, não esquecendo também os mapas conceituais. Tivemos que refazer várias vezes mas valeu a pena.” (Jurema - estudo II)

“As dificuldades surgiram nos momentos de pesquisa, se tal conceito estava correto ou não, mas ao mesmo tempo, o que mais promoveu a aprendizagem na disciplina forma esses momentos de dúvidas. Gostei mais da parte sobre radiação, quando houve a apresentação, a socialização do assunto pesquisado.” (Eva - estudo II)

“Gostei muito das atividades realizadas, pois podemos ver a partir delas o nosso aprendizado. Gostei muito de ter feito o mapa conceitual na primeira parte da disciplina, pois foi fazendo este mapa que pude observar o que precisava estudar mais e com isso também cresceu muito o meu aprendizado.” (Julia - estudo II)

“Gostei do método que foi conduzido as aulas, principalmente da parte que fizemos o mapa conceitual, pois eu mesmo fui fazendo e refazendo ele e daí consegui entender bem e melhor o que eu não sabia, pois através da construção desse mapa fui construindo meu próprio conhecimento sobre o assunto.” (Francisco - estudo II)

“Esta disciplina nos proporcionou uma visão bem mais ampla do átomo, o que muitas vezes me deixou em conflito com minhas hipóteses. Acredito que a elaboração do artigo foi muito importante para que avançasse nas minhas idéias, pois muitas vezes precisei ler, reler, debater com os colegas e até com a senhora.” (Rita - estudo II)

“... com os slides que a profe mostrou sobre a grande explosão em Chernobyl e em Goiânia ficou mais claro o mal que a mesma causa às pessoas e a tudo que rodeia. Com a apresentação dos colegas também aprendi bastante e é dessa forma nós professores devemos transmitir nosso conhecimento aos alunos.” (Betina - estudo II)

“Acredito que se aprende muito mais indo atrás do conteúdo, discutindo com os colegas do que meramente recebendo tudo pronto, sem ter parado para pensar, refletir sobre o mesmo.” (Cecília - estudo II)

“Aprendi bastante com o ‘texto’ que tivemos que fazer, nunca havia ‘montado’ um texto assim antes e acho que ficou bom. Gostei também do trabalho em grupo, aprendi muito...” (Francine - estudo II)

“... no início encontrei dificuldades, mas no decorrer das aulas tentei me adaptar e consegui aproveitar e entender melhor o conteúdo estudado, gostei dos trabalhos em grupo, pois para mim eu consigo aprender muito discutindo com os colegas e trocando idéias...” (Carin - estudo III)

“No trabalho em grupo, onde todos participam, como foi o nosso caso, temos uma aprendizagem significativa...” (Virginia - estudo III)

“Gostei muito de como se iniciou a disciplina, quando foi lançado o trabalho partículas elementares, pois o trabalho de pesquisa foi importante, pois além de relembrar um pouco sobre os modelos atômicos, proporcionou um avanço no conteúdo, foi possível construir pontes partindo dos modelos.... A parte da apresentação dos trabalhos também foi muito positiva...” (Raidi - estudo III)

“Bom, a maioria das aulas foi bem fundamentada, com aulas expositivas, trabalhos em grupo, exercícios para aumentar o conhecimento. Foram vários momentos para o aluno se identificar com o assunto.” (Cecília - estudo III)

“Os pontos positivos que as nossas aulas tiveram foram o desenvolvimento da independência ao buscar informações...” (Aluno não identificado 4 - estudo III)

“Para mim a disciplina contribuiu de forma significativa principalmente no trabalho feito em grupo e apresentado junto com os demais grupos.” (Éder - estudo III)

“... apresentação de trabalhos aos colegas, o que nos proporciona uma oportunidade para perder o medo de se apresentar em público.... Aulas dinâmicas, onde nós alunos tínhamos espaço para interagir, trocar idéias. ...a metodologia utilizada me fez procurar, pesquisar, estudar até entender o conteúdo. Tenho certeza que a aprendizagem depende muito do aluno, do seu interesse, e nós como futuros professores devemos aprender a construir nosso próprio conhecimento.” (Fernanda - estudo III)

“O que mais tenho tirado proveito foi dos trabalhos tanto em dupla como em grupo e a posterior apresentação.” (Mauro - estudo III)

“... entre os pontos positivos (da metodologia), aposto que se comparada a forma tradicional de abordar este assunto, o fato de haver atividades que solicitaram a pesquisa, a investigação, dos temas sugeridos, a aprendizagem foi melhor. Eu, particularmente, aprendo melhor quando preciso buscar, estudar por minha conta do que escutando apenas em uma aula expositiva. ... se houveram momentos de monotonia, foi devido ao conteúdo que é bastante abstrato. Mesmo assim, a professora tentou sempre apresentar analogias e/ou explicações mais aplicadas/concretas que amenizavam essa situação.” (Cíntia - estudo III)

“Apesar de ter duas avaliações (provas) também são consideradas outras atividades, tais como apresentação de trabalhos, mapa conceitual entre outros, o que ajuda a contribuir com o aprendizado e também possibilita um bom resultado final.” (Gabriela - estudo III)

“... gostei de estudar muito para que a partir daí pudesse elaborar o mapa conceitual e o texto para o Ensino Médio. Na parte da radiação, quando a profe mostrou os slides me instigou muito, pois é um assunto ligado diretamente ao nosso cotidiano... apresentou questionamentos iniciais dando desta forma mais sentido as aulas. Considero o mapa conceitual uma ferramenta indispensável atualmente para alunos e professores.” (Luciana - estudo III)

“O fato de realizarmos trabalhos fez com que tivéssemos a necessidade de procurar informações, pesquisar respostas, o que nos torna responsáveis pelo que apresentamos e aprendemos. Isto é muito desafiador e para mim motivante, pois tenho como minha responsabilidade procurar informações para meu aprendizado. Isto foi o que mais gostei nestas aulas de Estrutura.” (Roberta - estudo III)

“Na minha opinião, os trabalhos realizados em grupos, as apresentações dos mesmos, tornou-a (a disciplina) mais interessante e significativa no sentido que nós, alunos, estávamos envolvidos na construção do conhecimento. ... Achei uma boa fazer o mapa conceitual para organizar as idéias e ter uma visão mais clara do que estudamos.” (Miriam - estudo III)

“... gostei dos trabalhos em grupo e de fazer o texto e o mapa conceitual, algo que nunca tinha feito. Também achei interessante a apresentação dos trabalhos sobre radiação, pois vi coisas que não sabia...” (Élen - estudo III)

Confirmando nossa hipótese inicial, nossos dados mostram fortes evidências de que os alunos gostaram da metodologia e que a aprendizagem significativa interfere na disposição do professor em selecionar e abordar os conteúdos que trabalhará futuramente.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DA DISCIPLINA DE ESTRUTURA DA MATÉRIA EM CURSOS DE LICENCIATURA

A forma como é trabalhada a disciplina de Estrutura da Matéria (ou equivalente) em cursos de Licenciatura em Física também foi objeto de estudo desta pesquisa. Para investigar esta questão foi feita uma análise das ementas e programas dessa disciplina nas seguintes universidades do Rio Grande do Sul: UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), UFSM (Universidade Federal de Santa Maria), UFPEL (Universidade Federal de Pelotas), FURG (Fundação Universidade de Rio Grande), PUCRS (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul) e UNISINOS (Universidade do Vale do Rio dos Sinos). Além disso, foi realizada uma entrevista com o professor que normalmente a ministra, com perguntas sobre a metodologia e o sistema de avaliação utilizados. As ementas e cargas horárias das disciplinas pesquisadas em cada universidade são apresentadas na tabela 5.1, incluindo a UNIVATES. As entrevistas foram realizadas no período de setembro de 2007 a dezembro de 2008.

Em todos os casos, a metodologia utilizada era a tradicional, com aulas expositivas dialogadas. Em dois casos, os professores ainda utilizam lâminas e retro-projetor nas aulas. Apenas dois deles manifestaram preocupação explícita em discutir com seus alunos formas de trabalhar os conteúdos no Ensino Médio.

A principal forma de avaliação era a prova escrita individual, em alguns casos com consulta, em outros não.

Tabela 5.1: Ementas e carga horária da disciplina Estrutura da Matéria, ou equivalente, em cada universidade.

UNIVERSIDADE	EMENTA	CARGA HORÁRIA	SEMESTRE EM QUE OCORRE
UNIVATES – <i>Estrutura da Matéria</i>	Teoria molecular. Sólidos cristalinos. Radioatividade. Estrutura do núcleo. Fissão e fusão nuclear. Partículas elementares.	60h	8
UFRGS – <i>Física do Século XX – B</i>	Elementos da física molecular, da física nuclear e de partículas, e da física do estado sólido, incluindo a supercondutividade.	60h	6 (diurno) 8 (noturno)
UNISINOS – <i>Mecânica Quântica II</i>	Átomos multieletrônicos. Tabela periódica dos elementos químicos. A mecânica estatística quântica na descrição da formação de moléculas e de dispositivos semicondutores. Processos de decaimento nucleares. A teoria da relatividade restrita.	60h	7
PUC – <i>Física Nuclear</i>	Estrutura do núcleo. Desintegração nuclear. Decaimento radioativo. Reações nucleares. Aceleradores de partículas. Reatores nucleares. Modelos Nucleares. Partículas elementares. Forças nucleares.	60h	4
PUC – <i>Física Moderna</i>	Tópicos de Relatividade Restrita. Modelos atômicos. Radiação do corpo negro. Aspecto corpuscular da radiação. Aspectos ondulatórios da matéria. Princípio da incerteza.	60h	6
UFSM – <i>Estrutura da Matéria</i>	Física nuclear e de partículas elementares. Moléculas. Física atômica. Fundamentos da mecânica estatística. Propriedades dos sólidos e líquidos.	60h	8
UFSM – <i>Tópicos de Física Nuclear e Partículas</i>	Características do núcleo atômico. Decaimento radioativo. Modelos nucleares. Fissão e fusão. Aplicações da física nuclear. Origem dos elementos.	60h	Optativa – sem semestralização definida
UFPEL – <i>Estrutura da Matéria</i>	Partículas idênticas. Átomos com mais de um elétron. Moléculas. Sólidos. Estrutura e processos nucleares. Noções sobre as partículas fundamentais.	68h	7
FURG – <i>Estrutura da Matéria</i>	Os limites da Física Clássica. Fótons. Relação de De Broglie. O princípio de Incerteza de Heisenberg. Modelo atômico de Rutherford-Bohr. A mecânica ondulatória de Schrodinger. Problemas unidimensionais. Átomos com um elétron. Átomos com muitos elétrons. Noções de mecânica estatística. Descrição estatística de sistemas macroscópicas. Distribuições de Maxwell-Boltzmann, de Bose-Einstein e Fermi-Dirac. Aplicações. Moléculas. Sólidos. Estrutura nuclear e processos nucleares. Partículas elementares.	180h	8

Quanto à bibliografia, o livro Tipler (2001) é adotado por todos os professores; e o segundo mais usado era o Eisberg (1986), seguidos pelo Chung (2001) e Alonso & Finn (1968).

Na UFRGS, a disciplina correspondente à Estrutura da Matéria é *Física do século XX – B*. Nesta universidade há duas modalidades de Licenciatura: diurna e noturna. Na modalidade diurna, esta disciplina é ministrada no sexto semestre de um curso de quatro anos. Na modalidade noturna, ela ocorre no oitavo semestre de um curso de cinco anos. Em ambos os cursos as disciplinas de *Epistemologia e História da Física* são ministradas posteriormente.

A metodologia utilizada pelo professor que normalmente atua nesta disciplina consiste de aulas teóricas expositivas, sem aulas experimentais. O professor segue o livro-texto (Tipler, 2001) e o complementa com demonstrações. As avaliações consistem de três provas individuais que contêm questões teóricas e problemas. Dos conteúdos propostos na ementa, geralmente não consegue abordar, por falta de tempo, os seguintes tópicos: *noções gerais sobre Partículas Elementares e seu papel nas forças entre núcleons; Interações Fundamentais e leis de conservação; famílias de partículas; o Modelo Padrão*. Há diferenciação na abordagem dos conteúdos nos cursos de bacharelado e licenciatura, ambos existentes na universidade. No curso de bacharelado há uma ênfase maior nos cálculos e demonstrações.

Como diferencial, no currículo desta universidade existe ainda uma disciplina denominada *Seminários sobre Tópicos Especiais em Física Geral III*, com a seguinte ementa: *noções de Relatividade Restrita. Conceitos básicos de Física Quântica, Física Atômica, Física Nuclear e de Partículas*. Seu objetivo é discutir e propor formas de abordagem dos conceitos citados com alunos de Ensino Médio.

Os tópicos abordados na disciplina de Física no Século XX – B estão divididos em unidades, que estão apresentadas na tabela 5.2.

Na UFPEL, a disciplina de Estrutura da Matéria ocorre no sétimo semestre do curso de Licenciatura que tem duração de 4 anos. A disciplina é abordada de forma tradicional pelo professor, que se utiliza de transparências na metade das aulas (por considerar mais ágil), e realiza uma aula de problemas em cada unidade, além de resolver alguns no decorrer das aulas expositivas. Entrega também aos alunos roteiros de resolução dos problemas propostos. Apesar de ser um curso de Licenciatura, o professor enfatiza o formalismo, visando preparar

os alunos para o ingresso em um programa de mestrado, pois na universidade não há curso de bacharelado. A avaliação consiste de três provas individuais, uma parte sem consulta e outra contendo cálculos mais trabalhosos com consulta. Constam dessas avaliações questões conceituais, que envolvem os conceitos abordados em cada unidade.

Tabela 5.2: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Física no Século XX – B, UFRGS.

Unidade	Conteúdos
Unidade 1	<i>Átomos:</i> átomo de hidrogênio. Autofunções e autovalores de energia Spin eletrônico e momento angular. Transições entre estados atômicos. Átomo de hélio. Princípio da exclusão. Estrutura eletrônica de átomos com muitos elétrons. Acoplamento L – S. Espectros atômicos.
Unidade 2	<i>Moléculas:</i> ligações moleculares. A molécula H_2^+ . Orbitais moleculares de moléculas diatômicas. Configuração eletrônica de algumas moléculas diatômicas. Moléculas poliatômicas. Rotações e vibrações moleculares. Transições eletrônicas e espectros moleculares.
Unidade 3	<i>Sólidos:</i> redes cristalinas. Modelo de elétrons livres. Noções de teoria de bandas. Fenômenos de transporte em sólidos. Condutores, isolantes, semicondutores. Dispositivos semicondutores. Propriedades óticas e magnéticas de sólidos. Supercondutores.
Unidade 4	<i>Física Nuclear e Partículas Elementares:</i> noções gerais sobre núcleos e forças nucleares. Energia de ligação. Modelo de camadas. Decaimento radioativo. Fissão e fusão nucleares. Noções gerais sobre Partículas Elementares e seu papel nas forças entre núcleons. Interações fundamentais e leis de conservação. Famílias de partículas. Modelo Padrão.

O professor julga fundamental cumprir o plano da disciplina, pois a considera uma disciplina básica, mas isso acaba dando a ela um caráter informativo. Na sua opinião, faltaria a ela uma abordagem mais “tecnológica”, que incluísse o funcionamento de alguns equipamentos, mas de forma geral está satisfeito com a disciplina. Em suas aulas discute questões conceituais, como a validade das teorias apresentadas. Considera que é uma disciplina importante na formação do físico e gostaria que ao final dela o aluno fosse capaz de identificar o assunto abordado em qualquer artigo científico. Em sua opinião, esta disciplina deveria estar diluída ou repartida ao longo do curso, principalmente na física básica, de modo que seus conteúdos fossem abordados desde o início do curso e não apenas ao final deste. Ou, então, dividida em duas: em uma que abordasse Física Molecular e Estado Sólido e outra que abordasse Física Nuclear e de Partículas.

Na tabela 5.3 apresentamos como a disciplina de Estrutura da Matéria na UFPEL está dividida em unidades.

O professor que ministra a disciplina de Estrutura da Matéria na FURG também trabalha de forma tradicional, com aulas expositivas e aulas de resolução de problemas. A avaliação consiste de provas individuais com questões envolvendo basicamente problemas.

Tabela 5.3: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Estrutura da Matéria – UFPEL.

Unidade	Conteúdos
Unidade 1	<i>Partículas idênticas e átomos de vários elétrons:</i> Descrição quântica de partículas idênticas. Auto funções simétricas e anti-simétricas e princípio da exclusão. Gás de Fermi. Átomo de hélio. Espectros atômicos.
Unidade 2	<i>Moléculas:</i> Orbitais moleculares. Moléculas diatômicas. Moléculas poliatômicas. Vibrações, rotações e espectros.
Unidade 3	<i>Sólidos:</i> Redes cristalinas. Modelo de elétrons livres. Propriedades dos sólidos. Espectros. Difração de raios X.
Unidade 4	<i>Física Nuclear e Partículas Elementares:</i> Estrutura nuclear. Propriedades do núcleo e modelos nucleares. Radioatividade (decaimentos radioativos). Fissão e fusão nuclear. Espectro hadrônico e modelo de quarks.

Na tabela 5.4 apresentamos como a disciplina de Estrutura da Matéria na FURG está dividida em unidades.

Tabela 5.4: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Estrutura da Matéria – FURG.

Unidades	Conteúdos
Unidade 1	<i>Quantização (primeira parte):</i> A razão e/m e a quantização da carga elétrica. Radiação e corpo negro. Efeito fotoelétrico. Raios X e efeito Compton. Quantização da energia na matéria. Fórmulas espectrais empíricas.
Unidade 2	<i>Quantização (segunda parte):</i> Modelo Atômico de Thomson e Rutherford. Modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio. Outros átomos e os espectros de raio-X. A experiência de Frank-Hertz. A quantização de Wilson- Sommerfeld e a crítica à “velha” mecânica quântica.
Unidade 3	<i>Dualidade Onda-Partícula:</i> Relações de De Broglie. Comprimentos de onda de elétrons. Interpretação da função da onda. Pacotes de onda. A função de onda de elétrons. A interpretação da função da onda. Princípio de incerteza de Heisenberg. Dualidade onda-partícula. Conseqüências do princípio de incerteza.
Unidade 4	<i>A Equação de Schrödinger:</i> A equação unidimensional. Aplicações unidimensionais. Valores esperados e operadores. Oscilador harmônico simples. Transições entre estados de energia. Estados não ligados: reflexão e transmissão. A equação em 3 dimensões. Equação de Schroedinger para duas ou mais partículas.
Unidade 5	<i>Física Atômica:</i> Equação de Schroedinger em coordenadas esféricas. Momento angular e a energia do átomo de H. Funções de onda do átomo de H. Spin do elétron. Adição de momentos angulares. Efeito spin-órbita. Estados fundamentais de átomos. Estados excitados de Li, Na, K, Rb, e Cs. Efeito Zeeman. Átomos multieletrônicos. Partículas idênticas. O princípio de exclusão. Teoria de Hartree.
Unidade 6	<i>Física Estatística:</i> Equilíbrio estatístico. Distribuição de Maxwell-Boltzmann. Temperatura. Equilíbrio Térmico. Aplicação ao gás ideal. Gases reais. Capacidade calorífica de gás poliatômico. Equipartição de energia. Estatística Quântica. Distribuição de Fermi-Dirac. Aplicação aos elétrons dos metais. Distribuição de Bose-Einstein. Gás de fótons. Comparação entre as funções de distribuição.
Unidade 7	<i>Moléculas:</i> Ligações iônicas. Ligações covalentes. Espectros. Moleculares.
Unidade 8	<i>Sólidos:</i> Tipos de sólidos. Teoria de bandas dos sólidos. Condução elétrica. Calor específico dos sólidos. Rede periódica e movimento dos elétrons. Semicondutores. Propriedades magnéticas dos sólidos. Supercondutividade.
Unidade 9	<i>Estruturas Moleculares:</i> Propriedades do núcleo. Modelos nucleares. Radiatividade. Reações nucleares. Fissão nuclear. Fusão nuclear. Origem dos elementos.
Unidade 10	<i>Partículas Elementares:</i> Partículas e antipartículas. Instabilidade de partículas. Interações fundamentais e leis de conservação. Família de partículas elementares.

Na UFSM, ocorrem a disciplina de Estrutura da Matéria (obrigatória para Licenciatura) e a de Tópicos de Física Nuclear e Partículas (optativa). Na disciplina de Estrutura da Matéria, oferecida no último semestre de um curso de 4 anos, o professor trabalha de modo tradicional, com aulas expositivas, e as divide da seguinte forma: 2 meses e meio de aulas expositivas, 1 mês de aulas de problemas. Por unidade são propostos de 25 a 30 problemas, sendo que aproximadamente 30% são questões conceituais. São realizadas algumas aulas experimentais, como, por exemplo, o experimento de Franck-Hertz.

A avaliação consiste de 4 provas individuais com consulta e da confecção de uma monografia a partir da análise de um artigo científico (retirados das revistas *Scientific American* e *Physics Today*) sobre um tema abordado na disciplina.

Na tabela 5.5 apresenta-se como a disciplina de Estrutura da Matéria, na UFSM, está dividida em unidades.

Tabela 5.5: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Estrutura da Matéria – UFSM.

Unidades	Conteúdos
Unidade 1	<i>Física Nuclear e de Partículas Elementares:</i> Estrutura nuclear e processos nucleares. Radioatividade. Fissão e Fusão. Detecção de radiação. Partículas elementares. Partículas e antipartículas. As interações básicas e a classificação das partículas. As leis de conservação. Ressonâncias. A via óctupla e os quarks.
Unidade 2	<i>Moléculas:</i> Orbitais moleculares de moléculas diatômicas e sua estrutura eletrônica. Moléculas poliatômicas. Moléculas conjugadas. Rotação molecular. Vibração molecular e transições eletrônicas.
Unidade 3	<i>Física Atômica:</i> Átomos com um elétron. O átomo de hidrogênio e seu espectro. Funções de onda. Efeito Zeeman. Interação spin-órbita. Átomos de dois elétrons. Aproximação de Hartree e Hartree-Fock. Aproximação de Thomas-Fermi. A tabela periódica. Espectros de excitações atômicas.
Unidade 4	<i>Fundamentos da Mecânica Estatística:</i> Mecânica estatística clássica e distribuição de Maxwell-Boltzman. Temperatura e equilíbrio térmico. Aplicações à termodinâmica. Funções de distribuição quântica e suas aplicações.
Unidade 5	<i>Propriedades dos Sólidos e Líquidos:</i> Tipos de sólidos e sua estrutura cristalina. Sólidos não cristalinos. Teoria clássica dos elétrons livres nos metais. O gás de elétrons de Fermi. Teoria quântica da condução elétrica. Teoria de bandas dos sólidos. Supercondutividade.

Na UFSM, a disciplina de Tópicos de Física Nuclear e Partículas é optativa e não tem semestralização definida. De acordo com o professor da disciplina, ela é abordada de forma tradicional com a utilização de lâminas (dos 60 créditos, em 25 as aulas são deste tipo) com material que segue o livro-texto, elaborado pelo próprio professor a partir de suas notas de aula. Utiliza também animações e resolve problemas e exercícios no decorrer das aulas. Ele costuma comentar com os alunos sobre a inserção dos conteúdos abordados no Ensino Médio.

A avaliação ocorre em duas etapas: listas de exercícios resolvidas em casa (~20% da nota) e 4 provas sem consulta (80% da nota).

Na tabela 5.6 apresenta-se como a disciplina de Tópicos de Física Nuclear e Partículas na UFSM está dividida em unidades.

Tabela 5.6: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Tópicos de Física Nuclear e Partículas – UFSM.

Unidades	Conteúdos
Unidade 1	<i>Introdução às Propriedades Nucleares:</i> Tabela de Nuclídeos. Propriedades do núcleo no estado fundamental. Massa e energia de ligação. Características das forças nucleares. Potencial de Yukawa e teoria de mésons.
Unidade 2	<i>Modelos Clássicos do Núcleo:</i> Fórmula semi-empírica de massa. Modelo de camadas. Modelo de gás de Fermi. Modelo coletivo.
Unidade 3	<i>Decaimento Radioativo:</i> Lei do decaimento. Séries radioativas. Aplicações.
Unidade 4	<i>Radiações Nucleares:</i> Decaimento alfa. Decaimento beta. Decaimento gama.
Unidade 5	<i>Reações Nucleares:</i> Modelos clássicos para as reações nucleares. Estudo experimental das seções de choque. Espalhamento de partículas. Interação núcleon-núcleon. Espalhamento nêutron-próton.
Unidade 6	<i>Aceleradores de Partículas:</i> Fundamentos físicos dos aceleradores. Aceleradores lineares. Aceleradores circulares. Problemas técnicos dos aceleradores. Aceleradores importantes.
Unidade 7	<i>Detectores de Radiação:</i> Detectores baseados na ionização gasosa. Detectores de cintilação. Contadores Geiger-Muller. Detectores a semicondutor. Detectores de traços.
Unidade 8	<i>Interação da Radiação com a Matéria:</i> Passagem da radiação pela matéria. Interação de partículas com carga elétrica. Interação de fótons. Interação de nêutrons. Fundamentos físicos da dosimetria das radiações.
Unidade 9	<i>Fissão e Fusão:</i> Estudo da fissão e reatores nucleares. Estudo da fusão controlada.
Unidade 10	<i>Modelo Padrão das Partículas Elementares:</i> Fenomenologia e o modelo de quarks. Modelo de quarks.
Unidade 11	<i>Origem dos Elementos Químicos:</i> Composição dos raios cósmicos. Produção de energia nas estrelas. Síntese nuclear. Estrelas de nêutrons.

Na PUCRS, os conteúdos normalmente abordados em estrutura da matéria estão presentes nas disciplinas de *Física Moderna* (quarto semestre) e *Física Nuclear* (sexto semestre). Estas disciplinas são oferecidas igualmente nos cursos de licenciatura e bacharelado, que têm a duração de 4 anos. A disciplina de Física Moderna ocorre antes no curso, sendo ministrada através de aulas expositivo-dialogadas, nas quais a professora enfatiza discussões sobre a parte teórica e mudanças de paradigma. Na abordagem dos modelos atômicos, por exemplo, procura enfatizar o aspecto histórico e as principais questões envolvendo os problemas entre teoria, experimento e modelo matemático, seus avanços e falhas. Realiza ainda alguns experimentos, como de raios espectrais, de Thomson, Milikan e de difração de elétrons. As avaliações consistem em provas individuais escritas e na entrega

de resumos que os alunos fazem após a leitura de textos indicados pela professora. Na tabela 5.7 apresenta-se como a disciplina está dividida em unidades.

Tabela 5.7: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Física Moderna – PUCRS.

Unidades	Conteúdos
Unidade 1	<i>Tópicos de Relatividade Restrita:</i> Introdução aos conceitos e postulados relativísticos. Transformações de Lorentz. Equivalência massa-energia e conservação da energia.
Unidade 2	<i>Radiação do Corpo Negro:</i> Radiação térmica. Teoria clássica para a radiação de cavidade. Radiação do corpo negro: fenômenos observados. Teoria clássica para a radiação do corpo negro. Teoria quântica para a radiação do corpo negro e o postulado de Planck.
Unidade 3	<i>Propriedade Corpuscular da Radiação.</i> Efeito Fotoelétrico. O fóton. Espalhamento de Bragg. Espalhamento Incoerente. Espalhamento Coerente. Produção de pares e aniquilação matéria/anti-matéria.
Unidade 4	<i>Modelos Atômicos:</i> Fórmulas espectrais empíricas. O modelo de Thompson. Espalhamento de Rutherford e a hipótese do núcleo. Modelo de Bohr do átomo de hidrogênio e a quantização dos estados de energia eletrônicos. Experimento de Franck-Hertz. Crítica à teoria de Bohr e à "velha mecânica quântica".
Unidade 5	<i>Aspectos Ondulatórios da Matéria:</i> Relações de De Broglie. Propriedades ondulatórias da matéria. Princípio da incerteza. Dualidade onda-partícula.

A disciplina de Física Nuclear é ministrada de forma tradicional, expositiva dialogada, com resolução de problemas. Como avaliação são realizados 5 testes com consulta (peso 3) e 3 provas sem consulta (peso 7), com questões teóricas e problemas.

Na tabela 5.8 mostra-se como a disciplina de Física Nuclear ministrada na PUCRS está dividida em unidades.

Tabela 5.8: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Física Nuclear – PUCRS.

Unidades	Conteúdos
Unidade 1	<i>Propriedades nucleares:</i> Massa nuclear. Energia de ligação. Força nuclear forte. Hipótese da independência da força nuclear em relação à carga. Leis da conservação da energia, de "A" e de "Z" em um decaimento radioativo. Decaimento beta: representação e cálculo da energia liberada. Decaimento beta: espectros de energia. Captura eletrônica (lei da conservação do momento linear).
Unidade 2	<i>Decaimento alfa:</i> equacionamento e espectro de energia. lei das transformações radioativas. Modelo da gota líquida. Seção de choque e taxas de reação. Modelo nuclear de camadas. Níveis de energia. Predição da paridade e spins nucleares através do modelo de camadas. Regras de seleção nos decaimentos beta.
Unidade 3	<i>Modelo padrão:</i> forças fundamentais e classificação da partículas conforme modelo padrão. Leis de conservação do modelo padrão. Partículas subatômicas.

Na UNISINOS, a disciplina equivalente à de Estrutura da Matéria é a *Mecânica Quântica II*, cuja metodologia adotada pelo professor consiste de aulas expositivas e

dialogadas, experimentos virtuais e leitura de textos. O tópicos de Partículas Elementares é apresentado em uma aula do tipo “palestra” e tem caráter apenas informativo.

Como forma de avaliação são realizadas várias atividades, com resolução de problemas, apresentação de seminários e discussão de textos, ao invés de provas tradicionais.

Na tabela 5.9 resume-se como a disciplina de Mecânica Quântica II está dividida em unidades na UNISINOS.

Tabela 5.9: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Mecânica Quântica II – UNISINOS.

Unidades	Conteúdos
Unidade 1	Átomos multieletrônicos. Tabela periódica. Estatística quântica.
Unidade 2	Estrutura nuclear. Modelos de forças nucleares e decaimentos radioativos.
Unidade 3	Relatividade restrita.

Na UNIVATES, a disciplina de Estrutura da Matéria é oferecida no oitavo semestre de um curso de 4 anos. A metodologia adotada é diferenciada e foi detalhada no capítulo 4, juntamente com o sistema de avaliação utilizado.

Na tabela 5.10 mostra-se como a disciplina de Estrutura da Matéria na UNIVATES está dividida em unidades.

Tabela 5.10: Divisão dos conteúdos em unidades na disciplina de Estrutura da Matéria– UNIVATES.

Unidades	Conteúdos
Unidade 1	<i>Física de partículas:</i> Partículas e antipartículas. Interações fundamentais e classificação das partículas. Leis de conservação e simetrias. Modelo padrão.
Unidade 2	<i>Física Nuclear:</i> A composição do núcleo. Modelos nucleares. Radioatividade. Decaimentos alfa, beta e gama. Força nuclear.
Unidade 3	<i>Reações Nucleares e Suas Aplicações:</i> Reações nucleares. Fissão, fusão e reatores nucleares. Aplicações.
Unidade 4	<i>Estrutura e Espectros das Moléculas:</i> Ligação iônica. Ligação covalente. Outros tipos de ligação. Níveis de energia e espectros de moléculas diatômicas.

Algumas considerações

Ao analisarmos como a disciplina de Estrutura da Matéria ou equivalente é trabalhada nas universidades citadas, podemos observar que a bibliografia utilizada é muito semelhante, uma vez que o texto básico adotado por todos os professores é a obra de Tipler (2001).

Também podemos observar que a metodologia predominante de trabalho nesta disciplina é a tradicional, com discussões e abordagens não muito diferenciadas em cada uma delas e em poucos casos há preocupação com o fato de os estudantes serem futuros

professores. Não pretendemos aqui criticar a forma de trabalho dos professores entrevistados, os quais foram muito solícitos, nem nos compete avaliar em que medida os procedimentos adotados por eles facilitam ou não a aprendizagem dos conceitos abordados.

Nossa pesquisa se originou da observação de que conteúdos de FMC não são abordados pelos professores de Ensino Médio da região do Vale do Rio Pardo e Taquari. Mas isso não significa que os professores em atividade nesta região tenham sido formados nas universidades analisadas, nas quais não há, na disciplina de Estrutura da Matéria (ou equivalente), uma maior preocupação com a transposição didática ou, pelo menos, a simples inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Este não foi um aspecto pesquisado nesta tese.

O objetivo da análise de como é trabalhada a disciplina de Estrutura da Matéria em cursos de Licenciatura foi o de nos dar subsídios para o desenvolvimento de uma metodologia diferenciada, que fosse não só diferente das já adotadas por professores desta disciplina, mas também que fosse teoricamente fundamentada e motivasse o futuro professor de Física a abordar esses tópicos na educação básica.

CONCLUSÃO

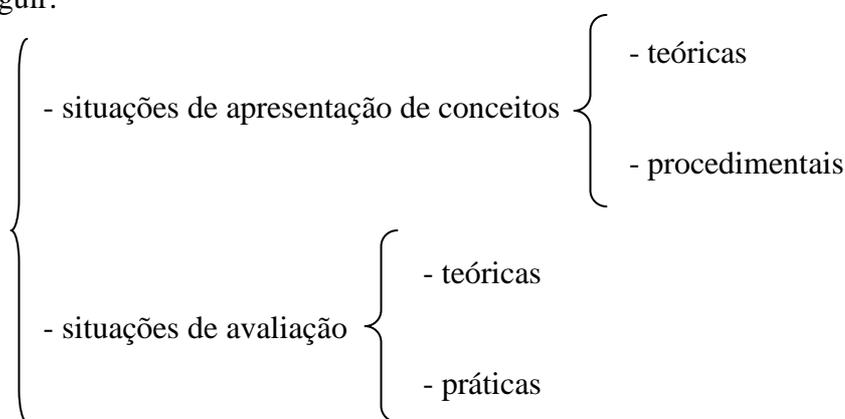
No decorrer desta tese procuramos argumentar sobre a importância da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e da formação adequada de professores para este fim. Nos concentramos no preparo de professores através da disciplina de Estrutura da Matéria no curso de Ciências Exatas do Centro Universitário UNIVATES, mais especificamente nos tópicos de Física Nuclear, Radiação e Partículas Elementares. A questão-foco que norteou a pesquisa foi a seguinte: *Como conduzir o ensino na(s) disciplinas(s) de Estrutura de Matéria (ou equivalente) no curso de Licenciatura em Física a fim de que futuros professores de Física aprendam, de maneira significativa, conteúdos de Física Moderna e Contemporânea e sejam capazes de fazer a transposição didática necessária para abordá-los no Ensino Médio?*

Para tentar respondê-la, foram realizados alguns passos, descritos resumidamente a seguir. Foi feita uma pesquisa na literatura sobre os seguintes temas: Formação de Professores, Física Nuclear, Radiação, Partículas Elementares e sobre a aplicação da teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud no Ensino da Física. Também foi realizada uma análise de como a disciplina de Estrutura da Matéria (ou equivalente) é trabalhada nos cursos de Física nas seguintes universidades: PUCRS, UNISINOS, FURG, UFPEL, UFSM e UFRGS. Encontramos que a metodologia adotada pelos professores é basicamente a tradicional, com algumas particularidades. Além disso, encontramos que os tópicos de Física de Partículas, Radiação e Física Nuclear não estão sempre em uma mesma disciplina, mas dispersos em duas ou mais. Também encontramos que na maioria dos casos não há preocupação em diferenciar a abordagem para alunos da licenciatura e do bacharelado.

Os referenciais teóricos adotados na pesquisa, como um todo, foram a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1998) e a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980).

A fase de intervenção didática e coleta de dados ocorreu em três estudos. No Estudo I a metodologia utilizada foi a tradicional e nos Estudos II e III a metodologia adotada foi a desenvolvida a partir dos referenciais teóricos e baseada em situações-problema potencialmente significativas. No decorrer dos três estudos buscou-se evidências de aprendizagem significativa dos estudantes.

As situações desenvolvidas foram desenvolvidas são apresentadas esquematicamente a seguir:



Gostaríamos de ressaltar que a metodologia adotada para as aulas exigiu uma grande dedicação da professora pesquisadora, um maior tempo de trabalho em cada tópico e muito empenho dos estudantes na realização das tarefas. Por se tratar de um curso noturno, onde a grande maioria dos estudantes trabalha, podemos dizer que o empenho exigido fora da sala de aula consistiu-se em uma grande dificuldade inicial, que, aos poucos, foi sendo superada, pois à medida que os alunos iam se envolvendo nas atividades, iam se motivando ao perceberem que tais atividades contribuíam para sua aprendizagem.

No primeiro estudo a metodologia foi centrada no professor enquanto que no segundo e no terceiro esteve centrada no aluno, na sua participação em atividades colaborativas. A professora passou a atuar como mediadora.

Acreditamos que esta nova metodologia pode ser empregada em qualquer área por qualquer professor que se disponha a preparar situações relevantes, conforme salientamos no capítulo 1 sobre os referenciais teóricos. Destacamos também que as situações descritas anteriormente são apenas exemplos de situações que podem ser empregadas na abordagem

dos conteúdos trabalhados e não se constituem na única opção possível. É perfeitamente possível que outro professor adote situações diferentes das descritas neste trabalho e obtenha resultados satisfatórios. Esta pesquisa trata de uma realidade específica num contexto específico e não tem a pretensão de ser um modelo do tipo “receita”, mas sim de averiguar as possibilidades metodológicas das teorias dos campos conceituais e da aprendizagem significativa numa disciplina de um curso de formação de professores que normalmente seria trabalhada de forma convencional.

Em nossa pesquisa foram analisados os dados referentes aos registros escritos dos alunos obtidos através dos seguintes instrumentos: *elaboração de texto didático, mapas conceituais, micro-aulas, provas, situações-problema desenvolvidas pelos alunos e avaliações da disciplina.*

Os dados obtidos (exceto aqueles referentes às avaliações da disciplina) foram classificados em três categorias em diferentes níveis: *superior, médio e inferior.*

Na primeira categoria se encaixam os alunos que demonstraram ter um bom domínio dos principais conceitos envolvidos e das relações entre eles, apresentando-os através da utilização de linguagem precisa, demonstrando também um bom entendimento dos significados e significantes em cada situação proposta. Na segunda categoria o domínio dos conceitos não é tão completo, assim como das relações entre eles; e na terceira se enquadram os alunos que demonstram conceitos errôneos ou confusão entre eles, além de falta de relações ou relações equivocadas entre eles.

Dos textos produzidos pelos alunos nos três estudos, podemos dizer que um menor número de duplas do Estudo I se enquadra na categoria superior em comparação com os Estudos II e III. Como já foi comentado na apresentação dos resultados, este fato pode apenas indicar que tais alunos tiveram menor capacidade de realizar esta tarefa. Por outro lado, neste estudo os alunos receberam aulas do tipo tradicional sobre este tópico, o que pode indicar que o desempenho na tarefa de escrita do texto está relacionado com a metodologia adotada durante as aulas.

Os mapas conceituais foram utilizados como um tipo de situação-problema desenvolvida para os Estudos II e III e tiveram como objetivo tanto como uma tarefa que permitiu aos estudantes uma melhor compreensão dos conceitos envolvidos, como uma tarefa de avaliação da aprendizagem dos alunos. Os mapas foram divididos nas já citadas categorias e sua análise revelou que o mapeamento conceitual pode ser interpretado como uma situação-problema potencialmente significativa.

Nos Estudos II e III os alunos escreveram situações-problema sobre um determinado conceito do tópico de Partículas Elementares que potencialmente facilitasse a construção deste conceito para alunos de Ensino Médio. Estas situações propostas pelos alunos foram devolvidas para que os colegas, em pequenos grupos, avaliassem se tais situações realmente favoreceriam a construção do conceito escolhido. Estas situações foram também classificadas em três categorias e sua análise sugere que têm muito potencial como situações-problema que dão sentido aos conceitos para quem as elabora. Vergnaud diz enfaticamente que são as situações que dão sentido aos conceitos. No caso em pauta, as situações-problema para os futuros professores eram a proposição de situações-problema para seus futuros alunos.

Enfim, uma longa pesquisa, fundamentada em teorias da aprendizagem, foi feita em condições reais de sala de aula. A pesquisadora era a própria professora e os sujeitos eram futuros professores.

Muito se tem dito, conforme consta na revisão da literatura feita nos principais periódicos da área de ensino de ciências sobre a importância e a necessidade de atualizar o currículo de Física no Ensino Médio. Naturalmente, sem professores preparados para isso, nada ocorrerá.

É também de pleno conhecimento que, em qualquer área, as vivências do futuro professor enquanto aluno são determinantes de sua ação docente como profissional. Analogamente, essa ação docente parece estar muito relacionada com a aprendizagem significativa. Ou seja, em palavras simples, a tendência é que o professor dê mais atenção aos conteúdos que aprendeu significativamente e que os ensine como foi ensinado.

Nessa linha, o presente trabalho procurou ensinar a futuros professores, de uma maneira diferente, tópicos de Radiação, Física Nuclear e Partículas Elementares. Os resultados foram animadores porque foram colhidas evidências de aprendizagem significativa e porque muitos deles reconheceram a importância de atualizar o currículo de Física no Ensino Médio e disseram que, sim, abordarão tópicos de Física Moderna e Contemporânea quando forem professores.

Continuaremos trabalhando nessa direção e esperamos que os estudos apresentados nesta tese motivem outros formadores de professores de Física a atuar na mesma direção.

REFERÊNCIAS

ALONSO, M.; FINN, E. *Fundamental University Physics*. Volume III: Addison-Wesley, 1968.

ALSOP, S.; WATTS, M. Sources from a Somerset Village: a model for informal learning about radiation and radioactivity. *Science Education*, v. 81, n.6, p. 633-650, Nov. 1997.

ALSOP, S.; HANSON, J.; WATTS, M. Pupils' perceptions of radiation and radioactivity: the very meet the unsavoury. *School Science Review*, v., 79, n. 289, p. 75-79, Jun. 1998.

ALSOP, S. Living with and learning about radioactivity: a comparative conceptual study. *International Journal of Science Education*, v. 23, n. 3, p.263-281, Mar. 2001.

ANJOS, R. M. dos; FACURE, A.; MACARIO, K. C. D.; YOSHIMURA, E. M.; BRAGE, J. A. P.; TERRA, E. M.; TOMPAKOW, H.; GOMES, P. R. S.; ALHANATI, C. E.; CARDOSO, S., N. M.; SANTORO, M. D. N.; BOYD, A. L. Estudo do acidente radiológico de Goiânia no ensino de física moderna. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 60-68, Mar. 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Educational Psychology: a cognitive view*. (2nd ed) New York, Holt, Rinehart and Winston, 733 p. 1978.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. (trad.) Rio, Interamericana. 625 p. 1980.

BARLOW, R. Particle physics: from school to university. *Physics Education*, v.27, n. 2, p. 92-95, Mar.1992.

BEISER, A. *Concepts of modern physics*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

BLANCO, S.; PÉREZ, M. V. V. ¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionan el contenido de enseñanza? Cambios y dificultades tras un programa de formación. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 18, n. 3, p. 423-437, Nov. 2000.

BORGES, O. Formação inicial de professores de Física: formar mais! Formar melhor! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 2, p. 135-142, Jun. 2006.

BRAZ JÚNIOR, D. *Física Moderna: Tópicos para o Ensino Médio*. Editora Companhia da Escola, 2002.

BUENO, DE PRO, A.; PÉREZ, M. V. V.; BLANCO, G. S. *Viabilidad de las propuestas didácticas planteadas en la formación inicial: opiniones, dificultades y necesidades de profesores principiantes*. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 23, n. 3, p. 357-378, Nov. 2005.

CABALLERO, C. S.; MOREIRA, M. A. La conceptualización en Física desde la perspectiva de los campos conceptuales. Resultados de investigaciones. *Atas da IV Semana Investigación*. Porto Alegre, 27 Nov. 2006.

CARMONA, A. G.; CRIADO, A. M. Enfoque CTS en la enseñanza de la energía nuclear: análisis de su tratamiento en textos de física y química de la ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 26, n. 1, p. 107 – 124, Mar. 2008.

CARVALHO JR., G. D. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 25, n. 2, p. 207-227, Ago. 2008.

CHUNG, K., C., *Introdução à Física Nuclear*, Rio de Janeiro, EdUERJ, (2001).

COVALEDA, R.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C. Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 4, n. 1, Jan. 2003. Disponible em <http://www.saum.uvigo.es/reec/>

CRIPPEN, K. J.; CURTRIGHT, R. D. Modeling nuclear decay: a point of integration between chemistry and mathematics. *Journal of Chemical Education*, v. 75, n. 11, p. 1434-1436, Nov. 1998.

CRUZ, S. M. S. C. S.; ZYLBERSZTAJN, A. El accidente radioactivo de Goiânia: una experiencia en la enseñanza de CTS utilizando el aprendizaje centrado en eventos. *Revista de Enseñanza de la Física*. V. 13, n. 1, p. 35-44, Jan. 2000.

DEACON, C. G. Background radiation. *The Physics Teacher* , v. 41, n. 2, p. 78-80, Fev. 2003.

DIAS, N. L.; PINHEIRO A. G.; BARROSO, G. C.. Laboratório de física nuclear. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 232-236, Jun. 2002.

DULSKI, Richard. E.; DULSKI, Rosalie E.; RAVEN, R. J. Attitudes toward nuclear energy: One potential path for achieving scientific literacy. *Science Education*, v. 79, n. 2, p. 167-187, Abr. 1995.

DUNNE, P.; MILLER, A. Investigating cosmic ray coincidences. *Physics Education*, v. 36, n. 4, p. 322-326, Jul. 2001.

DUNNE, P. A reappraisal of the mechanism of pión exchange and its implications for the teaching of particle physics. *Physics Education*, v. 37, n. 3, p. 211-222, Mai. 2002.

EIJKELHOF, H.; KORTLAND, K.; VAN DER LOO, F. Nuclear weapons-a suitable topic for the classroom? *Physics Education*, v. 19, n. 1, p. 11-15, Jan. 1984.

EISBERG, R. M. *Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos núcleo e partículas*. 4^a Ed. Rio de Janeiro: Campus, 928 p., 1986.

FARMELO, G. Teaching particle physics in the open university's science foundation course. *Physics Education*, v. 27, n.2, p. 96-101, Marc. 1992.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Além da Detecção de Modelos Mentais dos Estudantes. Uma Proposta Representacional Integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n. 1, p. 1-24, Jan. 2002.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la investigación en la área. *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. Porto Alegre: UFRGS, 124 p., 2004.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 1-9, Dez. 2006.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 7, n. 1, p. 23-46, Jan. 2008a.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. 1-21, Jan. 2008b.

GROVE, T.T.; MASTERS, M. F. Mechanical simulation of a half-life. *The Physics Teacher*, v. 46, n. 6, p.369-371, Set. 2008.

GUISASOLA, J.; GRÁS-MART, A.; MARTINEZ-TORREGROSA, J.; ALMUDÍ, J. M.; LABRA, C. B. ¿Puede ayudar la investigación em enseñanza de la Física a mejorar

su docencia en la universidad? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 3, p. 197-202, Set. 2004.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física* v. 4. Livros Técnicos e científicos Editora S. A. 2003.

HANLEY, P. Teaching particle physics. *Physics Education*, v. 35, n. 5, p. 332 – 338, Set. 2000.

HENRIKSEN, E. K.; JORDE, D. High school students' understanding and the environment: can museums play a role? *Science Education*, v. 85, n. 2, p. 189 – 206, Marc. 2001.

HUGHES, E. A.; ZALTS, A. Radioactivity in the classroom. *Journal of Chemical Education*, v. 77, n. 5, p. 613-614, Mai. 2000.

JOHANSSON, K. E.; NILSSON, C. Experiments in modern physics for the general public. *Physics Education*, v. 35, n. 4, p. 256-262, Jul. 2000.

KING, C.; KENNETT, P. Earth science contexts for teaching physics. Part 2: Contexts relating to the teaching of Energy, Earth and Beyond and Radioactivity. *Physics Education*, v. 37, n. 6, p. 470-477, Nov. 2002.

LAPP, D. R. Teaching nuclear radiation and the poisoning of Alexander Litvinenko. *The Physics Teacher*, v. 46, n. 3, p. 160-161, Marc. 2008.

LLANCAQUEO, A.; CABALLERO, M. C.; MOREIRA, M. A. El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratória a luz de la teoria de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.25, n. 4, p. 399 – 417, Dez. 2003.

MACDONALD, T.; BEAN, A. Quarked! – Adventures in particle physics education. *The physics teacher*, v. 47, n.1, p. 38-41, Jan. 2009.

MACKINTOSH, R. S. Telling the world about nuclear physics. *Physics Education*, v. 36, n. 1, p. 35-39, Jan. 2001.

MALEH, I. *Física moderna*. 2 ed. Barcelona: Labor, 1977.

MARINELLI, J. R. Enxergando o núcleo atômico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 6, n. 3, p. 234-240, Dez. 1989.

MOREIRA, M. A. *Ensino e Aprendizagem: Enfoques Teóricos*. 3 ed. São Paulo: Editora Moraes, 1983.

MOREIRA, M. A. Um mapa conceitual sobre partículas elementares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 11, n. 1, p. 114-129, Dez. 1989.

MOREIRA, M. A.; SILVEIRA, F. L. *Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1993.

MOREIRA, M.A.; OSTERMANN, F. Teorias Construtivistas. *Textos de Apoio ao Professor de Física* n° 10. IF-UFRGS, 1999.

MOREIRA, M. A. Investigación en educación en ciencias: métodos cualitativos. *Actas del PIDECE*, v. 4. UBU – UFRGS, 2002.

MOREIRA, M. A. *Aprendizaje significativo: Fundamentación teórica y estrategias facilitadoras*. UFRGS, 2003.

MOREIRA, M. A. La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área, Em: *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. Marco A. M. e Greca, I. M. (org.). Instituto de Física - UFRGS, 2004.

MÜHRY, H.; RITTER, P. Muons in the classroom. *The Physics Teacher*, v. 40, n.5, p. 294-300, Mai. 2002.

NANES, R.; JEWETT JR, J. W. Southern California area modern physics institute (SCAMPI): a model enhancement program in modern physics for high school teachers. *American Journal of Physics*, v. 62, n. 11, p. 1020-1026, Nov. 1994.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. *Aprender a aprender*. Plátano Edições Técnicas.1984.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. F. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 447-454, Set. 2007.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, p. 415-436, Set. 1999.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 3, p. 267-286, Dez. 1999.

OSTERMAN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, p. 23-48, Jan. 2000a.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia em el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias* v. 18, n. 3, p. 391-404, Nov. 2000b.

PÉRES, D. G. ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, v. 9, n. 1, p. 69-77, Marc. 1991.

PINTÓ, R.; ALIBERAS, J.; GÓMEZ, R. Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 14, n. 2, Jun.1996.

PORLÁN, R. La formación del profesorado em um contexto constructivista. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 3, p. 271-281, Set. 2003.

PRATHER, E.; HARRINGTON, R. R. Student understanding of ionizing radiation and radioactivity, *Journal of College Science Teaching*, v.31,n. 2, p. 89-93, Out. 2001.

RUZ, P. T.; APARICIO, J. M P.; Exploraciones gráficas de ideas extraescolares de los alumnos sobre radiactividad. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 8, n. 2, p.127-130, Jun.1990.

SCHÖN, D. *Educating the Reflective Practitioner*. Ed. Jossey-Bass, San Francisco, 1987.

SHASTRI, A. Studing the effects of nuclear weapons using a slide-rule computer. *The Physics Teacher*, v. 45, n. 9, p. 559-563, Dez.2007.

SORPRESO, T. P.; ALMEIDA, M. J. P. M. Aspectos do imaginário de licenciandos em física numa situação envolvendo resolução de problemas e a questão nuclear. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 1, p. 77-98, Abr. 2008.

SOUSA, C. M. S. G.; FÁVERO, M. H. Análise de uma situação de resolução de problemas de física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 1, p. 55-75, Jan. 2002.

SOUSA, C. M. S. G. ; LARA, A. E.; MOREIRA, M. A.. A Resolução de Problemas em Conteúdos de Ondas na Perspectiva dos Campos Conceituais: Uma Tentativa de Inferir a Construção de Modelos Mentais e Identificar Invariantes Operatórios. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 4, n. 1, p. 101-113, Jan. 2004.

STIPCICH, S.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 3, n. 1, Jan. 2004. Disponível em <http://www.saum.uvigo.es/reec/>

STIPCICH, M. S.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C. Una Propuesta Didáctica para el Aprendizaje de la Interacción Gravitatoria. *Revista Chilena de Educación Científica*, v. 5, n. 1, p. 3-10, Jan. 2006.

STRIKE. K. A. & POSNER, G. J. Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4, 3, 231-240, 1982.

SWINBANK, E. Particle physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, v.27, n. 2, p. 87-90, Marc. 1992.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R., A. *Física Moderna*. Terceira edição. Livros Técnicos e científicos Editora S.A. (2001)

VERGNAUD, G. Problem solving and concept development in the learning of mathematics. E.A.R.L.I. *Second Meeting. Tübingen*, 1987.

VERGNAUD, G. La Théorie des champs conceptuales. *Récherches en Didactique Mor Mathématiques*, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. Pp. 1-26. 1993.

VERGNAUD, G. (1994) Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J.(eds.). *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N. Y.: State University of New York Press. P. 41-59. 1994.

VERGNAUD, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno de la didáctica. *Perspectivas*, v. 26, n. 10, p. 195 – 207, 1996.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. ¿En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 2, p. 1 -19, Ago. 2007.

YANG, F. Y. Senior high school students' preference and reasoning models about nuclear energy use. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 2, p. 221-244, 2003.

APÊNDICE I

Texto sobre evolução dos modelos atômicos

Texto sobre Modelos Atômicos

Vocês já estudaram modelos atômicos anteriormente. Vamos revisar alguns aspectos importantes destes modelos e os principais experimentos que contribuíram para a elaboração de alguns deles.

Iniciaremos com a seguinte questão: Quais os modelos atômicos já estudados por você anteriormente? Modelos de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e o modelo de orbitais desenvolvido a partir da equação de Schrödinger.

A própria palavra **átomo** perdeu o sentido, pois significa *indivisível*. Baseado no que foi estudado, quais as partículas constituintes dos átomos? Próton, nêutron e elétron.

Estas três partículas já estavam presentes desde o primeiro modelo estudado? Não, pois no modelo de Dalton era considerado como uma esfera maciça e neutra.

Como foi então que elas foram introduzidas ou propostas?

A primeira partícula a ser descoberta foi o **elétron**.

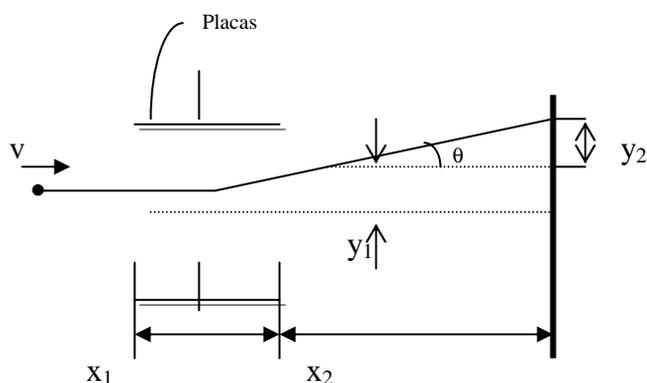
Foi J.J. Thompson quem determinou, em 1897, a relação q/m (e/m) para o elétron. Esta medição pode ser considerada o início do entendimento da estrutura atômica.

Medição de e/m

Quando partículas carregadas são submetidas a um campo magnético uniforme de intensidade B aplicado perpendicularmente à direção de movimento destas partículas, estas passam a se mover em uma trajetória circular. Aplicando a segunda lei de Newton e a igualando com a força magnética, pode-se descobrir o raio da trajetória destas partículas:

$$\text{Força elétrica} = \text{Força magnética}$$
$$F_e = F_m$$

$$q v B = \frac{m v^2}{R} \rightarrow R = \frac{m v}{q B}$$



Sistema de deflexão usado por Thompson. A figura mostra a trajetória dos elétrons com o campo magnético desligado. O campo magnético era aplicado perpendicularmente ao plano da figura, no sentido para fora do papel.

Em seu experimento, o cientista ajustou os valores dos campos magnético \vec{B} e do campo elétrico \vec{E} para que os raios não sofressem nenhuma deflexão. Isto lhe permitiu determinar a velocidade igualando a força magnética à força elétrica:

$$qvB = qE \quad \text{ou} \quad v = \frac{E}{B}$$

Em seguida, ele desligou o campo magnético e mediu a deflexão dos raios na tela. Obteve então a seguinte relação:

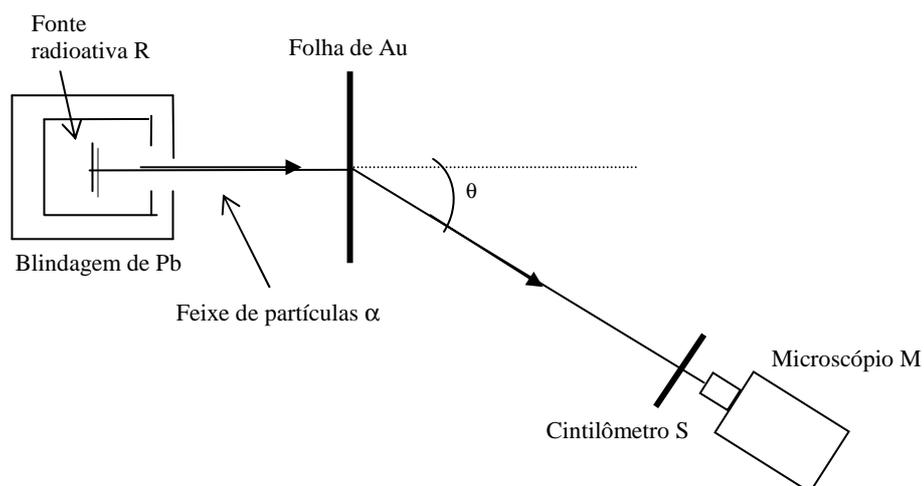
$$y_1 + y_2 = \frac{e}{m} \left(\frac{B^2}{E} \right) \left(\frac{x_1^2}{2} + x_1 x_2 \right)$$

Desta forma, Thompson precisava apenas de um voltímetro, um amperímetro e uma régua para determinar o valor de e/m . Ele repetiu o experimento utilizando diferentes gases no interior dos tubos, e cátodos feitos de diferentes materiais, mas obteve sempre o mesmo valor para e/m , o que o levou a supor que as mesmas partículas estavam presentes em todos os experimentos, tinham carga negativa e massa aproximadamente 2.000 vezes menor que a do átomo mais leve. Mais tarde Lorentz denominou estas partículas de **elétrons**.

O modelo de átomo proposto por Thompson passou a levar em conta a existência dos elétrons e podia explicar várias reações químicas. Neste modelo, os elétrons estavam embebidos em um fluido que continha a maior parte da massa do átomo e possuía cargas positivas suficientes para torná-lo eletricamente neutro.

A partir de experimentos realizados por Rutherford em 1907, o modelo de Thompson começou a cair em descrédito. Ele estava investigando a radioatividade natural e havia descoberto que o urânio emitia pelo menos dois tipos de partículas, que chamou de α e β . Deixando o rádio (substância radioativa) se desintegrar emitindo partículas α , que se chocavam com folhas de ouro, incidiram em uma tela de sulfeto de zinco (que emitia cintilações luminosas ao ser atingida pelas partículas), observou a distribuição de cintilações na tela. A maioria das partículas α não sofria nenhum tipo de deflexão ou era defletida em um ângulo muito pequeno ($\cong 1^\circ$). Para sua surpresa, detectou que para algumas poucas partículas α o ângulo de deflexão era bem grande, chegando a mais de 90° . De acordo com o modelo de Thompson, onde o átomo deveria ser uma esfera positivamente carregada de raio 10^{-10} m na qual os elétrons deveriam estar embebidos, as deflexões esperadas deveriam ser muito pequenas. Rutherford concluiu que a carga positiva do átomo deveria estar concentrada em uma pequena região do átomo. Desta forma, ele propôs seu modelo atômico, chamado de planetário, no qual o núcleo possui carga positiva e está concentrado no centro do átomo, e os elétrons orbitam em torno do núcleo, da mesma forma que os planetas orbitam em torno do Sol.

Além disso, concluiu que um dos componentes do núcleo atômico seriam as partículas α . Como nem todos os núcleos conhecidos eram múltiplos inteiros da partícula α , surgiu a idéia de algo menor, depois chamado de **próton**.



Mesmo levando em conta a existência de prótons no núcleo atômico (com dimensão muito menor que a do átomo) e dos elétrons orbitando em torno deste núcleo, que representavam um considerável avanço em relação ao modelo anterior, haviam várias questões em aberto:

- Por que os espectros atômicos observados eram discretos, e não contínuos?
- Por que os elétrons, sendo negativamente carregados, não são atraídos em direção ao núcleo até uma colisão final?
- Por que não há emissão de energia pelos elétrons ao orbitarem em torno do núcleo?

Em 1913, Niels Bohr propôs um modelo para o átomo de hidrogênio que combinava os trabalhos de

Planck, Einstein e Rutherford. Bohr resolveu os problemas do modelo anterior através de dois postulados:

- Os elétrons se movem em certas órbitas sem irradiar energia. Estas órbitas receberam o nome *estados estacionários*.
- Os átomos irradiam quando um elétron sofre uma transição de um estado estacionário para outro.

Desta forma, os orbitais teriam energias *quantizadas*, que explicariam os espectros discretos observados

nos elementos químicos. Apesar de prever, com notável precisão, a posição das linhas espectrais do hidrogênio, este modelo não teve uma aplicação tão boa nos demais elementos.

Podemos observar nos experimentos acima que as técnicas empregadas para a investigação sobre os constituintes do átomo empregam meios indiretos, ou seja, não podemos simplesmente “abrir” o átomo para ver o que tem lá. Seria uma situação análoga à de vermos marcas pretas no asfalto e deduzirmos que se tratam de marcas de pneus de algum automóvel que fez uma freada brusca. Não precisamos ver o automóvel freando para chegarmos a esta conclusão. É possível até mesmo determinar a velocidade inicial deste automóvel analisando o comprimento desta marca dos pneus. No mundo subatômico os cientistas se assemelham muito com “detetives”, buscando através de evidências reconstituir a *cena do crime*.

Estudar o mundo subatômico pode nos trazer uma maior compreensão de como a ciência é feita. Quando estamos lidando com o “inalcançável” (por não podermos visualizar diretamente), é que se torna mais evidente a inter-relação entre teoria e experimentação: resultados experimentais provocam uma reformulação nas teorias já existentes ou uma nova teoria se faz necessária para contemplar estes resultados. Pode acontecer também o inverso: previsões teóricas levam a construção de novos experimentos que verifiquem a validade ou não destas teorias.

O estudo dos constituintes do átomo não parou no que foi descrito anteriormente. É sobre estes constituintes que nos preocuparemos de agora em diante. Podemos iniciar com a seguinte pergunta: Será que as partículas que compõe o átomo podem ser divisíveis?

APÊNDICE II

Lista de material disponibilizado para os alunos sobre Partículas Elementares

PARTÍCULAS ELEMENTARES: uma seleção de textos sobre o assunto

1. Moreira, M. A. (2004). Partículas e interações. *Física na Escola*, 5 (2): 10-14.
2. Colas, P. y Tuchming, B. (2004). Partículas elementares. *Mundo Científico/La Recherche*, n°247: 46-53.
3. Scoccola, N. N. (2004). Pentaquark. Nova partícula subatômica? *Ciência Hoje*, vol. 35, n° 210: 36-40.
4. Ostermann, F. e Cavalcanti, C.J.H. (2001). Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. *Física na Escola*, 2(1): 13-18.
5. Arantes, J.T. (2001). As danças do núcleo atômico. *Pesquisa Fapesp*, n° 64 (maio): 28-35.

APÊNDICE III

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Em meu doutorado estou investigando a inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, fazendo parte da referida pesquisa a preparação de professores. Esta preparação envolve formas inovadoras de abordagem (metodologias) destes temas em sua formação inicial, para melhor capacitá-los no seu desempenho profissional posterior. Meu objetivo é de melhor prepará-los para apresentarem esta parte da Física para seus alunos de uma forma atrativa e inserida em sua realidade, com prevêm os novos Parâmetros Curriculares Nacionais. Entre outras ações, estou investigando a disciplina de Estrutura da Matéria no Curso de Ciências Exatas Licenciatura Plena (com habilitação em Física, Química e Matemática) no Centro Universitário UNIVATES. Coloco-me inteiramente à disposição para esclarecer quaisquer aspectos da pesquisa antes e durante o seu desenvolvimento.

Dentro desta fase de intervenção, uma das atividades propostas aos alunos é a preparação e apresentação de micro-aulas. Para uma melhor análise do desempenho dos alunos, bem como para serem documentadas, pretendo que estas apresentações sejam filmadas. Esclareço que estas filmagens não ocasionarão riscos para os participantes, podendo haver algum desconforto pela presença e uso de câmeras, assim como não representarão nenhum custo para os participantes. Durante as filmagens, não haverá a presença de pessoas estranhas à turma. Através da análise destas filmagens, espero poder verificar e comprovar a aplicação de uma metodologia diferenciada por parte dos alunos, mostrando que eles compreenderam a proposta metodológica, bem como analisar a evolução conceitual dos alunos sobre conteúdos abordados. Estas filmagens serão feitas em fitas VHS, que serão guardadas por mim, como forma de garantir o sigilo dos sujeitos de pesquisa.

Ressalto que o conteúdo das referidas filmagens será somente por mim analisado e estará à disposição dos participantes a qualquer momento. Somente em caso excepcional, o conteúdo destas filmagens poderá ser também submetido a análise da banca examinadora da minha defesa de tese de doutorado por solicitação específica desta banca.

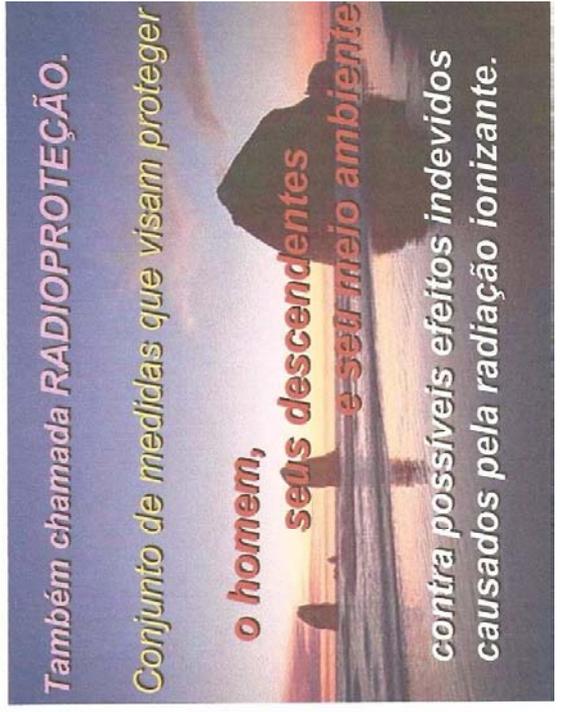
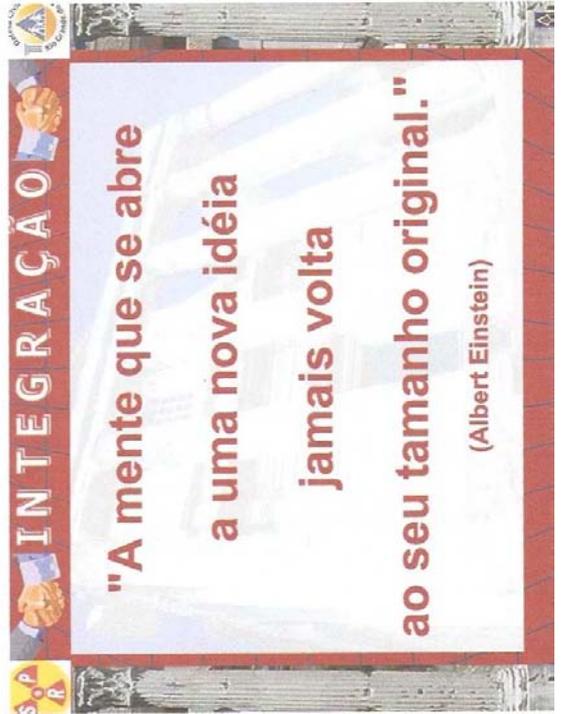
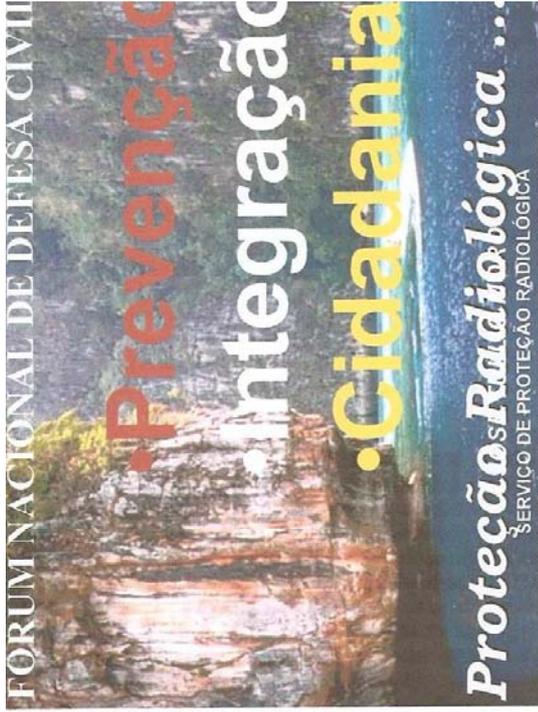
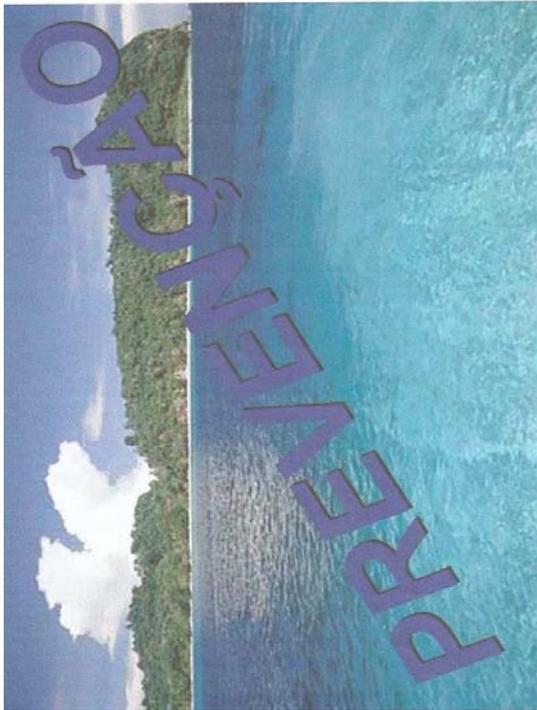
Desta forma gostaria de solicitar sua permissão para que as referidas filmagens possam ser efetuadas nos dias dois e nove de outubro do ano de dois mil e seis. A assinatura deste termo significa concordância com as condições expressas acima.

Isabel Krey
Pesquisadora

Sujeito da pesquisa

ANEXO I

Apresentação sobre Radiação



SOP R

Safety Series - 115

safety series

Normas Básicas Internacionais de Segurança para Proteção contra a Radiação Ionizante para a Segurança das Fontes de Radiação.

Basic Safety Standards for the Protection of Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources

IAEA, VIENA, 1996

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1996

SOP R

CIDADANIA

“O problema da cidadania não é somente um problema jurídico ou constitucional; se dá lugar a debates apaixonados, é porque coloca a questão de inserção do indivíduo em sua comunidade e de sua relação com o poder público.”

“Porque a igualdade dos cidadãos implica a igualdade dos indivíduos em relação ao saber e a formação. Surge enfim a questão do tipo de educação do cidadão assim definido.”

Fonte: Eduquer le citoyen 2 - Patrice Canvez - 1991

SOP R

IAEA (BSS)

Uma responsabilidade adicional da Autoridade Regulatória é requerer que todas as entidades envolvidas desenvolvam uma cultura de segurança que inclua:

- compromisso individual e coletivo para segurança por parte de trabalhadores, administração e reguladores;
- responsabilidade de todos os indivíduos para proteção e segurança, inclusive indivíduos a nível de administração sênior;
- e medidas que encorajem um questionamento e estudo dos procedimentos e desencorajem descaso com respeito a segurança.

SOP R

A REVENÇÃO!

Ação

ou

Reação ?



IAEA (BSS)

Se supõe que o Estado terá determinado previamente, para as situações de exposição de emergência, a designação de responsabilidades para a atuação das intervenções entre a autoridade regulatória, as entidades intervenientes nacionais e locais, assim como os titulares registados e os titulares licenciados.



IAEA (BSS)

Cultura de Segurança

Safety culture

Conjunto de características e atitudes nas entidades e indivíduos que fazem com que, com carácter de máxima urgência, as questões de proteção e segurança recebam a atenção que requer sua importância.



IAEA (BSS)

PLANOS DE EMERGÊNCIA

Deverão ser preparados planos de emergência, em separado mas mutuamente relacionados, que especificquem como se cumprirão as responsabilidades para a atuação das intervenções no território, fora do território e mais, além das fronteiras nacionais, conforme aplicável.



IAEA (BSS)

PROTEÇÃO e SEGURANÇA

PROTECTION AND SAFETY

Proteção das pessoas contra a exposição à radiação ionizante e às substâncias radioativas, assim como a segurança das fontes de radiação, incluindo os meios de conseguir esta proteção e segurança, tais como os diversos procedimentos e dispositivos para reduzir as doses e risco das pessoas a um valor mais baixo que se possa alcançar mantê-los abaixo dos níveis de restrição de dose relacionados com as fontes, assim como os meios para prevenir acidentes e atenuar as consequências destes ocorrerem.

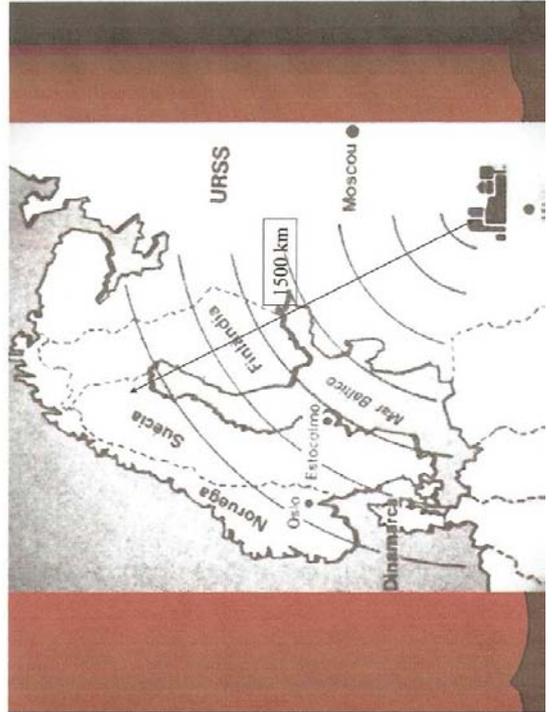
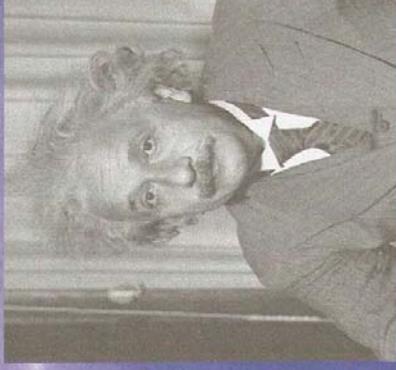
Como começou...

- Às 9:30 do dia 27/04/1986 os monitores de radiação na Central Nuclear de Forsmark, na Suécia detectam níveis anormais de iodo e cobalto.
- É feita evacuação da central, porém, após algum tempo percebe-se que não há vazamento nenhum: o problema estava vindo pelo ar.
- Foram detectados níveis anormais ao norte e centro da Finlândia. Em Oslo, na Noruega, dobraram. Na Dinamarca, subiram cerca de 5 vezes.

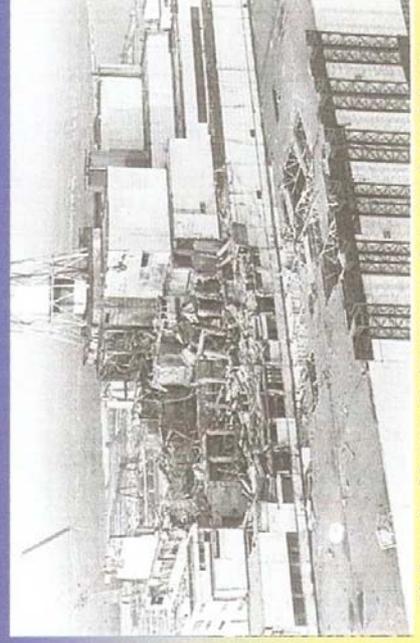
"Há só duas coisas infinitas: o universo e a estupidez. Ando inseguro quanto ao Universo."

Albert Einstein

(1879-1955)

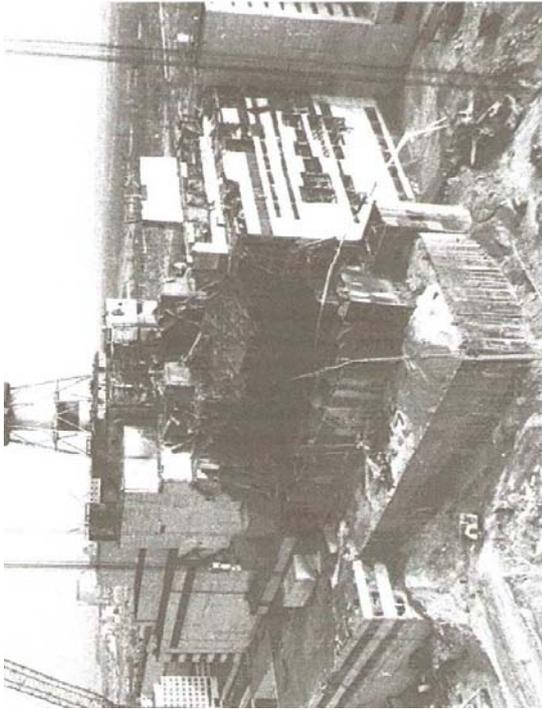


Acidente de Chernobyl



Usina de Chernobyl antes e depois do acidente

SERVIÇO DE BIOTECNOLOGIA - UNICAMP



Primeiras Suspeitas

Começou a se perceber que o problema tinha como origem o interior da União Soviética.

Moscou negou por dois dias o acidente. Porém amostras de rutênio analisadas na Suécia sugeriram uma explosão grave, uma vez que o rutênio se funde a 2250 graus.

As 9:00 horas do dia 29/04/1986 o jornal da uma breve declaração:

“Uma explosão, incêndio e fusão do reator tinha ocorrido na central Nuclear Vladimir Ilitch Lênin” em Pripyat.



Os Liquidators



O início do escândalo....

Foi necessário que um satélite americano visse uma varredura da região da Ucrânia, encontrando uma usina com o teto totalmente destruído e ainda em chamas.

A normalidade era tanta que os desfiles de 1o de maio foram realizados normalmente em Kiev.

Mikhail Gorbáçov só falou do acidente 18 dias depois, em 14 de maio.





1. **Baduyink**
2004, English, 24 Euro, Date of Issue: 8 March 2004. *As: JRR*

2. **The Radiological Accident in Gilan**
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 April 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 933 KB).

3. **Radionuclide Contamination in Kerala, India**
2002, English, 15.5 Euro, Date of Issue: 18 March 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 1207 KB).

4. **Radionuclide Contamination in Kerala, India - Accidental Exposure of Endothoracic Patients at the Home**
2003, English, 31.2 Euro, Date of Issue: 20 September 2003.

5. **The Chernobyl Accident in Iran**
2002, English, 25.5 Euro, Date of Issue: 19 March 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 479 KB).

6. **Radionuclide Contamination in Kerala, India - Accidental Exposure of Endothoracic Patients at the Home**
2003, English, 27 Euro, Date of Issue: 15 September 2003. *As: JRR*
Full Text (File Size: 1637 KB).

7. **The Radiological Accident in Islamabad**
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 12 September 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 715 KB).

8. **The Radiological Accident in Yansuo**
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 12 September 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 731 KB).

9. **Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Yansuo**
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 12 September 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 715 KB).

10. **The Radiological Accident in Yansuo**
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 12 September 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 715 KB).

11. **The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk**
2003, English, 13.8 Euro, Date of Issue: 23 November 2003. *As: JRR*
Full Text (File Size: 532 KB).

12. **Golden Ten Years Later**
1998, English, Date of Issue: 22 September 1998.

13. **Radionuclide Contamination in Kerala, India - Accidental Exposure of Endothoracic Patients at the Home**
Based on the proceedings of the IAEA/WHO/ICRP International Conference, Kerala, India, 13-17 February 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 2258 KB).

14. **An Electron Accelerator Accident in Israel, West Bank**
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 12 September 2002. *As: JRR*
Full Text (File Size: 715 KB).

The bibliography is also available in Chinese.

Keywords:



Acidente de Chernobyl
29 de abril de 1986



Chernobyl teve que ser totalmente evacuada

SERVICO DE PRODUÇÃO RADIOLOGICA - UFRGS

24 July 1996 – Gilan – Iran



The Radiological



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

PHOTO 14: The glowing radioactive source on the forehead of the child during the Iran case.



Acidente de Gilan
13 de setembro de 1996



Vizualização do prédio do Instituto Goiano de Radioterapia

SERVICO DE PRODUÇÃO RADIOLOGICA - UFRGS

1 Bafaynik
2004, English, 24 Euro, Date of Issue: 8 March 2004. *IAEA*

2 The Radiological Accident in Gilan
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 April 2002. *IAEA*
Full Text (File Size: 933 KB).

3 The Radiological Accident in Kerala
2002, English, 15.5 Euro, Date of Issue: 18 March 2002. *IAEA*
Full Text (File Size: 1287 KB).

4 The Radiological Accident in Kerala - Accidental Exposure of Endothoracic Patients at the Premises
2003, English, 31.2 Euro, Date of Issue: 29 September 2003.
Full Text (File Size: 1513 KB).

5 The Criticality Accident in Iran
2002, English, 25.5 Euro, Date of Issue: 19 March 2002. *IAEA*
Full Text (File Size: 479 KB).

6 The Radiological Accident in Kerala - A Case of Death
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 September 2002. *IAEA*
Full Text (File Size: 1637 KB).

7 The Radiological Accident in Islamabad
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 17 October 2002. *IAEA*
Full Text (File Size: 715 KB).

8 The Radiological Accident in Yansuo
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 September 2002. *IAEA*
Full Text (File Size: 3331 KB).

9 Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in
2004, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 July 2004. *IAEA*
Full Text (File Size: 2627 KB).

10 The Radiological Accident in Yansuo
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 September 2002. *IAEA*
Full Text (File Size: 3331 KB).

11 The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at
Tromsø
2003, English, 15 Euro, Date of Issue: 23 November 2003. *IAEA*
Full Text (File Size: 532 KB).

12 Golden Ten Years Later
1979, English, Date of Issue: 22 September 1999.
Full Text (File Size: 100 KB).

13 The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at
Tromsø - Based on the Proceedings of the IAEA/WMO/IC
International Conference, Tromsø, 1999
2000, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 July 2000. *IAEA*
Full Text (File Size: 2258 KB).

14 An Electron Accelerator Accident in Israel, West Bank
2002, English, 15 Euro, Date of Issue: 15 September 2002.
The publication is also available in Chinese.

15 The Radiological Accident at the Irradiation Facility in
Miyazaki

Acidente de Chernobyl

29 de abril de 1986

Chernobyl teve que ser totalmente evacuada

SERVICO DE PRODUÇÃO RADIOLOGICA - UFRGS

The Radiological

24 July 1996 - Gilan - Iran

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

PHOTO 14: Radiation burn on the palm of the hand due to the 25 kVp X-ray tube. PHOTO 15: Radiation burn on the cheek of the head due to the 25 kVp X-ray tube.

Acidente de Goiânia

13 de setembro de 1987

Visão frontal do prédio do Instituto Goiano de Radioterapia

SERVICO DE PRODUÇÃO RADIOLOGICA - UFRGS

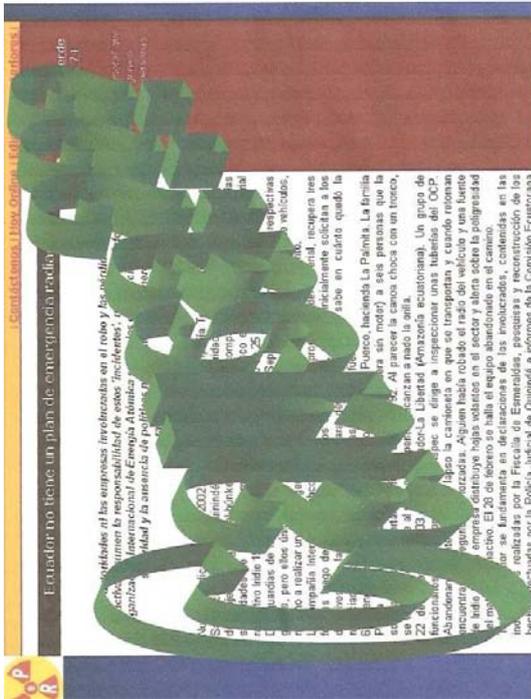
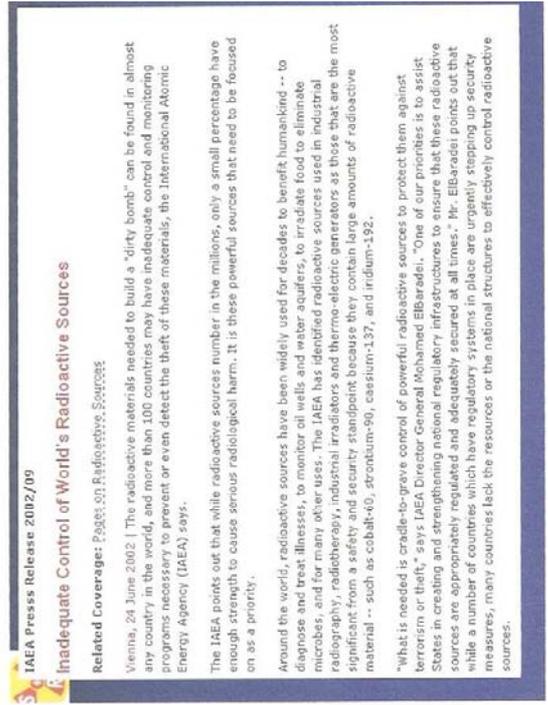
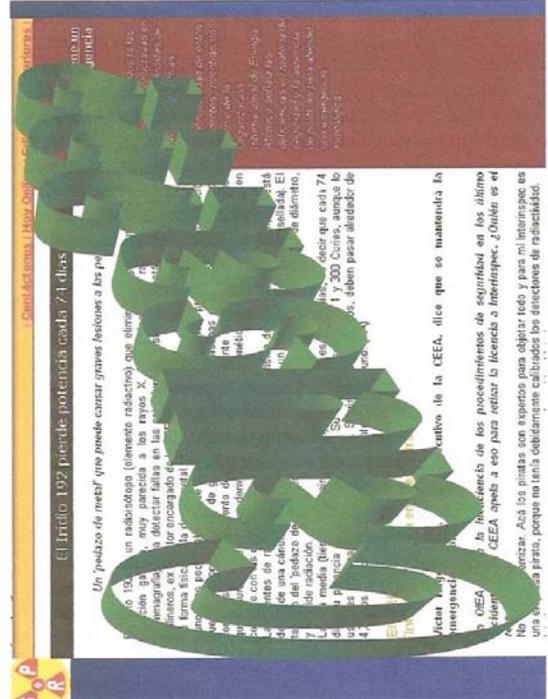


FIG. 23. Patient 4 in May 2002. Local injury before reparative surgery.



NATIONAL NEWS STORY
Radioactive material stolen from warehouse
 June 2004

Box containing potential nuclear weapons was stolen from a warehouse in Auckland, New Zealand, police say. The box was found in a field near the city. The contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified.

...the contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified.

...the contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified.

...the contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified. The box was found in a field near the city. The contents were not identified.

El Observador El País

INDIGENTE SOSPECHO ROBAR FUENTE RADIOACTIVA EST

...funcionarios de la CNE, bomberos, Salud, Fuerza Pública se reunieron la mañana de ayer para iniciar un protocolo de emergencia ante el robo de la fuente radiactiva

...funcionarios de la CNE, bomberos, Salud, Fuerza Pública se reunieron la mañana de ayer para iniciar un protocolo de emergencia ante el robo de la fuente radiactiva

Momento de descontração

“Essa educação não pode mais simplesmente consistir numa informação ou instrução que permita ao indivíduo, enquanto governado, ter conhecimento de seus direitos e deveres, para a eles conformar-se com escrúpulo e inteligência.

DEVE FORNECER-LHE, ALÉM DESSA INFORMAÇÃO, UMA EDUCAÇÃO QUE CORRESPONDA À SUA POSIÇÃO DE GOVERNANTE POTENCIAL.”

Fonte: Educar o cidadão ? - Painez Camvez - 1991

INDIGENTE SOSPECHO ROBAR FUENTE RADIOACTIVA EST

...funcionarios de la CNE, bomberos, Salud, Fuerza Pública se reunieron la mañana de ayer para iniciar un protocolo de emergencia ante el robo de la fuente radiactiva

...funcionarios de la CNE, bomberos, Salud, Fuerza Pública se reunieron la mañana de ayer para iniciar un protocolo de emergencia ante el robo de la fuente radiactiva



get protected.
IN-STOCK, READY TO SHIP
ONLY \$159.99!

ORDER NOW!
via our secure store



- Patent Pending Dual Mode Sensor and Design. Unique high-range detection.
- Used by leading police agencies and law enforcement agencies.
- Aesthetically Pleasing. Small, rugged, 1/2 oz. - smaller than most pagers.
- Excellent Ductile. Pushes the envelope of technology for personal safety.
- Dependence Free or Blind. Know where it's safe and where it's not.
- Simplicity. Monitors automatically 24/7 - no setup or calibration.
- Speed. Fast, repetitive monitoring alerts you to dangerous radiation in fractions of a second, not minutes.
- Self-Starts. No glass parts, tubes, high voltages or calibrations to worry about.
- Wide Range Detection. Won't "max out" like common radiation detectors.
- Expertise. We design and manufacture what we sell.
- Affordable. Low retail price due to high volume production.
- Dirty Bomb Detection. The Micro Bomb Detector was specifically designed and tuned to report the presence of a dirty bomb. This is not a general-purpose radiation detector or dosimeter.
- Excellent Warranty. 2 Year, 100% Parts and Labor warranty. New placement. \$15 shipping card applies.

SERVIÇO



Dirty Bomb



Learn About Dirty Bombs
Threatened Locations
Ports
Transportation
Amplifier

Micro Bomb Detector
24/7 Real-Time Dirty Bomb Protection

WELCOME TO DIRTY BOMB DETECTOR.COM - DIRTY BOMB, BOMB DETECTOR, RADIATION DETECTION, NETWORKED DIRTY BOMB DETECTOR.

The Micro Bomb Detector

Our Micro Bomb Detectors keep a watchful "eye" around our nation's busiest and cities with the latest in radiation detection sensor technology. Our dirty bomb detection solution includes a solid-state, high-gain radiation sensor with long-distance range; an intelligent microprocessor to process the amplified signal 67 times a second and controls the buzzer and light to report ambient radiation levels. By integrating the in-house developed solid-state radiation detector, ultra high-gain amplifier, intelligent processor line a high-speed early warning dirty bomb detection system. AMOTL provides the solution for optimal threat detection and tracking. The Micro Bomb Detector is especially tuned to detect a dirty bomb.

[Home](#) [About Us](#) [Specs](#) [Order](#) [Q & A](#) [News](#) [Contact Us](#)

SERVIÇO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA - UFRGS



Dirty bomb dust proves deadly
Mortality estimates have ignored results of inhaling fallout.
5 May 2004
GEOFF BRUMFIEL



Radioactive dust could be inhaled by many people in the blast area.
© Photos.com

A bomb spiked with radioactive material could be more lethal than previously thought, according to physicists who have analyzed the consequences of a 1987 accident in Goiânia, Brazil.

Estimates made by government officials and scientists could be off by an order of magnitude, Peter Zimmerman of King's College London told attendees of the American Physical Society's annual meeting in Denver.

related

- US unprepared for dirty-bomb attack
26 April 2004
- Cosmic rays could reveal hidden uranium
20 March 2007
- National Defense University: Dirty Bombs
- Mobiles build interactive cities
14 June 2004
- Clothes launder own fabric
14 June 2004
- Old dog learns new tricks
11 June 2004

services

- send to a friend
- printable version
- alert
- search
- help
- feedback

Information

- about the site
- about us



New Dirty Bomb Detection Products

Networked Dirty Bomb Detector

This new Dirty Bomb Detector has built in wireless and wired network support. It is ideal for toll booths, point-of-entry, government installations and anywhere a static dirty bomb detector is needed. Alarms are reported in real-time on standard client workstation computers. Small networks can be connected for ultimate intelligence sharing. This model can also be used as a stand-alone device in any installation.



Network Address: 20 AS 131 02

ai ai NOTL
SYSTEMS INC.
1000 W. 140th Street
Tulsa, OK 74117

SERVIÇO



US IMPROPERLY USE DIRTY BOMB ATTACKS
Clear regulations for dealing up radioactivity after a terrorist strike urgently needed.
26 April 2004

PHILIP BALL

The United States is ill prepared to deal with the long term aftermath of a dirty-bomb terrorist attack. They need to pass laws that existing clean-up laws and regulations covering radioactive covering dirty bombs designed with dirty bombs in mind, and give recommendations.

If such an attack were to happen now, measures designed to cover industrial accidents would be inadequate. Debrah Block of Argonne National Laboratory in Illinois and her colleagues. They are concerned that the resulting condition could hamper attempts to clean up the site and restore order.

Dirty bombs use conventional explosives mixed with radioactive material to disperse radiation over a wide area. They are a crude way for terrorists to use radioactive materials. The materials do not need to be of the quality needed for industrial or medical applications, which are easier to obtain, would create panic and disruption and a significant

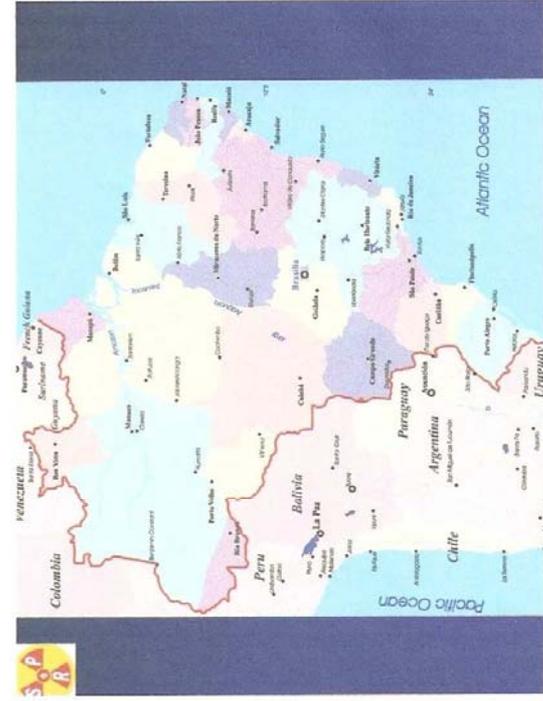
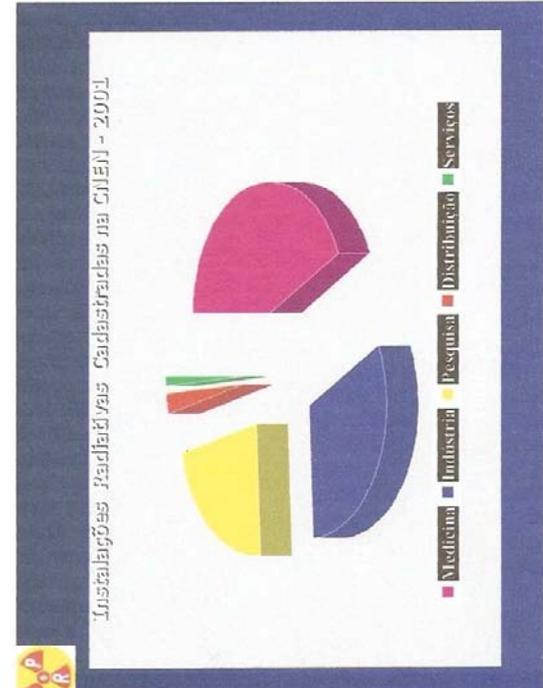
NEWS RECALCULATIONS

- New method cleans up radioactive lab coats
20 March 2004
- Bugs boost Cold War clean-up
27 October 2003
- Technology will assist the fight against terrorism
20 September 2007

RECALCULATIONS

- Mobiles build interactive cities
14 June 2004
- Clothes launder own fabric
24 June 2004
- Old dog learns new tricks
17 June 2004
- Complex machine repairs ancient ring
22 June 2004

SERVICO DE PROT





SITUAÇÃO ATUAL PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO

⇒ Equipamentos e procedimentos para atuação em emergências.



Serviço de Proteção Radiológica - UFRGS



SERVIÇO DE PROTEÇÃO RADIOLOGICA - UFRGS

⇒ Dependências do SPR-UFRGS – CENTRAL DE DADOS



Serviço de Proteção Radiológica - UFRGS



SITUAÇÃO ATUAL PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO

⇒ Monitores de Contaminação



Serviço de Proteção Radiológica - UFRGS



SERVIÇO DE PROTEÇÃO RADIOLOGICA - UFRGS

⇒ Equipamentos para atendimentos a eventos radiológicos



Atendimento à Comunidade

Serviço de Proteção Radiológica - UFRGS

Resultado da Operação

Lixo Comum (3m³)

Rejeito Radioativo recolhido CNEN (2m³)

Serviço de Proteção Radiológica - UFRGS

AÇÕES

- Criação de um banco de dados dinâmico.
- Treinamento para equipes de apoio.
- Guia de Laboratórios e Fontes.
- Laboratório de Metrologia Móvel.
- Serviço de Atendimento a Emergências.

DEPÓSITO DE REJEITOS RADIOATIVOS

Atualmente

Serviço de Proteção Radiológica - UFRGS

ANEXO II

Listas de acidentes radioativos apresentados aos alunos

LISTA DOS ACIDENTES RADIOATIVOS APRESENTADOS AOS ALUNOS

1. **Tammiku – Estônia** (21/10/1994)

Três irmãos removeram sem autorização um recipiente contendo uma fonte radioativa.

Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1053_web.pdf

2. **Yamango – Peru** (20/02/1999)

Uma fonte utilizada para verificar a estrutura de uma usina hidrelétrica foi colocada por um dos operários em seu bolso. Como resultado o operário teve sua perna amputada.

Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1101_web.pdf

3. **Bialystok – Polônia** (02/2001)

Acidente envolvendo superexposição de pacientes de radioterapia. Disponível em:

http://www.disaster-info.net/lideres/portugues/curso-brasil08/documentos_e_artigos/emergencias_radiologicas.pdf

4. **Costa Rica** (08 e 09/1996)

Superexposição acidental de pacientes de radioterapia. Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P027_scr.pdf

5. **Gilan – Irã** (24/07/1996)

Durante uma escavação arqueológica, um operário colocou uma fonte radioativa no bolso. Disponível em:

6. **Goiânia – Brasil** (13/09/1987)

Uma fonte utilizada em aparelho de raios X foi aberta em um ferro velho e como consequência, várias pessoas foram contaminadas e também uma grande área.

Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub815_web.pdf

7. **Istambul - Turquia** (10/12/1998)

Uma fonte ^{60}Co utilizada no tratamento de câncer foi roubada durante transporte e contaminou 10 pessoas. Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1102_web.pdf

8. **Lilo – Geórgia** (09/10/1997)

Onze pessoas foram contaminadas por fontes radioativas abandonadas em um campo de treinamento militar. Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1097_web.pdf

9. **Samut Prakarn – Tailândia** (24/01/2000)

O descarte inadequado de material radioativo (^{60}Co) utilizado em radioterapia contaminou uma série de pessoas, de forma semelhante ao de Goiânia. Disponível em: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1124_scr.pdf

ANEXO III

Exemplos de textos elaborados pelos alunos

Texto 1: Categoría Superior – Estudio I

UNIVATES – CENTRO UNIVERSITÁRIO

TRABALHO SOBRE PARTÍCULAS
ELEMENTARES
E INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

Nomes: Caren
Poliana
Sônia

Disciplina: Estrutura da Matéria
Professora: Isabel Krey

Lajeado, outubro de 2005

Introdução

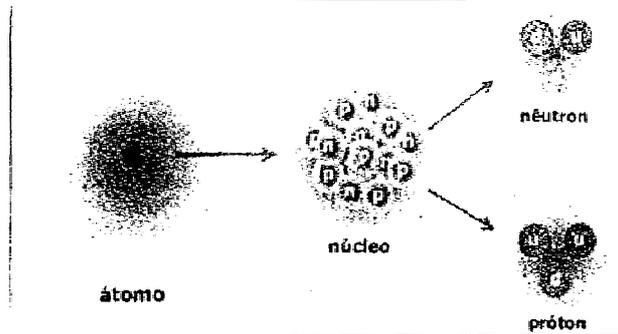
Este trabalho apresenta um texto sobre “Partículas elementares e interações fundamentais”, elaborado na disciplina de Estrutura da Matéria, sendo voltado para o ensino de alunos do ensino médio.

Sugestão para trabalhar este texto:

- no final do 3º ano do ensino médio;
- deve ser trabalhado em partes, por ser muito extenso;
- sugerimos, que o mesmo seja trabalhado em pelo menos quatro períodos de aula.

Conceitos fundamentais de Física Nuclear

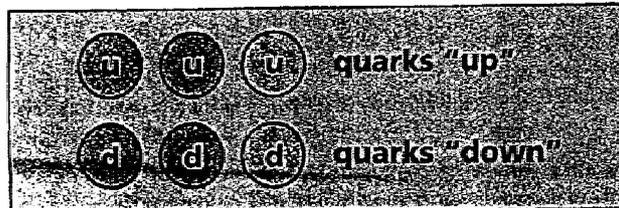
Composição do núcleo atômico



Quarks:

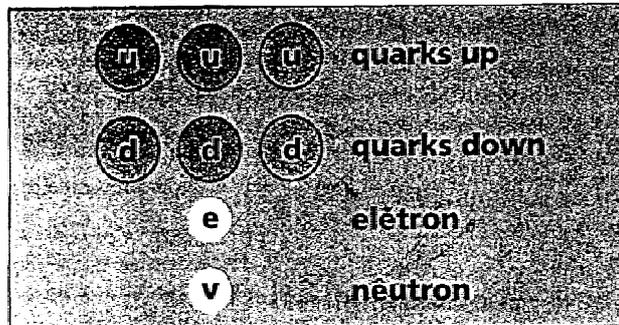
Prótons e nêutrons são feitos de quarks.

Tudo que sabemos sobre o tamanho dos quarks é que eles são muito pequenos para se medir com os aceleradores atuais e os métodos experimentais existentes. Logo, os teóricos os tratam como se fossem partículas pontuais.



Modelo Padrão:

Quando incluímos elétrons, neutrinos, e as forças elétrica e nuclear fracas em nosso modelo, podemos descrever tudo sobre a matéria: o nucleon, os núcleos, os átomos, incluindo a química e a biologia. Essa descrição teórica abrangente da matéria é chamada de modelo padrão.



A figura mostra a parte de primeira geração do modelo padrão. Toda a matéria do dia-a-dia é composta destas partículas, quando adicionamos o elétron e os neutrinos aos quarks. Essas partículas interagem por troca de partículas especiais chamadas de bósons.

Existem mais duas gerações nas quais as partículas são agrupadas da mesma maneira e interagem trocando o mesmo conjunto de bósons, com a diferença que as partículas são mais pesadas. As propriedades destas outras gerações são estudadas em física de altas energias.

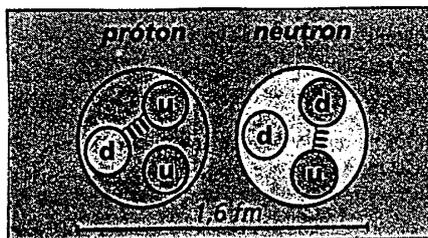
Propriedades dos núcleons

Utilizamos a palavra nucleon quando queremos nos referir ao próton ou ao nêutron sem fazermos distinção entre eles. Como eles têm aproximadamente a mesma massa, prótons e nêutrons agem como se fossem partículas idênticas, diferindo apenas pela carga elétrica.

O próton possui carga +1 (em unidades da carga do elétron) e o nêutron possui carga neutra (carga zero).

Prótons e nêutrons são compostos de quarks como a figura esquemática indica. No modelo

de quarks. a única diferença entre um próton e um nêutron é a que um quark up é substituído por um quark down.



A pequena mola significa que os quarks dentro de um nucleon são mantidos juntos por uma força que chamamos troca de gluon (cola).

Tamanho do Nucleons

Um nucleon tem um tamanho de cerca de 1,6fm (1fm = 1 femtômetro, ou 1 fermi = 10^{-15} metros), que pode ser escrito como 0,0000000000000016m. Ele é bastante pequeno, mas não muito menor do que um núcleo. Isto ocorre porque a força que mantém o núcleo unido é de alcance muito curto, de modo que os prótons e os nêutrons em um núcleo estão empacotados quase que tocando uns nos outros.

PARTÍCULAS ELEMENTARES

A Física das Partículas Elementares tem por objetivo a descoberta e a compreensão dos constituintes mais simples da matéria e das forças básicas que atuam entre eles. Busca-se, sobretudo, as leis básicas e princípios unificadores que forneçam um quadro racional dos fenômenos já conhecidos e possam prever fenômenos novos.

Podemos caracterizar uma partícula elementar como sendo aquela que não apresenta estrutura interna. Com tal definição em mente, constatamos facilmente que o próprio conjunto das partículas elementares tem variado conforme a época histórica considerada. Os átomos foram considerados os constituintes mais simples da matéria por longo tempo. Descobriu-se então que os átomos são constituídos de um núcleo, formado por prótons e neutros, e elétrons. Os prótons e neutrons foram considerados elementares por cerca de 50 anos; porém, durante as duas últimas décadas, descobriu-se que os mesmos possuem uma estrutura interna que pode ser descrita em termos de partículas mais simples chamadas quarks(dos tipos **u** e **d**). Os elétrons, por outro lado, até hoje não apresentaram indícios de possuir uma estrutura interna e portanto são considerados como partículas elementares.

Há seis espécies, ou sabores, de quarks: u (up), d (down), c (charmed), s (strange), b (bottom) e t (top). Cada uma dessas especies, pode apresentar-se com três cores: 1 (vermelho), 2 (verde), e 3 (azul). Haveria então 18 quarks distintos. Porém, como cada um deles tem a sua antipartícula, o número total de quarks é 36 (uma antipartícula tem a mesma massa e o mesmo spin da partícula em questão, porém carga oposta). Quarks têm carga elétrica fracionada ($+\frac{2}{3}$ para os sabores u, c e t, e $-\frac{1}{3}$ para os sabores d, s e b), mas nunca foram detectados livres.

Aparentemente, estão sempre confinados em partículas chamadas de hádrons (da palavra grega hadros, que significa massivo, robusto, forte).

Há duas classes de hádrons, aqueles formados por três quarks, chamados de bárions (da palavra grega barys, que significa pesado), e os constituídos por um quark e um anti-quark, denominados mésons, significando intermediário, médio). Bárions obedecem o princípio de exclusão de Pauli, mésons não. Bárions têm spin fracionário ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, ...), mésons têm spin inteiro (0,1,2,...). O nêutron e o próton são os bárions mais familiares, os mésons π e K são exemplos de méson, contudo, fazendo as múltiplas possibilidades de combinações de três quarks ou

de quarks e antiquarks, o número de hádrons é bastante grande, constituindo uma grande família.

Outra família, não tão numerosa, é a dos léptons (do grago leptos, que significa delgado, fino, leve). São partículas de spin $\frac{1}{2}$, sem cor, que podem ter carga elétrica ou não (neutrinos).

Parecem ser partículas verdadeiramente elementares, nenhuma apresenta ter uma estrutura interna como a dos hádrons. O elétron é o lépton mais familiar, mas além dele existem o múon (μ), o tau (τ) e três neutrinos (neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau). Como a cada lépton corresponde um antilépton, parece haver um total de 12 léptons na natureza.

Mapa das partículas elementares

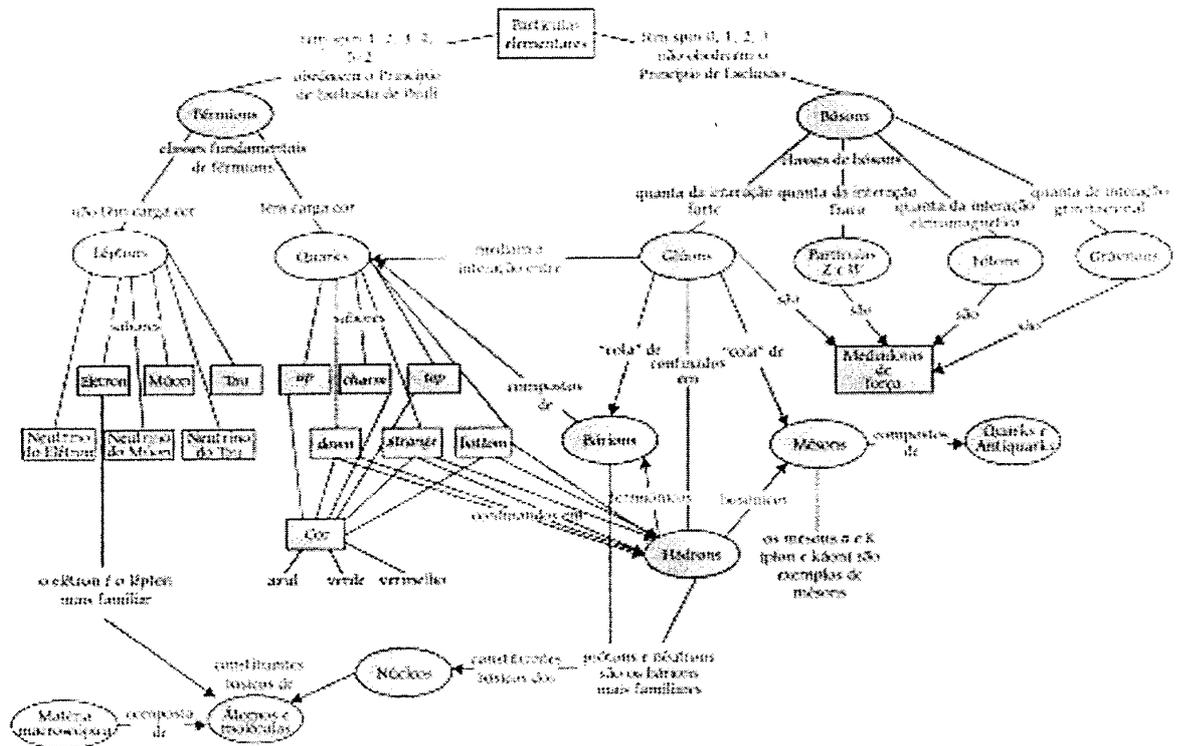


Figura 1. Um mapa conceitual entre partículas elementares (M.A. Moreira, 1989, revisado em 2004).

Antipartículas

Cada uma das partículas elementares tem certas características peculiares, particularmente, a massa, a carga e a rotação (uma partícula pode ser visualizada como uma esfera pequeníssima em rotação). Para cada partícula há uma antipartícula correspondente. A antipartícula tem a mesma massa da partícula, mas as suas outras propriedades são como uma imagem no espelho, opostas às da partícula normal.

Por exemplo, a antipartícula do elétron (que se chama um pósitron) tem a mesma massa do elétron, mas com uma carga positiva.

Quando uma partícula encontra a sua antipartícula, ambas se aniquilam uma à outra e transformam-se em energia, normalmente em forma de fótons de alta energia (raios gamma).

Embora algumas antipartículas sejam encontradas na natureza (por exemplo, em raios cósmicos), e também se possam produzir nos aceleradores de partículas nucleares de alta energia, quaisquer antipartículas que sejam produzidas na nossa localidade (com referência ao universo) são rapidamente aniquiladas em colisões com as partículas de matéria normal.

Interações fundamentais

Há quatro tipos de interações fundamentais: eletromagnética, gravitacional, forte e fraca. A

interação entre um elétron e um núcleo atômico é um exemplo de interação eletromagnética; a atração entre quarks é do tipo interação forte; o decaimento β (por exemplo, um nêutron decaindo para próton pela emissão de um elétron e um neutrino) exemplifica a interação fraca; a interação gravitacional atua entre todas as partículas massivas, e é a que governa o movimento dos corpos celestes, mas é irrelevante em domínio muito pequenos, assim como as demais podem não ser relevantes em alguns domínios.

A interação forte, como sugere o nome, é a mais forte no âmbito das partículas elementares e mantém juntos prótons e nêutrons no núcleo atômico. Afeta somente hádrons. A interação fraca é responsável pelo decaimento relativamente lento de partículas como nêutrons e múons, e também por todas as reações envolvendo neutrinos.

O fóton é o quantum do campo eletromagnético e media a interação eletromagnética, os glúons são os quanta do campo forte e mediam a interação forte, o gráviton é o quantum do campo gravitacional, medindo a interação gravitacional, e as partículas denominadas W^+ , W^- e Z^0 são os quanta do campo fraco e são mediadoras da interação fraca. Tais partículas são chamadas bósons, um termo genérico para partículas de spin inteiro (férmions é o termo genérico para partículas de spin $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$...; léptons e quarks são férmions). De todas estas partículas, a única que ainda não foi detectada experimentalmente é o gráviton.

Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma “troca” (emissão e absorção) de outras partículas entre elas. Assim, a força eletromagnética resulta da troca de fótons entre as partículas (eletricamente carregadas) interagentes. Fótons são portadores da força eletromagnética, são partículas de radiação, não de matéria; têm spin 1, não tem massa e são idênticos às suas antipartículas. É a energia de um fóton que determina seu tipo: fótons de onda de rádio, de luz visível, de radiação ultravioleta, de raios X, de raios γ .

Analogamente, o campo de forças produzido por quarks e antiquarks, atuando sobre eles, é chamado de campo de glúons, e a força entre eles resulta da troca de glúons. Glúons representam para o campo de glúons o mesmo que os fótons para o campo eletromagnético. Quarks emitem e absorvem glúons e assim exercem a interação forte entre si. Glúons, tal como os fótons tem spin 1, mas diferentemente deles, têm cor. Os fótons são incolores, ou “brancos”, e glúons não. Assim, como a carga elétrica é a fonte do campo fotônico, as cargas cor são a fonte dos campos gluônicos.

Da mesma forma, a interação fraca é mediada por partículas, conhecidas como W e Z pela troca de tais partículas, assim como a interação gravitacional é, teoricamente mediada pela troca de grávitons.

Mapa das interações fundamentais

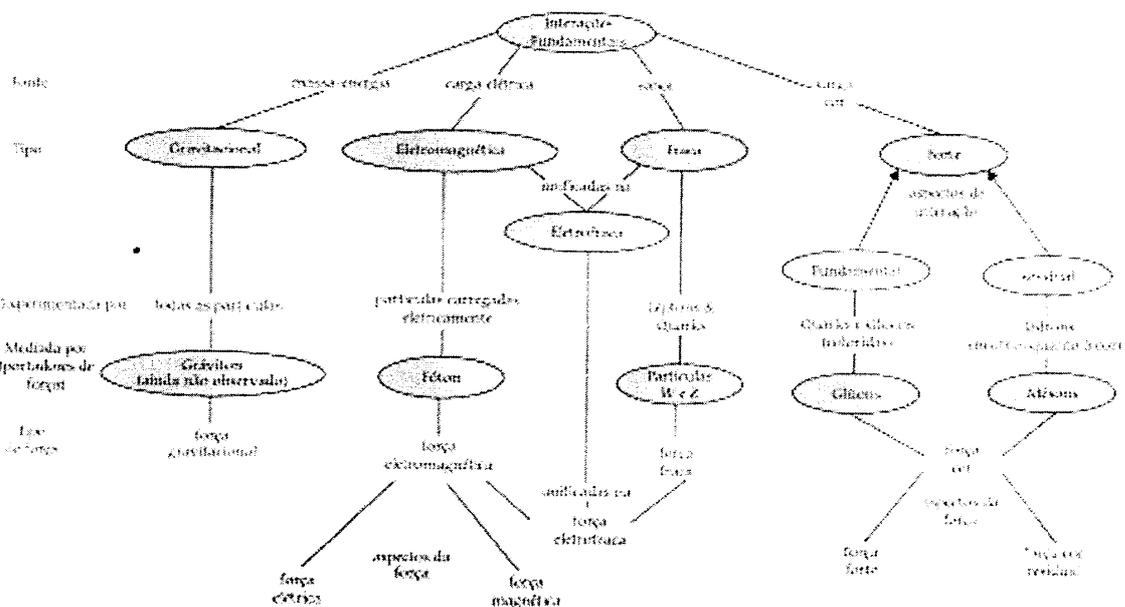


Figura 2. Um mapa conceitual para interações fundamentais (M.A. Moreira, 1990, revisado em 2004).

Sugestão de resumo para os alunos, como conclusão do trabalho

Léptons e Quarks: As pesquisas parecem mostrar que a matéria é feita de seis tipos de léptons, seis tipos de quarks e 12 antipartículas, cada uma associada a um dos léptons ou quarks. Todas estas partículas têm um número quântico de spin semi-inteiro e são portanto férmions (partículas que obedecem ao princípio de exclusão de Pauli).

As Interações: As partículas que possuem carga elétrica estão sujeitas à interação eletromagnética, que ocorre através da troca de fótons virtuais. Os léptons podem interagir entre si e com os quarks através da interação fraca, cujas partículas mensageiras são as partículas W e Z. Os quarks interagem entre si através da interação forte, também conhecida como força de cor. A interação eletromagnética e a interação fraca são manifestações diferentes da mesma interação, conhecida como interação eletrofraca.

Léptons: Três dos léptons (o elétron, o múon e o tau) possuem massa diferente de zero e carga elétrica $-1e$. Os outros três léptons são os neutrinos, cada um associado a um dos léptons. Os neutrinos não possuem carga elétrica e sua massa é nula e muito pequena.

Quarks: Os seis quarks (up, down, estranho, charme, bottom e top, em ordem crescente de massa) têm número quântico bariônico $+\frac{1}{3}$ e carga $+\frac{2e}{3}$ ou $-\frac{1e}{3}$. O quark estranho tem número quântico de estranheza -1 , enquanto todos os outros têm número quântico de estranheza 0 . No caso dos antiquarks, os sinais de todos estes números são invertidos.

Hádrons: Bárions e Mésons: Os quarks se combinam para formar partículas sujeitas à interação forte chamadas hádrons. Os bárions são hádrons cujo número quântico de spin é semi-inteiro ($\frac{1}{2}$ ou $\frac{2}{3}$) e portanto são férmions. Os mésons são hádrons cujo número quântico de spin é inteiro (0 ou 1) e portanto são bósons (partículas que não obedecem ao princípio de exclusão de Pauli). O número bariônico dos mésons é zero; o número bariônico dos bárions é $+1$ e o número bariônico dos antibarions é -1 . De acordo com a cromodinâmica quântica, os bárions são combinações de três quarks e os mésons são combinações de um quark com um antiquark.

A expansão do universo: As observações astronômicas mostram que o universo está se expandindo. As galáxias distantes se afastam da Terra com uma velocidade v dada pela lei de Hubble:

$v=Hr$ (Lei de Hubble), onde H , a constante de Hubble, tem um valor estimado $H=63,0$ Km/s.Mpc= $19,3$ mm/s.ano-luz.

A expansão descrita pela lei de Hubble e a existência da radiação cósmica de fundo levam à conclusão de que o universo surgiu em uma grande explosão (“big bang”) ocorrida entre 12 e 15 bilhões de anos atrás.

Texto 2: Categoria Superior – Estudo II

Centro Universitário UNIVATES
Curso de Ciências Exatas
Disciplina de Estrutura da Matéria

Física de Partículas

Aluna:

Flávia

Professora:

Isabel Krey

Semestre B/20006

Introdução

Um estudo mais aprofundado e que buscava melhores explicações acerca das partículas que compunham o átomo começou a surgir a partir da década de 30. Como haviam algumas perguntas que não tinham sido totalmente respondidas, como por exemplo a estabilidade nuclear, nesta época cientistas começaram a buscar a explicação de fenômenos que estavam em aberto. Pelo modelo da época, o átomo constituía-se de uma parte central e positiva (prótons) e outra parte negativa (elétrons). Com a questão da não repulsão dos prótons e a estabilidade nuclear, começaram os estudos acerca deste fato, o que gerou novas e inesperadas descobertas: a existência de outras partículas.

A inclusão do conteúdo no Ensino Médio

Os modelos adotados até hoje nas escolas à respeito das menores partes que constituem a matéria tratam de três partículas fundamentais: o próton, o elétron e o nêutron. Fala-se, durante toda a vida escolar destas três partículas formadoras do “todo”. Porém, rarríssimas são às vezes em que é citada, aos estudantes, a existência de outras partículas. Diante de questões “curiosas”, por exemplo, como se mantém a estabilidade nuclear sem que haja a repulsão das cargas positivas concentradas, pode-se iniciar, desde o Ensino Médio, o questionamento sobre a possibilidade da existência de outras partículas – tão importantes quanto as três primeiras citadas. O estudo do **Modelo Padrão** é uma ferramenta que proporciona ao professor de Física, inserir a explicação sobre as forças fundamentais, explicando do que o mundo é feito e o que o mantém unido, abrindo espaço para que novos questionamentos possam acontecer e que os alunos percebam que ainda existem muitas questões a serem respondidas.

Propostas

Poderia-se iniciar a proposta questionando com problemas do tipo: “**do que o mundo é feito?**” e “**o que nos mantém unidos?**”. Partindo dessa idéia, poderia se fazer um trabalho de pesquisa onde os próprios alunos investigassem as teorias vigentes, as explicações mais satisfatórias, as verdades que, na maioria das vezes, ficam ocultas durante todo o ensino médio e poucos tomam conhecimento, dependendo da vida profissional que seguem. Após o questionamento e as exposições orais dos alunos, o professor poderia propor o estudo das partículas através de uma leitura textual.

As Partículas

Em física de partículas, **partículas elementares** são partículas das quais outras partículas maiores são compostas. Por exemplo, átomos são feitos de partículas menores conhecidas como elétrons, prótons e nêutrons. Os prótons e nêutrons, por sua vez, são compostos de partículas mais elementares. Um dos fatos mais notáveis da física de partículas é encontrar as partículas mais elementares, as quais constroem todas as outras partículas encontradas na natureza. *Você saberia dizer de que forma podemos “observar” a existência de tais partículas?*

A física desenvolveu uma explicação – Modelo Padrão - para a interação entre as partículas, fundamentado em teorias e descobertas de mais de mil pesquisadores durante todo o século passado. De acordo com ele, tudo o que há no universo é resultado da combinação de 12 partículas, que unidas através de 4 tipos de forças diferentes, formam a matéria. Esta teoria parte do princípio da existência de interações fundamentais entre as partículas, que incluem força de atração e repulsão, sendo que todas as forças podem ser atribuídas a essas interações e que são devidas a uma troca de partículas transportadoras de força, um tipo completamente diferente de partícula. Mais detalhes sobre as partículas e as forças descritas pelo Modelo Padrão podem ser observadas na tabela 2. Este modelo descreve três das quatro forças conhecidas, ou seja, a força eletromagnética, a força fraca - responsável pela radioatividade - e a força forte - responsável pela estabilidade do próton (Universidade Federal de Santa Catarina).

Forças fundamentais da natureza

Sabemos da existência de 4 forças, ou interações, fundamentais na natureza. São elas a **interação gravitacional**, a **interação eletromagnética**, a **interação forte** e a **interação fraca**. A tabela 1 mostra detalhes sobre estas forças.

Tabela 1: As quatro interações fundamentais da natureza

Força/interação	intensidade	mediador
forte	10	gluon
eletromagnética	10^{-2}	fóton
fraca	10^{-13}	W^{\pm} e Z^0
gravitacional	10^{-42}	graviton

Fonte: adaptada do site <http://www.on.br/glossario/alfabeto/f/forcasfundamentais.html>

Explicação para o conteúdo da tabela:

Intensidade: Os valores acima atribuídos para as intensidade das forças não devem ser considerados de modo absoluto. Existem valores bastante diferentes em vários livros, em particular no que diz respeito à força fraca. O cálculo desta intensidade depende da natureza da fonte e a que distância estamos fazendo a medição. O que importante notar é a razão entre elas: a força gravitacional é, de longe, a mais fraca entre todas, porém é a de maior alcance, sendo a responsável pela estabilidade dinâmica de todo o Universo.

Cada interação está associada a uma teoria física. A **força gravitacional** diz respeito a teoria clássica da gravitação, que é a lei de Newton da Gravitação Universal. Sua generalização relativística é a teoria da Gravitação de Einstein, também chamada de Teoria da Relatividade Geral de Einstein. O melhor termo para ela seria **Geometrodinâmica**, uma vez que a relatividade geral geometriza a gravitação. Para descrever os estágios iniciais da formação do Universo precisamos de uma **teoria quântica da gravitação**, algo que os físicos ainda não possuem, apesar dos enormes esforços desenvolvidos para isto. A eletrodinâmica é a teoria física que descreve os fenômenos elétricos e magnéticos, ou seja as forças eletromagnéticas. A formulação clássica da Eletrodinâmica foi feita por James Clerk Maxwell. A teoria clássica construída por Maxwell já era consistente com a teoria da relatividade especial de Einstein. O "casamento" desta teoria com a mecânica quântica, ou seja, a construção de uma "Eletrodinâmica Quântica", foi realizada por grandes nomes da física tais como Feynman, Tomonaga e Schwinger nos anos que compõem a década de 1940.

As **forças fracas** são aquelas que explicam os processos de decaimento radiativo, tais como o decaimento beta nuclear, o decaimento do pion, do muon e de várias partículas "estranhas". É interessante notar que esta força não era conhecida pela física clássica e que sua formulação como teoria é estritamente quântica. A primeira teoria das interações fracas foi apresentada por Fermi em 1933. Mais tarde ela foi aperfeiçoada por Lee, Yang, Feynman, Gell-Mann e vários outros nos anos da década de 1950. Sua forma atual é devida a Glashow, Weinberg e Salam, que a propuseram nos anos da década de 1960. A nova teoria das interações fracas, que é chamada de flavordinâmica por causa de uma das propriedades intrínsecas das partículas elementares, é mais justamente conhecida como **Teoria de Glashow-Weinberg-Salam**. Nesta teoria, as interações fraca

e eletromagnética são apresentadas como manifestações diferentes de uma única força, a **força eletrofraca**. Esta unificação entre a interação fraca e a interação eletromagnética reduz o número de forças existentes no Universo a apenas 3: **força gravitacional**, **força forte** e **força eletrofraca**.

As **forças fortes** são aquelas responsáveis pelos fenômenos que ocorrem a curta distância no interior do núcleo atômico. A estabilidade nuclear está associada à força forte. É ela que mantém o núcleo unido evitando que os prótons que os constituem, por possuírem a mesma carga elétrica, simplesmente sofram uma intensa repulsão e destruam o próprio átomo. Se a força forte não existisse a matéria que forma o Universo, tal como o conhecemos, também não existiria. Prótons e nêutrons não conseguiriam se formar. Nós, seres humanos, não poderíamos existir. O trabalho pioneiro sobre as forças fortes foi realizado por Yukawa em 1934 mas até meados da década de 1970 não havia, realmente, uma teoria capaz de explicar os fenômenos nucleares. Foi então que surgiu a cromodinâmica quântica.

Após a física ter abandonado o conceito de "ação-a-distância", foi introduzido o conceito de "campo". Cada partícula criava à sua volta uma perturbação, seu "campo", que era sentido pelas outras partículas. A Teoria Quântica de Campos (TQC) introduziu o conceito de "**mediadores**". Segundo a TQC cada uma das forças que existem na natureza é mediada pela troca de uma partícula que é chamada de "mediador". Estes mediadores transmitem a força entre uma partícula e outra. Assim, a força gravitacional é mediada por uma partícula chamada gravitão. A força eletromagnética é mediada pelo fóton, a força forte pelos glúons e as forças fracas pelas partículas W^{\pm} e Z^0 , que são chamadas de **bósons vetoriais intermediários**. Isto complica ainda mais o estudo das interações entre as partículas. Veja que antes descrevíamos a interação entre dois prótons como sendo a interação entre duas partículas. Hoje, sabendo que os prótons são partículas compostas por 3 quarks, vemos que a interação entre dois prótons é, na verdade, uma interação entre 6 quarks que trocam glúons incessantemente durante todo o processo.

Exemplo de atividade para melhorar a compreensão dos alunos:

Para melhorar a compreensão dos alunos acerca das afirmações do texto sobre as partículas transportadoras de força é utilizada uma analogia com bolas de basquete.

Imaginemos um jogo de basquete, uma quadra própria para a prática desse esporte e jogadores em campo. Você consegue imaginar o que está faltando para que comece o jogo? A bola, não é? Bem, como sabemos, para que possamos jogar é necessário a bola para que se façam os pontos e haja um time ganhador. Imaginemos mais ainda: os jogadores como sendo as “partículas de matéria”. Só que, neste jogo, a bola, que é tão disputada, é vista somente pelos jogadores. Isso quer dizer que a platéia não enxerga a bola. Você acha que, de alguma forma, mesmo sem enxergar a bola, a platéia conseguiria acompanhar o jogo? Considere que todos os movimentos de rede e de arremesso de bola sejam vistos, somente a bola é que é invisível. Poderíamos ver uma cesta neste caso? É claro que sim, não é? Podemos considerar a bola como sendo uma dessas forças de interação, que age entre os jogadores (partículas) e seus “rastros” são vistos pela platéia. Pois bem, é desta mesma forma que os cientistas conseguem captar a presença dessas forças. O que nós pensamos normalmente como “forças” são, na verdade, os efeitos das partículas transportadoras de força sobre as partículas da matéria (www.aventuradasparticulas).

Tabela 2: Constituição da matéria, segundo o Modelo Padrão

Partículas da matéria			
Léptons		Quarks	
Elétron, neutrino do elétron, múon, neutrino do múon, tau, neutrino do tau.		Quark up, quark down, quark charm, quark estranho quark botton, quark top.	
		Hádrons	
		Bárions	Mésons
		Três quarks	Pares quark-antiquark
Interações Fundamentais			
Eléctromagnética	Fraca	Forte	Gravitacional
Partículas de Força			
Fótons	W & Z	Glúons	Grávítions (não detectados)
Partículas de Antimatéria			

Força nuclear

A força nuclear é a força entre as partículas constituintes dos núcleos atômicos (prótons e nêutrons). A interação nuclear forte supera a repulsão (partículas com cargas iguais se repelem) entre os prótons (partículas de carga positiva), mantendo os prótons e nêutrons juntos no núcleo, promovendo a interação entre: nêutrons com prótons, prótons com prótons e nêutrons com nêutrons. Becquerel obteve os primeiros indícios da força

nuclear fraca na descoberta da radioatividade. Nos anos 30 houve um grande impulso no entendimento desta força: um nêutron dentro do núcleo atômico se transforma em um próton, criando, ao mesmo tempo, um elétron e uma outra partícula conhecida como antineutrino, ambas lançadas para fora do núcleo. Esse evento, conhecido como *decaimento beta* não podia ser consequência de outros tipos de forças.

Para demonstrar a importância do Modelo Padrão, quase todos os testes experimentais das três forças descritas concordaram com as suas previsões. Entretanto, o modelo padrão não é uma teoria completa das interações fundamentais, primeiramente porque sua descrição não engloba a força de atração gravitacional. Na tabela 3 são explicitadas algumas definições acerca das partículas.

Tabela 3: Definições acerca de algumas partículas

Nome	Definição	Exemplo
Férmion	- grupo de partículas com spin semi-inteiro;	elétrons
Bóson	- grupo de partículas com spin inteiro;	fótons
Lépton	- grupo de partículas que não interagem fortemente, podendo ou não ter carga;	múon
Quark	- partícula que possui carga hadrônica ou cor, ocorrendo em "seis sabores" na natureza ("top", "bottom", "charm", "strange", "up" e "down"), possui carga elétrica;	togs
Hádrion	- grupo de partículas que interage fortemente com outro hádrion;	neutrons
Báron	- grupo de partículas sensíveis a interações fortes; compostos de três quark e tem spin semi-inteiro;	próton
Méson	- partícula composta por um quark e um antiquark, tendo spin inteiro.	fóton

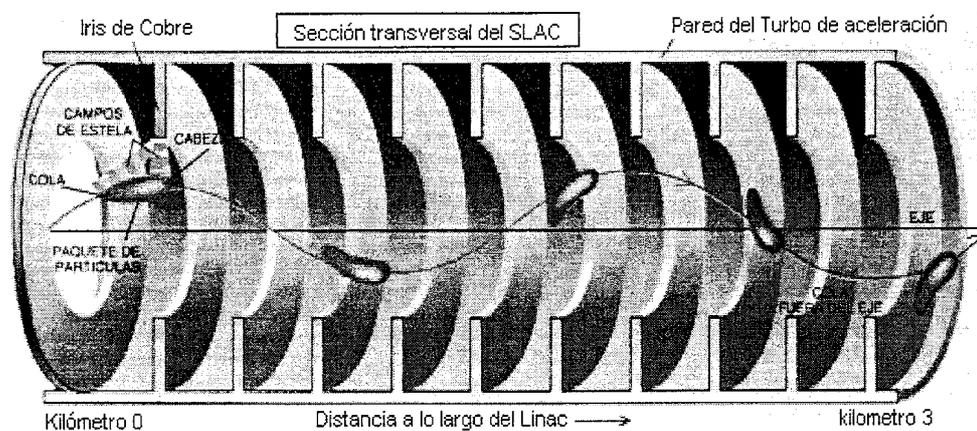
A detecção das partículas foi baseada em experimentos com aceleradores de partículas.

Continuando a falar sobre as partículas... Afinal, como detectá-las?

O estudo das partículas elementares constituintes de núcleo atômico através de aceleradores de partículas iniciou com um pequeno acelerador desenvolvido em 1927 pelos físicos ingleses J. D. Cockcroft e E. T. S. Walton na Universidade de Cambridge, Inglaterra. Estes cientistas através do dispositivo conseguiram realizar primeira reação nuclear induzida artificialmente ganhando assim o Prêmio Nobel de física de 1951 (wikipedia.org). Desde então, além das partículas básicas, elétrons, prótons e neutrons,

outras também podem ser aceleradas. O acelerador de partículas (como mostra um exemplo na figura 1) é um instrumento construído utilizando uma fonte de partículas carregadas expostas a campos elétricos que as aceleram. Após a aceleração passam em seguida por um campo magnético que as desvia de suas trajetórias focalizando-as e controlando suas direções. Para que possam ocorrer às condições mais próximas do ideal, existe a necessidade de geração de vácuo de excelente qualidade na região de trânsito, evitando assim a dispersão destas pelas moléculas de gases que porventura estejam em sua trajetória. Desta forma são detectadas as diferentes partículas.

Figura 1: Exemplo de um acelerador de partículas



Além desses aceleradores, há outra forma de estudar novas partículas: os raios cósmicos. Os raios cósmicos correspondem à uma radiação natural cujo poder de penetração é superior ao de qualquer outra radiação conhecida.

Para entender o que é radiação...

Radiações são ondas eletromagnéticas ou partículas que se propagam com uma determinada velocidade. Contêm energia, carga elétrica e magnética. Podem ser geradas por fontes naturais ou por dispositivos construídos pelo homem. Possuem energia variável desde valores pequenos até muito elevados. As radiações eletromagnéticas mais conhecidas são: luz, microondas, ondas de rádio, radar, laser, raios X e radiação gama. As radiações sob a forma de partículas, com massa, carga elétrica, carga magnética mais comuns são os feixes de elétrons, os feixes de prótons, radiação beta, radiação alfa. Portanto, existe radiação de todo o tipo à nossa volta.

Voltando a falar sobre Raios C3smicos...

Os Raios C3smicos s3o fundamentalmente constitu3idos por part3culas e quanta, dotados de energias muito elevadas. Provocam processos que n3o se conheceriam de outro modo e que conduzem 3 descoberta de outras part3culas. Os Raios C3smicos proporcionam informa33es sobre processos ocorridos no Cosmos.

Os raios c3smicos s3o formados de n3cleos altamente energ3ticos que atravessam o nosso universo, sendo que em sua maioria (cerca de 87%) s3o n3cleos de Hidrog4nio. Os raios c3smicos mais energ3ticos observados at4 3 data t4m uma energia igual 3 de uma bola de t4nis lan3ada com uma velocidade de 57 m/s. 4 uma quantidade de energia imensa para um corpo que 4 cerca de 0,00000000000001 vezes mais pequeno que uma bola de t4nis, sendo que sua origem ainda n3o 4 bem esclarecida. A explos3o de uma estrela (supernova, conforme figuras 2 e 3) talvez possa ser dita como uma ambiente formador de raios c3smicos.

Figura 2: Explos3o (supernova)

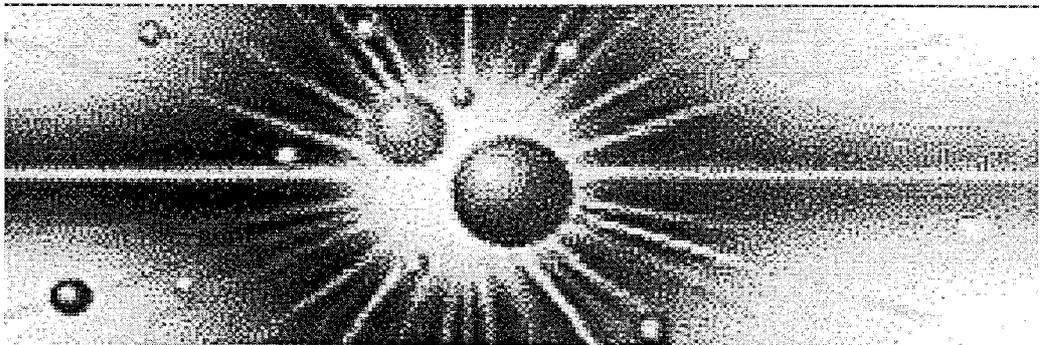
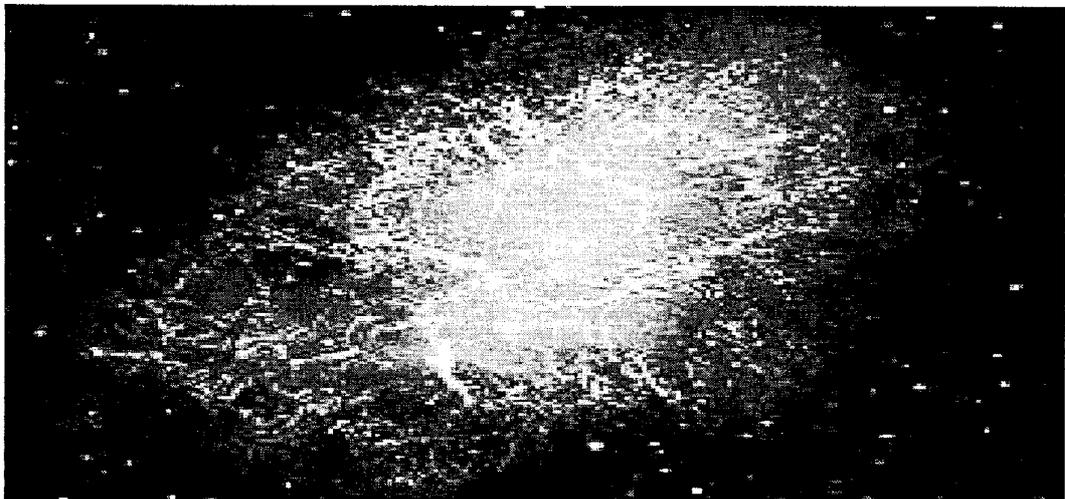


Figura 3: Imagem de uma supernova



Para se trabalhar este conteúdo no Ensino Médio, acredito que é necessário que os alunos considerem existência do átomo e as principais partículas que o compõem. Também considero válido um estudo mais aprofundado acerca da radiação.

Física de partículas é um conteúdo que merece aparecer nos currículos do Ensino Médio, pois proporciona ao aluno um melhor entendimento dos fenômenos que o cerca, e o mais importante, um conhecimento mais moderno do campo da física.

Referências Bibliográficas:

Colas, Paul e Tchming, Boris. **Partículas Elementares**. Mundo Científico. n.247, p.46-53.
Júnior, Dulcídio Braz. **Física Moderna, Tópicos para o Ensino Médio**. Ed. Companhia da Escola. Campinas, 2002.

Moreira, Marco Antonio. **Partículas e Interações**. Física na Escola. Vol.5, n.2, pp.10-14. 2004.

Moreira, Marco Antonio. **A Física dos Quarks e a Epistemologia**. Instituto de Física da UFRGS.

Riodan, Michael e Zajc, Willian A. Os primeiros microssegundos. Scientific American Brasil. Junho, 2006.

<http://www.bu.ufsc.br/>

<http://www.aventuradasparticulas>

<http://pt.wikipedia.org>

http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html

<http://www.on.br/glossario/alfabeto/f/forcasfundamentais.html>

Texto 3: Categoria Superior – Estudo III

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

ESTRUTURA DA MATÉRIA

ISABEL KREY

SEMESTRE B/2007

PARTÍCULAS ELEMENTARES

Cíntia
Jane

Lajeado, novembro de 2007

APRESENTAÇÃO

O presente texto tem como objetivo apresentar de uma forma simples a Física Moderna, em especial as partículas elementares, aos alunos de Ensino Médio. Este conteúdo normalmente é trabalhado no final do terceiro ano deste nível de ensino, muitas vezes, se há tempo.

Sugerimos a utilização deste texto para o estudo de diversas áreas tanto da química quanto da física, pois os professores destas áreas podem abordar de forma conjunta os tópicos da Física Moderna.

Partículas Elementares Do que as coisas são feitas??

Desde os povos mais antigos, as pessoas se perguntam: Do que as coisas são feitas? Do que a matéria é formada? Para isso, várias teorias já foram criadas. Algumas foram descartadas e outras, mesmo que tenha surgido teorias mais completas, ainda são utilizadas para explicar determinados fenômenos. Um exemplo disso é o modelo atômico de Dalton que, apesar de ser o primeiro modelo criado para explicar o átomo, pode ser usado quando falamos em ligações químicas. Certamente você já leu ou estudou sobre os Modelos atômicos. Vamos relembrar a primeira teoria sobre os átomos.

Demócrito, considerado o último grande filósofo da natureza, concordava com seus antecessores num ponto: as transformações que se podiam observar na natureza não significavam que algo realmente se transformava. Ele presumiu, então, que todas as coisas eram constituídas por uma infinidade de partículas minúsculas, invisíveis, cada uma delas sendo eterna e imutável. A estas unidades mínimas Demócrito deu o nome de átomos. A palavra átomo significa indivisível.

Para Demócrito as unidades constituintes de todas as coisas não podiam ser divididas em unidades ainda menores, pois a natureza acabaria por se diluir totalmente. Além disso, as partículas constituintes da natureza tinham que ser eternas, pois nada pode surgir do nada. Só não podiam ser iguais, pois se todos os átomos fossem iguais não haveria explicação para o fato de se combinarem para formar, por exemplo, rochas ou seres humanos.



Demócrito achava que existia na natureza uma infinidade de átomos diferentes: alguns arredondados e lisos, outros irregulares e retorcidos. E precisamente, porque suas formas eram tão irregulares, é que eles podiam ser combinados para dar origem a corpos dos mais diversos. Independentemente, porém, do número de átomos e de sua diversidade, todos eles seriam eternos, imutáveis e indivisíveis.

Hoje em dia podemos dizer que a teoria atômica de Demócrito estava quase perfeita. De fato, a natureza é composta de diferentes átomos, que se ligam a outros para depois se separarem novamente. Um átomo de hidrogênio presente numa molécula de água pode ter pertencido um dia a uma molécula de metano. Um átomo de carbono que hoje está no músculo de um coração provavelmente esteve um dia na cauda de um dinossauro.

Essa idéia de indivisibilidade permaneceu por mais de 25 séculos e somente no ano de 1897 o átomo foi “quebrado” pelo físico inglês Joseph John Thomson e a primeira partícula elementar foi descoberta: o elétron. Assim, ao longo de muitos anos de estudos, descobriu-se que os átomos podem ser divididos em partes menores, como elétrons, prótons, nêutrons. E que estas partículas também podem ser divididas em outras menores ainda.

No entanto, os físicos são unânimes em achar que em alguma parte deve haver um limite para essa divisão, pois deve haver partículas mínimas a partir das quais toda a natureza se constrói. Hoje, há uma teoria sobre essas partículas mínimas, as chamadas partículas elementares. Vamos conhecê-las?

No final deste texto, trazemos uma tabela com as partículas elementares, seu símbolo, carga elétrica, spin e massa.

Partículas elementares, o que são?

A Física Moderna levou 103 anos para descobrir e classificar todas essas pequeninas partículas fundamentais. O modelo que as classifica é chamado de Modelo-Padrão. De acordo com ele, tudo o que há no universo é resultado da combinação de 12 partículas elementares unidas através de 4 tipos de forças diferentes. Em outras palavras, a matéria seria formada por três tipos de partículas elementares: léptons, quarks e as mediadoras.

LÉPTONS

são partículas extranucleares, de spin $\frac{1}{2}$, sem cor (brancos), que podem ter carga elétrica ou não (neutrinos). São eles: o elétron, o neutrino do elétron, o múon, o neutrino do múon, o tau e o neutrino do tau. Para cada lépton existe um antilépton, totalizando doze léptons.

Esse modelo já sofreu inúmeras correções, mas ainda continua sendo o modelo atômico mais completo que se conhece. No entanto, algumas perguntas continuam sem respostas, tais como: "o que dá a massa as partículas elementares?", "por que as partículas têm massa diferentes?", "o que é, de fato, massa?" Uma pista para encontrar as respostas é a provável existência de uma 13ª partícula: o *Boson de Higgs*, que seria responsável por agregar massa às partículas. Mas deixamos isso para depois. Agora, vamos ver como e porque o modelo-padrão foi criado.

Partículas elementares, como tudo começou?

Até o início da década de 1930 sabia-se que o núcleo era feito de partículas positivas (prótons) e ao seu redor giravam os elétrons, partículas negativas. No entanto, algumas perguntas ainda não haviam sido respondidas. Por exemplo, não se sabia o porquê da coesão do núcleo, ou seja, como o núcleo poderia ser tão estável se a repulsão eletrostática (estimada pela lei de Coulomb) entre os prótons, era enorme. Havia um modelo que tentava explicar essa coesão que dizia que a presença dos elétrons compensava a enorme repulsão entre os prótons, mas ele logo foi descartado pelos cientistas. Mais tarde, em 1932, James Chadwick propôs a existência do nêutron, partícula sem carga, que formava o núcleo juntamente com o próton. No mesmo ano, o nêutron foi detectado e James comprovou sua tese.

QUARKS

formam os hádrons, que se subdividem em: bárions formados por três quarks e com spin fracionário (os prótons, os nêutrons e as suas antipartículas) e mésons formados por um quark e um antiquark e com spin inteiro (os pions conhecidos (π^+, π^0, π^-)).

Esses foram os primeiros passos para o estudo da força nuclear forte, de natureza atrativa, que se opõe a força repulsiva entre os prótons e mantém o núcleo coeso. O pioneiro nestes estudos foi o japonês Hideki Yukawa, em 1935. Um ano antes, o italiano Enrico Fermi descobriu uma outra força nuclear, que mais tarde foi chamada de fraca, responsável por alguns tipos de desintegração atômica (radioatividade).

Em 1896, Henri Becquerel estava trabalhando com compostos contendo o elemento urânio. Para sua surpresa, ele descobriu que placas fotográficas protegidas da luz ficavam veladas, ou parcialmente expostas, quando esses compostos de urânio eram mantidos nas proximidades das placas. Essa exposição sugeria que algum tipo de raio havia passado pela proteção das placas. Descobriu-se também que vários outros materiais além do urânio também emitiam esses raios penetrantes. Entre eles estava um material chamado rádio e por isso, todos os materiais que emitem esse tipo de radiação são chamados radioativos ou que sofrem decaimento radiativo. Em 1899 Ernest Rutherford descobriu que os compostos de urânio produzem três tipos diferentes de radiação. Ele separou as radiações de acordo com seu poder de penetração e chamou-as radiação alfa, beta e gama. A radiação alfa pode ser bloqueada por uma folha de papel. Posteriormente, Rutherford descobriu que a radiação alfa era constituída de núcleos de átomos de hélio (He) em alta velocidade. Partículas beta foram posteriormente identificadas como elétrons em alta velocidade. Cerca de 6 mm de alumínio são necessários para parar a maioria das partículas beta. Vários centímetros de chumbo podem ser necessários para bloquear os raios gama que como descoberto mais tarde, são na verdade fótons de alta energia.

No entanto, havia uma outra pergunta que os cientistas precisavam responder: o que é a radioatividade? O fenômeno da radioatividade já havia sido estudado pelo físico francês Henri Becquerel ao estudar sais de urânio. Mas havia ainda um problema: o decaimento beta. Por exemplo, o carbono 14 decai no nitrogênio 14, o número de prótons aumenta, o de nêutrons diminui e um elétron é ejetado.

Como a eletrosfera continuava intacta, de onde vinha esse elétron? Só poderia vir do núcleo. Se sabia, nesse caso, que um nêutron dava origem a um próton e a um elétron. No entanto, ao analisar mais criteriosamente, percebia-se que as leis da conservação de quantidade de movimento e de energia estavam sendo violadas (o princípio da conservação da carga elétrica não).

Para resolver esse problema, Wolfgang Pauli, em 1930, sugeriu que do decaimento beta seria originada uma partícula, com carga elétrica nula e massa pequena. Essa partícula foi chamada de neutrino, por Enrico Fermi, já que seria uma espécie de nêutron bem pequeno. Essa teoria era tão boa que foi aceita mesmo sem comprovações experimentais, o que foi acontecer só em 1956.

Falamos acima de duas forças (a nuclear forte e a fraca). Mas o que vem a ser uma força? Newton considerava que a força é uma grandeza física que provoca uma variação no estado de movimento de um corpo. Já na física moderna, a força ganha um novo significado: interação (proposto pelo físico japonês Hideki Yukawa). Quando dois corpos exercem forças mútuas eles trocam partículas, que são mediadoras desta interação entre os corpos.

Mas o que seriam essas partículas mediadoras? Até então, só conhecia-se os elétrons, os prótons, os nêutrons e os neutrinos, e essas seriam as partículas constituintes da matéria, certo? Mais ou menos. Yukawa propôs a existência de uma partícula que mediará a interação entre os prótons e os nêutrons, no núcleo, sendo chamada de méson ou pión. O méson foi detectado somente em 1947.

A medida que as pesquisas eram realizadas, utilizando-se para isso aceleradores de partículas e a energia dos raios cósmicos, outras partículas foram sendo descobertas pelos cientistas. O novo desafio agora era organizar essas partículas em famílias. Algumas organizações foram propostas e outras descartadas. Na busca de refinamentos, os físicos Murray Gell-Mann e George Zweig concluíram que algumas dessas partículas fundamentais do átomo, conhecidas até então, deveriam ser formadas por outras partículas ainda mais fundamentais, os **quarks**.

Elétrons, prótons e núcleos complexos de alta energia podem ser produzidos em uma diversidade de ambientes astronômicos. Essas partículas, chamadas de raios cósmicos, viajam através do universo e muitas delas acabam alcançando nosso planeta. Quando esses objetos atingem a atmosfera terrestre, outras partículas chamadas pions e muons são produzidas. Essas partículas então são freadas por colisões com outros átomos na atmosfera. Devido a esse processo de freamento, quanto mais alto na atmosfera, mais radiação cósmica encontramos. Ao escalar uma alta montanha ou viajando em aviões, recebe-se uma maior dose de radiação cósmica do que permanecendo-se ao nível do mar. A maioria dos raios cósmicos possui muita energia podendo facilmente atravessar vários centímetros de chumbo. Como a radiação cósmica, atingindo organismos vivos pode causar alterações genéticas, muitos cientistas acreditam que essa radiação tem sido importante no processo evolutivo da vida em nosso planeta. Embora a radiação cósmica possa causar danos em indivíduos, ela deve ter tido também um papel importante no aparecimento da espécie humana. De qualquer forma, nossa atmosfera é uma proteção natural contra os raios cósmicos.

Mas, na realidade, não foi nem um pouco fácil de aceitar essa teoria. Nem o seu próprio autor era muito confiante. O problema com a teoria era que os quarks possuíam características muito diferentes: possuíam carga elétrica fracionária, não existiam de forma livre e constituiriam os hádrons de apenas duas formas, um quark e um anti-quark (méson) ou três quarks (bárion).

O que levou estes físicos a postularem a existência dos quarks foi, na verdade, uma questão de simetria e o que reforçou a sua aceitação foi a assimetria entre a quantidade de léptons (partículas leves) e de hádrons (partículas pesadas). Como poderia haver tantos hádrons e tão poucos léptons?

Um acelerador de partículas é um aparelho que produz "feixes" de átomos, elétrons, moléculas ou algumas partículas mais exóticas como antiprótons, pósitrons ou mésons, com velocidades altas. Para que sejam atingidas estas velocidades, que em alguns casos chegam quase na velocidade da luz, as partículas sofrem a ação de forças eletromagnéticas, com arranjos que diferem bastante entre os diversos tipos de aceleradores. Mas porque alguém aceleraria partículas? A primeira razão é que precisamos conhecê-las melhor e um dos meios de fazer isso é colidi-las em altas velocidades com outras partículas (átomos, fótons, elétrons, moléculas, etc) ou com sólidos. A segunda razão é que podemos usar essas colisões para conhecer melhor os "alvos", por exemplo obtendo a composição química de objetos sólidos. Porém, para mais partículas serem descobertas, precisávamos de cada vez mais energia e, por isso, grandes cientistas utilizaram-se da alta energia dos Raios Cósmicos.

Na busca de respostas muitas teorias foram criadas e muitos experimentos foram realizados, ou vice-versa. Isso porque muitas vezes se pensa que as teorias científicas são elaboradas para explicar as observações dos cientistas. Mas na maioria dos casos, não é bem assim. Na verdade, não podemos dizer qual vem primeiro, se é a teoria ou a observação/experimentação. Há uma relação de dependência entre elas, uma não existe sem a outra.

Voltando aos quarks. Buscando encontrar as respostas e devolver a simetria à natureza, foram detectados seis quarks (up, down, estranho, charme, bottom e top), cada um tendo a sua anti-partícula correspondente.

No entanto, essa história não acaba aqui. Partículas com spin fracionário ($1/2$) como os elétrons e os quarks devem obedecer ao Princípio de Exclusão de Pauli, ou seja, duas partículas de mesmo spin não podem ocupar o mesmo estado quântico. Isso significa que dois ou mais quarks do mesmo tipo não podem ocupar o mesmo estado. Então, como seria possível a existência de uma partícula formada por três quarks idênticos, por exemplo?

Para resolver esse "problema" da teoria, Oscar greenberg sugeriu uma outra propriedade para os quarks, a carga cor. Essa propriedade ocorreria em três variedades chamadas de vermelho, verde (ou amarelo) e azul. Os quarks teriam cores positivas e os antiquarks cores negativas (antivermelho, antiverde e antiazul). O número total de quarks então passa de seis para trinta e seis: se cada quark pode ser de três cores diferentes temos no total dezoito quarks, somando-os às suas antipartículas (dezoito antiquarks) resultam trinta e seis quarks.

A evidência experimental dos quarks foi considerada convincente apenas em 1970, através de reações de altas energias em aceleradores de partículas. Hoje aceita-se que os quarks e os elétrons são as verdadeiras partículas elementares da matéria.

No entanto, ainda não está resolvida a seguinte questão: como poderiam três quarks formar um estado ligado, um sistema estável, como o hádron Ω ?

Pensou-se que deveria haver uma força atrativa muito forte entre os quarks de modo que possam formar os hádrons. Essa interação é também responsável pela coesão do núcleo, da qual já falamos acima, chamada interação nuclear forte. Vamos falar mais sobre as interações fundamentais da natureza explicadas pela Física Moderna?

Interações Fundamentais

Na física moderna, há quatro interações fundamentais. São elas: interação gravitacional, interação eletromagnética, interação nuclear forte e interação nuclear fraca.

A interação gravitacional já é conhecida por nós. Ela atua entre todas as partículas massivas e governa o movimento dos corpos celestes. No entanto, em domínios pequenos ela é desprezível. Sua partícula mediadora é o gráviton, que ainda não foi detectado experimentalmente. Já a interação eletromagnética se dá entre um elétron e o núcleo do átomo, responsável pela formação dos átomos, pelas ligações moleculares e pelos processos biológicos fundamentais. Essa interação é mediada pelo fóton.

A interação nuclear forte é a mais "forte", como sugere o seu nome, quando se trata das partículas elementares. Ela mantém juntos os prótons e os nêutrons no núcleo atômico e é a responsável pela formação dos hádrons (atração entre os quarks). Essa interação afeta somente os hádrons e sua partícula mediadora é o glúon.

A interação nuclear fraca explica o decaimento beta, como já vimos mais acima, ou seja, pelo decaimento relativamente lento de partículas como nêutrons e múons, e também pelas reações envolvendo neutrinos. Essa interação é mediada por partículas W^+ , W^- e Z^0 .

Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma troca (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas. Por exemplo, os fótons são portadores da força eletromagnética, são partículas de radiação,

não de matéria. É a energia do fóton que determina o seu "tipo": fótons de ondas de luz visível, de radiação ultravioleta, de raios-X.

Unificação: a força eletrofraca

A partir de trabalhos publicados entre 1961 e 1968, uma nova teoria foi formulada para unificar os fenômenos eletromagnéticos regidos pela força nuclear fraca. Essa teoria mostrou que essas duas forças, apesar de nos apresentarem com características diferentes, têm uma origem comum.

Aparentemente, nos primórdios do universo, toda a matéria estava em um estado de alta energia. Sabe-se hoje que as forças eletromagnética e fraca teriam agido como uma só, a eletrofraca, durante um período de tempo do tempo zero (até menos de um bilionésimo de segundo depois do Big Bang), quando o universo já se encontrava relativamente frio. Mas o quê aconteceu antes disso? Haveria um estado em que todas as forças atuariam como uma só? A procura dessa unificação das forças é o (um dos) maior (es) objetivo (s) da pesquisa em física de partículas.

Por fim, do que isso nos serve?

É difícil para nós, hoje, imaginar que até 200 anos atrás não se soubesse nada sobre átomos (a Teoria Atômica de Dalton data do início do século XIX) ou que apenas cem anos atrás tenha sido descoberta a existência do elétron, pois hoje toda a tecnologia se baseia em átomos e em elétrons. Inúmeras aplicações de propriedades atômicas na Engenharia, na Química e na Medicina, não existiam, entre elas quase todas a Eletrônica, a Ciência de Materiais e a Química Analítica (que estuda a composição química de um objeto ou de uma amostra). Pelo lado da Ciência, nesse passado tão recente não eram conhecidos os fenômenos básicos da Química, da Biologia, da Física e da Meteorologia para os quais os átomos (e as moléculas, que são aglomerados de átomos) são fundamentais. Hoje, por exemplo discutimos as propriedades dos seres vivos e como alterá-las através da Genética Molecular,

quando o gen é estudado como formado por grupos de átomos; estudamos a temperatura da Terra e a intensidade de radiação ultravioleta (UV) pelas colisões entre moléculas na atmosfera e somos capazes de calcular propriedades de compostos químicos mais diversos, nas fases gasosa, líquida ou sólida, usando a Mecânica Quântica.

Há numerosas aplicações tecnológicas e médicas para esses estudos científicos. A Microeletrônica, por exemplo, não existiria sem o conhecimento dos aceleradores de partículas (chamados "implantadores" porque colocam átomos, geralmente de boro e de fósforo, dentro de um cristal de silício).

Antes de aceleradores começarem a ser empregados, em 1960 já eram fabricados válvulas, diodos e transistores, mas sem esses aceleradores o tamanho de qualquer circuito eletrônico seria milhões de vezes maiores que hoje. Outro exemplo é a Medicina que usa os aceleradores de partículas para produzir radioisótopos usados em terapias ou em diagnósticos, para produzir raios-X ou para irradiação de tumores com elétrons ultra-rápidos (energia cinética de 20 MeV).

Além disso, estamos rodeados de materiais "artificiais", como plásticos, remédios, ligas metálicas e cerâmicas, cuja descoberta e produção só foi possível usando propriedades atômicas e moleculares descobertas usando aceleradores de partículas. Foram experiências usando aceleradores que nos permitiram a compreensão que temos dos átomos e das substâncias que nos rodeiam, fornecendo a base para a Mecânica Quântica no início deste século, por sua vez permitindo a compreensão teórica dos fenômenos químicos.

PARTÍCULAS ELEMENTARES

	<i>Partículas</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Carga eléctrica</i>	<i>Spin (em unidades de h)</i>	<i>Massa</i>
Quarks	up	u	+2/3	+1/2	~5 MeV
	down	d	-1/3	-1/2	~10 MeV
	charm	c	+2/3	+1/2	~1,5 GeV
	strange	s	-1/3	-1/2	~100 MeV
	top	t	+2/3	+1/2	173 GeV
	bottom	b	-1/3	-1/2	~4,7 GeV
Leptons	elétron	\bar{e}	-1	-1/2	0,511 MeV
	múon	μ	-1	-1/2	106 MeV
	tau	τ	-1	-1/2	1784 MeV
	neutrino do elétron	ν_e	0	+1/2	~0
	neutrino do múon	ν_μ	0	+1/2	~0
	neutrino do tau	ν_τ	0	+1/2	~0
Hádrons					
Barions	próton	p	1	+1/2	938 MeV
	nêutron	n	0	+1/2	940 MeV
	lambda	Λ^0	0	+1/2	1116 MeV
	sigma +	Σ^+	1	+1/2	1189 MeV
	sigma 0	Σ^0	0	+1/2	1193 MeV
	sigma -	Σ^-	-1	-1/2	1197 MeV
	xi	Ξ^0	0	+1/2	1315 MeV
	xi -	Ξ^-	-1	-1/2	1321 MeV
Mesons	píon	π^0	0	0	135 MeV
	píon	π^+	1	0	140 MeV
	káon	K^0	0	0	494 MeV
	káon	K^+	1	0	498 MeV
	eta	η	0	0	549 MeV

REFERÊNCIAS

BRAZ JÚNIOR, D. Física Moderna: tópicos para o ensino médio. Companhia da Escola: Campinas, SP, 2002, 118p.

ABDALLA, M.C.B. Sobre o discreto charme das partículas modernas. Física na Escola, v. 6, n. 1, 2005, pp. 38-44.

HELAYËL-NETO, J.A. Supersimetria e Interações Fundamentais. Física na Escola, v. 6, n. 1, 2005, pp. 45-47.

MOREIRA, M.A. Partículas e Interações. Física na Escola, v. 5, n. 2, 2004, pp. 10-14.

Sites consultados:

<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/quarks.pdf>

<http://omnis.if.ufrj.br/~fatomica/accelera.html>

Texto 4: Categoria Intermediária – Estudo I

UNIVATES - Centro Universitário
Ciências Exatas

TRABALHO DE ESTRUTURA DA MATÉRIA

Professora: Isabel Krey

Alunas:

Otília

Rosaura

Lajeado, 03 de outubro de 2005

Partículas Elementares

A matéria no nível subatômico consiste de pequeníssimas partículas, com enormes espaços vazios entre elas. Sabendo que os átomos são formados por elétrons que estão ao redor de um núcleo que, por sua vez, é constituído por prótons e nêutrons. A essas pequeníssimas partículas que formam os átomos, sejam elas elétron, prótons, nêutrons ou quaisquer outras, damos o nome de partículas elementares.

Uma boa resposta para uma pergunta do tipo “Quais as partículas elementares da matéria e da luz?” seria “Prótons, nêutrons, elétrons e fótons”. Entretanto, cientistas têm expandido essa resposta pelos últimos sessenta anos ou mais. A primeira partícula adicionada à lista foi o neutrino, que era necessário de ser postulado para explicar porque os elétrons, chamados de partículas beta nesse caso, são ejetados por núcleos durante o processo de decaimento beta. Depois da descoberta do neutrino, centenas de outras partículas foram descobertas. O grande aumento de partículas parece pertencer apenas à área dos hádrons, os léptons e o fóton parece ser bem comportado.

Sabemos que cada partícula possui características específicas e, diferentes partículas interagem de diferentes maneiras com a matéria. Essas interações são importantes pois estão relacionadas com vários tipos de interação.

Partículas pesadas carregadas, ao passar pela matéria por interações elétricas com elétrons, perdem energia para os elétrons. Estes, chegam a estados excitados ou são puxados para os seus átomos originais. Assim, os elétrons têm energia suficiente para ionizar átomos e, praticamente, não sofre deflexões nas suas interações, além de perder gradualmente sua velocidade.

Os hádrons são partículas que interagem através da força forte que é a força que mantém os prótons e os nêutrons juntos no núcleo de um átomo. Por sua vez, os hádrons são divididos em dois sub-grupos, os bárions e os mésons. Os bárions incluem partículas como o próton e o nêutron. Os mésons incluem os mésons pi ou píons. Essas partículas (mésons e bárions) podem ser classificadas pela massa e spin.

Mésons: Tem spin nulo ou inteiro (0 ou 1), e a massa entre a massa do elétron e a massa do próton.

Bárions: Os spins são sempre fracionários ($1/2$ ou $3/2$) e tem massa igual à do próton ou maior que a do próton.

Acredita-se que os hádrons sejam formados por partículas mais elementares; os quarks.

Léptons: do grego, léptos, que significa leve ou pequeno. Por isso, dizemos que fazem parte de um grupo de partículas que possuem interação fraca. Todos os léptons tem spin $1/2$.

Os léptons, diferentemente dos hádrons não possuem estrutura, e o número de léptons conhecidos chega somente a 6: o elétron, múon, tau, neutrino, lépton τ (tau), neutrino.

Pode-se dizer que o neutrino possui uma massa muito pequena, o que influência em modelos cosmológicos e até mesmo no futuro no universo.

Leis de Conservação

As leis de conservação são importantes, pois é através delas que é possível entender a ocorrência ou não de certas reações.

No estudo de reações de partículas elementares, veremos dois tipos de leis de conservação: a do Número Bariônico e a do Número leptônico.

Lei de Conservação do Número Bariônico

Esta lei diz que: “para que o número bariônico se conserve, sempre que houver a criação de bárions numa reação ou decaimento, também deve haver a criação de um antibárion”.

Para qualificarmos esta regra:

- Número bariônico $B = +1$ (todos os bárions)
- Número bariônico $B = -1$ (todos os antibárions)
- Número bariônico $B = 0$ (todas as outras partículas).

Então podemos dizer que:

“quando ocorre uma reação ou decaimento nuclear, a soma dos números bariônicos deverá ser a mesma antes e depois do processo”. Assim, podemos

afirmar que se o número bariônico for absolutamente conservado, o próton será absolutamente estável.

Lei da Conservação do Número Leptônico.

Esta lei afirma que:

“a soma dos números leptônicos-eletrônicos antes e depois de uma reação ou decaimento deve ser a mesma (igual)”.

Para qualificarmos a regra:

- $Le = +1$ (elétron e neutrino do elétron)
- $Le = -1$ (antileptons).

Assim, o decaimento do elétron será:

$n \rightarrow p + e^- + \nu_e$, onde

e^- = elétron

ν_e = neutrino do elétron

Provando a regra, temos:

$Le = 0$ (antes do decaimento) e após: $0 + 1 + (-1) = 0$.

Então a conservação do número leptônico- leptônico.

Partículas Estranhas e Estranheza

Para poder explicar estas propriedades incomuns das partículas estranhas, foi introduzida a nova lei de conservação da estranheza, juntamente com um novo número quântico S , denominado estranheza. A produção aos pares das partículas estranhas se explica atribuindo-se $S=+1$ a uma delas e $S=-1$ à outra. As partículas que não forem estranhas, como os mésons π , os prótons e os léptons, têm estranheza $S=0$. Podemos enunciar que a lei de conservação da estranheza pode ser: sempre que ocorre uma reação nuclear ou um decaimento, a soma das estranhezas antes do processo é igual a soma das estranhezas depois do processo.

Podemos explicar o decaimento das partículas estranhas admitindo-se que as interações forte e eletromagnética obedecem a lei da conservação da estranheza, enquanto a interação não obedece esta lei. No decaimento da

reação, perde-se partícula estranha, viola a conservação da estranheza e então procede pela via da interação fraca.

O modelo de Quarks

Em 1964, Murray Gell-Mann e George Zweig observaram independentemente que os padrões do Caminho Octuplo poderiam ser explicados se os bárions e os mésons fossem feitos de partículas menores, que Gell-Mann chamou de Quarks.

No modelo original, os quarks existiam em três tipos, conhecidos como sabores: u, d e s (as iniciais de up, down e strange). Ao contrário das partículas conhecidas até então, esses quarks tinham valores fracionários de carga elétrica e estranheza: a carga do quark u é $2e/3$ e a dos quarks d e s é $-e/3$. Os três quarks têm $B=1/3$. o spin dos três quarks é $h/2$; assim, os quarks são férmions. A estranheza dos quarks u e d é 0 e a do quark s é -1 .

Para cada quark existe um antiquark com valores simétricos de carga elétrica, número bariônico e estranheza. Os três tipos de quarks formam um triângulo, e todos os bárions são formados por três quarks (ou três antiquarks, no caso das antipartículas) e todos os mésons são formados por um quark e um antiquark e os bárions de estranheza $S=-1$ contêm um quark s.

Todas as combinações permitidas de três quarks ou de pares quark-antiquark resultam em hádrons conhecidos. Fortes indícios da existência de quarks no interior dos núcleons foram obtidos em experimentos de espalhamento inelástico profundo, nos quais um núcleon é bombardeado por elétrons ou múons com energias entre 15 e 200 GeV.

Antipartículas

A classe de partículas previstas através da mecânica quântica é relativista, pois para cada partícula deve existir uma antipartícula correspondente com a carga oposta, assim como outros atributos quânticos como momento magnético, número leptônico e bariônico. No entanto a massa e o spin devem ser idênticos aos da

partícula correspondente. Esses pares de partícula-antipartícula são freqüentemente observados nos detectores de câmara de neblina.

Por incrível que pareça, o fato de existirmos deixa os físicos confusos. Para eles, também não deveriam existir o ar, as árvores, as formigas, os outros animais, a rua, os vizinhos, as contas a pagar, a cidade, o planeta. Parece brincadeira? Mas não é. Afinal, se a natureza seguisse à risca as leis da física, toda a matéria, como por exemplo os tijolos formadores de estrelas, planetas, formigas, árvores e seres humanos, deveria ter sido aniquilada instantes depois do início do Universo. Segundo os físicos, a matéria teria sido cancelada pela partícula oposta: a antimatéria, logo após o Big Bang, a explosão que teria dado início ao Universo, partículas e antipartículas começaram a se formar na mesma proporção, para em seguida se encontrar e se aniquilar mutuamente, voltando a ser energia.

Mas, por algum motivo, não foi o que aconteceu; as antipartículas sumiram. As outras, suas opostas, estão por toda parte. Os físicos agora quebram a cabeça para explicar por quê. A antimatéria lembra imediatamente ficção científica. A antimatéria, se pudesse ser estocada em naves, seria o combustível ideal para viagens espaciais porque, ao se encontrar com qualquer quantidade de matéria, resultaria na destruição das duas espécies de partículas, transformando tudo em energia.

No mundo real, no entanto, ela não tem nada de fantástico. Por sinal, é conhecida dos físicos há décadas. Em 1928, sua existência foi prevista pelo britânico Paul Dirac, o que lhe valeu o Nobel de 1933. Desde então, ela tem sido tratada como coisa corriqueira, sendo constantemente criada nos enormes aceleradores de partículas.

Em alguns aspectos, as antipartículas são idênticas às partículas. Um elétron, por exemplo, tem a mesma massa do seu oposto (o pósitron); um próton, a mesma massa que um antipróton. A principal diferença está na carga. O pósitron, como o próprio nome diz, tem carga contrária ao elétron, ou seja, positiva. O antipróton tem carga negativa. Mas, apesar de terem a existência comprovada pelos físicos, até agora nenhuma "antiestrela" ou "antigaláxia" foi detectada, e provavelmente nunca será. Qualquer antipartícula perdida no Universo seria rapidamente aniquilada ao se encontrar com uma partícula. (Pelo mesmo motivo, é inviável armazenar o combustível de antimatéria em uma nave formada por matéria)..

Como não puderam encontra-las no Cosmo, as antipartículas tiveram de ser criadas em laboratório para que as idéias de Dirac fossem comprovadas. E foi o que aconteceu em 1932, o físico norte-americano Carl Anderson detectou pela primeira vez um pósitron, formado com a energia liberada em um daqueles equipamentos monstruosos que os cientistas chamam de aceleradores de partículas. Desde então, outras antipartículas foram detectadas e, em 1995, pesquisadores europeus construíram um átomo de anti-hidrogênio em laboratório.

Descobriu-se também que antipartículas podiam ser formadas nos chamados raios cósmicos, compostos de partículas altamente energéticas que atingem constantemente a Terra e, ao se chocar com a atmosfera, liberam pares de partículas e antipartículas. Isso ocorre em uma fração de segundo; nada de antimatéria poderia ser observada "flutuando" pelo Universo. Bem que os cientistas tentaram. "Já se procurou por sinais de antimatéria, mas nada foi encontrado".

Interações Fundamentais e a Classificação das partículas

Quando estudamos o interior da matéria, os átomos e as moléculas, vemos fenômenos muito diferentes daqueles que acontecem no nosso mundo diário. Para descrever estes fenômenos foi necessário introduzir diferentes conceitos de força na física, e isso nos interessa pelo fato de que todos estes fenômenos aparecem em processos físicos, que determinam a existência dos corpos celestes.

Todos os fenômenos físicos que ocorrem na natureza são produzidos por estes quatro tipos de interações, fundamentais e cada uma delas é descrita por uma teoria física. Em ordem decrescente de intensidade, temos:

- Interação Forte;
- Interação Eletrostática;
- Interação Fraca;
- Interação Gravitacional.

As forças moleculares e quase todas as forças que observamos entre objetos macroscópicos, são manifestações complexas da interação eletromagnética, que ocorre entre todas as partículas que possuem carga elétrica. Embora a gravidade, a interação entre as partículas que possuem massa, desempenha um papel importante em nossa vida, é tão fraca em comparação com as

outras forças que seu papel nas interações entre partículas elementares pode ser ignorado. A interação fraca descreve, entre outras, a interação entre elétrons ou pósitrons e núcleos que resultam no decaimento beta.

A interação forte descreve, por exemplo, a força entre núcleons que é responsável pela formação dos núcleos atômicos.

Em 1979, Glashow, Salam e Weinberg receberam o prêmio Nobel de física pela criação da teoria eletrofraca, que unificou as teorias da interação eletromagnética e da interação fraca. Os físicos estão tentando há muito tempo desenvolver uma teoria unificada para as interações conhecidas.

Interação Forte

As partículas que interagem através da interação forte são chamadas de hádrons. Existem dois subgrupos de hádrons: os de spin fracionários ($1/2$, $3/2$, $5/2$ etc), conhecidos como bárions, e os de spin inteiro, que recebem o nome de mésons. Este nome foi escolhido porque os primeiros mésons conhecidos tinham massas intermediárias entre a do próton e do elétron, mais tarde, foram descobertas muitos mésons com massas maiores que a do próton, deixando de ter relação com a massa das partículas designadas.

A interação forte está associada à carga de cor, assim como a interação eletromagnética está associada à carga elétrica. O tempo de interação característico da interação forte é extremamente pequeno, de ordem 10^{-23} s, o que significa que um evento causado por esta interação “acontece” durante este período de tempo. Para que a probabilidade de duas partículas interagir através da interação forte trocando uma partícula virtual seja elevada, é preciso que duas permaneçam dentro do raio de alcance da interação forte pelo menos 10^{-23} s. Da mesma forma as partículas estáveis que decaem através da interação forte têm um tempo de vida da ordem 10^{-23} s. Este é aproximadamente o tempo que a luz leva para percorrer uma distância igual ao diâmetro de um núcleo atômico.

Os hádrons que decaem através da interação eletromagnética e da interação fraca possuem tempos de vida muito maiores, da ordem 10^{-18} s e

10^{-10} s. Os bárions podem se agrupados em “multipletos de carga” com aproximadamente a mesma massa. As diferenças de massa dentro de cada multiplete, se devem exclusivamente a carga elétrica das partículas. Os mésons também podem ser agrupados em multipletos de cargas. Como o exemplo dos bárions, a diferença de massa dentro de cada multiplete se deve a carga elétrica.

Os hádrons possuem uma estrutura interna bastante complexa. Usando o termo partícula elementar para designar uma partícula pontual, que não seja formada por partículas menores, os hádrons certamente não podem ser consideradas partículas elementares. Conforme o modelo padrão, todos os hádrons são compostos de partículas menores chamadas quarks, que são consideradas partículas realmente elementares. A interação forte é mediada por uma partícula chamada glúon e não como pión.

Interação Eletromagnética

Todas as partículas que possuem carga elétrica ou momento magnético participam da interação eletromagnética, mas algumas partículas neutras sem momento magnético podem participar da interação eletromagnética se a emissão de uma partícula virtual resultar em partículas carregadas.

O alcance da força eletromagnética é infinito e sua força, é aproximadamente 137 vezes menor que a força de interação forte. O tempo característico da interação é de ordem 10^{-18} s. A partícula mediadora da interação eletromagnética, em relação ao QED é o fóton. Os decaimentos através da interação eletromagnética sempre resultam na emissão de um ou mais fótons e as partículas decaem através desta interação.

Interação Fraca

Todos os hádrons participam da interação fraca. Existe também um outro grupo de partículas que participam da interação fraca, mas não da interação forte. Essas partículas são chamadas de léptons. Estes léptons se comportam como partículas pontuais, sem estrutura interna, e podem ser consideradas partículas elementares, no sentido de que não são compostas de partículas menores. Todos os léptons possuem spin $h/2$, e por tanto são férmions. Os léptons são formados por três grupos: o elétron, o múon, o táuon e três tipos diferentes de neutrinos associados a essas três partículas. Cada um dos seis léptons possui uma partícula. As massas dos léptons variam muito. A massa do elétron é $0,511 \text{ MeV}/c^2$, a do múon é $105 \text{ MeV}/c^2$ e a do táuon é $1780 \text{ MeV}/c^2$.

Muitos dos físicos acreditam que a massa de repouso dos neutrinos seja nula, mas a possibilidade de que possuam uma massa muito pequena não está descartada. Experimentos realizados detectaram um número de neutrinos menores que o esperado, o que poderia ser explicado se a massa dos neutrinos não fosse nula. Além disso, o fato dos neutrinos possuírem uma massa de repouso, mesmo que pequena teria profunda repercussão em nossos modelos do universo. O universo continuará a se expandir indefinidamente ou atingirá um tamanho máximo e começará a se contrair dependendo da sua massa total, e isso pode depender da massa do repouso do neutrino se é exatamente nula ou simplesmente muito pequena.

O alcance da interação fraca é de ordem de 10^{-18} m ou 10^{-3} fm . O tempo de interação varia de 10^{-16} s a 10^{-10} s . Não existe um nome especial para a propriedade associada a interação fraca, embora as vezes seja chamada de carga fraca ou carga de sabor, em analogia com a carga elétrica. A intensidade da interação fraca é aproximadamente 10^5 vezes menor que a interação forte e é mediada por três partículas: a W^+ , a W^- e a Z^0 . Estas três partículas tem spin 1h e são portanto bósons.

Interação Gravitacional

Estas partículas participam da interação gravitacional, mas esta interação é tão fraca que não precisa ser levada em conta no estudo das partículas elementares. A intensidade da interação gravitacional é 10^{-38} vezes menor que a intensidade da interação forte. Como a interação eletrostática, a interação gravitacional tem alcance infinito e sua intensidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Essa interação é mediada por uma partícula conhecida como gráviton, uma partícula que, de acordo com a teoria, deve ser carga nula, massa nula e spin 2h. Esta partícula ainda não foi observada experimentalmente, apesar de algumas tentativas. A interação gravitacional é produzida pela massa, que é a “carga gravitacional” correspondente à carga de cor, à carga elétrica e a carga fraca associada respectivamente à interação fraca.

Texto 5: Categoria Intermediária – Estudo II

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE CIÊNCIAS EXATAS- LICENCIATURA, COM
HABILITAÇÃO INTEGRADA EM FÍSICA, MATEMÁTICA E QUÍMICA

**Proposta de trabalho para o Ensino Médio sobre Partículas, Raios Cósmicos
e Modelo Padrão**

Alunas: Cátia
Jurema

Trabalho apresentado à disciplina
Estrutura da Matéria, do curso de
Ciências Exatas do Centro Uni-
versitário Univates.

Professora: Isabel

Lajeado, agosto de 2006

INTRODUÇÃO

Ao elaborar este plano de aula buscamos dar abrangência ao conhecimento físico, ou seja construir um panorama de diferentes fenômenos e processos considerados relevantes para a formação da cidadania de nossos alunos. Isso significa que ao final da formação básica se espera que todos os jovens tenham tido a oportunidade de ter contato com cada um desses temas, embora provavelmente em profundidade ou extensões diferentes.

Tendo como objetivo o desenvolvimento de competências, é sempre possível tratar qualquer um desses temas em qualquer uma das séries. No entanto, existem temas mais adequados para o desenvolvimento de certas competências, como é o caso dos Aceleradores de Partículas, Raios Cósmicos e Modelo Padrão, para nós devem ser propostos para a Terceira Série do Ensino Médio por apresentarem elementos que permitem realizar sínteses mais consistente e que o aluno já tenha adquirido o hábito de filosofar.

Acreditamos que alguns aspectos da Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, as interações no núcleo dos átomos e os modelos que hoje a ciência propõe para o mundo povoado de partículas.

Plano de aula

Atividade 1:

Ao iniciar este assunto, questionar os alunos sobre o átomo pois é extremamente importante que o aluno tenha bem claro em sua mente o seu significado, já que esta terminando o Ensino Médio e o assunto no qual trabalharemos nesta aula exige que o aluno saiba o que é o átomo. Ao questionar colocaríamos se o átomo tem divisão, se o elétron, o nêutron e o próton podem ser divididos, se podemos ver estas partículas, para que serve estudar estas partículas, e pedir para fazer um desenho representando este átomo, com suas partículas, e onde estão localizadas estas partículas no átomo.

Logo após passar no quadro um resumo sobre o átomo.

O átomo

Todas as partículas são formadas de pequenas partículas chamadas átomos. Para se ter uma idéia, eles são tão pequenos que uma cabeça de alfinete pode conter milhões deles. Os gregos antigos foram os primeiros a saber que a matéria é formada por tais partículas, as quais chamaram átomo, que significa indivisível. Os átomos porém são compostos de partículas menores: os prótons, os nêutrons e os elétrons. No átomo, os elétrons orbitam no núcleo, que contém prótons e nêutrons. Elétrons são minúsculas partículas que vagueiam aleatoriamente ao redor do núcleo central do átomo, sua massa é cerca de 1840 vezes menor que a do núcleo. Prótons e nêutrons são as partículas localizadas no interior do núcleo, elas contém a maior parte da massa do átomo.

No centro do átomo está seu núcleo, que apesar de pequeno, contém quase toda a massa do átomo. Os prótons e nêutrons são as partículas nele encontradas, cada um com uma massa atômica unitária. O número de prótons no núcleo estabelece o número atômico do elemento químico e, o número de prótons somado ao número de nêutrons é o número de massa atômica, os elétrons ficam fora do núcleo e tem pequena massa. Há no máximo sete camadas em torno do

núcleo e nelas estão os elétrons que orbitam o núcleo, sendo que cada camada pode conter um número limitado de elétrons fixado em 8 elétrons por camada.

As características das partículas como os prótons é que ele tem carga elétrica positiva e uma massa unitária, os nêutrons não tem carga elétrica mas tem massa unitária, os elétrons tem carga elétrica negativa e quase não possuem massa.

Atividade 2:

Entregar para o aluno o texto sobre a Física das Partículas e a Tabela das Partículas, após ler o texto com os alunos e comentar.

Obs: tabela das partículas anexo A

A Física das Partículas

De 1932 a 1947 foram descobertas outras partículas elementares. A primeira delas foi o neutrino, inicialmente uma solução teórica proposta em 1933 pelo físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) para justificar alguns resultados experimentais inexplicáveis.

Outra partícula importante foi proposta em 1935 pelo físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981). Ele postulou a existência de um novo tipo de partículas, capaz de medir interações ocorridas entre campos.

No campo eletromagnético essa partícula já era conhecida: o fóton. Mas deveriam haver outras partículas que mediassem outras interações. São fótons que avisam uma partícula carregada da existência de outra para que elas saibam que devem ser atraídas ou repelidas.

Além do fóton, a primeira partícula detectada desse tipo, foi o píon. Em 1947 já haviam 14 partículas elementares já identificadas teórica ou experimentalmente e que esta resumida na tabela.

Com exceção do múon e do antimúon sendo que sua finalidade ainda é desconhecida, todas as demais partículas já tinham um papel definido na estrutura da matéria.

Nos vinte anos seguintes a descoberta do píon, a partir de estudos cuidadosos de fotografias dos raios cósmicos e, mais tarde, com o notável avanço tecnológico dos aceleradores de partículas e novas partículas elementares continuaram a ser encontradas.

Atividade 3:

Dinâmica dos balões

Cada aluno recebe um balão vazio e joga para o alto, logo após cada aluno escolhe um balão que foi jogado para o alto, o mesmo deverá ser estourado observando que em cada balão contém um papel com o número do grupo e o assunto a ser trabalhado. Os alunos com o mesmo número formarão o grupo.

Objetivo é formar e distribuir o assunto de cada grupo. Logo após será feita a explicação do desenvolvimento do trabalho. Após a escolha dos grupos, eles poderão sair para pesquisar na Internet, livros, artigos de revistas e jornais.

Obs: Dividimos a turma em três grupos, onde o primeiro ficou com Aceleradores de Partículas, o segundo Raios Cósmicos e o terceiro Modelo Padrão.

No dia da apresentação cada grupo entrega ao professor o trabalho pesquisado, e um resumo para cada colega, sendo que a apresentação será para o grande grupo debater e tirarem suas dúvidas.

Esta avaliação seguirá critérios baseados na criatividade de cada grupo, na clareza dos conteúdos apresentados e pelo empenho de cada aluno.

Atividade 4:

Cada aluno recebe um texto com o resumo do assunto sendo que as dúvidas serão esclarecidas na apresentação dos trabalhos.

Texto: Partículas Elementares

Átomos são constituídos de elétrons, que formam as camadas eletrônicas, e núcleos, compostos por prótons e nêutrons que por sua vez são constituídos por quarks (dois tipos u e d). Quarks são possivelmente, os constituintes fundamentais da matéria.

Léptons são partículas de spin $\frac{1}{2}$, sem cor, que podem ter carga elétrica ou não (neutrinos). O elétron é o lépton mais familiar, os demais léptons são o múon e o tau e os três neutrinos (neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau). Seriam então, seis os léptons mas para cada um deles existe um antilépton, sendo que o número total de léptons deve ser igual a doze.

Léptons aparentemente não têm estrutura interna. As partículas que têm estrutura interna são chamados de hádrons (hadron significa massivo, robusto, forte). Essa estrutura interna é constituída de quarks. Há dois tipos de hádrons: os bárions, formado por três quarks ou três antiquarks, e os mésons, formados por um quark e um antiquark. Prótons e nêutrons são exemplos de bárions.

Assim como os léptons, quarks parecem ser partículas verdadeiramente elementares e a matéria é constituída fundamentalmente por léptons e quarks.

Em 1935 Hideki Yukawa propôs a existência de uma nova partícula que seria a portadora da força que manteria nêutrons e prótons coesos no núcleo. A interação entre prótons e nêutrons deveria ser medida por alguma partícula, ou seja, prótons e nêutrons interagiriam trocando uma partícula. Esta partícula foi chamada de méson π , ou pion. Um pion poderia ser emitido por um nêutron e absorvido por um próton, ou vice-versa, fazendo com que o nêutron e o próton exercessem uma força um sobre o outro. O π seria mais pesado do que o elétron e mais leve do que o próton.

Yukawa ganhou o Prénio Nobel pela proposta do pión em 1949. Nessa época eram então conhecidas as seguintes partículas: elétrons, prótons, nêutrons, neutrinos, múons, e píons, a medida que continuavam as pesquisas com raios cósmicos e aceleradores de partículas, o número de partículas proliferou, e estas partículas começaram a ser organizadas em famílias com propriedades comuns.

Uma destas famílias é a dos léptons (como os elétrons e os neutrinos) que não experimentam a interação forte (força nuclear) e outra é a dos hádrons que a experimentam. Hádrons se subdividem em duas subcategorias, a dos mésons (como o pión) e a dos bárions (como o próton) aqui o critério básico é o peso.

Uma tentativa bem sucedida de evidenciar a conexão básica existente entre partículas de diferentes famílias foi a que muitas partículas conhecidas podiam ser agrupadas em grupos de oito partículas com características similares. Essa maneira de classificar partículas foi chamada de classificação octal..

Murray Gell-Mann e outro físico chamado George Zweig concluíram que algumas partículas fundamentais do átomo fossem formadas por partículas ainda mais fundamentais os quarks.

Os quarks assim como os léptons, são as partículas verdadeiramente elementares da matéria uma espécie de tijolos básicos para a construção de toda a matéria, inclusive dos nêutrons e prótons. O problema com a teoria dos quarks era que tais partículas tinham propriedades muito peculiares para não dizer misteriosas, como sua carga elétrica que seria fracionária.

Há seis léptons (elétron e neutrino do elétron, múon e neutrino do múon, tau e neutrino do tau) e seis quarks (up, down, estranho, charmoso, botton e top), cada um tendo a antipartícula correspondente.

Partículas com spin $\frac{1}{2}$ como os elétrons, prótons e nêutrons e quarks obedecem o Princípio da Exclusão de Pauli onde duas partículas do mesmo tipo não podem ocupar o mesmo estado quântico, o mesmo estado de energia e spin. Isso significa que dois ou mais quarks do mesmo sabor (tipo), ou seja idênticos não podem ocupar o mesmo estado.

Os quarks possuem uma propriedade, bastante análoga à carga elétrica, mas que ocorria em três variedades ao invés de duas (positiva e negativa essa propriedade foi chamada de cor, ou carga cor, e as três variedades foram denominadas de vermelho, verde (ou amarelo) e azul. Quarks têm cores positivas e antiquarks têm cores negativas ou anticores (antivermelho, antiverde e antiazul).

Cor então, é uma propriedade da matéria, assim como a carga elétrica é também uma propriedade da matéria. Algumas partículas tem cor e outras não. Léptons não têm cor, são brancos. Quarks têm cor e são coloridos.

O número total de quarks é 36: os seis quarks (up, down, estranho, charme, botton e up) podem cada um apresentar três cores totalizando 18, mas há também 6 antiquarks, cada um podendo ter 3 anticores, totalizando também 18, de modo que o número total de possibilidades é 36.

Mas essa história ainda vai longe, para se ter uma idéia da constituição da matéria, não basta saber que existe tais e tais partículas, que umas parecem ser realmente elementares e outras são compostas por sub-partículas confinadas. É preciso também levar em conta como elas interagem, como interagem sistemas estáveis e como se desintegram, ou seja, é preciso considerar interações e campos de força, o que nos leva a outra categoria de partículas, as chamadas partículas mediadoras das interações fundamentais da natureza há quatro tipos de interações fundamentais: eletromagnética, gravitacional, forte e fraca. A interação entre um elétron e um núcleo atômico é um exemplo de interação eletromagnética; a interação entre quarks é do tipo de interação forte; o decaimento beta (por exemplo, um nêutron decaindo para próton pela emissão de um elétron e um neutrino) exemplifica a interação fraca; a interação gravitacional atua entre todas as partículas massivas, e é a que governa o movimento dos corpos celestes.

A interação forte, como surge o nome, é a mais forte no âmbito das partículas elementares e mantém juntos prótons e nêutrons no núcleo atômico, afetando somente hádrons. A interação fraca é responsável pelo decaimento relativamente lento de partículas como nêutrons e múons, e também por todas as reações envolvendo neutrinos.

Tais interações são descritas através de campo de força, o campo é um conceito fundamental nas teorias sobre partículas elementares. Os quanta desse campo são partículas mediadoras das interações correspondentes, assim o fóton é o quantum do campo eletromagnético e media a interação eletromagnética, os glúons são os quanta do campo forte e mediam a interação forte, o gráviton é o quantum do campo gravitacional, mediando a interação gravitacional, e as partículas denominadas W^+ , W^- e Z^0 são os quanta do campo fraco e são mediadoras da interação fraca tais partículas são chamadas bósons, um termo genérico para partículas de spin $1/2, 3/2, 5/2, \dots$; léptons e quarks são férmions.

Medir a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma troca (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas. Assim a força magnética resulta da troca de fótons entre as partículas (eletricamente carregadas) interagentes. Fótons são portadores da força eletromagnética, são partículas de radiação, não de matéria; têm spin 1, não têm massa e são idênticos às suas antipartículas. É a energia de um fóton que determina seu tipo: fótons de onda de rádio, de luz visível, de radiação ultravioleta, de raios-x.

Analogamente, o campo de forças produzido por quarks e antiquarks, atuando sobre eles, é chamado de campo de glúons, e a força entre eles resulta da troca de glúons. Glúons

representam para o campo de glúons o mesmo que os fótons para o campo eletromagnético. Quarks emitem e absorvem glúons e assim exercem a interação forte entre si. Glúons, tal como os fótons, têm spin 1, mais diferentemente deles, têm cor, i.e, fótons são incolores, ou brancos, e glúons não.

Há na natureza uma assimetria matéria-antimatéria, a antimatéria é raramente encontrada na natureza. Explicar esta assimetria é uma das dificuldades da Física Contemporânea, uma das dificuldades do modelo padrão que é a atual explicação da física para a constituição do universo.

E aí aparece uma das grandes dificuldades do Modelo Padrão, talvez a maior: não consegue incluir a gravidade por que a força gravitacional não tem a mesma estrutura das três outras forças, não se adequa à Teoria Quântica, a partícula mediadora hipotética-o gráviton- não foi ainda detectada.

Outro problema do Modelo Padrão é o bóson de Higgs. No modelo, interações com o campo de Higgs (ao qual está associado o bóson de Higgs) fariam com que as partículas tivessem massa. Porém, o modelo não explica bem essas interações e o bóson de Higgs está ainda por ser detectado.

Além dessas, há várias outras dificuldades. Algumas são resultantes das limitações do modelo. Como toda teoria física, esse modelo não pode explicar tudo. Há coisas que o modelo nunca explicará. Outras como a do bóson de Higgs, podem levar a modificações na teoria. Se a partícula, prevista teoricamente pelo modelo para explicar a massa das partículas, não for detectada, a teoria terá que ser modificada. As teorias físicas não são definitivas, ainda que sejam tão bem sucedidas como o Modelo Padrão.

Muito importante também são os aceleradores de partículas pois é um aparelho que produz feixes de átomos, elétrons, moléculas ou algumas partículas mais exóticas, como antiprótons, pósitrons ou mésons, com velocidades altas, geralmente superiores a 1/1000 da velocidade da luz c . Para que sejam atingidas estas velocidades, que em alguns casos chegam quase na velocidade da luz, as partículas sofrem a ação de forças eletromagnéticas, com arranjos que diferem bastante entre os diversos tipos de aceleradores. Todos os tipos de aceleradores independentemente de seu grau de avanço tecnológico obedecem aos mesmos princípios básicos. Divido a disposição geométrica dos campos eletromagnéticos responsável pela aceleração das partículas, basicamente são classificados em dois tipos: cíclicos e lineares.

No acelerador de partículas circular as partículas são disparadas em círculos cada vez mais rápidos, por meio de poderosas forças elétricas e quando ganham suficiente rapidez são soltas em um trilho central onde colidem com partículas alvo. Já o acelerador de partícula linear são disparadas duas trajetórias de partículas em alta velocidade, uma contra a outra. Exemplos comuns de aceleradores de partículas existem nas televisões e geradores de raio x, na produção de isótopos radioativos, na radioterapia do câncer, na radioterapia de alta potência para uso industrial e na polimerização de plásticos.

Além das partículas mais básicas, elétrons, prótons e nêutrons, outras também podem ser aceleradas. Por exemplo: existe a possibilidade de se acelerar partículas compostas; ou seja, partículas alfa, que são constituídas por dois prótons e dois nêutrons.

Os Raios Cósmicos também são núcleos altamente energéticos que percorrem o nosso universo; maioritariamente núcleos de H, são formados em ambiente altamente energéticos como explosões de supernovas, caracterizado por um espectro que decresce muito rapidamente com a energia, são absorvidas pela atmosfera terrestre convertendo-se a sua energia numa cascata de partículas, detectados diretamente em estações espaciais e detectados indiretamente usando detectores de cascata de partículas.

REFERÊNCIAS

Gaspar, Alberto. **Física**. ed. Afiliada, 2003

Gaspar, Alberto. **Eletromagnetismo e Física Moderna**. São Paulo: Ática, 2000.v.3.

Junior, Dulcídio. **Tópicos de Física Moderna**. ed. Companhia da Escola Campinas, 2002

Walker, Halhday. **Fundamentos da Física**. ed. ABPDEA

Partículas e Interações. Disponível em: www.if.ufrgs.br/~moreira

A Física dos Quarks e a Epistemologia. Disponível em: www.if.ufrgs.br/~moreira

Texto 6: Categoria Intermediária – Estudo III

Centro Universitário
UNIVATES

Texto para Ensino Médico sobre
Partículas Elementares

Luciana
César

Lajeado 05, de Setembro de 2007

FÍSICA DE PARTÍCULAS

Do que o mundo é feito?

Até pouco tempo acreditava-se que qualquer coisa era composta por átomos, ou seja, átomo era considerado a menor parte da matéria. Por volta de 1909 Rutherford, com o objetivo de testar esse conceito de átomo como esfera impermeável realizou o experimento da folha de ouro, onde partículas emitidas por uma fonte radioativa deveria atingir uma folha de ouro muito fina através de um feixe de partículas alfa (as partículas alfa têm massa muito pequena comparada à do átomo de ouro). Em volta da folha de ouro havia uma tela recoberta com sulfeto de zinco, de maneira que as partículas alfa que atingissem a tela deixassem marcas microscópicas no sulfeto de zinco.

O objetivo desse experimento era justificar a teoria de que os átomos eram esferas permeáveis neutras. Esperava-se que as partículas alfa carregadas e de alta energia não tivessem problemas ao atravessar rapidamente alguns átomos. As partículas alfa deveriam apenas atravessar em linha reta a folha de ouro e deixar uma pequena região na frente da tela marcada por pontos.

De fato, a tela apresentou pontos principalmente na parte frontal mas, para grande surpresa de todos, algumas partículas foram espalhadas na parte de trás da tela.

Observando isso Rutherford concluiu que a maioria das partículas alfa passava facilmente através da parte mais externa do átomo, porém algumas partículas alfa deveriam ter batido em algo dentro do átomo que era pequeno, denso, e carregado positivamente.

Embora isso negasse sua hipótese de que os átomos fossem esferas permeáveis, proporcionava uma nova hipótese de que os átomos tinham núcleo, e que ao redor deste “vagueiam” elétrons aleatoriamente.

ACELERADOR DE PARTÍCULAS

O estudo das partículas elementares constituintes do núcleo atômico se iniciou em um pequeno acelerador de partículas desenvolvido em 1927 por físicos ingleses.

Equipes de vários físicos tem como objetivo a busca incessante de novas partículas, muitas dessas somente são observadas em aceleradores de grande porte. A busca de novas partículas revelou novas propriedades, além das propriedades já conhecidas das partículas (massa, carga e spin) que recebem nomes como estranheza, charm e cor.

A partir da década de 50, vários países vem construindo aceleradores de partículas, cada vez mais sofisticados capazes de facilitar a observação de novas partículas previstas por várias teorias.

Uma das considerações mais importantes nestes experimentos é a questão de como distinguir se uma partícula é elementar ou se ainda é composta por outras partículas, assim como aconteceu com o próton e nêutron os quais foram considerados partículas elementares, (o que na verdade não eram) e então descobriram que os prótons e nêutrons são compostos por partículas ainda menores, chamadas de quarks.

Equipes de vários físicos tem como objetivo a busca incessante de novas partículas, muitas dessas somente são observadas em aceleradores de grande porte. A busca de novas partículas revelou novas propriedades, além das propriedades já conhecidas das partículas (massa, carga e spin) que recebem nomes como estranheza, charm e cor.

Nos aceleradores, as partículas são primeiro aceleradas, atingindo energias muito elevadas e velocidades próximas a da luz, e depois levadas a colidir com outras partículas que se deslocam em direção oposta. Dessa colisão, explosão, resultam partículas exóticas.

Em 2008 os físicos se preparam para o grande Colisão de Hádrons, acelerador de partículas em construção no Gern. Com isso, serão então capazes de simular e estudar condições que ocorreram durante o primeiro microssegundo do Big Bang.

RAIOS CÓSMICOS

Os Raios Cósmicos são partículas rapidíssimas que provêm do espaço exterior e bombardeiam constantemente a terra, de todos os lados. A cada segundo, cerca de 200 dessas partículas com energias de alguns milhões de eletrons-volts (10^5 eV) atingem cada metro quadrado de nosso planeta. Existe um número enorme desses raios cósmicos de baixa energia, mas os de maior energia são em número muito menor. Acima de 10^{18} eV, chega apenas uma partícula por semana em uma área de 1 quilômetro quadrado. Acima de 10^{20} eV, esse número cai para uma partícula por quilômetro quadrado por século! Para encontrar e medir essas partículas, os físicos de raios cósmicos precisam esperar séculos ou então construir gigantescos detectores.

A maior parte das partículas da radiação cósmica são ou núcleos de átomos ou elétrons. Dos núcleos, a maioria são núcleos de hidrogênio, mas existem também alguns mais pesados, chegando até aos núcleos de átomos de chumbo.

Os raios cósmicos viajam pelo espaço praticamente com a velocidade da luz, isso significa que eles têm uma enorme energia. Alguns deles, de fato, são as partículas mais energéticas jamais observadas na natureza. Os de maior energia são uma centena de milhões de vezes mais energéticos do qualquer outra partícula produzida nos maiores aceleradores de partículas do mundo.

Ninguém sabe de onde vêm essas misteriosas partículas. A grande parte dos de menor energia vem do sol e de nossa própria Galáxia, a Via Láctea. Muitos provavelmente vêm de explosões de estrelas, as Supernovas. Outra descoberta importantíssima para Física, ocorreu por volta de 1947, partindo da análise de raios cósmicos houve a descoberta da subpartícula méson pi, pelo físico brasileiro César Lattes.

Atualmente, há evidências de que acima de 10^{20} eV essas partículas são prótons. Sendo assim, a sua origem não está dentro de nossa galáxia, pois os prótons se propagam em linha reta e as fontes dentro de nossa galáxia seriam rapidamente identificadas. Entretanto, as direções de onde eles vêm têm uma distribuição isotrópica (todas são igualmente prováveis).

MODELO PADRÃO

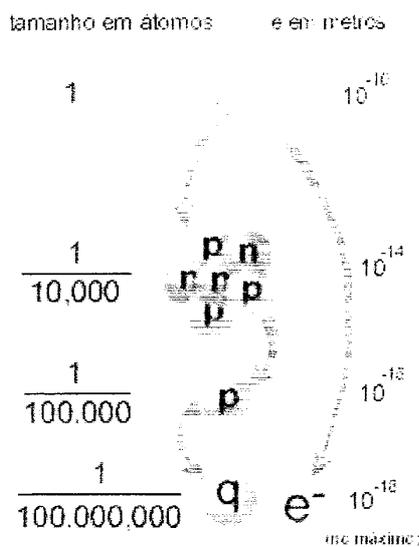
Os físicos desenvolveram uma teoria chamada O Modelo Padrão, que explica o que é o mundo e o que o mantém unido. É uma teoria simples e compreensível que explica todas as centenas de partículas e interações complexas com apenas:

- 6 quarks.
- 6 léptons. O lépton mais conhecido é o elétron.
- Partículas transportadoras de força, como o fóton.

Todas as partículas de matéria que nós conhecemos são compostas de quarks e léptons, e elas interagem trocando partículas transportadoras de força.

O Modelo Padrão é uma boa teoria. Experimentos têm confirmado suas previsões com uma precisão incrível, e todas as partículas previstas por essa teoria já foram encontradas.

Temos como modelo Padrão este:



Os elétrons estão em constante movimento em torno do núcleo; os prótons e os nêutrons vibram dentro do núcleo e os quarks vibram dentro dos prótons e nêutrons.

Esta figura está bastante distorcida. Se fossemos desenhar o átomo em escala e fizéssemos os prótons e nêutrons com um centímetro de diâmetro, então os elétrons e quarks deveriam ter um diâmetro menor do que o de um fio de cabelo e o diâmetro do átomo inteiro deveria ser maior que o comprimento de **trinta campos de futebol!** 99,999999999999% do volume de um átomo é apenas espaço vazio!

Ao mesmo tempo que um átomo é pequeno, o núcleo é dez mil vezes menor que o átomo, e os quarks e elétrons são pelo menos dez vezes menores que eles. Não sabemos exatamente quão menores os quarks e elétrons são; eles são definitivamente menores que 10⁻¹⁸ metros, e podem ser literalmente pontos, mas nós não sabemos com certeza.

Também é possível que os quarks e os elétrons não sejam fundamentais de fato, e eventualmente acabem sendo constituídos de outras partículas mais fundamentais.

Porém, existem algumas limitações neste modelo:

- Não consegue incluir a gravidade porque a força gravitacional não tem a mesma estrutura das três outras forças, a partícula mediadora e hipotética o gráviton – não foi ainda detectada;
- Não se adequam à teoria quântica;
- Outro problema é o bóson de Higgs, no modelo interações com o campo de Higgs fariam com que as partículas tivessem massa. Porém, o modelo não explica bem essas interações;
- O bóson de Higgs está ainda por ser detectado;
- A assimetria matéria-antimatéria não é explicada

Como toda a teoria física, esse modelo não pode explicar tudo. Há coisas que o modelo nunca explicará. O importante aqui é dar-se conta que o Modelo Padrão da Física de Partículas é a melhor teoria sobre a natureza jamais elaborada pelo homem, com muitas confirmações experimentais, mas nem por isso é uma teoria definitiva. As teorias físicas não são definitivas ainda que sejam tão bem sucedidas como o Modelo Padrão

QUARKS

Quarks são um tipo de partícula de matéria. A maior parte da matéria que vemos em nossa volta é feita de prótons e nêutrons, os quais são compostos de quarks.

Existem **seis quarks**, mas os físicos usualmente falam em termos de três pares: up/down, charmoso/estranho e top/bottom. (para cada um desses quarks, existe um antiquark correspondente.) Alegre-se porque os quarks têm nomes tolos assim fica fácil lembrá-los!

Os quarks têm a característica não usual de possuírem uma carga elétrica fracionária, diferente da do próton e do elétron, que têm cargas inteiras de +1 e -1, respectivamente. Os quarks também transportam outro tipo de carga, denominada carga de cor, que discutiremos mais tarde.

O quark mais difícil de ser encontrado, o quark top, foi descoberto em 1995 depois de ter sido previsto teoricamente 20 anos antes.

Os Quarks podem ter carga elétrica de $\pm 2/3$ ou $\pm 1/3$, porém formam somente composições de partículas com cargas elétricas inteiras. Todas as outras partículas têm múltiplos inteiros da carga do elétron.

Um quark transporta uma das três cargas de cor e um glúon transporta uma das oito cargas de cor-anticor. Todas as outras partículas têm cor neutra.

Para entender o que está acontecendo dentro do núcleo, nós precisamos saber mais sobre os quarks que compõem os prótons e nêutrons no núcleo. Os quarks além da carga eletromagnética têm outro tipo de carga, a chamada carga de cor. A força entre partículas carregadas com cor é muito forte, por isso essa força é, criativamente, chamada de forte.

Abaixo tabela de classificação dos Quarks:

	Sabor	Carga	massa(especulativa)		
			Massa	efetivo	
				em bárions	em mésons
Primeira Geração	d	$- 1/3$	7,5	363	310
	u	$+ 2/3$	4,2	363	310
Segunda Geração	s	$- 1/3$	150	538	483
	c	$+ 2/3$	1.100	1500	
Terceira Geração	b	$- 1/3$	4.200	4700	
	t	$+ 2/3$	>23.000		

Os Quarks confinados formam os hádrons que por sua vez se dividem em duas classes: os bárions – (são os nêutrons, prótons e ômegas); e os mésons – (são os pi mais, pi menos, K mais, K menos, rho mais e rho menos)

LÉPTONS

Léptons comportam-se como Férmions (são partículas caracterizadas pelo seu momento angular, ou spin e são quaisquer partículas que obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli) e não são feitos de quarks. Um lépton pode ser um elétron, um múon, um tau ou um dos seus neutrinos respectivos.

Os léptons podem ou não ter carga elétrica. Os neutrinos não tem carga, e os electrons, os muons e os taus têm carga equivalente a uma unidade. As respectivas antipartículas têm carga oposta. Os leptons não sentem a força nuclear forte, mas interagem com os hadrons pela força nuclear fraca.

Os léptons são os elétrons, os múons, os taus e os três tipos de neutrinos, cada um associado com os outros três tipos de léptons (neutrino eletrônico, neutrino muônico e neutrino tauônico). Cada uma destas partículas tem uma antipartícula.

Apesar de todos os léptons serem relativamente leves, eles não são iguais. O elétron, por exemplo, tem uma carga negativa e é estável, o que significa que não sofre decomposição até à formação de outras partículas elementares. O múon também tem carga negativa, mas tem uma massa 200 vezes maior que a do elétron e decompõe-se até formar outras partículas mais pequenas.

Abaixo classificação dos léptons.

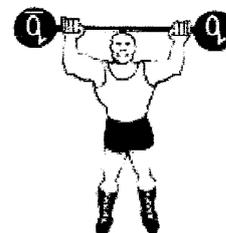
	nome do lépton	carga	massa	tempo de vida	principais decaimentos
primeira geração	elétron	-1	0,511003	infinito	-
	neutrino do elétron	0	0	infinito	-
segunda geração	muon	-1	105,659	$2,197 \times 10^{-6}$	-
	neutrino do muon	0	0	infinito	-
terceira geração	tau	-1	1784	$3,3 \times 10^{-13}$	-
	neutrino do tau	0	0	infinito	-

FORÇA NUCLEAR FORTE

A força forte segura os quarks grudados para formar hádrons; então, suas partículas transportadoras são caprichosamente chamadas de glúons porque elas "colam" os quarks juntos ("to glue" significa colar em inglês).

Os Hádrons são partículas elementares que interagem segundo a Força Nuclear Forte. Esta é a força que não só mantém os prótons e nêutrons coesos, formando núcleos atômicos, mas também é responsável pelo comportamento dos hádrons quando partículas de alta energia colidem com os núcleos.

A carga de cor comporta-se de modo diferente da carga eletromagnética. Os glúons possuem carga de cor, o que é estranho, mas não tanto quanto os fótons que não têm carga eletromagnética. E enquanto os quarks têm carga de cor, as partículas compostas de quarks não têm essa carga (elas têm cor neutra). Por essa razão, a força forte apenas é levada em consideração em interações entre quarks. Por isso você não está habituado com a força forte no seu cotidiano.



FORÇA NUCLEAR FRACA

Existem seis tipos de quarks e seis tipos de léptons. Mas toda matéria estável do universo parece ser composta de apenas dois quarks leves, o quark up e o quark down, e do lépton carregado mais leve, o elétron.

Interações fracas são as responsáveis pelo decaimento de quarks e léptons pesados em quarks e léptons mais leves. Quando partículas fundamentais decaem observamos seu desaparecimento e sua substituição por duas ou mais partículas diferentes. Mesmo que o total de massa e energia seja conservado, um pouco da massa original da partícula é convertido em energia cinética, e as partículas resultantes sempre têm menos massa que a partícula original que decaiu.

A única matéria estável ao nosso redor é composta dos menores quarks e léptons, que não podem mais decair.

Como já foi dito os quarks e os glúons são partículas carregadas com cor. Do mesmo jeito que partículas eletricamente carregadas trocam fótons em interações eletromagnéticas, partículas carregadas com cor trocam glúons em interações fortes. Quando dois quarks estão perto um do outro, eles trocam glúons e criam um campo de força de cor muito forte, que mantém os quarks unidos. O campo de força fica mais forte à medida que os quarks vão se afastando. Os quarks constantemente mudam a sua carga de cor enquanto trocam glúons com outros quarks.

Existem três cargas de cor e três cargas anticor correspondentes (cor complementar). Cada quark tem uma das três cargas de cor e cada antiquark possui uma das três cargas de anticor. Assim como uma mistura de luzes vermelha, verde e azul resulta em luz branca, num bárion a combinação de cargas de cor vermelha, verde e azul é uma cor neutra, e num antibárion, antivermelho, antiverde e antiazul também é cor neutra. Os mésons são neutros em cor porque eles transportam combinações como vermelho e antivermelho.

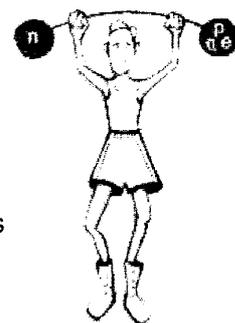
Os glúons podem ser considerados como transportando uma cor e uma anticor, pois eles sempre mudam uma dada cor em uma anticor. Já que existem nove possíveis combinações cor-anticor podemos esperar nove diferentes cargas de glúon, mas a matemática funciona como se houvesse apenas oito combinações. E infelizmente, não há uma explicação intuitiva para esse resultado.

"Cargas de cor" não têm nenhuma relação com as cores visíveis; são apenas uma nomenclatura conveniente para um sistema matemático que os físicos desenvolveram para explicar suas observações sobre os quarks em hádrons.

Quando um quark ou lépton muda de tipo (um múon transforma-se em um elétron, por exemplo) dizemos que ele mudou de sabor. Todas as mudanças de sabor são devidas à interação fraca.

As partículas transportadoras das interações fracas são as partículas W^+ , W^- , e a Z . As W são carregadas eletricamente e a Z é neutra.

O Modelo Padrão uniu as interações eletromagnética e fraca em uma interação unificada chamada eletrofraca.



Abaixo segue tabela das partículas mediadoras de forças, que são os fótons, glúons, W e Z , e grávitons, que são usadas para construir outras partículas, ditas verdadeiramente elementares.

mediador	carga	massa	tempo de vida	força	
gluon	0	0	infinito	forte	
fóton	0	0	infinito	eletromagnética	eletrofraca
W^{\pm}	± 1	81800	desconhecido	fraca (carregada)	
Z^0	0	92600	desconhecido	fraca (neutra)	

Fechamento

Uma primeira idéia é importante reter: as coisas que seguem são referentes às partículas possíveis no universo e não só ao que existe á nossa volta. Isto quer dizer que todas as partículas e nomenclaturas que existem referem-se aos estados da energia-matéria possíveis em todo o universo, mas neste nosso cantinho a que chamamos Terra e em todo o espaço seu circulante não existem a maior parte das partículas e das formas de matéria previstas pela Física de Partículas. Um dos maiores esforços desta ciência foi a de catalogar e ordenar as partículas todas que podem ser formadas nas mais diversas reações. Assim os físicos organizaram as partículas já descobertas.

Bibliografia:

Brás JR, (2002) Dulcideo. Física Moderna Editora Companhia da Escola;
 Bachelard, G. (1971). Epistemologia. Barcelona, Editorial Anagrama;

Texto 7: Categoria Inferior – Estudo I

Levaremos em consideração que os alunos já estudaram os decaimentos alfa e beta.

Partículas elementares

A matéria é composta por prótons, elétrons e nêutrons, e numa primeira aproximação, podemos descrever a estrutura do universo através delas.

Interações de partículas carregadas

Diferentes partículas interagem de diferentes maneiras com a matéria. Estas interações são importantes de um ponto de vista prático, pois estão relacionadas com os vários tipos de radiação utilizados em pesquisa, na indústria e na medicina.

Partículas pesadas carregadas, perdem energia ao passar através da matéria principalmente por interações elétricas com elétrons atômicos. Estes elétrons são levados a estados excitados ou, posteriormente, são puxados inteiramente de seus átomos originais. Muitos dos elétrons ejetados tem energia suficiente para ionizar átomos por onde passa. Por causa da massa das partículas incidentes ser muito maior que a do elétron, ele praticamente não sofre nas suas interações, e perde gradualmente velocidade, até parar.

Hádrons

Todas as partículas, exceto os fótons, podem ser classificadas em duas grandes categorias: hádrons e léptons; conforme as interações que sofrem. As partículas que interagem pelas forças fortes são os hádrons. Há duas classes de hádrons, os mésons e os bárions. Estas partículas podem ser classificadas pelas respectivas massas e spins.

Os mésons tem spins nulos ou inteiros (0 ou 1), com massa entre a massa do elétron e a massa do próton.

Os bárions, a segunda classe de hádrons, tem massa igual à do próton ou maior que a do próton (daí o nome bárions, que significa pesados em grego). Os prótons e os nêutrons estão na família dos bárions, como muitas outras partículas.

Acredita-se hoje que os hádrons sejam formados por partículas mais elementares, os quarks.

Léptons

Os léptons (do grego leptos, leve ou pequeno) são um grupo de partículas que participam da interação fraca. Neste grupo estão os elétrons, os múons e os neutrinos, todos mais leves que o mais leve dos hádrons.

Leis de conservação

As leis de conservação são importantes para se entender a razão da ocorrência de certas desintegrações ou de certas reações e da inexistência de outras. Em geral as leis da conservação da carga elétrica proporcionam um conjunto de regras que devem ser seguidas por todos os processos. Por exemplo, a conservação da carga elétrica exige que a carga total antes e depois da reação ocorrer deve ser igual.

Várias novas leis de conservação são importantes no estudo dos decaimentos e reações de partículas elementares. Duas delas são a lei da conservação do número bariônico e a lei da conservação do número leptônico. Embora não tenham fundamentação teórica, são as leis sustentadas por indícios experimentais abundantes.

Número bariônico

Para entender melhor o que segue, é necessário saber que para cada partícula existe sempre tem uma antipartícula, que significa a própria partícula com sua carga contrária.

A conservação do número bariônico exige que sempre que houver a criação de um

báron numa reação ou num decaimento, também tem que haver de um antibáron. Esta regra pode ser quantificada atribuindo-se um número bariônico $B=+1$ a todos os antibárions e o número bariônico $B=0$ a todas as partículas. Assim a lei da conservação do número bariônico pode ser enunciada como segue:

Sempre que ocorrer uma reação nuclear ou um decaimento nuclear, a soma dos números bariônicos antes do processo deverá ser igual à soma dos números bariônicos depois do processo.

Se não fosse pela lei da conservação do número bariônico, o próton poderia decair num prótiron e num pión neutro.

Número leptônico

Há três tipos de léptons: o elétron, o múon e o lépton tau. Cada uma destas partículas está associada a um neutrino. São três as leis de conservação referentes aos números leptônicos, uma para cada tipo de lépton. A lei da conservação do número leptônico-eltrônico afirma:

A soma dos números leptônicos-eltrônicos antes e depois de uma reação ou de um decaimento deve ser igual à soma dos números leptônicos-eltrônicos depois da reação ou decaimento.

O elétron (e^-) e o neutrino de elétron (ν_e) têm o número leptônico $L_e=+1$, os antiléptons e^+ e $\bar{\nu}_e$ têm o número leptônico $L_e=-1$.

Partículas estranhas e estranheza

Muitas partículas descobertas na década de 50 foram produzidas por interação forte de píons com prótons e nêutrons na atmosfera. Um grupo destas partículas, as partículas Λ , Σ e Ξ , apresentavam propriedades incomuns nos modos de produção e de decaimento e foram por isso denominadas partículas estranhas. Uma propriedade incomum era a de serem produzidas sempre aos pares.

A fim de explicar estas propriedades incomuns das partículas estranhas, foi introduzida uma nova lei de conservação da estranheza, juntamente com um novo número quântico S , denominado estranheza. A produção aos pares das partículas estranhas se explica atribuindo-se $S=+1$ a uma delas e $S=-1$ a outra. As partículas que não forem estranhas, como os mésons π , os prótons e os léptons, têm a estranheza $S=0$. A lei da conservação da estranheza pode ser enunciada como segue:

Sempre que ocorre uma reação nuclear ou um decaimento, a soma das estranhezas antes do processo é igual à soma das estranhezas depois do processo.

Pode-se explicar o lento decaimento das partículas estranhas admitindo-se que as interações forte e eletromagnética obedecem à lei de conservação da estranheza, enquanto que a interação fraca não obedece esta lei. Uma vez que a reação de decaimento envolve a perda de uma partícula estranha, viola a conservação da estranheza e então procede pela via da interação fraca.

O modelo original dos quarks

Em 1963, Murray Gell-Mann e George Zweig propuseram independentemente que os hádrons conhecidos (bárions e mésons) têm uma estrutura mais elementar. Conforme este modelo, todos os hádrons são sistemas compostos por dois ou três constituintes fundamentais, denominados quarks.

Texto 8: Categoria Inferior – Estudo II

UNIVATES
Centro universitário

FÍSICA DAS PARTÍCULAS

Nome: ^{Mara}
Professora: Isabel Krey
Curso: Ciências Exatas
Matéria: Estrutura da matéria

Lajeado, 25 de setembro de 2006

FÍSICA DAS PARÍCULAS

No início quando o átomo foi proposto achava-se que era algo muito pequeno, indivisível e também uma esfera permeável.

Por volta de 1930, sabia-se que o núcleo do átomo era feito de partículas positivas chamadas prótons. E ao seu redor circulavam os elétrons, que são partículas negativas.

Já em 1932, o físico inglês James Chadwick, propôs a existência de outra partícula sem carga, chamada de nêutron, que deveria conviver com os prótons no núcleo. E ainda no mesmo ano James Chadwick conseguiu comprovar sua tese. Foi a partir daí que começou o estudo da força nuclear forte. Essa força é atrativa, e se opondo a força repulsiva Coulombina, mantendo o núcleo coeso a força repulsiva é a repulsão ou afastamento, sofridos na mesma direção e em sentidos opostos. Um ano antes de começar o estudo da força nuclear forte Enrico Fermi havia descoberto uma força nuclear que mais tarde seria chamada de nuclear fraca, responsável por algum tipo de desintegração atômica.

Em 1930 Wolfgang Paul, sugeriu a existência de uma partícula. Essa partícula deveria ter a sua carga nula. Então através de uma análise mecânica mais apurada mostrou que a nova partícula deveria ter uma massa pequena. Então Enrico Fermi, chamou essa partícula de neutrino.

INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

Na física moderna, quando dois corpos exercem forças mútuas chamadas ação e reação, elas estão trocando partículas. Essas partículas são chamadas de mediadoras, e a força passa então, a ser chamada de interação.

Na física moderna, há quatro interações fundamentais:

- * Interação gravitacional-atrativa;
- * Interação eletromagnética-atrativa ou repulsiva;
- * Interação forte atrativa, ou nuclear forte;
- * Interação fraca atrativa, ou nuclear fraca;

O neutrino não apresenta interação eletromagnética nem interação forte. Existe um pouco de interação gravitacional, pois a massa do neutrino é muito pequena.

Em sua teoria relativista do elétron, em 1928, Paul Adrien Maurice Dirac, notou a existência de uma partícula idêntica ao elétron, mas com carga oposta.

Em 1932 Carl Anderson, usando um tipo de radiação que vem do espaço, chamado de raio cósmico detectou o antielétron, também chamado de pósitron.

Com o avanço da tecnologia na construção de aceleradores de partículas em 1955 foram descobertos os antiprótons e os antinêutrons.

No nosso dia-a-dia não detectamos antimatéria, pois se a matéria, se encontrar com a antimatéria a massa pode ser convertida em energia.

A partir daí os cientistas imaginaram que para uma partícula deveria existir outra do mesmo spin e mesma massa, mas com cargas elétricas opostas, chamadas antipartículas.

INTERAÇÃO FORTE

Os quarks podem ter carga vermelha, verde ou azul, mas não tem nada a ver com a carga elétrica e nem com a cor, o nome das cores é só para diferenciar uma outra propriedade dessas partículas.

Através da carga de cor, os quarks, atraem-se em pequenas distâncias 10 m. Essa interação é de curto alcance.

A partícula mediadora é chamada de glúon que “colam” os quarks para formarem os prótons e os nêutrons.

INTERAÇÃO FRACA

Se compararmos com a outra força nuclear, essa é bem mais fraca, por isso que foi dado esse nome. Também atua em curtíssimas distâncias 10 m.

As partículas mediadoras são: w^+ , w^- e z^0 .

SUBDIVISÃO DAS PARTÍCULAS

As partículas podem se dividir em léptons e hádrons.

Léptons são partículas extranucleares e tem spin $\frac{1}{2}$ e não participam da coesão do núcleo, isso quer dizer que não fazem parte da força nuclear forte.

Hádrons são partículas que integram via força nuclear forte e isso, então mantém a coesão nuclear.

Os LÉPTONS são: Elétron, antipróton (pósitron), múon, antimúon tau, antitau neutrinos e antineutrinos.

Os HÁDROS são: Próton, antipróton, nêutron, antinêutron.

QUARKS

Em 1964, segundo a teoria proposta por Murray Gell-Man e George Zweig, em trabalhos independentes, os hádrons, que naquela época já eram mais de uma centena seriam formados por partículas ainda menores e foram chamadas QUARKS por Gell-Man.

Quarks são partículas fundamentais da matéria, que estão unidas. Tem carga elétrica e são coloridos, e há seis espécies, os sabores que são: Up, down, charmed, strange, bottom e top, cada uma das espécies podem apresentar-se em três edições chamadas cores(vermelho, verde, e azul) totalmente dezoito quarks. Cada um deles tem sua antipartícula. Então o número total é trinta e seis.

A partir daí, então estava nascendo o modelo padrão, que desde 1960 até os dias atuais sofreu inúmeras correções, mas ainda, até hoje é o modelo atômico mais completo que existe, onde traz a concepção mais moderna do átomo e sua estrutura, levando em consideração:

* Todas as partículas já descobertas.

* Todas as interações conhecidas(gravitacional, eletromagnética, a nuclear fraca e a nuclear forte).

O modelo padrão descreve a teoria das partículas e a estrutura das partículas e os processos analisados até aqui, sem entrar em considerações teóricas e fundamentos experimentais. O modelo padrão pressupõe que a matéria é constituída por duas espécies de partículas, léptons e quarks, a que acrescentamos bósons intermediários que transportam as interações entre partículas. Supõe-se que tantos os léptons como os quarks são semelhantes a pontos, e não apresentam estrutura.

O modelo padrão, explica também do que o mundo é feito e o que mantém unido.

ACELERADORES DE PARTÍCULAS

Os aceleradores de partículas são equipamentos que fornecem energia a feixes de partículas subatômicas eletricamente carregadas. Todos os aceleradores de partículas, fazem a concentração de alta energia em um volume pequeno e em posições arbitradas e controlada de forma precisa.

• Como exemplo de aceleradores de partículas,(existem nas) televisões, geradores de raio-x, na radioterapia do câncer, etc.

Além dos elétrons, prótons e nêutrons, outras partículas também podem ser aceleradas. Pode-se acelerar partículas compostas, como partículas alfa que são constituída por dois prótons e dois nêutrons.

TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS (TRC), DE APARELHO DE TELEVISÃO.

Estes dispositivos dispõem, numa de suas extremidades, um cátodo onde os elétrons ganham energia pelo aquecimento, escapando dos seus átomos e ficando “livres”.

Cada elétron possui uma negatização individual. Ao se destacar do cátodo aquecido pelo filamento, estas partículas ficam expostas a um campo elétrico estabelecido pela aplicação de diferença de potencial entre aquele cátodo e o outro extremo, ou ânodo nas proximidades do ecrã.

Uma vez emitidos, os elétrons são acelerados em, direção a um foco elétrico chamado grade de controle e a um ânodo. A diferença de potencial aplicada à grade de controle determina a corrente elétrica ou fluxo elétrico, mais fluxo, mais brilho, menos fluxo, menos brilho, ou seja, controla o bombardeio de elétrons no ecrã.

A IMPORTÂNCIA DOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS

Os aceleradores, são também fundamentais em aplicações. Os microcircuitos de um computador são fabricados acelerando íons a dezenas de milhares de ev e jogando-os contra uma pastilha de silício. Estes aceleradores são chamados implantadores e sem eles não haveria nem a eletrônica moderna nem os computadores. Outras aplicações existem na medicina, onde frequentemente aceleradores de elétrons com 20 milhões de ev são usados para irradiar pacientes com câncer (os elétrons destroem o tecido canceroso). Na medicina também são usados para fazer a produção de substâncias radioativas, as quais podem ser usadas para tratar o câncer. Um tubo de raio-x, equipamento usado rotineiramente no diagnóstico médico desde meados deste século XX, é um acelerador de elétrons, que atinge algumas dezenas ou centenas de milhares de ev e incidem sobre uma folha metálica, cujos átomos emitem raio-X.

BIBLIOGRAFIA

Xérox proposto pela professora:

Livro: Alonso Marcelo
Finn j. Edward

Internet: “aventuradasparticulas.if.unesp.br/”

ANEXO IV

Questões propostas pelos alunos

UNIVATES – CENTRO UNIVERSITÁRIO
Disciplina de Estrutura da Matéria – 2006

Na primeira avaliação, cada aluno elaborou *situações-problema* sobre partículas elementares que tivessem como objetivo facilitar para os alunos de Ensino Médio a aprendizagem dos conceitos abordados.

Reunidos em grupos, estas questões foram devolvidas para os alunos que analisaram e comentaram cada *situação-problema*, levando em conta os itens abaixo:

- a) Se faz parte do conteúdo (conceitos que foram trabalhados nesta disciplina até aqui);
- b) Se o grupo consegue identificar o conceito envolvido. Se sim, dizer qual;
- c) Se o grupo consegue responder a questão;
- d) Se facilita a construção do conhecimento ou é apenas memorística;
- e) Reformular a questão, de forma a contemplar os itens anteriores.

A seguir estão as questões, como foram propostas e como foram modificadas (em itálico). Comentários da professora estão em negrito.

1. A “Dança no Gelo” apresentada no Domingão do Faustão, resolveu ser incrementada. Os participantes devem patinar, é claro, dançar e introduzir em suas apresentações bolas. Um fato interessante ocorreu na apresentação de Murilo Rosa e sua professora e parceira no programa. Murilo Rosa arremessou, usando duas mãos, uma bola, que foi em direção à sua parceira. No momento do arremesso, Murilo Rosa deslocou-se para trás e sua parceira, ao recebe-la, também deslocou-se para trás. Fazendo um análogo, podemos afirmar que esta situação assemelha-se com as forças de repulsão que ocorre na interação Eletromagnética entre um elétron e um núcleo atômico. Sabe-se que a força de atração também ocorre tanto na Interação Eletromagnética quanto nas Interações fraca, forte e gravitacional. Já a força atrativa só poderemos exemplificar no momento em que dois apaixonados se encontram e se beijam.

a) *Sim.*

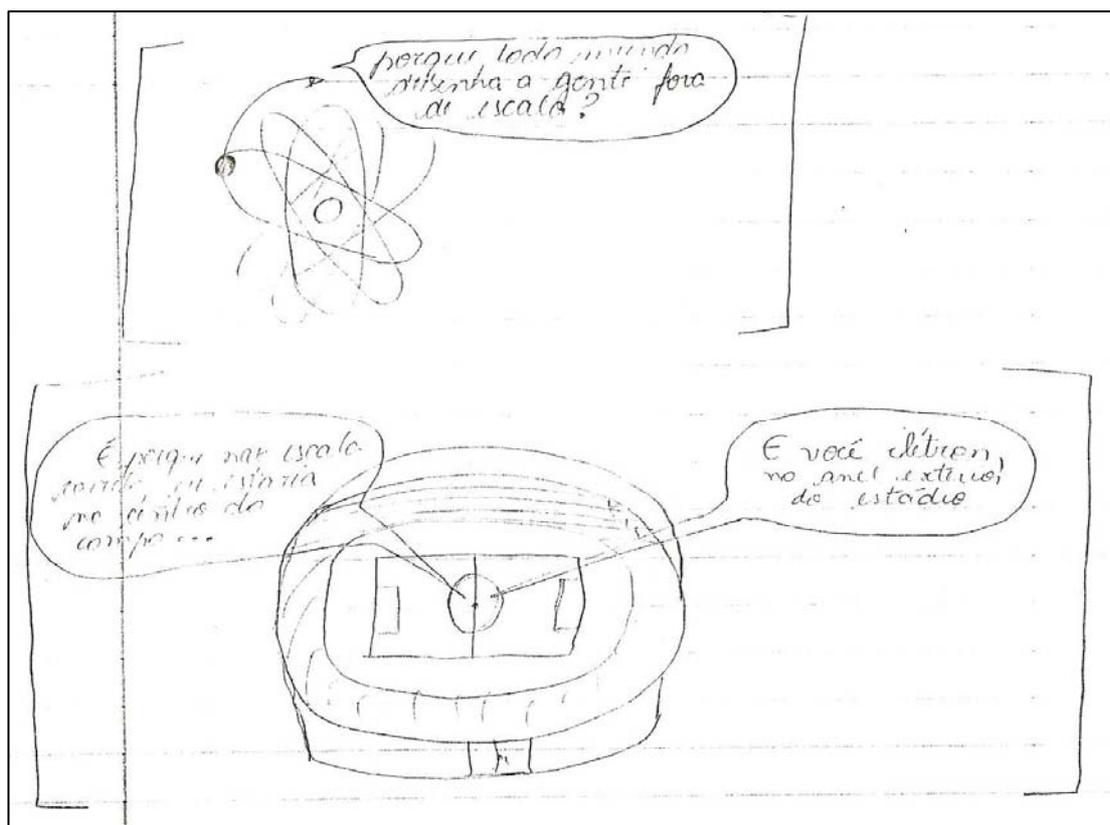
b) c) *Sim. Conseguimos identificar o conceito e entendê-lo melhor*

d) *Facilita a construção do conhecimento e é bem criativa. **Apenas temos que cuidar como o fato de que quando os patinadores se beijam não há troca de partículas entre eles.***

2. Em um aniversário muito animado, tinha um balão surpresa. O mesmo continha grande quantidade de guloseimas. Em certa hora, o balão foi estourado e todos e todas as crianças que ali estavam atacaram as guloseimas. Porém cada uma delas estava disposta a pegar só um tipo de doçura. João pegou 6 bombons, Marina pegou 6 pirulitos, Paulo catou 4 balas de chocolate, assim por diante até tudo estar distribuído de acordo com os gostos dos convidados. Também podemos analogicamente ver que dentro de um átomo existem inúmeras partículas que se agrupam conforme suas semelhanças ou conveniências.

a) b) c) d) *A analogia é interessante, porém faltou uma relação maior com o conteúdo, tornando-a um pouco confusa. Não lança nenhum questionamento, apenas faz uma analogia ao átomo. Reformulada pode contribuir na construção do conceito.*

3. Observe esta “tirinha” e explique utilizando conceitos sobre física de partículas.



- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim.*
- d) *Constrói o conceito.*

4. Sabemos que ao passar dos anos muitas partículas já foram consideradas elementares, porém deixaram de ser ao ser descoberto que ainda eram compostas por outras partículas. Sabemos também que um dia um físico disse “Se eu conseguisse lembrar os nomes dessas partículas, teria sido botânico!”, justamente porque muitas partículas novas foram descobertas. Porém segundo o modelo padrão podemos explicar “o que é o mundo” em poucas palavras, ou seja, utilizando as partículas ditas elementares. Monte uma teoria utilizando o conceito de partículas.

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Explicita os conceitos.*
- c) *Esta questão não valoriza todo o contexto, isto é, a parte final poderia ser reescrita ou pedir outra coisa, pois a teoria toda está explícita no texto.*
- e) *Sugestão: manter o texto e pedir uma esquematização sobre a teoria nele contida.*

5. Nesta altura da vida você já ouviu falar das forças elétrica e magnética, a união destas forças resulta em uma outra, a força eletromagnética ou interação eletromagnética. Sabendo disso, diga onde pode-se encontrar esta força ou interação.

- a) *Implicitamente faz parte do conteúdo, pois pode se referir tanto à física clássica quanto à moderna.*
- b) *Para respondê-la necessitamos fazer relações com os diferentes assuntos.*
- d) *Pode ser memorística, mas está bem elaborada.*
- e) *Sugestão: poderia se pedir uma esquematização das interações.*

6. a) Você já ouviu falar em gravidade? Ou força da gravidade? Relacionado a quê?
b) Esta força é natural? Ou é “produzida”?
c) Sem esta força, há a possibilidade das pessoas estarem na Terra? Como?
a) b) c) d) *Acreditamos que a força gravitacional, embora presente no estudo das partículas elementares, não mereça tanto destaque, uma vez que o foco de estudo não é esse. Conseguimos responder a questão, que é memorística.*
7. O átomo é constituído por eletrosfera (elétrons) e por núcleo (prótons e nêutrons), isto foi estudado até 1900 e depois surgiu Física Quântica que não é ensinado para os alunos do 2º grau. Por que isto ocorre?
a) *Faz parte do conteúdo.*
b) c) d) *A questão não é clara, mas complicada e impossível respondê-la.*
e) *Por não entendê-la não conseguimos reformulá-la.*
8. Como exemplificar uma partícula mediadora da interação. Quando falar da 3º lei de Newton (Ação e reação) posso dizer que a bola funciona como uma partícula mediadora da interação. Veja: duas pessoas sobre patins estão paradas frente a frente e uma delas segura a bola com uma das mãos. A pessoa que atira e aquela que recebe a bola sofrem recuo. Estes recuos foram na mesma direção e em sentidos opostos.
a) *Faz parte do conteúdo.*
b) *Identificamos o conteúdo, mas o que diz no início da questão não é relacionado com a terceira lei de Newton.*
c) *Por ser uma questão mal elaborada, não conseguimos responder.*
e) *Reformulação: Pensando na terceira lei de Newton como um exemplo da Física Clássica onde duas pessoas sobre patins estão paradas frente a frente e uma delas segura a bola com uma das mãos. A pessoa que atira e aquela que recebe sofrem recuo. Estes recuos foram na mesma direção e sentidos opostos. Com este exemplo, ligado à Física Moderna atar e explicar sobre as partículas mediadoras.*
9. Atingem a atmosfera terrestre com altas energias e colidem com as moléculas do ar. Quem são elas?
a) *A partir da leitura, não podemos ter certeza se esta pergunta faz parte realmente parte deste conteúdo, pois varias coisas podem atingir a atmosfera terrestre.*
b) *Acreditamos que o conceito envolvido na questão seja os raios cósmicos, mas isso somente porque vimos o conteúdo e não porque entendemos a questão.*
c) *Nos achamos que sabemos responder, mas não temos certeza pois a pergunta não está clara o suficiente.*
d) *Esta questão é apenas memorística e não facilita a construção de um conceito.*
e) *Não temos condição de reformular a questão, pois não sabemos o que a pessoa que a formulou gostaria de perguntar.*
10. Faça uma relação entre raio cósmico e partículas elementares.
a) *Faz parte do conteúdo.*
b) *Como está formulado é muito difícil os alunos perceberem, pois deve haver um conhecimento sobre os conceitos envolvidos.*
c) *Os alunos não conseguiriam responder a questão proposta sem saber os conceitos.*
d) *Facilita a construção do conhecimento.*
e) *Para facilitar a questão os alunos devem saber que os raios cósmicos são fontes de partículas elementares e a partir do estudo dos mesmos surgiram as partículas elementares.*

11. Qual a carga elétrica dos léptons?

- a) *Sim.*
- b) *Conseguimos identificar que a pessoa está tentando falar do lépton, mais especificamente, da carga elétrica.*
- c) *Sim, somente após ter visto este conteúdo e saber que não existe apenas um lépton, mas sim seis, e que cada um possui uma carga elétrica específica.*
- d) *Esta questão é meramente memorística, é apenas decorar cargas.*
- e) *Achamos que a pergunta não está muito clara e que esta precisaria ser reformulada da seguinte maneira: Qual é a carga elétrica de cada um dos léptons?*

12. Como os cientistas explicam os instantes iniciais do surgimento do universo?

- a) *É bastante ampla.*
- b) *Não identificamos o conceito envolvido, exatamente.*
- c) *Não.*
- d) *Acreditamos que pelo fato do aluno parar para pensar sobre a questão já constrói o conhecimento.*

13. Como podemos explicar o fato de que os prótons e nêutrons mantêm o núcleo do átomo coeso?

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Implicitamente o conteúdo é abordado (para quem possui algum conhecimento de física de partículas).*
- c) *Encontramos certa dificuldade em responder a questão.*
- d) *Favorece a memorização. **Discordo. Depende do contexto em que é utilizada.***
- e) *Você saberia dizer quais são as interações e como estas agem de forma a manter prótons e nêutrons unidos no centro do átomo? **Esta sim é memorística.***

14. O que nos tenta descrever o Modelo Padrão?

- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Baseado no que já foi estudado, conseguimos responder esta questão e acreditamos que esta pessoa está pedindo que citemos as principais características deste modelo.*
- d) *Esta questão, em nossa opinião, é memorística.*
- e) *Achamos que esta pergunta é muito direta e que antes de falar em Modelo Padrão seria interessante comentar que existe uma teoria atual que tenta explicar as partículas e as suas interações. Além disso, acreditamos que a pergunta não está bem formulada e que ela ficaria melhor da seguinte forma: Atualmente na Física, existe um modelo que tenta descrever a natureza da matéria, ou de que é feito o universo e como se aglutinam suas partes, em termos de quatro forças. Qual é este modelo e quais são as suas principais características?*

15. Como explicar a força repulsiva pela troca de partículas. Considerando duas pessoas patinando no gelo. Uma delas com uma bola em sua mão atira-a diretamente para outra pessoa, e esta, tentando pegar a bola, sofre um recuo e a que atirou também. A bola funciona como uma partícula mediadora da repulsão.

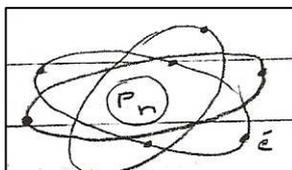
- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Sim, os alunos conseguem identificar o conceito envolvido, porém precisam saber o conceito de partículas.*
- c) *Sim.*

- d) *A questão facilita a construção do conceito.*
 e) *Não precisa ser reformulada.*

16. Utilizando alguma analogia, explique como os cientistas conseguem demonstrar que suas teorias “invisíveis” existem realmente.

- a) *Implicitamente está.*
 b) *Não identifica o conceito.*
 c) *Se soubermos sobre o que se trata, pode-se formular uma resposta bem elaborada.*
 d) *Não facilita a memorização.*
 e) *Sugestão: utilizando alguma analogia, expliquem como os cientistas conseguem demonstrar suas teorias a cerca das partículas elementares existirem realmente. Os alunos talvez não tenham maturidade suficiente para propor tal analogia.*

17. Atualmente, o modelo proposto de átomo, ou melhor, de mais fácil compreensão, é o modelo de Rutherford - Bohr, onde há um núcleo com prótons e nêutrons e a eletrosfera contendo elétrons.



Dentro do núcleo, tendo cargas positivas, como pode-se explicar a não repulsão dos mesmos? Explique pensando na Física de Partículas e interações fundamentais.

- a) *Sim.*
 b) *Sim.*
 c) *Sim.*
 d) *Constrói o conceito.*
 e) *Não.*

18. Sabemos que cargas elétricas de sinais contrários se atraem



E tendo como idéia que entre estas cargas existe uma interação eletromagnética, responda:

- a) *Quais partículas que conhecemos que se atraem?*
 b) *Sabendo da interação eletromagnética e que toda a interação tem uma partícula mediadora, explicar através de conceitos da Física Moderna o que realmente acontece e qual partícula é esta.*
 c) *Quais outras partículas mediadoras existem?*
 a) *Sim.*
 b) *O conceito envolvido pode ser facilmente identificado, seriam as partículas mediadoras e a força que existe entre elas.*
 c) *Com certeza conseguimos responder esta questão.*
 d) *Esta questão facilita a construção do conceito, pois além de envolver conceitos de Física Moderna, ainda envolve outros conceitos que os alunos já conhecem sobre a Física Clássica (prótons e elétrons).*
 e) *Achamos que a questão está bem clara e não precisa reformulação.*

19. (a) Quais são as partículas elementares?

(b) partindo de que instrumento foram descobertas as partículas?

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *A questão é direta ao assunto que se refere.*

c) *É memorística.*

d) *É respondida facilmente.*

e) *Sugestão: Você saberia dizer do que o mundo é feito? Explique como você faria para provar sua teoria.*

20. No conteúdo de partículas elementares trabalhamos com interações fundamentais que por sua vez, subdividida na classe de bósons e conseqüentemente em partículas mediadoras, subdividida em fótons e grávitons.

Através destas partículas mediadoras podemos no ensino médio trabalhar a interação eletromagnética e gravitacional, sucessivamente, onde os grávitons são partículas de massa nula e spin 2. Fótons são também partículas de cargas opostas e repulsão entre partículas de mesma carga, enquanto a troca de grávitons produz só atração.

Em condições terrestres a atração gravitacional é tão fraca que os quanta desta interação são indetectáveis.

Desta forma podemos também comparar a equivalência massa-energia e vice-versa.

Assim, usando cargas negativa e positiva da eletricidade, mostramos a repulsão e atração entre cargas e que demonstra os conceitos de fóton e gráviton.

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Sim.*

c) *Sim.*

d) *Apenas memorística. No final de seu questionamento ainda colocou que poderíamos mostrar através de práticas os conceitos explicados anteriormente.*

21. Considerando que os alunos já tenham estudado que a menor porção da matéria é o átomo e a evolução histórica dos modelos atômicos, o professor de física poderá propor uma investigação mais detalhada do átomo (interdisciplinarizando) levando os alunos a refletirem e buscarem resposta ao questionamento:

Como o núcleo do átomo poderia ser tão estável e coeso se a repulsão com a eletrosfera, já estimada com a lei de Coulomb, era tão grande?

22. Considerando a necessidade dos alunos compreenderem melhor o conceito de força como interação e que a utilização de um exemplo prático é importante nesta compreensão, o professor pode propor o seguinte questionamento aos alunos.

Quando dois corpos exercem forças mutuas, eles na verdade trocam partículas, chamadas de mediadoras e a força entre elas é chamada de interação. Busque responder à questão: Como conceber a repulsão pela simples troca de partículas? Faça uma analogia com um exemplo prático.

a) *Sim.*

b) *Sim.*

c) ***Sim. Apenas porque vocês já tiveram contato com exemplos e analogias anteriormente.***

d) ***Facilita a construção do conhecimento. Apenas se for modificada, servindo como motivação para o estudo de interação como troca de partículas.***

23. Sabendo que os prótons têm carga positiva e os nêutrons têm carga nula, Como explicar o fato deles ficarem “estáveis” no núcleo?

- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim.*
- d) *Facilita a construção do conceito.*

24. Podemos afirmar que os quarks e léptons são os principais constituintes da matéria?

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Não, porque o aluno não sabe o que são quarks e léptons. Assim fica difícil de ter um conceito.*
- d) *Assim como está a questão é memorística.*
- e) *Primeiro o aluno tem que ter um conceito sobre “matéria” e em seguida do que a matéria é constituída para depois relacionar quarks e léptons.*

25. Para iniciar este conteúdo eu pediria uma pesquisa sobre como ficou o mundo após o Big Bang e uma pequena ilustração de como as coisas foram se organizando (partículas).

- a) *Faz parte do conteúdo, entendemos o conceito envolvido.*
- b) c) *Da forma com que foi elaborada a questão trata-se de uma questão ampla e de pesquisa dos alunos.*
- d) *Esta questão com certeza facilita a questão da construção do conteúdo.*
- e) *Para ser mais objetiva, reformularíamos o início da questão. Reformulação: Realizar uma pesquisa sobre como ficou o mundo após o Big Bang e uma pequena ilustração de como as coisas foram se organizando, relacionados com a física das partículas.*

26. Na atmosfera, o O, o N, o dióxido de carbono e outras moléculas zunem à nossa volta com até dez vezes a rapidez do som no ar. De modo que o que o rodeia agora pode ter estado do outro lado do país dias atrás. Quando você exala o ar, espirrando profundamente, o número de átomos exalado é aproximadamente equivalente ao número de respirações completas que cabem na atmosfera terrestre. Em alguns poucos anos, quando sua respiração se misturar uniformemente à atmosfera, qualquer um que inalar ar, e qualquer lugar da Terra, inalará em média, um daqueles átomos que você exalou ao espirrar. Acredite ou não, mas a cada respiração que você dá, você aspira átomos que já fizeram parte de alguém que já viveu. Podemos genuinamente dizer que estamos respirando uns aos outros.

- a) b) c) d) e) *Acreditamos que não está relacionada ao assunto e nem temos nenhuma idéia de reformulação.*

27. É aceito atualmente pela Física um Modelo Padrão das partículas elementares, é um referencial teórico que incorpora a Cromodinâmica Quântica (a teoria da interação eletrofraca que unifica as interações elétrica e fraca). Porém surgem algumas limitações para tal modelo. Pesquise quais são elas.

- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim*
- d) *Facilita a construção do conhecimento.*

28. Como será que os físicos detectaram a presença de outras partículas constituintes da matéria, como os quarks, por exemplo?

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim.*
- d) *Facilita a construção do conceito.*

29. Suponhamos duas pessoas numa pista de gelo. Para explicar como acontece a interação repulsiva, as pessoas deveriam estar obviamente de patins e usaria uma bola de tênis, como foi citado também em aula, essa bola seria a minha partícula. Quando umas dessas pessoas lançar essa bola para outra, ambas vão sofrer um recuo e no momento que uma lança e a outra pega podemos dizer que ocorreu uma força de interação repulsiva ou seja, uma troca de partículas.

- a) b) c) *Sim.*
- d) *Não é memorística.*
- e) *É uma boa analogia das forças fundamentais. Esta questão é uma explicação macroscópica do que acontece no interior do átomo.*

30. Pesquisar o nome do acelerador de partículas que encontramos no interior de uma televisão.

- a) *Sim.*
- b) *Sim. Aceleradores de partículas.*
- c) *Sim.*
- d) *É memorística.*
- e) *Como se acelera um elétron ou um íon? Essencialmente são forças elétricas do tubo de TV que fazem isso, que tipo de acelerador tem essa característica?*

31. O núcleo atômico é feito de prótons e de nêutrons. O que você entende que sejam os “tijolos” de matéria? Como você imagina que seja o átomo?

- a) *Podemos dizer que faz parte do conteúdo.*
- b) *Sim.*
- d) *A pergunta facilita a construção do conceito de átomo e leva o aluno a expressar o que pensa.*
- e) *Poderíamos acrescentar depois de “tijolos”, ou seja, as demais partículas da matéria.*

32. Explique a propriedade quântica chamada de carga de cor que os quarks apresentam. Esta carga tem a ver com carga elétrica e cor?

- a) *Sim.*
- b) *Conseguimos identificar o conceito envolvido que seria a carga de cor dos quarks.*
- c) *É possível responder a questão, baseado em informações que temos sobre o conteúdo já trabalhado.*
- d) *Para nos esta questão é apenas memorística.*
- e) *Antes de reformular esta questão seria interessante falar um pouco dos quarks, que essas partículas possuem uma característica chamada de carga de cor.*

33. Que tipos de interações existem entre as partículas carregadas? Explique com desenhos. Explique a interação de partículas carregadas (escreva a explicação).

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) c) *Muito ampla, não conseguimos responder e a questão está confusa.*
- e) *Não conseguimos reformular a questão.*

34. Existem partículas positivas que são os prótons e as negativas, que são os elétrons as quais constituem o núcleo de um átomo. Temos outras partículas também que são: neutro e neutrino. As partículas são tão pequenas que não podem ser vistas a olho nu, somente através de um microscópio. No início, quando o átomo foi descoberto, achava-se que era muito pequeno e indivisível. Mais tarde, o que os cientistas fizeram para ter um modelo mais preciso?

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) c) d) e) *A questão está um pouco mal elaborada, e pode-se ter uma noção do conceito envolvido. Consegue-se responder a questão, mas acreditamos ser muito simples a resposta.*

35. O que são quarks?

a) *Sim.*

b) *Sim.*

c) *Sim.*

d) *È memorística.*

e) *Para que a questão pudesse construir conceitos, abordaríamos explicando sobre a matéria, que é formada por átomos, estes, têm suas partículas, que são os elétrons, os prótons e os nêutrons e estes dois últimos são constituídos por partículas verdadeiramente elementares. Partindo desta introdução, pediríamos ao aluno para que explicasse quais são essas partículas e como agem. **Não esquecer que os elétrons também são elementares. Os alunos só poderiam responder através de pesquisa.***

36. Como sabemos, elementos de cargas positivas e outros de cargas negativas interagem. Sabe-se que ocorre uma interação eletromagnética, logo, existe uma interação entre elas. Como você explicaria esta interação entre cargas positivas e negativas, utilizando como exemplo prótons e elétrons?

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Alguns conteúdos ele consegue identificar o conceito e alguns não, pois não são estudados no Ensino Médio. **Discordo. Prótons e nêutrons são vistos no Ensino Médio sim.***

c) *Não conseguem responder a questão pois o nível está além do estudo.*

d) *Facilita a construção do conceito quando envolve a repulsão das forças, mas dificulta quando envolve a explicação que deverá ser feita pelos alunos envolvendo prótons e nêutrons. **Não são as forças que se repelem, mas as cargas.***

e) *Poderíamos tirar da pergunta a última frase “utilizando prótons e.... **É perfeitamente possível associar a repulsão entre elétrons e prótons com a repulsão entre cargas elétricas positivas e negativas.***

37. Como já vimos muitas vezes, dois imãs se repelem. Como você imaginaria duas partículas do mesmo tipo ocuparem o mesmo espaço? Leve em consideração os quarks de mesmo tipo.

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Não conseguimos identificar os conceitos.*

c) d) e) *Não conseguimos resolver a questão nem reformulá-la.*

38. No começo dos anos 30 do século passado, a estrutura do átomo estava bem estabelecida, acreditava-se que os componentes básicos da matéria seriam: elétrons, prótons, nêutrons e neutrinos. Mas com o passar dos anos surgiram varias novas

partículas que manteriam p e n no núcleo Você saberia explicar como foram feitas estas previsões teóricas, ou seja, como surgiram estas novas partículas?

a) *Tem a ver com o conteúdo.*

b) *Sim.*

c) *Se os alunos tiverem um bom conhecimento sobre a evolução do átomo eles saberão responder. Já se eles não tiverem um conhecimento formulado não saberão identificar o que pede a questão.*

d) *Facilita a construção do conceito através dos exemplos e desenhos dos modelos atômicos e suas partículas.*

e) *Não.*

39. Por que os quarks são os tijolos básicos para a construção de toda a matéria?

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Consegue-se identificar o conceito envolvido.*

c) *Consegue-se responder a questão.*

d) *É fácil compreende-la e facilita a construção do conceito.*

40. Sabe-se que o núcleo atômico é composto por prótons e nêutrons. Nêutrons não têm carga e prótons têm carga positiva. Sabendo que partículas de mesma carga se repelem, o que faz com que prótons e nêutrons se mantenham unidos no núcleo atômico?

a) *Sim.*

b) *Sim.*

c) *Sim.*

d) *Está bem formulada, mas é memorística. **Discordo, pois depende do contexto em que for utilizada.***

41. Léptons e quarks são partículas fundamentais constituintes da matéria. Mas o que estas partículas realmente são?

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Sim.*

c) *Sim.*

d) *É uma questão memorística, sendo que o comentário inicial responde a questão.*

e) *Reformulação: Léptons e quarks são partículas fundamentais constituintes da matéria. Escreva o que sabe sobre cada uma delas.*

42. Além das partículas básicas, elétrons, prótons e nêutrons, existe possibilidade de se acelerar partículas compostas, exemplo partículas alfa. O que são aceleradores de partículas e como são classificados?

*É uma questão bem formulada que faz parte do conteúdo, conseguindo identificar os conceitos envolvidos e também respondê-la. A consideramos memorística. **Se para respondê-la os alunos pesquisarem, pode não ser.***

43. O que são raios cósmicos?

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Como a pergunta está formulada, o aluno não consegue identificar a resposta, somente pode memorizar a resposta.*

c) *Consegue responder a questão se tiver algo em que se basear.*

d) *Apenas memorística.*

e) *Baseado em um pequeno texto explicativo sobre raios cósmicos pediríamos aos alunos que escrevessem o que entenderam sobre o mesmo.*

44. Poderíamos aproveitar o conceito de raios cósmicos para explicar para os alunos como funciona o forno de microondas, as ondas de rádio, raios ultravioletas e também como funciona o raio-x. Acho que os alunos gostariam de saber um pouco mais sobre estes assuntos.

Esta questão facilita a construção de conceitos, faz parte do conteúdo. Pensamos que é uma boa maneira de ensinar raios cósmicos, pelo fato de estar relacionada com instrumentos, “coisas” do dia-a-dia e que excitam a curiosidade dos alunos.

45. De onde vêm os raios cósmicos?

a) *Sim.*

b) *Sim.*

c) *Sim.*

d) *Acreditamos que falta a construção do conceito pois o aluno deve ter conhecimento sobre o assunto.*

46. Como se acelera um elétron? E onde freqüentemente é encontrado?

É uma questão bem formulada que faz parte do conteúdo, conseguindo identificar os conceitos envolvidos e também respondê-la. A consideramos memorística.

47. Como conceber atração ou repulsão?

Há falta de dados. Que atração e que tipo de repulsão?

48. Por que os nêutrons são afetados apenas pela interação fraca?

a) *Sim.*

b) *Sim. Interações fundamentais.*

c) *Não.*

d) *Muito confusa.*

e) *Falar mais da interação fraca.*

49. Quem é que nunca viu no cinema uma nave que usa energia proveniente da colisão de matéria com a antimatéria para se mover a velocidades próximas à da luz em viagens intergalácticas? Você acha que isso é possível mesmo? Onde vamos ter antimatéria e onde vamos guardar ela?

a) *A pergunta está relacionada ao conteúdo.*

b) *Sim.*

c) d) *A pergunta é difícil de ser respondida pois muitos alunos podem não ter assistido a estes filmes e pela nossa compreensão a antimatéria é difícil de ser detectada pois é de curta duração. Como então será armazenada?*

50. Por que o núcleo não explode, se sabemos que há prótons (carga +) e nêutrons (neutro)?

a) *Sim.*

b) *Conseguimos identificar o conceito envolvido que seria a interação entre nêutrons e prótons no núcleo.*

c) *É perfeitamente possível responder a questão mesmo ela estando um pouco confusa.*

d) *Esta pergunta se fosse reformulada poderia ser considerada como construtora do conhecimento, pois fala de prótons e nêutrons que estão presentes não só na Física Moderna, mas sim na Física Clássica.*

e) *Achamos que a pergunta poderia ser escrita de outra maneira como: Por que motivo os prótons e nêutrons ficam coesos no núcleo? Acreditamos que a palavra explodir não expressa da maneira correta o que está ocorrendo no núcleo.*

51. Na natureza, para saber da constituição da matéria não basta saber quais as partículas que existem e como elas são, é preciso também levar em conta como elas interagem e se integram em sistemas estáveis. Explique cada uma das interações fundamentais da natureza e dê exemplos.

a) b) c) d) e) *Consideramos que esta questão está diretamente relacionada com a que respondemos na outra questão (61).*

52. Considerando que importante diferenciar léptons e quarks, que são partículas fundamentais constituintes da matéria, fazer um quadro comparativo entre estas partículas, citando a composição de cada uma delas.

a) *Sim.*

b) *Sim.*

c) *É acessível para responder.*

d) *Dessa forma facilita a construção do conhecimento, pois o aluno deve ter conhecimento das partículas fundamentais e seus constituintes. **As partículas fundamentais não têm constituintes, mas formam outras partículas.***

53. Sabemos que toda a matéria do universo é composta por átomos e que um átomo consiste de um núcleo compacto. Pode-se dizer que isso seja verdade?

a) *Achamos que foge um pouco do conteúdo, pois a Física das Partículas fala das partículas verdadeiramente elementares e neste caso está pedindo sobre o átomo e o núcleo compacto! O que esta pessoa quis dizer com núcleo compacto?*

b) *Não conseguimos identificar o conceito envolvido.*

d) *Não facilita a construção do conhecimento. **Esta questão pode ser utilizada na introdução do tópico de partículas, para questionar a visão de átomo que os estudantes têm.***

54. Por que dizemos que os aceleradores de partículas são equipamentos que fornecem energia a feixes de partículas subatômicas eletricamente carregadas?

a) *Sim.*

b) *Conseguimos identificar o conceito envolvido, apesar da pergunta estar um pouco confusa e comprida demais.*

c) *Não conseguimos responder esta questão, pois a pergunta não está clara o suficiente para isso.*

d) *Acreditamos que ela seja apenas memorística.*

e) *Primeiramente deveria se comentar que existem aceleradores de partículas e que eles serviram e servem para detectar as mesmas. Essa pessoa não poderia ter explicado na pergunta o que é o acelerador tão diretamente como fez e com palavras tão complicadas. Uma possível reformulação proposta pelo grupo seria a seguinte: Como funciona o tubo da TV?*

55. Por que foi postulada existência de um novo tipo de partícula? Quem a postulou?

a) *Sim.*

b) *Sim.*

c) *Sim.*

d) *Constrói o conceito.*

e) Não.

56. Quais foram as grandes dificuldades encontradas no Modelo Padrão?

- a) *Sim.*
- b) *Sim. Modelo Padrão.*
- c) *Sim.*
- d) *Facilita a construção do conceito.*

57. Por que quando jogamos um objeto para cima ele cai?

- a) *Não faz parte no sentido de estudarmos o que está por trás da pergunta, por exemplo, os tipos de forças existentes, a força gravitacional, etc.*
- b) *O conceito envolvido é o da força da gravidade.*
- c) *Sim, porém os alunos teriam dificuldade.*
- d) *Assim como está não facilita o conceito de interação.*
- e) *Que ação, fenômenos, estão envolvidos quando se joga um objeto para cima e ele cai?*

58. Por que o núcleo de um átomo fica coeso?

- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim.*
- d) *Facilita a construção do conhecimento em partes, poderia envolver um exemplo, para então o aluno responder as forças de interação existentes no núcleo, mantendo-o coeso. Não necessariamente o aluno precisa responder. A questão pode servir como motivação para a introdução de um novo conteúdo.*
- e) *Explicar quais as forças de interação existentes no átomo, como agem e por que. Em nosso contexto, força e interação são sinônimas.*

59. Qual foi o objetivo dos físicos quando criaram a classificação octal para a classificação das partículas?

- a) *Sim.*
- b) *É possível identificar o conceito envolvido mas o aluno para poder ter contato com o mesmo deve ter um pouco de noção da história e da Física Moderna.*
- c) *Esta questão pode ser respondida sem maiores problemas.*
- d) *Ela facilitaria a construção de um conceito histórico.*
- e) *Se esta pessoa gostaria de fazer uma pergunta mais histórica ela está adequada.*

60. O que são léptons e quarks?

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *è explícita e direta.*
- c) *Quem não possui algum conhecimento sobre o conteúdo dificilmente saberia responder.*
- d) *Facilita a memorização.*
- e) *Não faríamos tal pergunta, pois ela precisa de um contexto.*

61. Na física moderna, quando dois corpos exercem forças iguais, essas forças são classificadas como força de ação e reação. Na verdade o que está acontecendo é uma troca de partículas e a força que está atuando nos corpos é chamada de interação. Como por exemplo força eletromagnética.

- a) *Faz parte do conteúdo.*

b) c) d) *A pessoa quis fazer uma afirmação sobre Física e por fim não esclareceu o que realmente queria com essa questão.*

e) *Reformulação: Sabemos que quando dois corpos exercem forças iguais, essas forças são classificadas como força de ação e reação. Na Física Moderna dizemos que o que está acontecendo é uma troca de partículas e a força que está atuando entre dois corpos é uma interação. Explique as quatro interações fundamentais que acontecem na natureza.*

62. O que são raios cósmicos? Onde eles estão?

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Sim.*

c) *Sim.*

d) *Acreditamos que seja apenas memorística.*

63. Sabemos que toda a matéria do universo é composta de átomos e que um átomo consiste de um núcleo compacto, no qual reside praticamente toda a sua massa rodeada por uma “nuvem” de partículas com massa muito menor, chamadas elétrons. O núcleo é composto de dois tipos de partículas: o próton com carga elétrica positiva e o nêutron que tem carga neutra. Os constituintes principais dos átomos são prótons, nêutrons e elétrons. No passado, estes três tipos de partículas eram consideradas “elementares”: blocos fundamentais e indivisíveis da construção da matéria. Os elétrons ainda se acredita serem partículas fundamentais. Os prótons e nêutrons, contudo, são compostos de partículas menores e mais básicas, chamadas - - - - - . Estas partículas têm variedades diferentes. Quantas e quais são?

a) *Sim.*

b) *Sim, pois tem uma boa explicação sobre partículas, como se formavam através dos átomos.*

c) *Acho que depois de uma boa explicação do que está mencionado, os alunos não terão dificuldade de mencionar as partículas envolvidas.*

d) *Acho que facilita a construção do conceito do aluno, pois o aluno estará revendo a constituição do átomo e as partículas. **Discordo. Para mim é apenas memorística.***

e) *Acho que não precisa reformulação.*

64. - - - - - são equipamentos que fornecem energia a feixes de partículas subatômicas eletricamente carregadas. Todos possibilitam de alta energia em pequeno volume e em posições arbitradas e controladas de forma precisa. Exemplos comuns existem nas televisões e geradores de raios X, na produção de isótopos radioativos, na radioterapia do câncer, na radiografia de alta potência, para uso industrial e na fabricação de plásticos.

a) *Faz parte do conteúdo.*

b) *Consegue-se identificar o conceito.*

c) *Conseguimos responder a questão.*

d) *Como está elaborada não se trata de uma situação-problema, sendo assim de caráter memorístico.*

e) *Na reformulação, o colega deveria de certa forma com que houvesse uma situação, para que o alunos respondesse a questão.*

65. Após o estudo das partículas consideradas verdadeiramente elementares, você saberia estabelecer a correspondência entre as duas colunas?

- | | |
|-------------|------------------|
| 1. tau | a. quark |
| 2. pión | b. lépton |
| 3. próton | c. méson |
| 4. pósitron | d. bárion |
| 5. charme | e. antipartícula |

- a) *Refere-se ao conteúdo diretamente.*
 b) *Respondemos facilmente.*
 d) *Extremamente memorística.*
 e) *Sem sugestão.*

66. Sabemos que as quatro interações fundamentais da natureza são: - - - - - , - - - - - , - - - - - e - - - - - . Como elas agem?
É uma questão bem formulada que faz parte do conteúdo, conseguindo identificar os conceitos envolvidos e também respondê-la. A consideramos memorística.

67. Comente o que sabes sobre raios cósmicos.
 a) *Faz parte do conteúdo.*
 b) *Sim.*
 c) *Sim.*
 d) *É uma questão memorística, mas está mais bem formulada que a 73, pois permite ao aluno expor o que pensa/sabe sobre o conteúdo.*

68. Onde e como encontramos aceleradores de partículas em nosso meio?
 a) *Sim.*
 b) *Sim.*
 c) d) *É uma questão importante, para que o aluno faça relações com o seu cotidiano. Facilita a construção do conceito*

69. Por que os prótons e nêutrons se mantêm juntos no núcleo atômico?
É uma questão bem formulada que faz parte do conteúdo, conseguindo identificar os conceitos envolvidos e também respondê-la. A consideramos memorística. Não concordo.

70. Como as partículas encontradas até hoje foram encontradas?
 a) *Faz parte do conteúdo.*
 b) *O conteúdo é explícito.*
 c) *Conseguimos responder.*
 d) *Facilita a memorização e poderia ser melhor escrita.*
 e) *Sugestão: Você sabe de que forma as partículas conhecidas atualmente foram detectadas?*

71. Quais são os tipos de interações fundamentais? Quais são as partículas mediadoras de cada uma dessas interações? Onde elas atuam?
É uma questão bem formulada que faz parte do conteúdo, conseguindo identificar os conceitos envolvidos e também respondê-la. A consideramos memorística.

72. O que são aceleradores de partículas? Como eles funcionam? Quais são os principais tipos que existem? Onde eles podem ser encontrados no nosso dia-a-dia?

É uma questão bem formulada que faz parte do conteúdo, conseguindo identificar os conceitos envolvidos e também respondê-la. A consideramos memorística. Não concordo.

73. O que são léptons e quais os tipos que existem?

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim.*
- d) *É uma questão memorística.*
- e) *Reformulação: Dentre os constituintes básicos da matéria temos os léptons. Escreva o que você sabe sobre os mesmos.*

UNIVATES – CENTRO UNIVERSITÁRIO Disciplina de Estrutura da Matéria - 2007

Na primeira avaliação, cada aluno elaborou *situações-problema* sobre partículas elementares que tivessem como objetivo facilitar para os alunos de Ensino Médio a aprendizagem dos conceitos abordados.

Reunidos em grupos, estas questões foram devolvidas para os alunos que analisaram e comentaram cada *situação-problema*, levando em conta os itens abaixo:

- f) Se faz parte do conteúdo (conceitos que foram trabalhados nesta disciplina até aqui);
- g) Se o grupo consegue identificar o conceito envolvido. Se sim, dizer qual;
- h) Se o grupo consegue responder a questão;
- i) Se facilita a construção do conhecimento ou é apenas memorística;
- j) Reformular a questão, de forma a contemplar os itens anteriores.

A seguir estão as questões, como foram propostas e como foram modificadas (em itálico). Comentários da professora estão em negrito.

1. a) *Aceleradores de partículas:* Propor que os alunos façam uma investigação em bibliografias sobre o funcionamento de uma máquina de raios X. Que os alunos investiguem, conceituem o que são raios X (radiação eletromagnética com frequência maior do que a do ultravioleta, emitidas por elétrons que saltam para estados de energia mais baixa de um átomo), conceitos de partícula alfa, beta e gama, sobre a meia vida, a força nuclear que é a interação forte, falem de como um átomo é radioativo. (b) *Raios cósmicos:* questionar os alunos sobre “como sabemos tantas coisas a respeito da constituição do Sol, se o ser humano nunca pisou, nem nunca vai pisar lá, e se nem satélites conseguem se aproximar de sua superfície, pois derretem”?

a) *Sim, pois usando um raio X o aluno tem noção do conceito de acelerador de partículas. Já quanto ao conceito de raios cósmicos, acreditamos que saiu do enfoque.*

O conceito está dentro da disciplina sim. O conceito de part. alfa, beta, gama e meia vida saíram do enfoque de partículas.

b) *Conseguimos identificar que seriam trabalhados os conceitos de radiação eletromagnética e raios cósmicos. Os conceitos são: aceleradores de partículas, força nuclear e raios cósmicos*

c) *Para ser resolvida a questão seria necessário um tempo maior de pesquisas.*

- d) *Facilitaria a construção do conhecimento, pois partem de situações concretas e vivenciais dos alunos e depois partiria para o abstrato.*
- e) *Reformularíamos a questão sobre os raios cósmicos, uma vez que pouco se sabe sobre a constituição do Sol e esta supõe que sabemos muito. Nossa sugestão é que seja feita uma pesquisa em diversas fontes e depois realizar uma discussão.*

2. (a) *Interação fraca:* Abordaria alguns casos nos quais utiliza-se a radiação (como na medicina) e outros nos quais a radiação é maligna, como a ultravioleta, por exemplo. Mais a fundo, discutiria o que a radioatividade, a interação fundamental envolvida, o que acontece no mundo micro, entre as partículas. (b) *acelerador de partículas:* Através da investigação dos avanços tecnológicos obtidos através do estudo das partículas elementares e utilizando coisas do cotidiano dos alunos, como a televisão, os chips de celulares, computadores. A partir disso, seria investigado como se estuda estas partículas e como se coloca em prática seus resultados.

- a) *Não concordamos com a forma de como seria iniciado o estudo da interação fraca pois não vimos relação nenhuma. Quanto a acelerador de partículas já está bem melhor.*
- b) *Na primeira parte não e na segunda conseguimos identificar que será trabalhado o conceito de partícula.*
- c) *Não, pois exige uma investigação.*
- d) *Facilita o aprendizado, uma vez que o aluno é instigado e desafiado.*
- e) *Reformularíamos a questão da interação fraca. Faríamos uma investigação sobre a radiação, a interação fundamental envolvida bem como as partículas responsáveis pela transmissão da radiação. **A radiação não é do tópico de partículas.***

3. (a) *Bárions:* Para abordar os bárions, partiria do estudo do átomo constituído do núcleo, sendo que contém os prótons e os nêutrons. Visto esta parte lançaria para os alunos que o nêutron é conhecido de outra maneira. Proporia uma pesquisa em grupos para a abordagem futura do conceito de bárion. (b) *Interação forte:* Para trabalhar a interação forte, iria discutir com os alunos sobre como é possível os prótons e os nêutrons permanecerem no núcleo. O que deve acontecer dentro do núcleo para que estas partículas não “escapem”. A partir disso, realizar pesquisas e discussões para que os alunos cheguem que existe uma força (interação) que atua no núcleo. E assim, sucessivamente seria possível abordar as demais interações fundamentais.

- a) *Faz parte do conteúdo, mas é bastante abstrata pois ainda é muito difícil o aluno já ter um conceito claro sobre o átomo e sua composição. **Tudo depende do momento da abordagem.***
- b) *Sim, os conceitos envolvidos são sobre a composição do átomo, a interação entre prótons e nêutrons.*
- c) *Estas questões exigem uma maior investigação, mas acreditamos que não teríamos dificuldade em respondê-la.*
- d) *Após a investigação a questão se tornaria um aprofundamento no assunto, mas com memorização de seus conceitos.*
- e) *Deveria partir de um conceito mais básico.*

4. *Partículas elementares: as partículas sem nenhuma estrutura interna; que foram realizadas colisões para se descobrir se uma partícula é elementar ou não.* Imagine que o seu relógio estragou, e você ficou curioso para descobrir o que tem dentro dele, mas ele foi montado sem que você consiga desmontar. O que você faria para ver o que tem dentro? E depois do que vice viu que tem dentro, o que representa isto em relação ao relógio? E como você faria para ver se em alguma coisa dentro destas peças?

- a) *A situação não tem a ver com o conteúdo, pois de uma maneira bem grosseira as partículas elementares não tem estrutura interna e a situação problema contradiz com o conceito. **Discordo, pois entendo que o objetivo desta situação seja o de exemplificar como se investiga a matéria, ou que acontece nos aceleradores de partículas. Porém, se os colegas não perceberam isto deve ter sido por falta de explicação da questão em si, indicando que deve ser melhorada.***
- b) *A atividade está relacionada à partículas elementares, mas a situação problema não facilita o entendimento do conteúdo.*
- c) *Não, pois a situação existe, mas não como está descrita na atividade.*
- d) *É uma questão interessante, mas a situação não conceitua este conteúdo.*
- e) *O que poderia ser proposto é uma pesquisa sobre partículas elementares. Pois sempre é possível exemplificar aquilo que está sendo usado. **Nem tudo pode ser resolvido com pesquisa, apresentar alguns exemplos para os alunos também se torna interessante.***

5. Para explicar o modelo padrão usaria o mapa conceitual, que eu e minha colega fizemos, conforme nosso texto. Acredito estar simples e assim facilitando o entendimento. Entregaria para os alunos e juntos iríamos seguindo o mapa e procurando explicar o conteúdo sobre o assunto.

- a) *Sim, faz parte do conteúdo trabalhado (modelo padrão), porém nos faltam informações, pois o mapa conceitual a ser trabalhado não está em anexo ao trabalho.*
- b) *Sim, modelo padrão.*
- c) *Não há perguntas nesta situação problema.*
- d) *Não facilita a construção do conhecimento, pois o mapa é entregue pronto para o aluno. **O mapa conceitual também pode ser utilizado na apresentação de um assunto novo.***
- e) *Para explicar o modelo padrão utilizaríamos os mapas conceituais, sendo que estes serão construídos pelos alunos. Para a construção do mapa os alunos deverão utilizar fontes alternativas de informação, como Internet, livros e artigos de pesquisa, ou o professor pode utilizar vários referenciais teóricos para expor o assunto aos alunos.*

6. Os dois conceitos seriam: a indivisibilidade das partículas elementares e a forma como os prótons e nêutrons interagem no núcleo. Tendo em vista que eu trabalharia o assunto de partículas elementares após o estudo da eletrostática, proporia a seguinte situação: Como e porquê, tendo em vista a repulsão elétrica, o núcleo do átomo não se desmancha?

- a) *Sim.*
- b) *Sim. A força nuclear forte e partículas elementares.*
- c) *Apesar da repulsão elétrica entre os prótons, o núcleo se mantém coeso devido à força nuclear forte.*
- d) *Sim, pois aborda um problema intrigante para os alunos sendo que estes terão que investigar, estudando todos os conceitos relacionados. **Isto não está explícito na questão. Mesmo não havendo pesquisa, o professor pode se utilizar desta questão inicial para motivar os alunos ao estudo das partículas elementares.***
- e) *Achamos que a questão foi bem formulada.*

7. Para os alunos é complicado o entendimento, às vezes, não conseguem imaginar como é o campo eletromagnético, como acontece. No texto achei legal a parte onde o

físico Gell-Mann fez a descoberta dos hádrons, os quais foram confirmados e em 1909 ganhou o premio Nobel de física. (a) Acho que a minha situação problema seria questionando-os sobre como acontece a foto de radar móvel, o qual eles conhecem, mas não sabem como funciona. Quando receberem multa através desta foto certamente se perguntarão como isto acontece. (Aí seria um momento ideal para lançar a atividade, levando-os até a polícia para interrogá-los se sabem como funciona). (b) Outra situação que pode se basear no texto é usar a idéia das partículas de spin inteiro para começar a explicação dos valores de spin nas aulas de química, e após isso números quânticos e por aí vai.

- a) *Sim.*
- b) *Força eletromagnética e partículas mediadoras e números quânticos.*
- c) *Pensamos que um radar móvel funciona através de um sensor que mede a velocidade do automóvel naquele instante, sendo esta velocidade acima do permitido, é acionado um mecanismo que tira a fotografia. **É justamente o estudo do funcionamento do sensor o objetivo da atividade.***
- d) *De certa forma facilita a construção do conhecimento, pois trata de uma situação problema do dia-a-dia dos alunos. Porém a forma como é proposto o trabalho não está coerente.*
- e) *Propor um trabalho de investigação sobre a situação problema: como funciona o radar móvel? Os alunos terão que pesquisar e buscar a solução do problema. Além disso, poderia se abordar outras situações cotidianas nas quais as forças fundamentais se fazem presentes.*

8. (a) quais são as classes de férmions? (b) quais são as classes de bósons?

- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim. Os férmions são as partículas de matéria (léptons e quarks) e os bósons são as partículas de força (fótons, glúons, grávitons e W e Z.*
- d) *Não facilita a construção do conhecimento.*
- e) *É um conteúdo bastante abrangente o qual poderia ser explorado através de pesquisas e construirmos juntos, professor e aluno, o conceito para cada item trabalhado.*

9. São partículas menores que o próton e o nêutron e estas por sua vez são encontradas em quarks e neste hádrons, bárions e mésons. Também podemos chamar de partículas eletricamente carregadas, pois para descobrir estas divisões devemos carregar elas para que imprima uma grande velocidade. Para podermos identificar isso, devemos imprimir uma grande velocidade a um objeto, onde neste irá ocorrer uma mudança. No ensino médio devemos introduzir através dos modelos atômicos e indo aprofundando até chegarmos aos quarks.

- a) *Fazem parte.*
- b) *Conceito: partículas elementares.*
- c) *Achamos que não há nenhuma questão para ser respondida, entendemos que o colega está fazendo uma introdução sobre o conceito envolvido.*
- d) *Não ficou muito claro a questão do colega, ficamos bastante confusos da forma como estão apresentados os conceitos.*
- e) *Fazer uma breve revisão dos modelos atômicos, dando ênfase aos problemas enfrentados pelos cientistas da época, pois não conseguiam os problemas com a física clássica. A partir daí introduzir os estudos das partículas elementares, como integram sistemas estáveis e como desintegram.*

10. Julgo muito importante atualizar o ensino de física, estudar assuntos mais recentes, e não apenas conteúdos que todos os livros apontam. Para trabalhar partículas elementares: (a) Começaria com uma aula expositiva falando do elétron, próton e nêutrons, que é o que os alunos sabem, já sabendo onde se encontram. Após continuaria a aula com o assunto do léptons, associando ao elétron. Quarks os quais estão no núcleo do átomo os quais são seis que formam os hádrons que se ramificam em duas famílias: mésons e bárions. Após, explicar detalhadamente os conceitos. Dividiria a turma em grupos e com material de apoio cada grupo confeccionará cartazes com conceitos, curiosidades do conteúdo partículas elementares. (b) *As 4 interações fundamentais*: duas pessoas sobre patins, totalmente isentas de atrito, jogando bola uma para outra. Com esta analogia desafiaria os alunos, o que ocorre, troca de partículas são chamadas de mediadoras.

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Sim, partículas elementares.*
- c) *Achamos que não há nenhuma questão para ser respondida, entendemos que o colega está fazendo uma introdução sobre o conceito envolvido.*
- d) *Facilita a construção do conhecimento.*
- e) *Achamos que não há necessidade de reformulação, a situação está muito bem elaborada.*

11. Marília comprou um celular, e um dia deixou cair dentro da água, e estragou. Ela ficou furiosa e queria consertá-lo, mas tinha medo de estragá-lo ainda mais. Mas como estava com muita raiva, jogou-o no chão. Então, este se despedaçou em muitos pedaços; até porque ela gostaria de saber o que tem dentro. Apesar de não ter sido de muita valia no caso da Marília, para estudar a matéria foi! Para descobrir se haviam partículas menores que os átomos foi utilizado o mesmo princípio, colisão das mesmas. E por surpresa se descobriu partículas menores ainda, subatômicas, conhecidas mais tarde como partículas elementares, e estas foram divididas em quarks e léptons.

- a) *Faz parte.*
- b) *Sim, partículas elementares.*
- c) *Não há questionamento, o colega utilizou uma analogia para introduzir o conteúdo de partículas elementares.*
- d) *Facilita sim, a construção do conhecimento.*
- e) *Introduzir com a analogia proposta pelo colega, em seguida questionar os alunos se os prótons, nêutrons e elétrons são as menores partículas da natureza. Para responder a esta questão os alunos devem fazer uma pesquisa bibliográfica.*

12. (a) Para trabalhar as interações fundamentais eu dividiria a turma em grupos, cada grupo ficaria com uma interação. Logo em seguida deveriam pesquisar sobre o assunto e depois apresentar para os colegas. Cada grupo também elaboraria um questionário sobre a sua interação para os colegas responderem ao final das apresentações. (b) Entregaria o mapa conceitual e o texto que elaboramos nas aulas passadas e faria uma explicação e leitura do texto. Logo após seria feito um debate na sala, listando a evolução da física, modelo padrão, como se chegou até estes conceitos.

- a) *Sim, faz parte.*
- b) *Sim, interações fundamentais e modelo padrão.*
- c) *Não há questionamento.*
- d) *Facilita a construção do conhecimento.*

e) *A situação (a) está bem formulada, acreditamos que não há necessidade de reformulação. Na situação (b), entregaríamos o texto que elaboramos na aula passada, e faríamos uma explicação e leitura do texto, logo após faríamos um debate em sala de aula, listando a evolução da física, modelo padrão e como se chegou a estes conceitos. E o mapa conceitual pediríamos que os alunos o fizessem como forma de fechamento e revisão do conteúdo.*

13. (a) *Interações fundamentais:* iniciaria com um questionamento: quais são as forças que já conhecemos? Levar o aluno a pensar em força como interação. Promover situações em sala como por ex.: um carrinho parado, alguém impulsiona e ele movimentar-se. – como ele estava inicialmente? – quais as forças que atuavam sobre ele? – e após: o que fez com que o carrinho parasse? (interação)... e seguiria com termos e pesquisa com outras situações. (b) *física dos quarks:* propor lembrar de que o átomo é constituído, qual o modelo que melhor foi aceito ou vários modelos com sua definição de átomo. Questionar e pesquisar: existe algum outro modelo mais sofisticado para constituição do átomo → propor debates com o resultado da pesquisa para depois entrar no estudo do mesmo.

a) *Nem tudo. O primeiro exemplo está relacionado com a primeira lei de Newton, a qual não faz parte do conteúdo estudado.*

b) *Interações fundamentais. Quarks também.*

c) *Sim.*

d) *Em partes facilita a construção do conhecimento pois depende muito da idéia previa de cada aluno sobre o assunto.*

e) *Concordamos com a questão, mas não colocaríamos o primeiro exemplo, pois ele aborda a força de atrito e não tem nada a ver com o conteúdo. E também não usaríamos a palavra sofisticado, pois nos dá a idéia de algo luxuoso.*

14. (a) *Supondo que você tenha um tijolo, você consegue imaginar até onde você conseguiria dividi-lo? Se você tivesse em suas mãos a menor partícula deste tijolo, você conseguiria dividi-lo em partes menores ainda? Em seguida, faríamos uma discussão sobre as questões onde seriam introduzidos os modelos atômicos e faríamos uma linha do tempo com informações e descobertas sobre o mundo atômico. (b) Assim, seriam trabalhadas as partículas constituintes e as forças, principalmente as interações forte e fraca. A partir do estudo da composição do núcleo (prótons e nêutrons) faria um estudo sobre as forças que atuam sobre estas partículas que faz com que elas permaneçam unidas e concentradas. Partindo para a eletrosfera, faria um estudo sobre as forças que atuam sobre os elétrons que fazem com que eles viajem pela eletrosfera. Acredito que sobre as forças gravitacional e eletromagnética daria uma pincelada, pois fica difícil ensinar algo que não foi detectado, como é o caso do gráviton.*

a) *Sim.*

b) *Partículas elementares e interações.*

c) *Sim.*

d) *Facilita a construção do conhecimento.*

e) *Concordamos com a questão, mas não daríamos apenas uma pincelada nas forças gravitacional e eletromagnética, pois as mesmas estão muito presentes no conteúdo.*

Em todo o Ensino Médio.

15. (a) *Sabe-se que o núcleo atômico é composto por prótons e nêutrons. Nêutrons não têm carga e prótons têm carga positiva. Sabendo que partículas que possuem mesma carga se repelem, o que faz com que os prótons e nêutrons se mantenham unidos no*

núcleo atômico? (b) Léptons e quarks são partículas fundamentais constituintes da matéria. Quais as características?

- a) *Sim.*
- b) *Partículas elementares.*
- c) *Sim.*
- d) *Facilita a construção do conhecimento. **Acredito que a letra (b) é apenas memorística.***
- e) *Não reformularíamos pois achamos que a questão está bem formulada.*

16. (a) *Interação repulsiva:* Como entender a repulsão das partículas na interação (troca) de partículas? Duas pessoas P_1 e P_2 , sobre patins (sem atrito). Ambas estão paradas. P_1 segura uma bola, elas estão frente a frente. P_1 joga a bola para P_2 e ambas sofrem recuo na mesma direção, mas sentidos opostos, ou seja, sofreram “repulsão”. A bola é a partícula mediadora. (b) *aceleradores de partículas:* Como entender o que acontece nos aceleradores de partículas? Fazer uma analogia com o Big Bang, onde uma explosão gerou todo um universo e esse universo pode ser entendido como o átomo formado por várias partículas elementares (os “planetas”).

- a) *A letra (a) não faz parte do conteúdo estudado, mas a letra (b) sim. **Se a força de repulsão for uma das quatro interações fundamentais, então faz.***
- b) *Sim. Aceleradores de partículas.*
- c) *Sim.*
- d) *Sim.*
- e) *Não daríamos a letra (a) e a letra (b) não reformularíamos, pois achamos que está bom. **Acho que a (a) também está boa.***

17. (a) *Entendendo a estrutura das partículas:* já se sabe que os prótons são constituintes do núcleo e eles se mantêm unidos devido à força forte, que é descrita com a troca de píons. Esta evidência levou a questionar o caráter elementar dos prótons e dos nêutrons, ou seja, que estes seriam constituídos de partes. Nessa atividade, os alunos receberão um conjunto de figuras que tem formas e figuras distintas, que representam partículas tentarão construir um modelo para os constituintes dos prótons e do nêutron. Material: - 12 quadrados de papel (4 brancos, 4 verdes, 4 azuis e 4 vermelhos); -12 triângulos de papel (4 brancos, 4 verdes, 4 azuis e 4 vermelhos). Utilizando apenas as figuras brancas, atribua valores para o spin e a carga dos quadrados e para os triângulos. De tal maneira que ao final você consiga juntar 2 figuras quaisquer, formando um “próton” com carga +1 e spin $\frac{1}{2}$. Enuncie sua regra: _ _ _ _ _ . Com estes valores você consegue formar um “nêutron” com carga nula e spin $\frac{1}{2}$? Enuncie sua regra: _ _ _ _ _ . (b) *O papel do fóton:* Nessa atividade será feita uma analogia que buscará representar esta troca de fótons entre as partículas. Procedimento:Dois alunos ficam parados, um de costas para o outro, com pulverizadores de água nas mãos e com os olhos vendados. Outros dois alunos ficarão girando em volta desses a aproximadamente 1 metro, também com pulverizadores. Então os 4 começam a pulverizar água, de forma que atinjam os que estão parados e os que estão girando. Depois da realização da atividade, responder às questões: (1) os alunos que estão parados no centro representam que tipo de partículas? E os que estão girando? (2) As gotas de água representam quem? (3) Socialização de idéias.

Para a letra (a)

- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *Não há conceito envolvido, pois a atividade proposta não está bem elaborada.*
- c) *Não conseguimos responder bem à questão por não estar bem elaborada.*

- d) *Acreditamos que alunos do ensino médio ainda pensam que existem apenas quatro partículas elementares. Prótons, nêutrons, o elétron e o fóton e assim elaborar a questão já falando da troca de píons e de spin dificultaria o entendimento do conteúdo e a construção do conhecimento.*
- e) *Entregaríamos aos alunos papel de três cores que representariam os tijolos da matéria. Azul representaria o quark u e o amarelo o quark down, formando assim os nêutrons (ddu) e os prótons (udd) e na cor verde representaríamos elétrons. Também entregaríamos uma tabela contendo dados segundo os quais os alunos montariam a sua estrutura. Mesmo assim, entendemos que isto deverá ser feito no final da abordagem do estudo das partículas elementares.*
- Para a letra (b)*
- a) *Faz parte do conteúdo.*
- b) *O papel do fóton.*
- c) *Sim.*
- d) *Com certeza.*
- e) *Por se tratar de uma boa metodologia, não vimos a necessidade de mudar.*

19. Do que é feito o Universo? Como o Universo chegou a ser o que é hoje? Deixaria um espaço para eles responderem e depois faríamos um debate em grande grupo. Depois começaria fazendo um breve resumo histórico, desde o início, como surgiu o átomo, até a concepção atual de partícula elementar. Assim lembrariamos das partículas já conhecidas (prótons, elétrons, nêutrons, etc.) falaríamos sobre raios cósmicos (que foram usados para descobrir as primeiras novas partículas). Depois dos experimentos feitos com aceleradores de partículas para descobrir novas partículas. Como as partículas se classificam, como interagem e se desintegram. Finalmente chegaríamos ao modelo padrão, conhecido hoje e que futuramente poderá ter alterações, pois os cientistas continuam realizando experimentos e descobrindo novas partículas.

- a) *Sim, faz parte do conteúdo.*
- b) *Sim, partícula elementar.*
- c) *Sim. Sim, pois faz uma retomada de todo o conteúdo que dará o alicerce para a compreensão do conteúdo de partícula elementar.*
- d) *Por se tratar de uma metodologia que visa a construção do conhecimento do aluno através de um aprimoramento do conteúdo já estudado, evoluindo de maneira progressiva os nossos assuntos, agregando novos aspectos.*

20. (a) *Interações fundamentais:* A física moderna trabalha com o conceito de interação, uma evolução do conceito de força. Quais são as interações fundamentais da natureza? Suas características, sua partícula mediadora e sua importância? (b) *Léptons e quarks:* Pelo que sabemos até hoje, os léptons e quarks são partículas fundamentais constituintes da matéria. Mas o que são léptons e quarks? Quais as suas propriedades? Conte um pouco sobre a história dos quarks, com suas próprias palavras.

- a) *Sim, faz parte do conteúdo.*
- b) *O conteúdo envolvido é interações fundamentais.*
- c) *Sim.*
- d) *Desta forma acreditamos que não, pois são questões que provavelmente os alunos copiarão de algum texto sem construir seu próprio conhecimento.*
- e) *Questionariamos os alunos sobre as forças que eles conhecem. Após este questionamento, conversariamos sobre a idéia de força como interação, pois não basta saber que existem tais partículas, é preciso levar em conta como elas interagem, ou seja, é preciso considerar interações e campos de força. Só assim,*

partindo do conhecimento dos alunos, estaríamos contribuindo para que eles construam seu próprio conhecimento e despertando interesse dos alunos pelo conteúdo abordado.

21. (a) O que são átomos? De que são formados? Desta forma estaria induzindo-os a pensar que as pequeníssimas partículas que formam o átomo são chamadas de partículas elementares. Então estas pequenas partículas fundamentais a partir das quais todas as outras se originam são chamadas de léptons, quarks e mediadoras. (b) As partículas discutidas anteriormente existem somente à nossa volta ou em todo o Universo? Com isto estaria explicando à eles que neste nosso planeta que chamamos Terra e em todo nosso espaço circulante não existem a maior parte das partículas e das formas de matéria previstas pela física de partículas e sim as coisas que seguem são referentes às partículas possíveis no universo. Após faria a seguinte proposta à eles: projeto de pesquisa: o mundo das partículas elementares, onde em grupo os alunos pesquisariam em livros, revistas, Internet, este assunto. Após explanariam à turma (talvez em forma de cartazes, tabelas...). E para finalizar, fariam um mapa conceitual.

a) *Sim, faz parte do conteúdo.*

b) *Sim, partículas elementares.*

c) *Sim.*

d) *De certo modo, sim.*

e) *A questão problema está bem elaborada. As partículas discutidas anteriormente existem só a nossa volta ou em todo o universo? Mas a resposta não está bem formulada, pois sabemos que o modelo padrão forma o resultado de tudo que há no universo.*

22. (a) Partindo do átomo que fica mais fácil de entender, e do que é composto basicamente, juntamente com os alunos. Separar o átomo em nêutrons, prótons e elétrons. Montar uma tabela para identificar do que os nêutrons são compostos de outras partículas que são os quarks e que o elétron é um lépton. (b) Pedir aos alunos que tipo de interações eles conhecem, o que certamente eles vão saber alguma, e então dizer qual são as outras, e a partir daí verificar em que corpo ou partícula cada força atua.

a) *Esta situação faz parte do conteúdo e o conceito que o colega quer nos passar é do que é formado o átomo. No entanto, não facilita a construção do conhecimento, pois partindo de uma tabela não é possível assimilar o conteúdo. Para reformular a questão partiríamos do conhecimento prévio do aluno, e a partir daí formularíamos um esquema que mostre a estrutura de um átomo.*

b) *Esta situação faz parte do conteúdo, pois aborda o conceito de interação sobre partículas. Esta metodologia facilita a construção do conhecimento, pois parte do que o aluno já sabe sobre forças de interação, e a partir daí vai acrescentando novos conceitos, com isso o aluno vai adquirindo um aprendizado significativo.*

23. (a) *Raios cósmicos*: Sabemos que raios cósmicos são radiações naturais cujo poder de penetração é muito superior ao de qualquer outra radiação. Faça uma pesquisa e descreva porque isto ocorre. (b) *Modelo padrão*: O modelo padrão tenta descrever a natureza da matéria, é o modelo que traz a concepção mais moderna do átomo e sua estrutura. Responda: quantos quarks são conhecidos, como é, ou qual é a sua carga. E se subdividem ou formam outro elemento (partícula)?

a) *Raios cósmicos fazem parte do conteúdo. De certa forma, a situação facilita a construção do conhecimento, pois o aluno vai em busca do saber. No entanto, é*

necessário que haja uma explanação por parte do professor mais detalhada do conteúdo anterior da pesquisa.

- b) *Modelo padrão faz parte do conteúdo, no entanto, não aparece de forma clara o que quer ser trabalhado. O grupo consegue resolver o questionário feito, pois temos o conhecimento do assunto abordado. Porém, o aluno não saberia responder. O que faríamos seria uma explanação do que o modelo padrão (suas forças de interação, suas partículas de força, as partículas fundamentais da matéria), após poderíamos realizar o questionário.*

24. (a) *Partículas elementares: Como surgiu o universo? Como vocês imaginam que ocorreu sua formação? Entre outras questões. Obs: Despertar o interesse para que investiguem o assunto nas mais diversas fontes de informação: revistas, Internet, etc. Propor trabalhos em grupo e distribuir assuntos tipo modelos atômicos, fazer painéis para discussão em grande grupo. Fazer uma grande revisão dos conteúdos estudados, propor ligações com as descobertas da ciência, despertar curiosidade e interesse dos alunos, tentar descobrir relações com o cotidiano e assuntos polêmicos, como aquecimento global, etc. (b) Outro conceito que poderia ser estudado é dos aceleradores de partículas que viria ao encontro da realidade, pois são usados para fabricar equipamentos como microcomputadores, televisões, tubo de raio X. Questionar que pesquisem, se puderem até visitar e observar o funcionamento da máquina de raios X. Depois debate em sala de aula. Descobrir aplicações (medicina, etc.) com grande utilidade no cotidiano. Você já se perguntou (sobre raios X) porque nos protegemos com um colete (metálico) de chumbo, evitando a total exposição? (c) Outra idéia seria o trabalho com as quatro interações fundamentais, fazendo uma retomada do conceito para a interação por analogias (as possíveis) tomando sempre cuidados, pois certos pressupostos partem do imaginário de cada um. O aluno de Ensino Médio já tem condições de evoluir para o abstrato e muitas vezes (maioria) imaginário mundo da física quântica e cabe ao professor ser um mediador de informações através de questionamentos, pesquisas bibliográficas, filmes didáticos, experimentos virtuais no computador, busca de aplicações no cotidiano, etc.*

- a) *Partículas elementares fazem parte do conteúdo. E é possível identificar o conceito. As questões são de fácil entendimento e fazem parte do cotidiano dos estudantes. Acreditamos que a metodologia adotada está boa, dinâmica, criativa e faríamos da mesma forma, sem reformulação.*
- b) *Os aceleradores de partículas fazem parte do conteúdo, o qual identificamos. Após um estudo feito em torno da situação do colega, conseguimos resolver as questões. A metodologia utilizada é criativa e interage com os alunos, abordando situações cotidianas. Utilizaríamos a mesma metodologia.*
- c) *As quatro interações fazem parte do conteúdo. Facilita a construção do conhecimento, pois o aluno terá que criar situações.*

25. *Big Bang – partículas elementares: Quem é que nunca perguntou a si mesmo ou para outras pessoas de onde viemos e para onde vamos? Como surgiu o universo? Será que todo corpo é constituído da mesma matéria? Do que é formada a matéria? Estas são perguntas que até hoje instigam os alunos, despertando curiosidade sobre o assunto, depois de um debate em grande grupo, distribuir materiais diversos sobre o assunto para que os alunos tenham subsídios e em grupo formularem suas idéias sobre “De onde viemos e para onde vamos?”.*

Partículas elementares é o conceito trabalhado, facilmente identificado na situação problema. E facilita a construção do conhecimento, pois instiga os alunos a responderem o questionário, buscando respostas referentes às suas curiosidades.

26. Os dois conceitos que trabalharia com o Ensino Médio são as partículas léptons e quarks e as partículas mediadoras de força. A situação problema que seria proposta é um questionário onde faria os alunos pensarem o que são as partículas fundamentais que constituem a matéria, do que são compostos os átomos, como surgiu a matéria, como estes tipos diferentes de partículas interagem entre si, como foram “descobertas” estas partículas e como foram classificadas. Baseados neste questionário e com o auxílio de leituras, resumos, construção de mapa conceitual o aluno iria construir seu conhecimento. O questionário seria um roteiro com perguntas chaves que desencadearia pesquisas, evolução de conceitos e novos conhecimentos.

- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim, só que seria necessário direcioná-los para o conteúdo mais específico.*
- d) *Facilita a construção do conhecimento.*
- e) *A acrescentaríamos questões mais direcionadas ao conteúdo, e também explicaríamos um pouco do conteúdo durante a questão. “E você acha que existem partículas menores que as partículas que formam o átomo”?*

27. (a) *Interações fundamentais:* colocaria dois alunos, ambos com patins (ou em cima de skate), frente a frente e um deveria atirar a bola para o outro. Os alunos devem sofrer um recuo, na mesma direção, mas em sentidos opostos. Eles se afastam, isto é, sofrem uma repulsão. A bola funcionará como uma partícula mediadora de interação. Assim, poderia fazer a analogia com a força de repulsão existente nas interações fundamentais. (b) *partículas elementares:* Pediria para que imaginassem o momento exato do nascimento do universo, o Big Bang, sem pensar em outras crenças, apenas nisto. Explicaria que neste momento surgiram todas as substâncias, os elementos que conhecemos hoje. E que eles tentassem imaginar que partículas estariam ali. Eles devem seguir o raciocínio de chegar a uma menor partícula que eles conhecem, pois pediria para que eles tentassem chegar cada vez mais perto, e encontrassem o menor pedaço possível de tudo aquilo. Eles chegariam no próton, no elétron, e no nêutron. Assim, seguiria questionando se naquele monte de partículas presentes nesta hora, será que não poderia haver algo ainda menor? Será que o átomo, que era considerado indivisível, é formado por prótons e nêutrons, será que não há nada formando prótons e nêutrons? Assim, procuraria explicar que existem partículas ainda menores e quem elas são.

- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Sim.*
- d) *Facilita a construção do conhecimento.*
- e) *Não mudaria nada.*

28. (a) Qual sua idéia sobre partícula (macroscópico)? *Observar noções de partes de um inteiro.* (b) Como pode se chegar a uma partícula? *Quebrar, romper ligações.* (c) O que é uma partícula? *Definir – macroscópico.* (d) *Partícula elementar: microscópico. Lembrar: é a menor parte possível, não posso mais dividi-la. Forças que interagem (todas as envolvidas). Usar exemplo: Pessoas jogam uma bola entre si, as forças de repulsão envolvidas, o recuo sofrido, etc.*

- a) *Sim.*

- b) *Sim (partícula elementar, força como interação).*
- c) *Sim.*
- d) *Facilita a construção do conhecimento.*
- e) *Idéias/questões boas para um planejamento geral. Reformulação do questionário e apresentação do mesmo. Com discussão e esclarecimentos dados pelo professor.*

29. *Acelerador de partículas:* Em primeiro lugar, eu faria um breve comentário sobre o assunto, não entrando muito em detalhes. Logo após proporia uma pesquisa de modo que os alunos pesquisassem em livros, revistas, ou Internet sobre a evolução do modelo atômico até chegar ao modelo de padrão incluindo a questão do acelerador de partículas. Dando ênfase à questão da realidade. Os alunos trariam em aula objetos das suas casas que funcionam graças aos aceleradores. Um grupo explica aos outros suas descobertas. Um dos exemplos a serem debatidos é o caso da TV (como funciona uma TV). Outra questão que eu abordaria sob os mesmos princípios eram os raios cósmicos. Como eles interagem com o nosso planeta. Também através de pesquisas os alunos elaborariam as explicações da forma deles.

- a) *Sim.*
- a) *Sim.*
- b) *Sim.*
- c) *Facilita a construção do conhecimento.*
- d) *Muito bom, não mudaríamos nada.*