



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL NO ENSINO DE CÊNCIAS E**  
**MATEMÁTICA**

**MARCILON CHAVES MAIA**

**UMA ABORDAGEM DO MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE**  
**PARTÍCULAS ACESSÍVEL A ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

**FORTALEZA**

**2011**

**MARCILON CHAVES MAIA**

**UMA ABORDAGEM DO MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE  
PARTÍCULAS ACESSÍVEL A ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação submetida à Coordenação do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Área de concentração: Modelos Pedagógicos para o Ensino de Ciências

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida

**FORTALEZA**

**2011**

M271a Maia, Marcilon Chaves

Uma Abordagem do modelo padrão da física de partículas acessível a alunos do ensino médio/ Marcilon Chaves Maia. 2011

70 f. : il. color.

Orientador; Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida  
Área de Concentração: Modelos Pedagógicos para o Ensino de Ciências

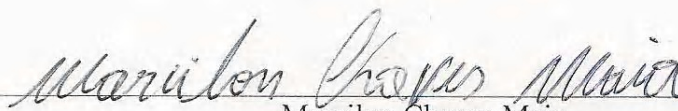
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Fortaleza, 2011

1. Modelo padrão 2. Partículas elementares 3. ensino médio I. Almeida, Carlos Alberto Santos de (Orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Curso de Mestrado Profissional no Ensino de Ciências e Matemática III. Título

CDD - 539.720712

**MARCILON CHAVES MAIA****UMA ABORDAGEM DO MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE  
PARTÍCULAS ACESSÍVEL A ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

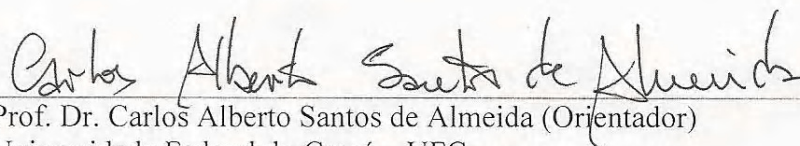
Esta Dissertação foi aprovada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, em cuja Biblioteca de Ciências e Tecnologia/UFC encontra-se à disposição dos interessados.



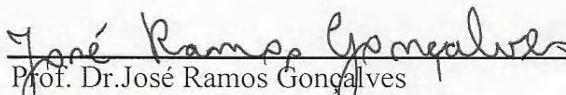
Marcilon Chaves Maia

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 24/01/2011

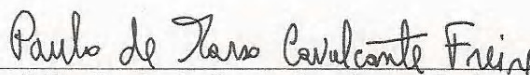
EXAMINADORES:



Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Dr. José Ramos Gonçalves  
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Dr. Paulo de Tarso Cavalcante Freire  
Universidade Federal do Ceará – UFC

## AGRADECIMENTOS

Ao Mestre, por estar comigo dias e noites nesta caminhada.

Ao professor Carlos Alberto Santos de Almeida, pela dedicação incansável e as sugestões tão apropriadas à elaboração desta dissertação.

Aos professores do Mestrado Profissional no Ensino de Ciências e Matemática, pelos caminhos que me ensinaram a trilhar, buscando aperfeiçoamento no campo da pesquisa.

Aos professores José Ramos Gonçalves e Paulo de Tarso Cavalcante Freire, por terem prontamente aceitado a examinar e contribuir no aprimoramento desta pesquisa.

Aos meus pais, que sempre apoiaram nas minhas aspirações e incentivando-me a realizar este trabalho.

Aos familiares, pela força e incentivos.

Ao meu amigo Marcilio Roberto Carneiro pelas inúmeras contribuições para este trabalho.

À minha esposa Diana Sandra Carneiro Maia, pelo apoio e compreensão em todas as horas.

Aos meus filhos.

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

## RESUMO

Este trabalho tem como núcleo ou ponto central principal a exploração de uma estória: “*Quantolândia, a república das partículas*”, uma ficção criada pelo autor, na qual são apresentados aspectos históricos, conceitos e idéias da Física das partículas elementares cujo propósito é oferecer uma maneira divertida e rica em analogias para apresentar o chamado “Modelo padrão da física de partículas” a estudantes do ensino médio. A partir da estória busca-se construir o aprendizado apresentando as raízes da teoria atômica, as descobertas e conceitos que culminaram na atual modelagem das partículas elementares, bem como fazer considerações sobre o *status* da teoria na atual conjuntura da Física. Guiados por esse núcleo temático, foram elaborados dois questionários que foram aplicados em duas turmas de ensino médio da cidade de Fortaleza em dois momentos diferentes: um antes e o outro após ser apresentada a proposta da estória. Nestes questionários testou-se nos alunos o nível de conhecimentos com relação aos pontos mais básicos ou essenciais dos conteúdos envolvidos no assunto. O chamado Modelo Padrão da Física de Partículas, já se sabia, pela experiência do autor como professor (e isto foi comprovado pela aplicação dos questionários citados), não ser um tema com o qual a maioria dos estudantes de ensino médio estejam familiarizados. Alguns alunos mais bem informados até já “ouviram falar” alguma coisa sobre *quarks*, *spin*, *quantum de energia*, *partículas virtuais* ou outros termos típicos do jargão da Física, mas a grande maioria sequer tem uma noção adequada daquilo que conhecemos como “partícula elementar”. Dentro de uma das condições da proposta de **Ausubel** de que o conteúdo escolar a ser aprendido tem de ser potencialmente significativo, o significa ter de ser lógica e psicologicamente significativo, pensamos em uma forma simples, sem apelos a muitos recursos externos e quase sem nenhuma fórmula matemática, de tentar viabilizar esse objetivo através da estória citada, cuja a intenção é cativar o aluno com apelo à curiosidade construtiva.

Palavras-chave: modelo padrão, partículas elementares e ensino médio.

## ABSTRACT

This work has, as a main purpose or focal point, to explore a story: "*Quantumland, the Republic of particles*," a fiction created by the author, which also presents historical aspects, concepts and ideas of elementary particles physics aiming to offer a funny way to introduce the so-called Standard Model of particle physics to high school students. From the story presentation we try to show some essential features of the atomic theory, with the discoveries and concepts that led to our nowadays knowledge about elementary particles, and also to show some considerations about the status of the theory in modern physics. Guided by this core theme we developed two questionnaires that were applied to two high school classes in Fortaleza and in two different moments: one before and one after the story introduction. These questionnaires tried to test the students background concerning the most basic or essential contents involved in the theme. The work showed that the so-called Standard Model of Particle Physics, as the author had already experienced in his job as a physics teacher (and proved by means of questionnaires mentioned) is not a familiar theme for most high school students. Some students (the most well-informed) have at most "heard" something about quarks, spin, quantum energy, virtual particles or other terms of the typical jargon of physics, but most of them do not even have an adequate grasp of what was known as a elementary particle. As one of the conditions of Ausubel's Meaningful Reception theory that learning must be potentially significant or has to be logical and psychologically meaningful, we thought of a simple way, without appeals to mathematical formulae that could facilitate the student learning of the ideas and guide him to a constructive curiosity.

Keywords: standard model. elementary particles. high school teaching.



**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

FIGURA 1	Resposta da Turma 1 à pergunta 1.....	37
FIGURA 2	Resposta da Turma 2 à mesma pergunta .....	38
FIGURA 3	Desconhecimento da estrutura nuclear pela Turma 1.....	38
FIGURA 4	Mesma pergunta respondida pela Turma 2 .....	39
FIGURA 5	Sondagem sobre o modelo padrão da Turma 1 .....	39
FIGURA 6	Mesma resposta pela Turma 2 .....	40
GRÁFICO 1	Gráfico relativo à pergunta 1 .....	42
GRÁFICO 2	Gráfico relativo à pergunta 2 .....	43
GRÁFICO 3	Gráfico relativo à pergunta 3 .....	43
GRÁFICO 4	Gráfico relativo à pergunta 4 .....	44
GRÁFICO 5	Gráfico relativo à pergunta 5 .....	44
GRÁFICO 6	Gráfico relativo à pergunta 6 .....	45
GRÁFICO 7	Gráfico relativo à pergunta 7 .....	45
GRÁFICO 8	Gráfico relativo à pergunta 8 .....	46
TABELA 1	Resultado da avaliação das Turmas .....	48

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>Capítulo 1 - REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	14
<b>Capítulo 2 - METODOLOGIA E OBJETIVOS</b> .....	18
<b>2.1 - Metodologia e objetivos</b> .....	18
<b>2.2 - Esquema geral da metodologia</b> .....	22
<b>2.3 - Da organização dos questionários</b> .....	22
2.3.1 - Questionário 1 .....	23
2.3.2 - Questionário 2 .....	23
<b>2.4 - Sobre a forma de usar a metodologia</b> .....	23
<b>2.5 - Sobre o uso de recursos de vídeos complementares à didática</b> .....	25
<b>Capítulo 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	26
<b>3.1 - Introdução</b> .....	26
<b>3.2 - Inserção de fatos históricos nas explicações usadas em Quantolândia...</b>	27
<b>3.3 - Ausubel e a Física de Partículas</b> .....	28
<b>3.4 - Aprendizagem significativa</b> .....	29
<b>Capítulo 4 - ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	31
<b>4.1 - Introdução</b> .....	31
<b>4.2 - Questionário comum</b> .....	31
<b>4.3 - Exame comparativo da aprendizagem nas duas Escolas levando em conta a resposta correta</b> .....	36
<b>4.4 - Comentários sobre a aplicação do Questionário 1</b> .....	37
<b>4.5 - Questionário 1 – Considerações finais</b> .....	41
<b>4.6 - Questionário 2</b> .....	42
4.6.1 - Sobre as questões extras .....	47
<b>4.7 - Comparando a escola pública e privada através dos resultados</b> .....	52
<b>Capítulo 5 - DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO</b> .....	53
<b>5.1 - Introdução</b> .....	53
<b>5.2 - O Narrador</b> .....	53
<b>5.3 - O Tamanho dos habitantes da ilha</b> .....	53

<b>5.4 - A Mutação</b> .....	53
<b>5.5 - Difração de pessoas</b> .....	54
<b>5.6 - Divisão das partículas em férmions e bósons</b> .....	54
<b>5.7 - Divisão em léptons, mésons e hadrões</b> .....	54
<b>5.8 - Quarks</b> .....	55
<b>5.9 - Spins</b> .....	55
<b>5.10 - Energia e salário</b> .....	55
<b>5.11 - Antimatéria</b> .....	55
<b>5.12 - Convivência social</b> .....	56
<b>5.13 - Explicando a ação dos mediadores</b> .....	56
<b>5.14 - Religião</b> .....	57
<b>5.15 - Capítulos seguintes à estória</b> .....	58
5.15.1 - Capítulo sobre a genealogia das partículas .....	58
5.15.2 - Capítulo sobre o surgimento da Física Quântica .....	58
5.15.3 - Capítulo que explica os fatos descritos em Quantolandia .....	59
5.15.4 - Capítulo de implicação .....	59
<b>5.16 - Final</b> .....	59
<b>Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	60
<b>6.1- Introdução</b> .....	60
<b>6.2 - Aperfeiçoamento da idéia?</b> .....	62
<b>CONCLUSÃO</b> .....	63
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64
<b>APÊNDICES</b> .....	65
<b>APÊNDICE A – Questionário 1</b>	
<b>APÊNDICE B – Questionário 2</b>	
<b>APÊNDICE C – Quantolandia, a república das partículas (CD-ROM)</b>	

## INTRODUÇÃO

Qualquer professor que lida com estudantes de Ensino Médio através de disciplinas da área de ciências exatas, notadamente Física, percebe no aluno uma clara falta de vinculação contextual entre aquilo que se estuda e aquilo que ele considera ser a “realidade”. Há aí dois problemas a serem trabalhados: o primeiro, mais difícil, ou melhor, mais profundo, de fazer o aluno compreender que aquilo que se supõe ser a realidade é bem diferente daquilo que a ciência em última instância tem mostrado ser o pano de fundo da realidade. O segundo, mais viável, é de mostrar o conteúdo em uma forma mais próxima do universo mental do aluno, para que ele sinta que os assuntos não são assim tão distantes quanto ele pensa daqueles que normalmente fazem parte de seu foco de atenção.

Foi com o pensamento de encontrar uma forma atrativa de ensinar Física que nasceu o que hoje se transformou neste trabalho de dissertação. O Modelo Padrão responde a muitas das perguntas sobre a estabilidade da matéria através de estruturas em seis tipos de quarks, seis tipos de léptons e quatro bósons mediadores. Embora não esteja ainda completo, ele representa uma grande unificação no conhecimento de toda a Física e isto, cremos, justifica uma das razões para esta escolha de tema. Cremos que, assim como na Biologia, o estudo sobre a origem das espécies possibilitou um maior entendimento sobre o surgimento e futuro da vida na Terra; o estudo da genealogia das partículas na Física tem alcance e importância ainda maior, pois poderá nos oferecer um maior conhecimento sobre o passado e o futuro de todo o universo.

Desde que surgiu, a Física Quântica tem proporcionado uma verdadeira revolução na forma como a Física vê e descreve o mundo, e uma dessas grandes quebras de paradigma foi com relação à idéia de vácuo. No desenvolvimento utilizado, foi criada uma estória que recebeu o nome de Quantolândia, na qual procuramos uma forma simples de levar o estudante de ensino médio a entender, por exemplo, que o vácuo é a fonte energética de tudo quanto existe.

Como pode ser constatado na análise feita após a aplicação dos questionários, o uso da apostila proporcionou, de fato, uma melhora na aprendizagem dos conteúdos a serem trabalhados na idéia do Modelo Padrão da Física de Partículas.

Este trabalho está dividido da seguinte forma:

Capítulo 1: Descreve-se resumidamente o que há na literatura que se aproxima ou é similar à proposta deste trabalho;

Capítulo 2: Fala-se sobre a metodologia, os objetivos e como foram desenvolvidos os questionários aplicados aos estudantes;

Capítulo 3: São apresentados os fundamentos teóricos;

Capítulo 4: Faz-se uma análise do resultado da aplicação dos questionários onde se procura sentir o efeito que teve nos alunos o uso da estória na assimilação dos conteúdos, bem como exibir aspectos peculiares da aprendizagem de física no Ensino médio;

Capítulo 5: Mostra-se como foi organizada seqüencialmente a estória de Quantolândia, a qual foi criada de forma a atender os objetivos deste trabalho e a ligação dela com a aprendizagem significativa de Ausubel, bem como tecem-se algumas considerações sobre o modelo padrão da física de partículas;

Capítulo 6: Tecem-se as considerações finais, em que se examinam os rumos que se podem tomar na mesma direção da proposta.

Após estes capítulos, temos três apêndices, em cujo os dois primeiros há, na íntegra, os questionários aplicados aos estudantes, e o terceiro é a apostila que apresenta a estória de Quantolândia..

## Capítulo 1 - REVISÃO DA LITERATURA

Foi já nos meados do século XX que o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) passou a ganhar mais atenção por parte das autoridades ligadas ao ensino no Brasil, embora os sinais e sintomas do descompasso que havia entre o que os estudantes viam em sala de aula e o que se via como produção tecnológica no dia a dia já estivessem visíveis há bem mais tempo. O editorial publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física de 2002<sup>1</sup>, por exemplo, apontava naquela época para esse problema (grifos nossos):

Enquanto o Comitê Nobel resolveu premiar há dois anos as pesquisas em Física que foram fundamentais para a moderna Tecnologia da Informação, baseada na ótica e eletrônica, constituída de lasers, diodos, transistores, fibras ópticas e usadas em dispositivos modernos como celulares, CDs e satélites de comunicação, dentre outros, ensinamos, quando muito, a física dos pêndulos, da balística do século XVII, da termometria, das lentes etc. Deixamos a Física mais excitante como aquela contida, por exemplo, no modelo padrão, na interação da radiação com a matéria, na cosmologia moderna, nos novos materiais fabricados pelo homem, para o pesquisador nas diversas instituições.

Vemos assim que, já naquele ano, classificava-se o ensino do chamado Modelo Padrão da Física de Partículas (MPFP) como “excitante” e que, no entanto, estava sendo negligenciado.

Nesse mesmo editorial, foi ressaltado também a aplicação das diretrizes dos novos (à época) Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) no ensino brasileiro que enfatizavam o descompasso entre os aspectos de conteúdo que já citamos (grifos nossos):

É parte dessa preocupação ressaltar o sentido da Física como visão de mundo, como cultura, em sua acepção mais ampla, a nova ênfase atribuída à cosmologia física, desde o universo mais próximo, como o sistema solar e em seguida nossa galáxia, até o debate dos modelos evolutivos das estrelas e do cosmos. Sabidamente, estão ausentes dos currículos tradicionais tanto estes aspectos de caráter cultural mais geral, como outros mais de cultura tecnológica, não necessariamente pragmática, a exemplo da interpretação de processos envolvendo transformações de energia, na geração de energia elétrica, nos motores de combustão interna, em refrigeradores, ou mesmo em pilhas eletroquímicas, para não falar nos equipamentos óptico-eletrônicos e de processamento de informação, que hoje fazem parte de toda a vida contemporânea, desde relógios de pulso a computadores, e que envolvem uma micro-eletrônica quântica, impensável na escola tradicional, nem mesmo como

---

<sup>1</sup> Revista Brasileira de Ensino Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, v. 24, n. 4, dez. 2002.

simples fenomenologia, especialmente devido à tradição lógico-dedutiva do seu ensino.

Vemos assim que, já naquela época, expressava-se a insatisfação com a postura predominante da escola tradicional, que perpetuava o descompasso entre o ensino na sala de aula e a Física do dia a dia do mundo moderno.

Em extenso trabalho de levantamento bibliográfico, Ostermann & Moreira<sup>2</sup> assinalaram diversos aspectos da carência do ensino de Física no Ensino médio de maneira geral e sua inadequação à realidade do mundo contemporâneo, postura que converge com a proposta de nosso trabalho (grifos nossos):

[...]têm sido consideradas três vertentes representativas de abordagens metodológicas para a introdução de Física Moderna e contemporânea no ensino médio: exploração dos limites dos modelos clássicos; não utilização de referências aos modelos clássicos; escolha de tópicos essenciais. Na realidade, pode-se verificar que, além de ser um tanto escassa a literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino da FMC nas escolas, há várias divergências a respeito de que caminho deve ser seguido. Em particular, o papel das analogias clássicas para o entendimento dos conceitos modernos [...]

Vemos, assim, que o uso de analogias tem uma grande importância na aplicação e repasse de conceitos da Física Moderna. A estória de Quantolândia é toda ela desenvolvida em cima deste recurso, como poderá ser constatado pela leitura deste terceiro apêndice ao final deste trabalho.

Com relação à literatura específica relacionada à metodologia de usar analogias, queremos destacar em especial quatro trabalhos:

- 1- O excelente trabalho de Gamov<sup>3</sup>, que foi marcante tanto para a elaboração de uma proposta similar quanto para a nossa própria aprendizagem de conceitos da Física Quântica e Teoria da Relatividade;
- 2- O interessante e raro (e só conhecemos em edição em espanhol) trabalho de Chernogorova<sup>4</sup>, físico russo, que também explora o interior do mundo atômico no intuito de decifrar conceitos e explicar fenômenos;

---

<sup>2</sup> OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física moderna e contemporânea no ensino médio". *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.23-48, jan. 2000.

<sup>3</sup> GAMOV, George. **O incrível mundo da Física Moderna**. São Paulo: Ibrasa, 1976.

<sup>4</sup> CHERNOGOROVA, V. **Enigmas del micromundo**. Moscou: MIR, 1977.

3- O também excelente trabalho de Gilmore<sup>5</sup>, no qual nos inspiramos muito também no desenvolvimento da estória de Quantolândia;

4- Por fim, o valoroso e oportuno trabalho de Abdala<sup>6</sup> (e que tem relação ainda mais direta com a nossa proposta de trabalho), que fez pela primeira vez na literatura científica brasileira uma abordagem de um tema super atualíssimo que é o modelo padrão da física de partículas.

O livro de Gamov é quase um “Cristovão Colombo” a se aventurar num continente pouco explorado, mas rico em recursos de ensino. Ele trata da vida de um homem do cotidiano, chamado Thompkins, completamente leigo em Física, que, por formas diversas, seja dormindo na platéia de um auditório, seja após ter consumido um copo de whisky, é levado a ter visões de fatos e processos que ocorrem tanto no interior da matéria quanto na imensidão do espaço cósmico e assim se consegue mostrar ao leitor princípios e leis essenciais da Física Moderna.

O livro de Chernogorova, de todos que já tivemos a oportunidade de ler desse gênero, é o mais rico em detalhes, pois se reporta tanto a aspectos históricos quanto a conceitos e experimentos da física de partículas.

Pode-se dizer que o livro de Gilmore é um descendente direto da obra de Gamov, só que específico para os conceitos da Física Quântica, embora a linha temática se baseie numa obra do século XIX (1862)<sup>7</sup>. Gilmore consegue tornar os aspectos quânticos claros e acessíveis, com ilustrações mais adequadas, algo que faltou um pouco aos trabalhos de Gamov e Chernogorova.

Já o trabalho de Abdala tem o grande mérito de trazer ao leitor noções específicas sobre o mundo das partículas elementares, apresentando tanto a terminologia quanto noções da teoria das partículas elementares. Em linguagem simples, direta, precisa e fluente, o livro nos fala, com particular charme e estilo, da elegância e da organização que caracterizam o mundo das chamadas partículas elementares e os campos de força fundamentais que descrevem as suas interações.

É claro que os trabalhos que citamos não esgotam todos os recursos e esforços que tem sido feitos no sentido de melhorar o ensino da FMC para os estudantes de ensino

---

<sup>5</sup> GILMORE, R. **Alice no país do Quantum**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

<sup>6</sup> ABDALA, C. **O Discreto charme das partículas**. São Paulo: UNESP, 2006.

<sup>7</sup> Veja-se, por exemplo, a edição portuguesa CARROL, Lewis. **Alice no país das maravilhas**. São Paulo: L&PM, 1998.



médio nos últimos anos, no entanto, o que se tem produzido especificamente direcionado para o modelo padrão de física de partículas ainda é extremamente escasso (mesmo em outras línguas), de forma que destacamos estes quatro trabalhos porque foram eles que tiveram mais influência direta na produção da estória que é o núcleo central deste trabalho.

## Capítulo 2 - DA METODOLOGIA E OBJETIVOS

### 2.1 - Metodologia e objetivos

Assim como para um médico é frustrante ver seu paciente não se curar com a medicação prescrita, é também frustrante para um professor ver que seu método de ensino não está fazendo o aluno assimilar o conteúdo. No caso de um aluno que não está fazendo a sua parte e estudando o que devia, isso tem uma explicação trivial. Quando, porém, o professor procura dar o melhor de si, e o estudante se esforça por entender e ainda assim o sucesso não é obtido, muito provavelmente a causa da dificuldade deve estar na metodologia. Talvez só uma mudança na forma de abordar o conteúdo possa “desatar o nó” que impede o aluno de aprender e assim aliviar um pouco a tensão criada pela sensação de não se estar aprendendo. Temas como Teoria da Relatividade, Física Quântica e, de maneira geral, toda a Física Moderna e Contemporânea (FMC) são exemplos claros cuja única alternativa é usar uma boa metodologia. Por que especificamente esses temas? É porque se, para muitas escolas, realizar experimentos em física clássica já é difícil, seja por carência de um bom laboratório, seja pela pouca ou quase nenhuma atenção que a escola de ensino médio brasileira dá para a prática de experimentos de física, realizar experimentos de física moderna então se torna um obstáculo quase intransponível. É raríssimo em uma escola de ensino médio aqui no Brasil (até mesmo no ensino privado) os estudantes terem a chance de realizar o experimento do efeito fotoelétrico ou de difração de elétrons. Portanto, usar uma boa metodologia pode ser a única saída que dispõe o professor diante do desafio de ensinar conceitos da FMC.

Trabalhamos como professor de Física no Ensino Médio desde 1988 e percebemos neste período que a física estudada no ensino médio está vinculada única e exclusivamente à Física Clássica, a Física do século XIX e anteriores, e alguns conhecimentos, inclusive aplicações cotidianas, são deixadas em segundo plano ou nem sequer são abordadas. Com isso, no entanto, não estamos querendo dizer que o que é ensinado não seja importante, mas que há carência e necessidade de uma abordagem da Física Moderna e Contemporânea nas escolas de Ensino Médio, com o intuito de incentivar os alunos a compreenderem alguns aspectos do desenvolvimento tecnológico.

Um dos aspectos que geraram a motivação para realizar um trabalho nessa área de FMC ocorreu a partir do momento que a Universidade Federal do Ceará (UFC) passou a cobrar nas provas do vestibular, conhecimentos tais como: Teoria da Relatividade, noções de

Mecânica Quântica, átomo de Bohr (modelos atômicos), Radioatividade etc. Até então só havíamos ensinado, durante todo esse período de magistério em Física, a física clássica: Mecânica, Termologia, Ondas, Eletricidade etc e, a partir desse momento passamos a lecionar os novos conteúdos exigidos pela UFC. Inicialmente ficamos preocupados, pois percebíamos que o interesse dos alunos por Física de uma maneira geral era muito pequeno e achávamos que passar a abordar um conhecimento mais aprofundado ou atual da Física talvez fosse agravar a situação, mas grande foi nossa surpresa, pois o nível de atenção às aulas e ao novo assunto foi melhor do que a do conhecimento clássico, cuja abordagem, pelos livros didáticos editados no Brasil, se dá em sua maioria por meio de fórmulas matemáticas e pouco por meios fenomenológicos. Quando tivemos conhecimento do livro de Abdala<sup>8</sup>, tínhamos lido um certo tempo antes os livros de Gamov e Chernogorova<sup>9</sup> e pensamos numa forma de unir as idéias numa obra só, com o propósito de apresentar o modelo padrão da física de partículas.

Essas foram as raízes que deram origem à estória “*Quantolândia, a república das partículas*”, a qual serve de núcleo para o desenvolvimento de todo este trabalho. O recurso de usar estórias ou ficções pode ser usado para muitas outras áreas. Há, por exemplo, o conhecido trabalho “*O homem que calculava*”, de Malba Tahan<sup>10</sup>, hoje já transformado em peça teatral, em que o autor apresenta conceitos de álgebra, geometria e matemática de maneira geral, de uma forma cativante e educativa, de maneira que acreditamos que o recurso tem boa chance de ser bem sucedido.

Ao tomar conhecimento do trabalho de Ausubel, que propõe que o conteúdo escolar a ser aprendido tem de ser potencialmente significativo, verificamos que mesclar a idéia da estória com as fundamentações do autor poderia ser realizada, pois, por ser a Física um sistema de signos com seus próprios instrumentos (procedimentos e equipamentos), uma boa maneira de apresentar o Modelo Padrão de partículas poderia ser usando a estória através de comparações com algo familiar ao universo cognitivo do aluno, o que ocorre exatamente, na estória, quando há a comparação entre as partículas e os membros de uma sociedade.

Sabemos que átomo é um conceito teórico muito mais complexo do que os que formam o substrato conceitual de uma aprendizagem tradicional. Há nele aspectos estranhos como, dualidade onda-partícula, números quânticos, *spin*, saltos quânticos, para citar apenas

---

<sup>8</sup> ABDALA, 2006

<sup>9</sup> CHERNOGOROVA, 1977

<sup>10</sup> Ver, por exemplo, TAHAN, Malba. **O Homem que calculava**. 58.ed. São Paulo: Record, 2002.

alguns. No entanto, à medida que vamos adaptando nossas estruturas cognitivas a uma forma de pensar mais quântica, vamos encontrando maneiras de encaixar “idéias antigas com novas”. Sabemos que, por exemplo, assim como seres humanos nascem homem ou mulher, casam-se, trocam mensagens e morrem, apresentamos na estória (para efeito de aprendizagem) que as partículas possuem o atributo “carga” correspondendo ao atributo de sexo, o nascimento correspondendo ao surgimento da partícula na reação, a troca de mensagens correspondendo às interações entre as partículas, e a morte correspondendo ao decaimento ou processo em que uma partícula dá origem à outra (ou outras), e os bósons mediadores correspondendo a agentes espíões do governo. Da mesma forma, assim como para tudo que fazemos ou produzimos precisamos de recursos financeiros para obtê-lo, usamos o conceito de energia como sendo a “moeda” do mundo atômico.

A idéia mais importante na teoria de Ausubel é certamente o da aprendizagem significativa. A aprendizagem significativa é um processo no qual uma nova informação se relaciona com algum aspecto relevante na estrutura de conhecimento do indivíduo, de modo que as informações se armazenam na mente humana de forma altamente organizada, formando a idéia de hierarquia conceitual. Geralmente quando uma pessoa lida com uma teoria ou idéia nova, e nisso nós temos os exemplos da física quântica e da Teoria da Relatividade, a maior dificuldade está justamente no fato de a pessoa não conseguir “encaixar” o dado novo nas estruturas de conhecimento dos dados velhos. A maioria dos conhecimentos se dá por comparação. Muitas vezes uma criança pergunta ao pai o que é “tal coisa”, e o pai responde recorrendo a uma comparação com algo que a criança já conhece. Desta forma, a aprendizagem se dá por uma espécie de estrutura hierarquizada, na qual um conhecimento “herda” um pouco das características de um conhecimento anterior.

A Teoria de Ausubel prioriza a Aprendizagem Cognitiva, que é a integração do conteúdo novo ao conhecimento pré-existente no aluno, denominado de subsonçor, e assim a idéia de uma sociedade em que seus membros e suas regras correspondem (na medida do possível) às próprias partículas que são estudadas na Física; achamos que o conhecimento anterior do aluno de como é e como vive uma sociedade poderia resultar em um "ponto de ancoragem", em que as novas informações pudessem encontrar um modo de se integrar a aquilo que ele já conhece. Nos exemplos que demos antes, de comparar carga com o atributo de sexo, de comparar diálogo ou troca de mensagens com interações, de comparar a morte com o processo de decaimento, de comparar bósons mediadores com agentes do governo, temos exemplos de como são gerados subsonçores para a aprendizagem do modelo padrão de

partículas para os estudantes de Ensino Médio. Além disso, a metodologia leva indiretamente o aluno a uma espécie de universalidade no conhecimento (não são só seres vivos que nascem, evoluem e morrem, mas também partículas e até estrelas).

Quando o conteúdo escolar a ser aprendido não consegue ligar-se a algo já conhecido, ocorre o que Ausubel chama de aprendizagem mecânica, ou seja, as novas informações são aprendidas sem interagir com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Assim, a pessoa decora fórmulas, leis, mas as esquece após a avaliação. Isso é um fato conhecido de qualquer professor de Física ou Matemática e é indesejável para quem realmente se preocupa mais em “formar” do que em “informar”. Em FMC isso é essencial. Nossa proposta vai de encontro frontal a essa aprendizagem mecânica.

Segundo Ausubel, para haver a aprendizagem significativa são necessárias duas condições:

- 1- O aluno precisa querer aprender, o que significa ter disposição. Se o aluno quiser apenas memorizar o conteúdo arbitrariamente e literalmente, então a aprendizagem será mecânica e será de pouca duração;
- 2- O conteúdo escolar tem de apresentar um valor potencialmente significativo, o que lhe exige ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, já o significado psicológico vem da experiência que cada aluno já tem.

Com isso as proposições de Ausubel partem da consideração de que os indivíduos apresentam uma organização cognitiva interna baseada em conhecimentos de caráter conceitual, sendo que a sua complexidade depende muito mais das relações que esses conceitos estabelecem em si que do número de conceitos presentes. Essas relações mantêm geralmente uma hierarquia.

A estrutura hierarquizada conceitual citada anteriormente pode ser bem representada em forma de mapas conceituais. Nesse ponto os mapas cumprem o papel de organizador hierárquico dos conteúdos. Por isso, fizemos uso da idéia de Ausubel para apresentar o Modelo Padrão da Física de Partículas usado na apostila, que, embora faça parte do corpo da dissertação, será publicada também à parte desta.

De acordo com Moreira, M.A.(1) temos sobre a hierarquia conceitual que:

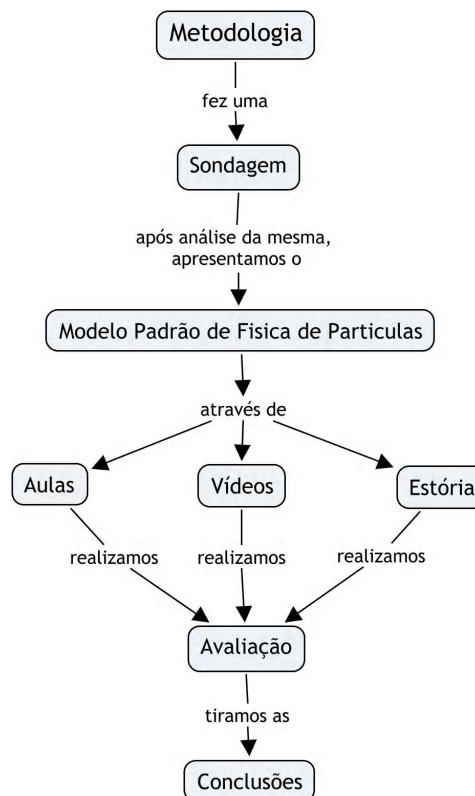
“Uma vez identificado os conceitos superordenados e subordinados de uma disciplina ou corpo do conhecimento, eles podem ser dispostos hierarquicamente num diagrama bidimensional que pode ser usado para fins instrucionais. Tais diagramas podem ser chamados de “mapas conceituais”. Os mapas conceituais

procuram refletir a organização conceitual de uma disciplina ou parte de uma disciplina”.

Deste modo, percebe-se que os mapas conceituais podem facilitar a aprendizagem do aluno na organização do conteúdo de uma aula ou até mesmo de um curso.

## 2.2 - Esquema geral da metodologia

O mapa a seguir esquematiza a metodologia aplicada:



## 2.3 - Da organização dos questionários

De posse da base teórica pela qual embasar o trabalho pusemo-nos então na tarefa de organizar os questionários que permitissem fazer comparações entre os conteúdos que os estudantes possuem a respeito dos termos e conceitos ligados ao modelo padrão da física de partículas e o fizemos para ser aplicados em dois momentos, antes e após ser apresentada a estória de Quantolândia. Os questionários foram aplicados em duas turmas de Ensino Médio da cidade de Fortaleza.

### 2.3.1 - Questionário 1

Vamos ao primeiro questionário. A primeira pergunta dele é a mais importante, pois testa no aluno se ele sabe o que é uma partícula elementar. A segunda pergunta testa o conhecimento histórico do aluno sobre o assunto, pois indaga dele se ele sabe o que significa a palavra átomo.

Na terceira pergunta, busca-se um pouco de conhecimentos do aluno ao indagar-lhe se ele tem conhecimento sobre a composição do núcleo do átomo.

Na pergunta seguinte (4) procura-se sondar no aluno se ele é capaz de identificar uma partícula elementar entre algumas apresentadas. Na perguntas 5 e 6, o aluno é indagado se já ouviu falar em Modelo Padrão e em antimatéria. Na pergunta 7, o aluno é testado quanto ao conhecimento das forças ou interações básicas da Física. Por fim, o aluno é sondado sobre o jargão da física de partículas.

### 2.3.2 - Questionário 2

No questionário 2, de certo modo, revisitamos o questionário 1, pois sua intenção é verificar o que mudou no aprendizado. A primeira pergunta é a mesma do questionário 1. A segunda pergunta apenas refaz de uma forma mais construtiva a pergunta de número correspondente do questionário 1. A terceira também reformula a maneira de perguntar com relação a existência das quatro forças ou interações. A quarta e quinta perguntas testam no aluno o conhecimento que ele reteve sobre quarks. A sexta pergunta testa diretamente se o aluno assimilou pela estória o que é um bóson mediador através dos personagens chamados “guardas dos serviços de vigilância”. Na sétima pergunta procura-se extrair do aluno exemplos de membros do modelo padrão. A oitava tem uma finalidade mais conceitual e nela se procura saber se o aluno assimilou bem o que é e como age a força nuclear. Nas perguntas seguintes sondam-se conhecimentos e informações que os alunos tem sobre temas como natureza das forças, existência do Large Hadron Collider (LHC), dentre outros. Por fim temos duas perguntas finais que avaliam o efeito da estória na aprendizagem.

## 2.4 - Sobre a forma de usar a metodologia

Inicialmente foi aplicado o questionário 1 com o objetivo de avaliar o conhecimento prévio do aluno acerca do conceito de partículas elementares. O questionário procurava identificar, por meio de perguntas simples, o que era uma partícula elementar; pedia-se para ser dado exemplos, indagava-se acerca das novas descobertas e com isso fizemos um apanhado desse conhecimento.

Em seguida, ministramos uma aula expositiva contando as descobertas das primeiras partículas, partículas essas que eles já conheciam, ou seja, faziam parte da estrutura cognitiva do aluno, tais como: apresentação das primeiras idéias dos modelos atômicos, a descobertas dos elétrons, prótons e nêutrons. Nessa aula, foram usados vídeos com animações, experiências, como, por exemplo, a experiência de Rutherford. Durante a aula, era permitida a interação dos alunos, o que lhes proporcionava a construção da definição de uma partícula elementar. Foi durante essa primeira aula que um dos alunos exclamou dizendo:

- *“Então professor, o átomo não é mais átomo?”* (o seu raciocínio partia da idéia original do termo em grego).

No final dessa aula, foi entregue aos alunos o material, a apostila produto dessa dissertação, para que eles estudassem informando-lhes que seriam avaliados sobre o conteúdo dela. Nesse material, além da estória de Quantolândia, há um relato histórico da origem das partículas e suas descobertas indicando, além do aspecto cronológico, os cientistas envolvidos nessas descobertas.

Na segunda aula, foi abordada a definição e conceito do que é uma partícula elementar. Essa aula foi toda elaborada trazendo como tema principal as descobertas da física contemporânea em relação às novas partículas elementares; falamos de léptons, quarks e bósons mediadores, tendo como base a estória de Quantolândia previamente lida por eles. Novamente, foi uma aula interativa, em que usamos recursos de multimídia de modo a apresentar, em vídeo, as experiências dos cientistas nas descobertas das novas partículas. Até esse momento, ainda não tínhamos falado de Modelo Padrão, pois essa construção viria na terceira aula.

Como já dissemos, nessa terceira e última aula, fizemos a construção do Modelo Padrão de partículas elementares, apresentamos em vídeo o LHC, suas experiências e as buscas futuras dos cientistas usando essa enorme aparelhagem.

Finalmente, aplicamos o segundo questionário, procurando identificar o novo conhecimento adquirido pelos alunos. E como os resultados mostram (ver capítulo 4) percebe-se que é perfeitamente viável a inserção do conhecimento científico mais moderno da FMC, a esse nível educacional.



## 2.5 - Sobre o uso de recursos de vídeos complementares à didática

Como mencionamos na seção anterior, um recurso que se somou com a metodologia de usar a estória criada para repassar os conteúdos foi o uso de vídeos criteriosamente selecionados e de excelente didática que foram usados para complementar a exposição das idéias do modelo padrão. Estes vídeos foram obtidos nos seguintes sites :

Aula 01: Vídeo demonstrando a experiência de Rutherford

<http://www.youtube.com/watch?v=ocJctcoYmXI>

Aula 02: Vídeo demonstrando a experiência do efeito fotoelétrico

<http://www.youtube.com/watch?v=CEuMmMxD-vI>

Aula 02: Vídeo relacionado com antimatéria e LHC

<http://www.youtube.com/watch?v=jEVDPMQprsk>

Aula 03: Vídeos sobre o modelo padrão baseado no livro de Maria Cristina Abdala – O discreto charme das partículas elementares

[http://www.youtube.com/results?search\\_query=o+discreto+charme+das+particulas+elementares&aq=f](http://www.youtube.com/results?search_query=o+discreto+charme+das+particulas+elementares&aq=f)

## Capítulo 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 - Introdução

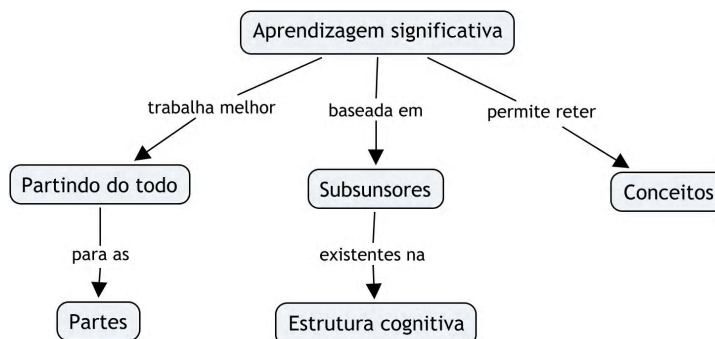
Com a relativamente recente postura de se dar mais foco ao ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) aqui no Brasil, passou-se a ter, então, o seguinte desafio: se repassar o conteúdo da física tradicional (newtoniana) já não é uma tarefa das mais simples, que dizer, portanto, da tarefa de repassar aos alunos de ensino médio o conteúdo de uma física ainda menos natural ao cotidiano deles?

Sabe-se hoje que a maior parte destes estudos da Física Moderna nasceu do estudo dos pormenores da estrutura atômica e que tais estudos mostraram resultados que eram, em sua maioria, contrários ao senso comum, como, por exemplo, ondas se comportando como partículas, partículas se comportando como ondas, dilatação do tempo, contração do espaço, espaços curvos, a certeza cedendo lugar para a incerteza, buracos negros, Teoria do *Big Bang*, para citar apenas alguns exemplos dos mais conhecidos.

No coroamento das idéias que surgiram destes estudos, podemos dizer que se encontra o chamado Modelo Padrão da Física de Partículas (MPFP). Houve uma época (primeiras décadas do século XIX) em que, já se sabendo que os átomos eram uma realidade, o que se queria era uma forma de agrupá-los de forma organizada, buscando propriedades comuns ou algum tipo de ordenamento. O interessante também é que assim como a mera busca da organização dos seres vivos levou a entendimentos sobre a origem das espécies, o entendimento da organização das partículas que compunham os átomos levou também a Física a muitas compreensões que lhe permitiram formular modelos sobre a origem de todo o universo.

Portanto, é inegável a importância do MPFP para que o aluno possa ter uma formação (e não uma mera informação) sobre todo o edifício de conhecimentos que é a Física. Assim, de posse da tarefa de repassar aos alunos de ensino médio, e de uma forma não densa, o que é o MPFP, precisávamos estar munidos de uma técnica que fosse capaz de remover o impacto de expor idéias incomuns e, por vezes, até paradoxais (dualidade onda-partícula, por exemplo) para os estudantes de ensino médio; por isso nos inspiramos nos trabalhos de Gamov, Gilmore e Abdala, citados no primeiro capítulo.

Faltava, porém, o componente pedagógico para fazer a conexão entre o produto (apostila) e os objetivos. Isso encontramos na Teoria das Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, abaixo esquematizada de forma bem resumida:



A fundamentação teórica que vamos apresentar aqui é bem resumida, em função da própria natureza de nosso trabalho, como esperamos que fique claro mais a frente. Antes de prosseguir, vamos, porém, relatar alguns detalhes sobre a estória.

Quantolândia é uma ilha onde seus habitantes são comparados às próprias partículas que compõem o mundo da física de partículas. Como existem dois tipos de partículas quanto à natureza de sua formação de estados que são os férmions e bósons, fizemos na república uma divisão política em cidadãos a que propositalmente chamamos de férmions e bósons. Os férmions formam a chamada “classe operária”, e os bósons, a “chamada elite”. A classe operária tem pessoas de porte franzino, mediano e atlético. Isso corresponde à classificação de partículas em léptons, mésons e bárions, classificação esta que, na Física é feita com base no valor da massa. Os indivíduos medianos e fortes tem, assim como os cangurus, uma espécie de bolsa onde abrigam os seus filhotes, chamados quarks. O conceito de confinamento de quarks, que é um modelo explicativo de por que não é possível encontrar quarks livres na natureza, é justificado através desta analogia com os cangurus, com o detalhe que, aqui, esses filhotes nunca podem ser removidos das bolsas por questões que, na estória, são explicadas com base nos níveis de energia. A narrativa ainda explora outros detalhes. Quisemos apenas fazer esses destaques porque, nos parágrafos a seguir, vamos procurar justificar o uso destas metáforas ou analogias.

### 3.2 - Inserção de fatos históricos nas explicações usadas em Quantolandia

Diversos são os livros que narram a seqüência histórica das descobertas da Física, e qualquer um que escolhêssemos poderia cumprir sua finalidade, pois a história das descobertas da Física é uma só; no entanto, na narrativa das descobertas da Física, baseamo-

nos em dois livros: a “*A Evolução das idéias da Física*” de Juníchi Osada e “*Dos raios X aos quarks*”, de Emilio Segré; porque consideramos que, no primeiro, encontra-se uma descrição bem sintética e objetiva e, no segundo, um maior nível de detalhamento que auxiliou na fundamentação teórica.

### **3.3 - Ausubel e a Física de Partículas**

Quando lidamos com idéias contidas no MPFP, vemos que a proposta de Ausubel se encaixa bem como proposta de uma aprendizagem construtiva, pois, segundo ele, o aluno é o construtor principal da sua própria aprendizagem. O ensino médio brasileiro tem a duração de três anos e, geralmente, nos dois primeiros anos o aluno vai construindo a sua forma de raciocinar em cima da física clássica. Ocorre que a humanidade passou praticamente quatrocentos anos vendo e entendendo o mundo através dos olhos da física clássica e somente no início do século XX é que se começou a ver limites e inconsistências nessa visão de mundo. No entanto, os estudantes de ensino médio precisam de cerca de dois anos para “aprender” as idéias acumuladas em quatrocentos e de menos de um ano (às vezes o último mês do terceiro ano) para “desaprender” o que aprendeu nos dois anos anteriores e construir uma nova aprendizagem. É um pedido e tanto para quem tem tão pouco tempo de aprendizagem.

Ausubel afirma que há conflitos cognitivos quando o aluno contrapõe esquemas prévios com conceitos novos. Cremos que esse conflito é inevitável porque o aluno naturalmente procura, por exemplo, encaixar raciocínios mecânicos para a luz, porque, afinal, pelo menos um terço de sua formação foi de mecânica. Hoje sabemos que isso representa o que hoje se chama de quebra de paradigma, ou seja, a Teoria da Relatividade mostrou que o raciocínio que vale para movimentos em baixa ou média velocidade não se aplicam quando a velocidade é próxima da velocidade da luz. Sabemos hoje também que idéias muito bem fundamentadas do eletromagnetismo falham quando o domínio é de regiões muito diminutas do espaço (dimensões típicas do átomo ou menores). Tudo isso estamos citando para ilustrar o conflito que surge quando se tenta (como se tentou até surgir a Teoria da Relatividade) entender o eletromagnetismo mecanicamente quando na verdade (como se percebeu muito tempo depois), é que a Mecânica é que tem ser compreendida eletromagneticamente.

Ausubel propõe que a metodologia didática preferencial deve ser a indutiva (partir dos fatos para os conceitos), mas também pode ser usada a metodologia dedutiva (partir dos conceitos para os fatos). Por um lado, como partir dos fatos quando estes fatos contrariam o

senso comum? Por outro, como estabelecer deduções a partir de um mundo novo e estranho, como o mundo das partículas?

É nesse contexto que estabelecemos o uso dos fundamentos da aprendizagem significativa na estória de Quantolândia. Segundo Ausubel, o aluno só aprende quando encontra sentido no que aprende, e isso só ocorre se ele partir de conceitos que já possui ou de experiências que já tem. É evidente que nem uma coisa nem outra se aplica à aprendizagem tradicional do MPFP. A nosso ver, o uso de idéias familiares e revestidas de uma linguagem e contexto que possa cativar o aluno é não só válido, mas talvez seja o único meio disponível. Lembramo-nos do ar de admiração positiva que causou em muitos alunos das duas turmas, a constatação de alguns fenômenos de natureza quântica explicados de uma forma tão leve e até divertida, quando lhes apresentamos a estória usada na aplicação da experiência piloto de aprendizagem.

Ausubel estabelece como condições para a ocorrência de aprendizagem significativa que :

- 1- O material a ser aprendido deve ser relacionável com a estrutura cognitiva do aprendiz;
- 2- O material deve ser potencialmente significativo.
- 3- O aprendiz deve manifestar uma disposição para relacionar o novo material à sua estrutura cognitiva.

Creemos, pois, que comparar o mundo das partículas a uma república ou sociedade pode (mesmo que seus habitantes tenham comportamentos estranhos ou incomuns) ser uma boa forma de apresentar conceitos novos e difíceis.

### **3.4 - Aprendizagem significativa**

Segundo Ausubel, há varias modalidades de aprendizagem significativa:

Aprendizagem subordinada: os novos conceitos vão se encaixar em conceitos já existentes na estrutura cognitiva. É o caso da quase totalidade de situações ilustradas na república de partículas, como, por exemplo, quando dividimos os cidadãos de Quantolândia em férmions e bósons como se fossem divisões de uma sociedade em partidos políticos.

Aprendizagem subordinada derivativa: ocorre quando o material aprendido é entendido como um exemplo específico de um conceito já estabelecido na estrutura cognitiva.

É o caso, por exemplo, quando a estrutura social dos férmions é dividida em léptons, bárions e mésons, da mesma forma que num grupo humano temos pessoas magras, medianas e fortes.

Sabe-se da física de partículas que bósons são partículas que não estão sujeitas à restrição populacional na formação de estados. Isso significa que, se pudéssemos encher um frasco de bósons este frasco nunca se romperia. Já com relação a férmions, isso não acontece porque há uma lei da natureza (Princípio da Exclusão de Pauli) que impede que partículas com os mesmos atributos possam ocupar o mesmo estado. Assim, quando, por exemplo, tentamos encher um frasco de partículas como elétrons (ou qualquer férmion), em algum momento o frasco explodirá por causa desta restrição.

Como poderíamos levar esta idéia a estudantes de ensino médio? Fizemos isso através do uso da chamada Aprendizagem subordinada correlativa, a qual, segundo Ausubel, ocorre quando o material é aprendido como uma extensão dos conceitos previamente aprendidos. Quais seriam estes conceitos apreendidos? Isso, a nosso ver, ocorre quando comparamos os bósons a uma classe social de indivíduos privilegiados de um regime totalitário, em que elas aplicam aos outros regras que elas próprias não são obrigadas a seguir. É por isso que, em certo momento da narrativa, dizemos que, se um grupo de pessoas estiver reunido com certeza são todos bósons.

Vemos, dessa forma, que idéias até de certa complexidade como as que são envolvidas no MPFP podem ser suavizadas pelo uso de âncoras de bom apelo cognitivo, tal como as que propõe Ausubel e que procuramos usar no desenvolvimento da estória.

## Capítulo 4 - ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 - Introdução

Os dois questionários usados foram desenvolvidos com dois propósitos: o primeiro como sondagem do conhecimento existente dos alunos a respeito do Modelo Padrão da Física de Partículas e o segundo como balizador da eficiência de nossa proposta de usar a estória como instrumento pedagógico capaz de facilitar o entendimento desses alunos no entendimento do modelo. Vamos, então, aos resultados da aplicação dos questionários.

Questionário 1 - Questionário aplicado a alunos do Ensino Médio

Locais da aplicação:

IFCE (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará): Turma P6  
(24 alunos do 2º semestre do 3º ano do ensino médio)

CIMM - Colégio Irmã Maria Montenegro: 3º ano do Ensino Médio

(20 alunos do 2º semestre do 3º ano do ensino médio)

### 4.2 - Questionário comum

01- O átomo conhecido hoje é uma partícula elementar? (Sim/Não)

02- Originalmente, o que significa o termo átomo?

03- Você sabe qual a composição do núcleo do átomo? (Sim/Não). Caso tenha marcado sim, indique seus componentes.

04- Dentre as partículas abaixo marque aquela(as) que é(são) elementar(es).

Partícula alfa ( )    Próton ( )    Nêutron ( )    Elétron ( )

05- Do ponto de vista das partículas elementares, você já ouviu falar em Modelo Padrão? (Sim/Não)

06- Você já ouviu falar de anti-matéria? (Sim/Não). Se sim, diga o que sabe nas linhas abaixo.

07- Na natureza, tudo que existe está relacionada a ação de forças. Segue abaixo algumas dessas forças que interagem entre as partículas (ou corpos). Qual (quais) você já ouviu falar.

7A- Força Gravitacional:

7B- Força eletromagnética:

7C- Força fraca:

7D- Força Forte

08- Dentre os termos abaixo usado para denominar as partículas, marque aquele(s) que você conhece ou já ouviu falar:

Pósitrons( ) Nêutrons( ) Neutrinos( ) Quarks( ) Léptons( ) Bósons( )

Leia o pequeno texto e depois responda às perguntas 9 e 10:

*O LHC- Grande Colisor de Hadrons (em inglês Large Hadron Collider) é o maior acelerador de partículas e o de maior energia existente do mundo, que tem como objetivo a colisão de feixes de partículas carregadas, tanto de prótons a uma energia de 7 Tev por partícula, ou núcleos de chumbo a energia de 574 TeV por núcleo. O laboratório localiza-se em um túnel de 27 km de circunferência, bem como a 175 metros abaixo do nível do solo na fronteira franco-suíça próximo a Genebra na Suíça.*

09- Você tem alguma idéia ou informação de como ocorre o processo de colisão citado? (Sim/Não)

10- Você saberia dizer que partículas são denominadas *hádrons*? (Sim/Não)

Item	IFET (Turma 1)	CIMM (Turma 2)
01	Sim : 22 (92%) Não : 2 (8%)	Sim : 17 (85%) Não : 3 (15%)
02	- matéria, - partícula, - menor unidade da matéria, - menor partícula. – menor pedaço da matéria, -partícula indivisível, - micropartícula que está presente em todos os corpos, - partícula que compõe a matéria, - menor partícula do universo, - menor parte da molécula,- partícula formadora do universo, - não lembro, -menor parte que constitui a matéria, -menor unidade da matéria, - que não se divide.	- menor parte de uma partícula, - partícula indivisível(3), -partícula indivisível e sólida, -partícula que possui eletrosfera e núcleo, -partícula indivisível e dura que forma todas as coisas, - partícula que possui carga, - menor elemento de uma molécula, - partícula indivisível formada por prótons, elétrons e nêutrons(2), - partícula indivisível com núcleo positivo, micro-partículas que formam os corpos
03	Sim : 17 (71%) Não : 7 (29%) Prótons e nêutrons: 11 (46%) Prótons, elétrons e nêutrons: 6 (25%)	Sim : 13 (65%) Não : 7 (35%) Prótons: 3 (15%) Prótons e nêutrons: 7 (35%)



	<i>Não sabiam: 7 (29%)</i>	<i>Prótons, elétrons e nêutrons: 1 (5%)</i> <i>Prótons e elétrons: 2 (10%)</i> <i>Não sabiam: 7 (35%)</i>
04	<i>Partícula alfa: 4 marcaram apenas essa partícula</i> <i>Próton: 20</i> <i>Nêutron: 16</i> <i>Elétron: 18</i>	<i>Partícula alfa: 3</i> <i>Próton: 17</i> <i>Nêutron: 15</i> <i>Elétron: 17</i>
05	<i>Sim : 7 (29%)</i> <i>Não : 17 (71%)</i>	<i>Sim : 7 (35%)</i> <i>Não : 13 (65%)</i>
06	<i>Sim : 8 (33%)</i> <i>Não : 16 (66%)</i> <i>- a anti-matéria tem um núcleo atômico muito forte. Ela existia antes de acontecer o Big-bang.</i> <i>- é a matéria de valor negativo.</i> <i>-Tudo possui seu oposto e quando eles se encontram, se anulam. Por exemplo: os prótons e os elétrons quando se juntam formam os nêutrons, da mesma forma que a matéria e a anti-matéria formam o vácuo.</i> <i>-É o contrário da matéria. Ela pode destruir qualquer matéria existente no universo.</i> <i>-É o que resulta da colisão das partículas de alta velocidade que tem uma grande quantidade de energia.</i> <i>-É uma substância poderosa que destrói a matéria existente.</i> <i>-No universo há a dualidade, os dois lados opostos que se equivalem: a matéria e a anti-matéria.</i>	<i>Sim : 6 (30%)</i> <i>Não : 14 (70%)</i> <i>-A anti-matéria não possui o que a matéria tem.</i> <i>-Tipo de matéria que não ocupa espaço.</i>
7A	<i>Sim : 23 (96%)</i> <i>Não : 1 (4%)</i> <i>- Ela mantém os corpos fixos na Terra</i>	<i>Sim : 20 (100%)</i> <i>Não : 0</i> <i>-Exerce atração entre os corpos</i>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Atrai a matéria para o centro da Terra</i></li> <li>- <i>É a força que puxa os objetos para baixo e nos mantém no chão - 3</i></li> <li>- <i>pulla o corpo para baixo.</i></li> <li>- <i>É a força que impede da gente flutuar, ela pulla tudo para baixo(2).</i></li> <li>- <i>Faz com que tudo fique no chão. Ela é responsável por fazer os corpos caírem.</i></li> <li>- <i>É a força que nos atrai para o centro da Terra.</i></li> <li>- <i>É a força que faz o átomo ficar em equilíbrio, ou seja os elétrons ficam na órbita do núcleo.</i></li> <li>- <i>É ela quem possibilita o peso dos corpos, ou seja os corpos serão atraídos pela Terra ou pela gravidade.</i></li> <li>- <i>É a força de atração entre partículas de cargas diferentes.</i></li> <li>- <i>É a força que pulla tudo para o centro da Terra (4)</i></li> <li>- <i>Segura os corpos na Terra( 3)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Puxa os corpos para baixo</i></li> <li>- <i>Mantém o ser humano em “equilíbrio” na Terra</i></li> <li>- <i>Força entre Terra e Lua(2).</i></li> <li>- <i>Interação entre as massas dos corpos</i></li> <li>- <i>força que exerce uma pressão para baixo: Homem na Terra.</i></li> <li>- <i>Força que um corpo exerce sobre o outro.</i></li> <li>- <i>interage com a normal e a força peso.</i></li> <li>- <i>Um corpo é atraído pela Terra por ela possuir um campo gravitacional.</i></li> <li>- <i>A gravidade atua em tudo que está sobre a Terra, atraindo-o para o centro da Terra.</i></li> <li>- <i>Diretamente proporcional a massa de um corpo podendo interferir em outros corpos de massa menor.</i></li> </ul>
7B:	<p><i>Sim : 18 (75%)</i></p> <p><i>Não : 6 (25%)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Ela age a partir do principio da atração.</i></li> <li>- <i>Ela interage com os elétrons.</i></li> <li>- <i>Ela age através de ondas eletromagnéticas</i></li> <li>- <i>Força gerada pela movimentação dos elétrons.</i></li> <li>- <i>Ocorre com atração entre anions e cátions.</i></li> <li>- <i>Um corpo magnetizado é atraído por outro.</i></li> <li>- <i>Faz com que a carga positiva dos prótons fiquem atraídos pela carga negativa dos elétrons, equilibrando-os.</i></li> <li>- <i>Ela cria campos magnéticos.</i></li> </ul>	<p><i>Sim : 20 (100%)</i></p> <p><i>Não : 0</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Força de atração ou repulsão entre as cargas.</i></li> <li>- <i>Atração entre os corpos com cargas elétricas diferentes (2).</i></li> <li>- <i>Quando uma carga está em movimento dentro de um campo magnético.</i></li> <li>- <i>Ex: força exercida por um ímã (2).</i></li> <li>- <i>Que possui magnetismo. Dois ímãs colocados com pólos opostos se atraem.</i></li> </ul>

	<p>- Força que puxa os elétrons, através do magnetismo.</p> <p>- Atraindo através de um campo magnético.</p>	<p>-Interação entre partículas elétricas que criam campos de atração ou repulsão.</p> <p>- Cria um campo elétrico sobre um determinado corpo.</p>
7C	<p>Sim : 0</p> <p>Não : 23 (96%)</p> <p>Não responderam: 1 (4%)</p> <p>Não houve comentários</p>	<p>Sim : 2 (10%)</p> <p>Não : 18 (90%)</p> <p>Força do núcleo atômico, relacionada a fissão nuclear.</p>
7D	<p>Sim : 0</p> <p>Não : 23 (96%)</p> <p>Não responderam: 1 (4%)</p> <p>Não houve comentários</p>	<p>Sim : 2 (10%)</p> <p>Não : 18 (90%)</p> <p>A força mais poderosa, relacionada a fusão nuclear. A mesma do Sol</p>
08-	<p>Pósitrons: 1</p> <p>Nêutrons: 24</p> <p>Neutrinos 1</p> <p>Quarks: 4</p> <p>Léptons: 0</p> <p>Bósons 1</p>	<p>Pósitrons: 2</p> <p>Nêutrons: 20</p> <p>Neutrinos 3</p> <p>Quarks: 8</p> <p>Léptons: 4</p> <p>Bósons 1</p>
09-	<p>Sim : 4 (17%)</p> <p>Não : 19 (79%)</p> <p>Não responderam: 1(4%)</p> <p>-A colisão de partículas carregadas para gerar energia.</p> <p>-As partículas são aceleradas até velocidades muita altas e quando atingem a velocidade máxima, colidem gerando a anti-matéria.</p> <p>- são liberados prótons que se repelem até se chocarem.</p>	<p>Sim : 9 (45%)</p> <p>Não : 10 (50%)</p> <p>Não responderam: 1 (5%)</p> <p>-Acelerando partículas à maior energia do mundo.</p> <p>-No acelerador de partículas, o nêutron é separado do próton podendo ocorrer colisões.</p> <p>- colisão entre feixes de partícula produzindo energia.</p> <p>- Foi uma experiência com o intuito de refazer o que aconteceu na época do BIG-BANG.</p>

		<p>-Com aceleração de prótons que colidem a 99,99% da velocidade da luz, liberando uma enorme quantidade de energia.</p> <p>-Aceleram partículas com uma máquina e quando atingem uma alta velocidade são colocadas em rota de colisão.</p> <p>-Os prótons são acelerados em um túnel. Com as colisões espera-se encontrar o bóson de Higgs, partícula sem comprovação que transforma anti-matéria em matéria.</p>
10-	<p>Sim : 0</p> <p>Não : 24 (100%)</p> <p>Não houve respostas</p>	<p>Sim : 0</p> <p>Não : 18 (90%)</p> <p>Não responderam: 2 (10%)</p> <p>Não houve respostas</p>

#### 4.3 - Exame comparativo da aprendizagem nas duas Escolas levando em conta a resposta correta

Item	IFET Turma 1	CIMM Turma 2	Obs
	%		
01	8	15	
02	-	-	Não foram quantificadas as respostas p/ calcular o percentual
03	25	5	
04	75	85	foi levado em conta que só o elétron é elementar e calculado o percentual de acerto em função disso.
05	29	35	
06	33	30	
07-A	96	100	

07-B	75	100	
07-C	0	10	No grupo 1 ninguém sabe o que é a força fraca.
07-D	0	10	Idem caso acima.
08	>95	≈100	Pode-se considerar satisfatório o conhecimento nos 2 grupos.
09	17	45	
10	0	0	Ninguém nos 2 grupos conhece o termo.

#### 4.4 - Comentários sobre a aplicação do Questionário 1

A pergunta 1 mostra claramente a total falta de noção do aluno sobre o que é uma partícula elementar, pois 92% do primeiro grupo e 85% do segundo grupo responderam ser o átomo uma partícula elementar.

As duas figuras a seguir ilustram o fato graficamente:

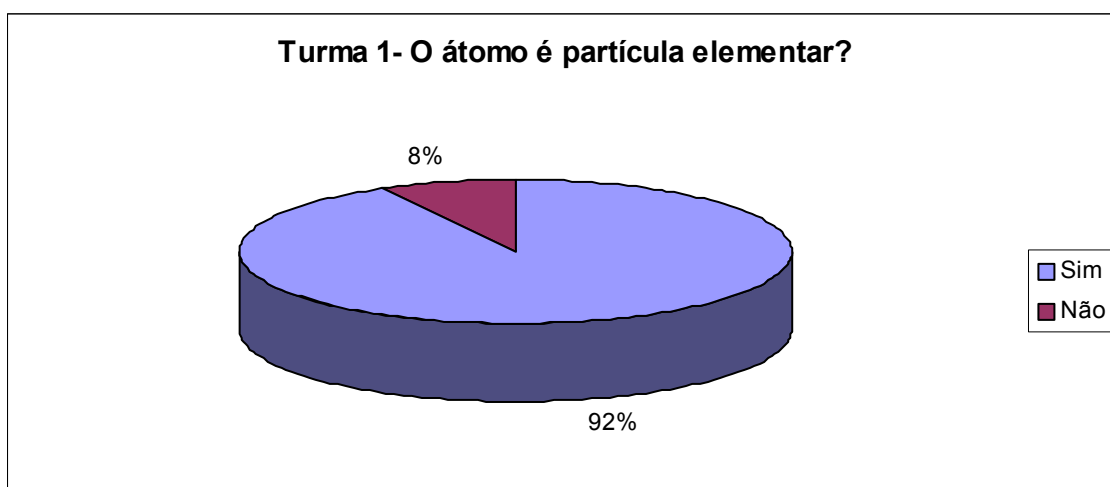


Figura 1- Resposta da Turma 1 à pergunta 1

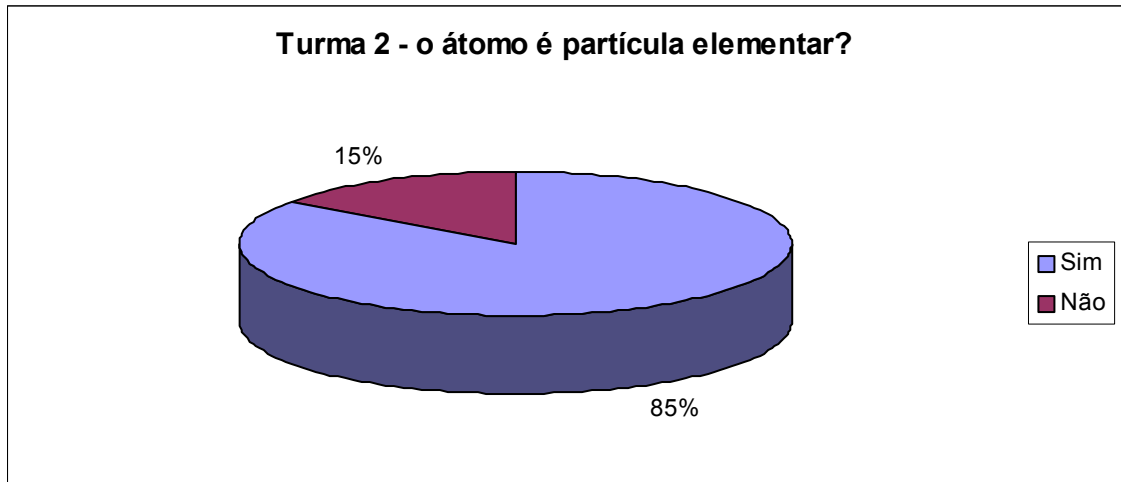


Figura 2 - Resposta da Turma 2 à mesma pergunta

As respostas à pergunta 2 confirmam em sua maioria o que a pergunta 1 já tinha destacado, pois alguns alunos responderam ser o átomo a menor unidade de matéria, outros a menor partícula do universo, enquanto outros disseram ser o átomo uma partícula indivisível.

Com relação à pergunta 3, sobre composição do átomo, somente 25% no primeiro grupo e apenas 5% no segundo grupo informaram corretamente as partículas fundamentais (prótons, elétrons e nêutrons). Vale ressaltar que 29% no primeiro grupo e 35% no segundo grupo nem sequer sabiam dizer de que se constituía o átomo. Interessante dizer também que 46% no primeiro grupo e 35% no segundo grupo confundiram a constituição do átomo com a constituição do núcleo. As figuras a seguir ilustram o mesmo fato graficamente nas duas turmas.:

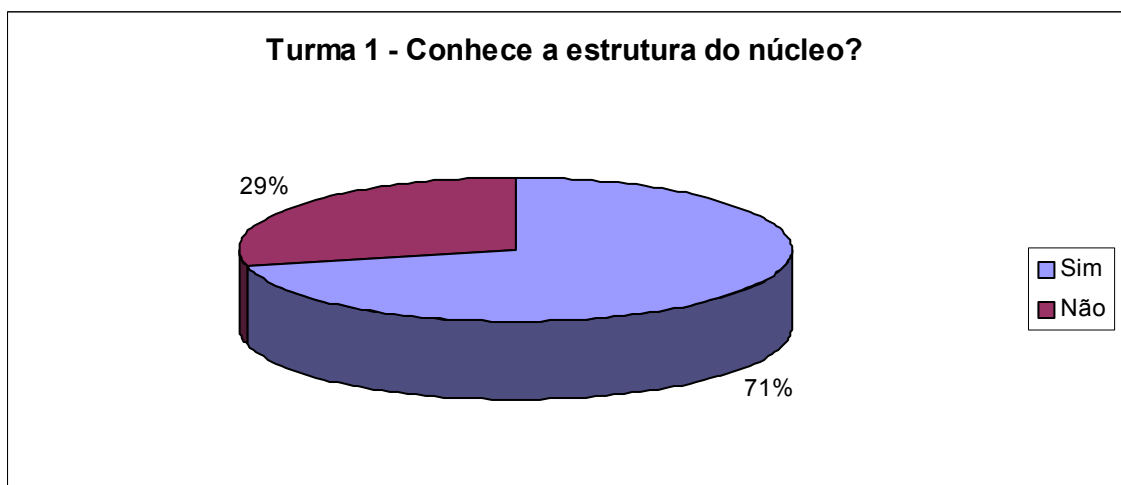


Figura 3 - Desconhecimento da estrutura nuclear pela Turma 1

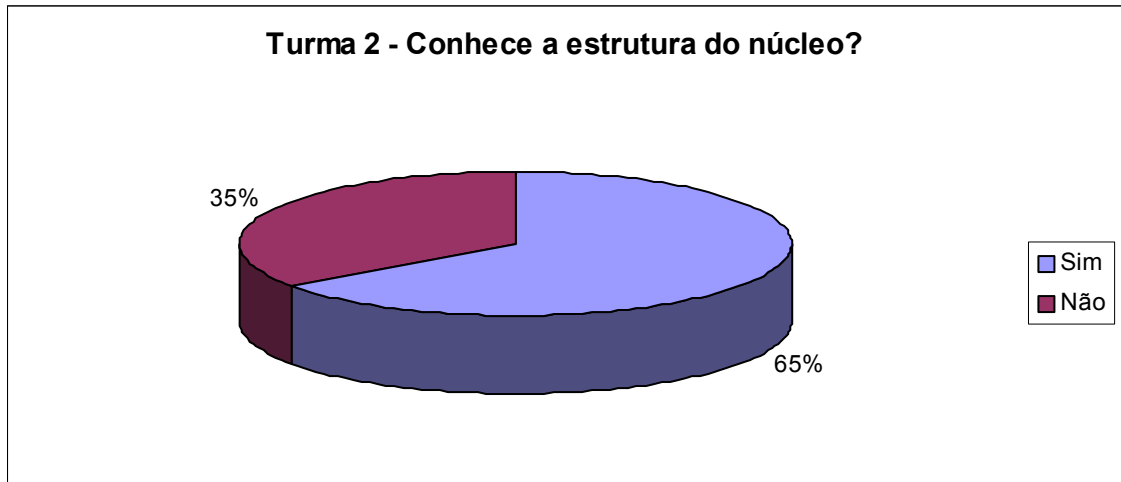


Figura 4 – Resposta dada pela turma 2 à mesma pergunta

Com relação à pergunta 4, sobre a identificação de quais partículas são de fato elementares dentre prótons, elétrons, nêutrons e partícula alfa, as respostas apresentam prótons, nêutrons e a partícula alfa assinaladas como partículas elementares, demonstrando desconhecimento total da natureza composta delas.

A pergunta 5 sondava se o aluno tinha algum conhecimento a respeito do Modelo Padrão da Física de Partículas, e as respostas revelaram que 71% no primeiro grupo e 65% no segundo nunca ouviram falar do modelo. As figuras a seguir ilustram o fato graficamente.

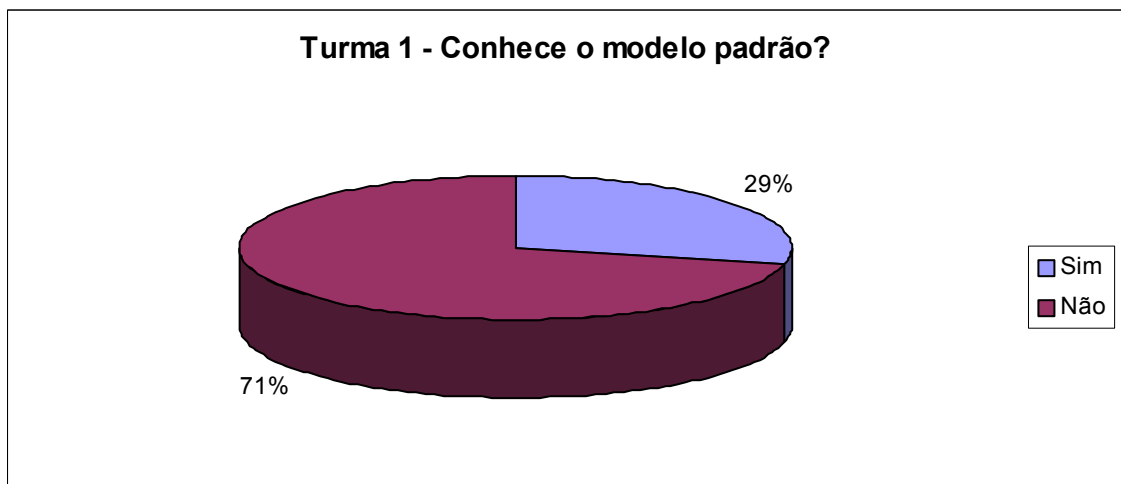


Figura 5 - Sondagem sobre o modelo padrão na Turma 1

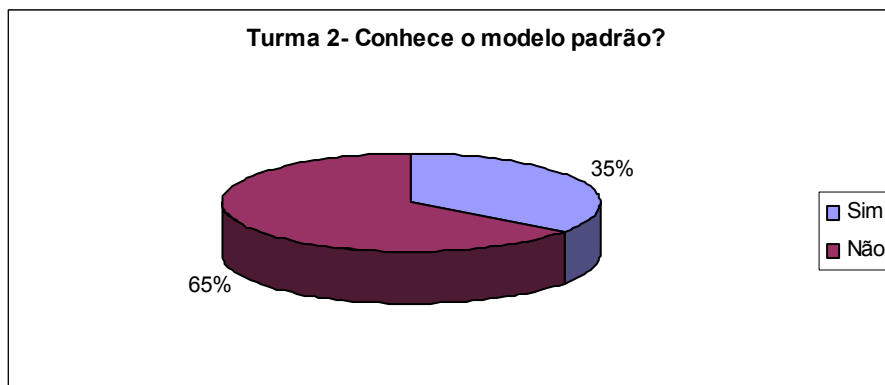


Figura 6- Resposta da turma 2 à mesma pergunta

A pergunta 6 sondava do aluno o conhecimento do que vem a ser antimatéria; as respostas revelam que 66% no primeiro grupo e 70% no segundo desconheciam o assunto. No detalhamento das respostas, percebe-se a confusão ou distorção do conceito, pois alguns afirmaram que antimatéria não ocupa espaço, enquanto outros que a antimatéria tem um núcleo atômico muito forte. É curioso que alguns alunos tenham expressado corretamente a antimatéria como participante do processo de formação de par partícula-antipartícula na formação do universo ou ainda quando disseram corretamente que a antimatéria pode resultar no processo de colisão de partículas em altas velocidades, o que mostra um pouco de conhecimento do que se passa nos aceleradores de partículas.

A pergunta 7 tinha o propósito de sondar o que os alunos sabiam a respeito das 4 forças ou interações básicas estudadas na Física. Com relação à força gravitacional, no geral todos mostram ter assimilado adequadamente a “idéia” do que representa a gravidade, mas um aluno assinalou ser a força que mantém o átomo em equilíbrio, revelando um total desconhecimento da insignificância da força gravitacional a nível atômico e pior: desconhecendo os papéis da força eletromagnética e nuclear no átomo. Um outro aluno respondeu que era a força de atração entre cargas diferentes, mostrando assim que a está confundindo com a força elétrica.

Com relação à força eletromagnética, 25% no primeiro grupo (e somente neste grupo) estranhamente revelou desconhece-la. Cremos que isso se deve ao fato da terminologia usada na questão, ou seja, se a pergunta mencionasse a palavra “elétrica” em lugar de eletromagnética, as respostas teriam sido diferentes, mas essa ocorrência foi pertinente, pois mostrou também que o aluno desconhece a unificação das duas interações.

Com relação à força fraca, a maioria (96% no primeiro grupo e 90% no segundo) a desconhece, e apenas 10% (dois alunos) do segundo grupo afirmaram ser ao



mesmo tempo a força existente no núcleo e a força responsável pela fissão nuclear, o que mostra que eles a confundiram com a força forte.

Com relação à força forte, a maioria (96% no primeiro grupo e 90% no segundo) a desconhecem e apenas 10% (dois alunos) do segundo grupo afirmaram corretamente ser a força responsável pela fusão nuclear.

A pergunta de número 8 é outra que apenas sonda o nível de informação sobre algumas partículas que compõem o modelo padrão. No primeiro grupo, podemos considerar que pósitrons, neutrinos, léptons e bósons eram praticamente ou inteiramente desconhecidos, enquanto, no segundo grupo, todos os termos foram assinalados, embora os bósons tivesse apenas uma assinalação. O surpreendente é que, embora nas perguntas de 1 a 3 os alunos demonstrassem achar ser o átomo ainda indivisível, 4 alunos no primeiro grupo e 8 no segundo já tinham algum conhecimento sobre a existência de quarks.

A pergunta de número 9 trata do processo de colisão de partículas dentro de aceleradores; 79% dos alunos do primeiro grupo não tinham idéia de como ela ocorre dentro dos aceleradores, enquanto no segundo grupo esse percentual foi de 50%. Pelos mesmos motivos que demos no parágrafo anterior é surpreendente que um aluno que ainda acha que o átomo seja indivisível esteja informado sobre o processo de colisão, como se pode perceber pelo detalhamento das respostas dadas.

Quanto à pergunta 10, sobre o conhecimento da palavra hádron, 100% no primeiro grupo desconhecia-a, e considerando que não responder pode indicar também a mesma coisa, o segundo grupo também expressou 100% de desconhecimento.

#### **4.5 - Questionário 1- Considerações finais**

Como conclusão, podemos dizer que o resultado não revelou nenhuma surpresa em relação às nossas expectativas, pois já sabíamos do desconhecimento dos alunos com relação ao conteúdo, no entanto, achamos que a aplicação do questionário permitiu extrair ainda mais informações que a nosso ver ilustram bem o conceito da aprendizagem mecânica de Ausubel, pois como justificar que alunos que acham que o átomos são indivisíveis possam saber que existem prótons, elétrons e nêutrons? Isso só pode ser explicado admitindo que o aluno memorizou, reteve o conteúdo, mas não de forma significativa.

#### 4.6 - Questionário 2

Pelas circunstâncias de sua aplicação (posterior à aplicação da metodologia), o questionário 2 dispensa maiores explicações e por isso resolvemos apresentar já os resultados percentuais em função dos acertos. É claro que alguns resíduos de dificuldade ainda persistiram, mas é importante dizer que o tempo para a exposição da metodologia (três aulas) foi curto diante da quantidade de conteúdos, de modo que o acerto das respostas reforça a importância da metodologia. Incluímos as respostas logo em seguida às perguntas (embora ao final tenhamos as respostas por completo) para facilitar a exposição. Os gráficos que as acompanham referem-se aos resultados percentuais de cada grupo. O grupo 1 é o grupo do Instituto Federal de educação, Ciências e Tecnologia do Ceará (IFCE) e o grupo 2, do Colégio Irmã Maria Montenegro (CIMM).

**01-** Do ponto de vista da Física, o que significa uma partícula ser elementar?

*R. Aqui, 87,5% no primeiro grupo e 60% no segundo já mostraram ter percebido o que, segundo a física, significa uma partícula ser elementar. O gráfico a seguir exhibe o resultado para os dois grupos.*

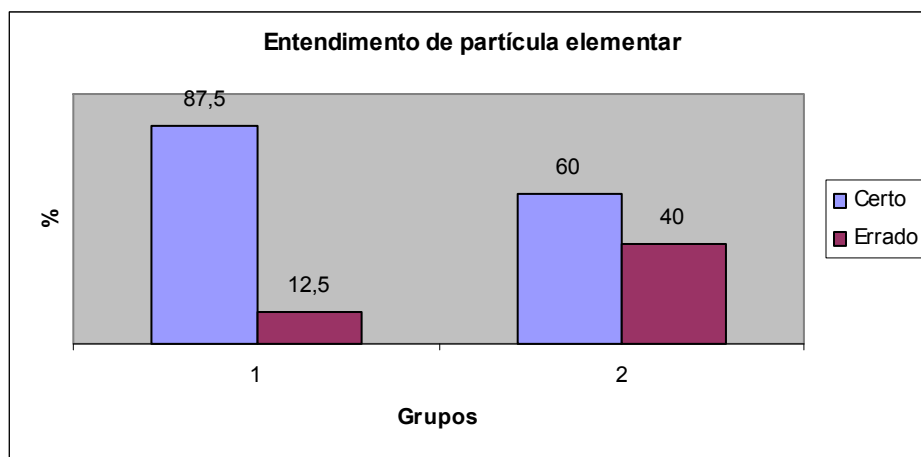


Gráfico 1 - Gráfico relativo à pergunta 1

**02-** De acordo com o significado original da palavra, o termo “átomo” usado atualmente está correto?

R. 83% no primeiro grupo e 80% no segundo grupo perceberam que o termo átomo não está mais corretamente aplicado. O gráfico a seguir ilustra isso.

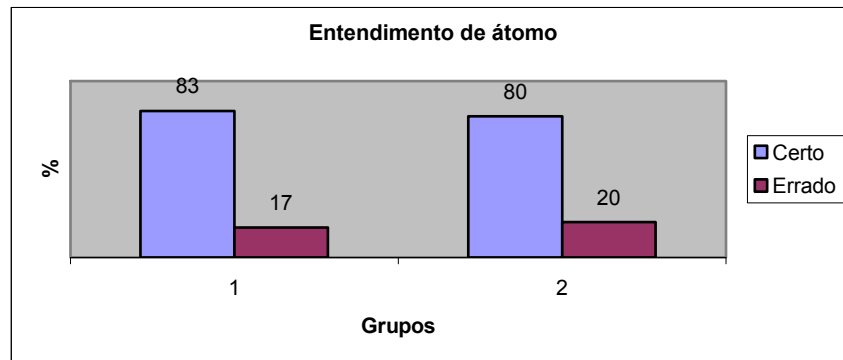


Gráfico 2 - Gráfico relativo à pergunta 2

**03-** Você saberia dizer quais são as 4 interações ou forças que existem segundo a Física?

R. 91,6% no primeiro grupo e 95% no segundo já souberam identificar cada uma das 4 interações básicas da física. Veja o gráfico a seguir.

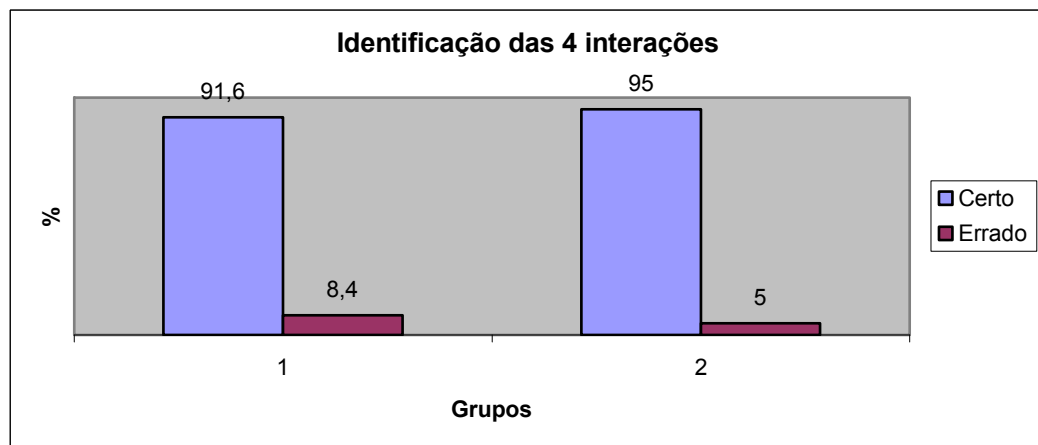


Gráfico 3 - Gráfico relativo à pergunta 3

**04-** Você assimilou bem o que são quarks e em que tipos de partículas eles se encontram?

R. Aqui, 70,8% no primeiro grupo e 65% no segundo grupo demonstraram ter assimilado corretamente a noção de quark. Veja o gráfico abaixo.

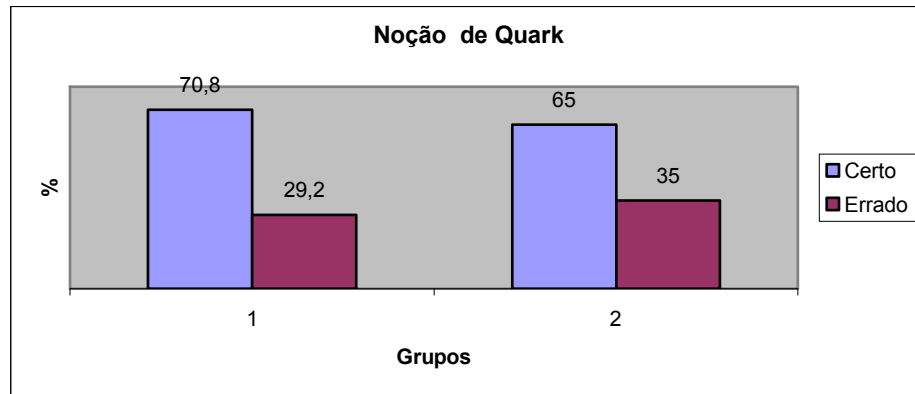


Gráfico 4 - Gráfico relativo à pergunta 4

**05-** Você saberia dizer quais são os quarks da primeira geração?

*R. 91,6 % no primeiro grupo e 80% no segundo grupo assinalaram corretamente os quarks de primeira geração. Veja o gráfico a seguir.*

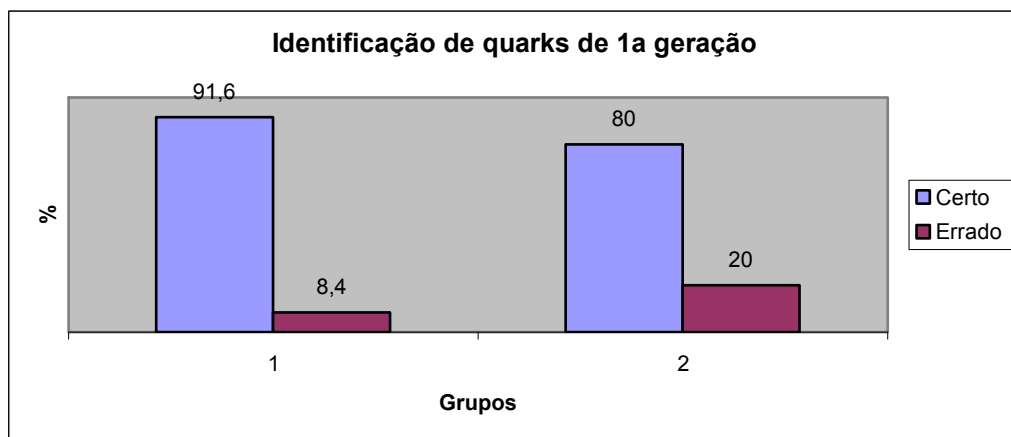


Gráfico 5 - Gráfico relativo à pergunta 5

**06-** Você saberia dizer o que é uma partícula mediadora chamada bóson? Pode dar algum exemplo?

*R. 70,8 % no primeiro grupo e 65% no segundo grupo souberam explicar o que é uma partícula mediadora. O gráfico a seguir exhibe o resultado.*

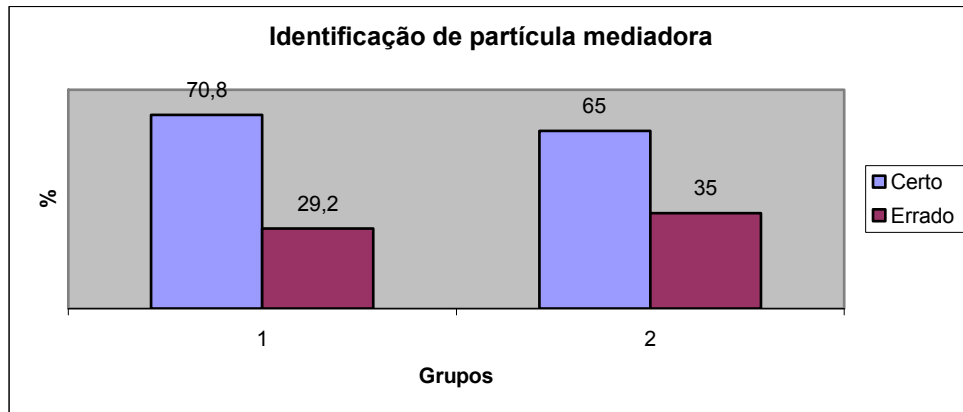


Gráfico 6 - Gráfico relativo à pergunta 6

**07-** O modelo padrão da física de partículas, desenvolvida na década de 70, é uma teoria que descreve as forças fundamentais fortes, fracas, e eletromagnéticas, bem como as partículas elementares que constituem toda a matéria. Diante do estudado e com o que está dito nessa frase, cite o nome dos 3 tipos de partículas que constituem essa teoria.

*R. No primeiro grupo, 41,6% responderam certo, 25% responderam parcialmente certo e no segundo grupo, 45% responderam certo e 5% parcialmente certo. Como foi dito antes, ainda há resíduos de dificuldade, mas atribuímos isso à exigüidade do tempo de aplicação da metodologia. O gráfico a seguir exhibe o resultado.*

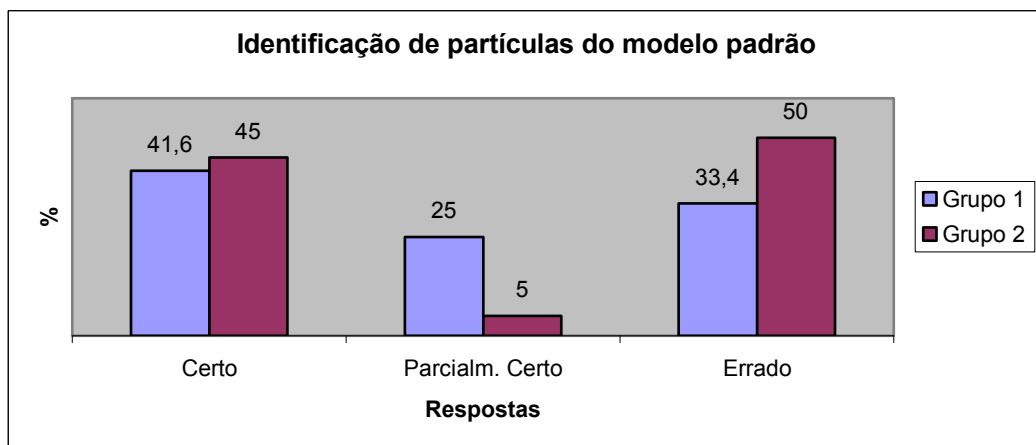


Gráfico 7 - Gráfico relativo à pergunta 7

**08-** Como é de conhecimento nosso, o núcleo atômico é constituído de prótons e nêutrons. Sabemos, também, que os prótons possuem carga elétrica positiva, e os nêutrons não apresentam carga elétrica. Se cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, como pode o núcleo atômico ser estável? Inicialmente, esse foi um dos problemas a ser explicado pelo modelo atômico de Rutherford. Hoje, diante do exposto nesse material, que explicação você daria para explicar esta estabilidade ou seja, por quê os prótons não se repelem dentro do núcleo?

R. O objetivo desta pergunta era ver se os alunos tinham assimilado o papel da força nuclear dentro no átomo. No primeiro grupo, 70,8 % souberam explicar corretamente; no segundo grupo 50%. O gráfico a seguir exhibe o resultado.

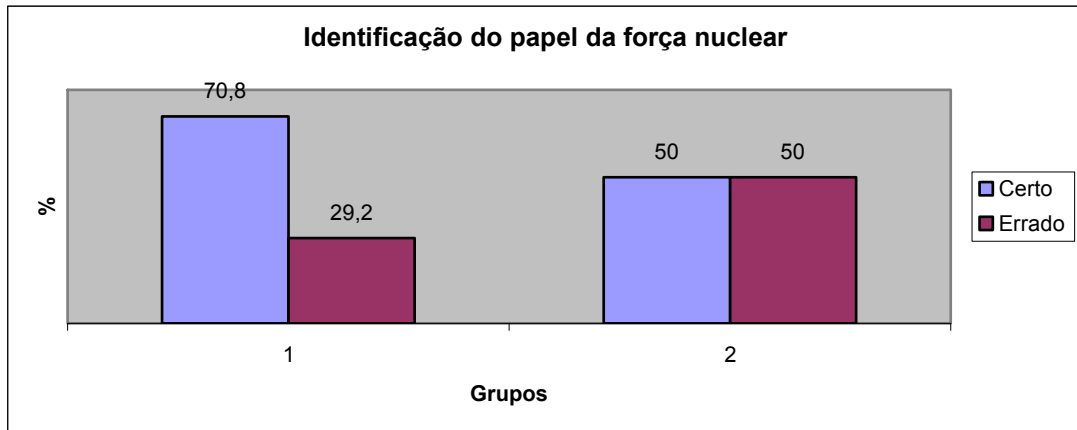


Gráfico 8 - Gráfico relativo à pergunta 8

**09-** Você sabe quantas partículas elementares constituem o modelo padrão?

R. Esta é uma pergunta que busca captar a intensidade da aprendizagem mais mecânica do conteúdo. O resultado foi 70,8% no primeiro grupo e 100% no segundo grupo. Este é um dado dos mais importantes, pois revela que a metodologia cumpriu o papel de alavanca dos conteúdos, ou seja, a um dos principais funções da estória criada era exatamente cativar o aluno e remover as resistências da aprendizagem.

**10-** Das forças indicadas abaixo, marque aquelas que são de natureza eletromagnética.

Peso ( )

Força de Atrito ( )

Força que mantém os prótons “dentro do núcleo” ( )

Força entre elétrons ( )

Força elástica ( )

Reação Normal do solo ( )

R. O objetivo aqui era testar o aluno com relação à fenomenologia dos processos físicos. Foi nesse ambiente que se percebeu o quanto ainda falta para sedimentar melhor os conhecimentos dos alunos, pois ainda 2 alunos no primeiro grupo e 1 no segundo atribuíram uma natureza eletromagnética ao peso. Pior ainda foi ter atribuído à força eletromagnética a união entre prótons no núcleo, o que revela que a força nuclear ainda não foi suficientemente compreendida.

**11-** Você sabe o que é o LHC e quais das partículas são usadas nele?

*R. Trata-se de outra pergunta que apenas testa conhecimentos mecânicos. No primeiro grupo, 50% responderam corretamente, 25% certo parcialmente e, no segundo grupo 20% responderam certo e 45% parcialmente certo.*

**12-** Você saberia dizer o que é um decaimento e qual o tipo de força responsável por ele?

*R. 50% no primeiro grupo e 40% no segundo grupo responderam corretamente. Veja o gráfico do resultado.*

#### 4.6.1 - Sobre as questões extras

Nas questões extras, o objetivo era avaliar a metodologia, ou seja, qual o efeito da metodologia na aprendizagem deles. Pelas respostas dadas percebe-se que os principais objetivos da metodologia foram alcançados, como se pode ler pelas respostas dadas. Um dos alunos escreveu:

*Exemplificar a história das partículas através de uma metáfora foi algo que deixou a matéria muito mais maleável e fácil.*

E um outro escreveu:

*Com os vídeos mostrando a física do nosso cotidiano, ficou muito mais fácil aprender e entender Física.*

Estas palavras mostram que o uso dos vídeos também teve grande influência na aceitação dos conteúdos.

TABELA 1 – Resultado da Avaliação das Turmas

Resultado da avaliação		IFCE		CIMM	
		Total: 24 alunos		Total: 20 alunos	
Questão	Opções	Nº alunos	(%)	Nº alunos	(%)
01-	Certo	21	87,5	12	60
	Errado	3	12,5	8	40
02-	Certo	20	83,0	16	80
	Errado	4	17,0	4	20
03-	Certo	22	91,6	19	95
	Errado	2	8,4	1	5
04-	Certo	17	70,8	13	65
	Errado	7	29,2	7	35
05-	Responderam Sim	22	91,6	16	80
	Não responderam	2	8,4	4	20
06-	Responderam Sim	17	70,8	13	65
	Não responderam	7	29,2	7	35
07-	Certo	10	41,6	9	45
	Certo parcialmente (2)	6	25	1	5
	Errado	8	33,4	10	50
08-	Certo	17	70,8	10	50
	Errado	7	29,2	10	50
09-	Certo	17	70,8	20	100
	Errado	7	29,2	0	0
10-	Peso	2	8,4	1	5
	Força de atrito	10	41,6	5	25
	Força que une prótons no núcleo	10	41,6	11	55
	Forças entre os elétrons	21	87,5	20	100
	Força elástica	4	17	2	10
	Reação normal do solo	3	12,5	7	35
11-	Certo	12	50	4	20
	Certo parcialmente	6	25	9	45
	Não responderam	6	25	7	35
12-	Souberam responder	12	50	8	40
	Não souberam responder	12	50	12	60
<b>Média</b>		<b>69,4 %</b>		<b>61,8 %</b>	



**QUESTÕES EXTRAS**

<b>01 – Que efeitos em sua aprendizagem este conhecimento deixou em você?</b>	
<b>I F C E</b>	<b>C I M M</b>
<p>-Fez eu entender assuntos anteriormente mais complicados.</p> <p>- Agora sei que o átomo é divisível e o que é uma partícula elementar.</p> <p>-Gostei muito do assunto.É algo tão complexo, mas ao mesmo tempo foi nos “passado” de um modo tão simples. Adorei!</p> <p>-Achei muito interessante, pois esse assunto nos mostra as partículas de que são formadas todas as coisas vemos. E estudando isso, podemos nos fazer mais perguntas e quem sabe conseguir mais respostas.</p> <p>-Efeitos positivos, pois o conhecimento é uma arma em nossas mãos.</p> <p>-O principal efeito foi a curiosidade por causa da grande diversidade do assunto.</p> <p>-Gostei de saber um pouco mais sobre a História do universo, apesar de não acreditar muito no big-bang.</p> <p>-Ele aguçou minha curiosidade para essa parte da Física.Mostrou-me algumas explicações que não entendia e descobri muitas coisas novas. Achei muito legal o método de ensino, principalmente as ilustrações e os vídeos que são muito interessantes.</p> <p>-Deixou um conhecimento mais amplo sobre o átomo e seus constituintes.</p> <p>-Foi legal, pois ela abrange um conhecimento que não está só em livros, mas também o que</p>	<p>-Um maior aprofundamento no conhecimento do átomo e as partículas que o formam e sobre o início do universo.</p> <p>-Me ajudou a conhecer sobre Física Quântica e me livrar da idéia de que as partículas elementares eram os prótons, nêutrons e elétrons.</p> <p>-Aprimorou o estudo da radioatividade que tinha iniciado.</p> <p>-Melhorou o meu conhecimento a respeito das partículas elementares.</p> <p>-Bom, passei a conhecer um pouco das partículas que formam o universo e do que elas são capazes de formar e fazer.</p> <p>-O conhecimento de novas partículas elementares, de novas forças e do objetivo do LHC.</p> <p>-Com os vídeos mostrando a física do nosso cotidiano, ficou muito mais fácil aprender e entender Física.</p> <p>-Mostra as verdadeiras partículas elementares.</p> <p>-Serviu para ter uma noção maior do surgimento do universo e sua constituição de hoje.</p>

<p>está acontecendo no mundo. Através dessas aulas, pude saber que é o LHC e o que os cientistas estão fazendo com ele. Sem dúvida foi muito interessante. Obrigada prof Marcilon. Espero que tenhamos lhe ajudado.</p> <p>-Um importante conhecimento sobre o LHC e que foi um grande invento que causou muita polêmica e, na qual, esclareceu seu principal objetivo.</p> <p>-É importante conhecermos algo além. Afinal, muitos elementos ainda eram desconhecidos e algumas dúvidas rondavam as nossas cabeças. A dúvida mais interessante que me foi tirada, foi em relação à união dos prótons no núcleo se eles tem a mesma polaridade.</p> <p>-Deixou novos conceitos sobre a estrutura do átomo.</p> <p>-Curiosidade em obter novos conhecimentos científicos sobre o universo e mais sobre a constituição da matéria.</p> <p>-Me fez lembrar de uma matéria há muito tempo vista como introdução.</p>	
<p><b>02-</b> Faça um breve relato do uso da estória de Quantolândia para explicar idéias e teorias sobre as partículas elementares.</p>	
<p>-Foi muito interessante, pois a estória de Quantolândia, fez uma interligação com idéias e teorias das partículas elementares, facilitando o entendimento.</p> <p>-Eu achei superinteressante, porque está usando um meio criativo e engraçado para nos ensinar uma matéria cansativa para nós. Eu gostei muito.</p> <p>-Lembro bem da explicação da dualidade</p>	<p>-Quantolândia explica de forma bem didática quais são as partículas elementares, sobre as suas interações e seus efeitos.</p> <p>-Explica de maneira diferente as partículas elementares e pra que servem.</p> <p>-Essa estória explica com uma maneira de fácil entendimento o estudo das partículas elementares.</p> <p>-Explicou sobre os diversos léptons e suas</p>

<p>partícula-onda, onde num jogo: ora os participantes eram bem visíveis, e em outro momento parecia uma nuvem conjunta.</p> <p>-Ela explica de maneira paradidática, as novas partículas e suas funções. É uma maneira divertida de se aprender. É interessante!</p> <p>-Exemplificar a História das partículas através de uma metáfora foi algo que deixou a matéria muito mais maleável e fácil.</p> <p>- A idéia de Quantolândia é muito boa. Só há um problema em relação a escrita, pois achei complicado entender algumas partes da estória.</p> <p>-É um método divertido de aprendizagem. Na primeira leitura não entendi muito bem, mas com a explicação do professor pude entender melhor e gostei desse método dele de ensinar.</p> <p>-Na estória, as idéias e a teoria são assimiladas(associadas) com coisas do cotidiano.</p> <p>-Quantolândia é muito louco. Sei que há um portal para o mundo da anti-matéria, como se fosse uma anti-Quantolândia. La é tudo praticamente igual(seus habitantes), só que de valor contrário.Os habitantes são os elétrons (femininos), mas não pode ser usado “ela” para se referi-los. Os prótons (masculino) e nêutrons (assexuados) , entre outras coisas.</p> <p>-Foi uma maneira criativa para mostrar a constituição do átomo.</p> <p>-A partir da estória foi possível ter a noção de como se comportam as partículas num átomo, quais as mais importantes e as funções</p>	<p>principais características, como os elétrons que são mais rápidos, os múons que são medianos e os táuons que são mais pesados.</p> <p>-Na Quantolândia, é explicado detalhadamente, as idéias e teorias sobre as partículas elementares, mostrado num pequeno mundo.</p> <p>-A estória explica de forma simples o comportamento das partículas elementares.</p>
---	--

<p>desempenhadas.</p> <p>-É uma maneira bem divertida.Mas, da primeira vez que li fiquei um pouco confusa acerca das partículas, mas, agora, com as aulas ficou mais esclarecido.</p> <p>-Eu acho que foi bem abordado, apesar de eu ter tido um pouco de dificuldade de assimilar a situação.</p>	
--	--

#### **4.7 - Comparando a escola pública e privada através dos resultados**

Algo que foi possível constatar, pelo menos nos questionários aplicados, é que nos resultados de desempenho entre alunos de escolas de ensinos público e privado existiram algumas diferenças, mas não foram tão significativas. Isso certamente se deve ao fato de que a escola pública escolhida foi uma escola pública federal de muito bom nível de aprendizagem que é o IFCE e a escola de ensino privada também ser uma escola de boa tradição no Ensino Médio da cidade. Fosse a escola pública uma escola de ensino público estadual, muito provavelmente as diferenças fossem maiores.

## Capítulo 5 - DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

### 5.1 - Introdução

Procuraremos a partir de agora tentar justificar como foram concebidas as idéias contidas na apostila. Inicialmente vamos tratar da estória em si e seus personagens, depois vamos tratar dos capítulos seguintes à estória.

### 5.2 - O Narrador

Qualquer professor ou estudante de física que já tenha acompanhado o desenvolvimento histórico da Física Quântica sabe, que embora a palavra “quantum” tenha nascido com os estudos sobre a radiação de corpo negro feitos por Max Planck em 1900 foi com os estudos de Niels Bohr sobre o átomo na segunda década do século XX, com seus chamados saltos quânticos, que a teoria atômica passou a ganhar mais difusão, com uma multiplicação desenfreada de artigos científicos. Por essa razão, Bohr pode ser considerado como um explorador de um novo mundo. Em função desse fato é que escolhemos para nosso personagem narrador o nome “Nibo”. O nome vem do uso das duas primeiras letras de **Niels Bohr**.

Os estudos de Bohr representaram um limite de aplicação numa teoria, a mecânica clássica, que já durava quase trezentos anos. O nome do navio “meclas” é uma alusão ao termo “**mecânica clássica**”.

### 5.3 - O Tamanho dos habitantes da ilha

O motivo para os habitantes da ilha serem pequenos foi a forma que encontramos para inserir os fenômenos quânticos, pois se sabe que uma das características dos fenômenos quânticos é o domínio espacial, ou seja, fenômenos quânticos só acontecem em regiões do espaço da ordem de um centésimo de milionésimo do metro ( $10^{-8}$  m ou 1 Angstrom). Se nós humanos tivéssemos o tamanho bem menor que o de uma formiga, talvez a nossa experiência diária fosse extremamente confusa, pois possivelmente alguns fenômenos quânticos não fossem tão distantes assim do cotidiano.

### 5.4 - A Mutação

O fenômeno da mutação foi a forma que encontramos para ilustrar o fenômeno do decaimento, pois o decaimento é um dos principais fenômenos do mundo subatômico,

sendo responsável por um bom número de processos, como a radioatividade e instabilidade nuclear.

### **5.5 - Difração de pessoas**

A dualidade onda-partícula foi um dos grandes empecilhos na compreensão dos processos quânticos no início do século XX, pois a natureza ondulatória da luz e corpuscular da matéria pareciam inquestionáveis. Por isso imaginamos que esta natureza, digamos fluidica, dos componentes do átomo, pudesse ser mais bem aceita através de um jogo ou algo parecido. Foi aí que imaginamos uma corrida cujos participantes sofressem difração ao atravessar o portal de chegada.

### **5.6 - Divisão das partículas em férmions e bósons**

As partículas em física podem ser agrupadas em duas categorias gerais: férmions e bósons. Essa divisão se relaciona com a possibilidade de formar estados ligados (moléculas, átomos ou núcleons), ou seja, é o fato dos constituintes serem férmions que impede o preenchimento dos estados do sistema. Isto se dá através do Princípio da Exclusão de Pauli, o qual afirma que dois elétrons (ou em geral dois férmions) não podem ter o mesmo conjunto de atributos (os chamados números quânticos). Como o documento de identidade é único para um cidadão, pensamos em associar o número quântico ao documento de identidade. Com relação à classificação em si, esta foi associada com a divisão em partidos políticos, porque geralmente quem é filiado a um partido que está no poder goza ou tem maior facilidade de ter privilégios.

### **5.7 - Divisão em léptons , mésons e hadrons**

Enquanto na tabela periódica a classificação dos elementos é dada pela quantidade de prótons (número atômico), na física de partículas não foi possível encontrar a mesma simplicidade e, dessa forma, o que acabou prevalecendo foi uma distinção pelo valor da massa. Assim, as partículas que tem massa pequena são chamadas de léptons (que significa “leves”), mésons (que significa “de massa intermediária”) e bárions (que significam “pesados”). Como se sabe que os léptons mais leves são os elétrons; os mais pesados os tauons; e os intermediários os muons; além disso, comparamos elétrons a modelos de passarela extremamente magras, muons a modelos mais gordinhas e os tauons a modelos extremamente gordas.

## 5.8 - Quarks

Uma das propriedades estranhas do interior do núcleo atômico é o fato de que os prótons e nêutrons são formados de outros componentes ainda menores, que são os quarks, só que estes quarks não são encontrados livres na natureza. Uma forma que encontramos para representar isso foi comparando os quarks a filhotes de marsupiais como cangurus com o detalhe de que neste caso, “os filhotes” nunca saem da bolsa.

## 5.9 - Spins

O spin é uma propriedade que até já foi associado a uma rotação sobre si mesma das partículas, embora saiba-se hoje que esta analogia está bem distante da realidade, pois, se a partícula gira sobre si mesma, então ela é um corpo e não uma partícula, aproveitamos a analogia comparando o spin ao uso de patins que os habitantes férmions usam em parques e locais de entretenimento.

## 5.10 - Energia e salário

Em Física de partículas, o que determina o resultado de um processo é a energia envolvida. No próprio eletromagnetismo, de certo modo, o estudante já se deparou com isso quando aprendeu que, se a frequência da radiação é baixa, temos calor; quando mais alta, temos luz visível; quando mais alta ainda, temos ultravioleta, e assim prossegue até se atingir raios gama e raios cósmicos. Na física de partículas elementares, essa hierarquia de valores se manifesta nos processos de colisão. Uma colisão de prótons pode simplesmente ser uma colisão sem maiores conseqüências, mas uma colisão entre prótons de alta energia pode ser o suficiente para “arrancar” partículas do vácuo. Deste modo, podemos, para efeito didático, dizer que a energia cumpre o papel de “moeda” do mundo dos investimentos. Essa analogia inclusive não é nossa, ela foi usada por Gilmore<sup>11</sup> em seu livro “*Alice no país do quantum*”. Foi por isso que associamos a energia com o salário dos operários de Quantolândia.

## 5.11 - Antimatéria

Sabe-se, desde o início dos anos 1930, que o nosso universo é muito mais bizarro do que até então se pensava. Uma destas constatações se deu quando o físico inglês Paul Dirac (1902-1984) apresentou a Teoria Quântica Relativista, na qual ele propunha (e se pôde depois constatar experimentalmente) que o que chamamos vácuo na verdade é um

---

<sup>11</sup> GILMORE, 1998.

infinito reservatório de onde se pode extrair todo e qualquer tipo de partícula das conhecidas exceto por um detalhe: essas partículas têm atributos opostos. Foi assim que, na Física, entrou o conceito de antimatéria. Os processos experimentais que permitiam o surgimento dessas antipartículas eram muitas vezes emissões de partículas a altas energias em tubos ou câmaras de vácuo. Desse modo podemos imaginar que o nosso mundo tradicional tem uma espécie de mundo espelho da qual vez ou outra surge um componente aparentemente do nada, ou seja, este espelho em muito se assemelha a idéia de portal tão, familiar para a maioria dos estudantes que já assistiram filmes de ficção que exploram a existência de portais dimensionais. Assim, usamos a idéia de um portal que denominamos Diraclândia, em homenagem ao físico citado, para ilustrar a existência de dois “mundos” com atributos opostos, que é o mundo da matéria e da antimatéria. Este é um recurso que se mostra extremamente útil, pois a noção de vácuo como vazio precisa ser desfeita na mente do estudante.

### **5.12 - Convivência social**

Deixando de lado os pormenores mais complexos, podemos considerar para efeito didático que o átomo é uma estrutura formada de prótons, elétrons e nêutrons. Aproveitando da aprendizagem significativa do aluno que uma família (padrão) é formada de pai, mãe e filho, associamos a propriedade carga elétrica com o atributo de sexo para assim considerar o átomo uma estrutura familiar, em que os elétrons seriam os indivíduos do sexo feminino, prótons, os do sexo masculino, e os nêutrons, indivíduos assexuados. Como a ionização é uma perda de cargas, associamos esse processo a um divórcio ou separação conjugal (é claro que a ionização pode ser também um ganho de cargas, mas aqui exploramos apenas parte da analogia) e como essa ionização é acompanhada de emissão de radiação, mostramos que todo divórcio é comemorado com solta de fogos (emissão de luz). O átomo também foi comparado a um condomínio residencial, com a diferença de que os maridos não dormem com as respectivas esposas, mas com nêutrons.

### **5.13 - Explicando a ação dos mediadores**

Outra informação (que se constatou pelos questionários) que é totalmente ignorada pelos estudantes de Ensino Médio é a da existência dos bósons. Os bósons são partículas extremamente importantes, pois, embora não formem átomos ou estrutura alguma, são responsáveis pela formação de todas as estruturas. Sem bósons não se formariam átomos ou estrutura alguma. Os bósons são como espécies de elementos que mediam as interações das partículas para que elas formem estruturas. O conceito de bóson é fundamental na



apresentação do modelo padrão; como muitas vezes não são partículas concretas ou diretamente participantes da interação, comparamos a ação de bósons em alguns casos (interação eletromagnética) à espionagem através de chips implantados no cérebro dos fêrmions que dialogam entre si. Fizemos assim porque, nesse tipo de espionagem, o espião não participa diretamente do processo.

No caso das interações de hádrons de mesma natureza (próton-próton, nêutron-nêutron) em que os mediadores são as partículas  $Z^0$  pesadas, comparamos a ação dessas partículas a de um terceiro jogador que participa do jogo de hóquei no gelo entre dois fêrmions gordos e lentos. O uso de um disco pesado foi a forma que encontramos para justificar porque a massa do bóson é alta, e o fato dos jogadores ficarem muito próximos foi a forma que encontramos para mostrar que a interação é de curto alcance.

No caso de interações de hádrons de natureza diferente (nêutron-próton, por exemplo), há a necessidade de se recorrer ao processo de decaimento e, por isso, os mediadores são como que enfermeiros que intervêm num quase “parto”, em que nêutrons se transforma em prótons surgindo subprodutos como elétrons e antineutrinos, algo que faz lembrar cenas do filme “*Alien , o oitavo passageiro*”.

A mediação que existe na interação forte, com os chamados glúons, é de uma natureza mais complexa, já que envolve alterações em quarks, que nunca são encontrados livremente, e, por isso, fizemos uma mera comparação deste processo a um exame de ultra som que permite visualizar o que se passa na barriga de uma gestante sem contudo existir uma criança fisicamente independente da mãe.

#### **5.14 - Religião**

Por fim recorreremos à comparação com a religião (afinal até no nome temos uma alusão<sup>12</sup>) para apresentar ao aluno o conceito (por ora, porque ainda não foi detectado experimentalmente) dos bósons de Higgs. Hoje os bósons de Higgs são considerados os mediadores universais, ou seja, são os agentes responsáveis por toda formação de estrutura no universo. Sem os bósons de Higgs nenhuma estrutura teria se formado e a matéria existente no universo estaria em perpétuo estado de divisão.

---

<sup>12</sup> Alguns chamam os bósons de Higgs de “partículas de Deus”

## 5.15 - Capítulos seguintes à estória

Nos três capítulos seguintes à contação da estória, procuramos contextualizar os estudos sobre o átomo em termos históricos de idéias (remontando até a alguns séculos antes da era cristã através das incríveis concepções dos gregos), teorias e experimentos no século XIX e início do século XX, as quais culminaram com o atual Modelo Padrão da Física de Partículas.

### 5.15.1 - Capítulo sobre a genealogia das partículas

Quando estudamos o desenvolvimento das pesquisas relacionadas à estrutura atômica, percebemos como é interessante o desabrochar do saber científico. Tudo sugere fortemente que parece existir um tempo para as idéias surgirem e se desenvolverem e que até o acaso parece trabalhar a favor da ciência, senão vejamos.

No final do século XIX, a descoberta dos efeitos da radioatividade e do efeito da descarga dos gases em tubos de baixa pressão gerou (guardadas as devidas proporções) um febre no mundo inteiro, comparável hoje talvez a divulgação de idéias pela Internet. Graças a isso, descobriram-se os raios catódicos (que se descobriu serem os próprios elétrons), os raios canais (que se descobriram ser os íons), raios x, raios gama, raios beta (que eram os próprios elétrons) e outros mais. Nenhum dos pesquisadores envolvidos nessas pesquisas tinha a mínima noção sobre a estrutura atômica. Eles “participavam” deste jogo ou quebra-cabeças motivados apenas pela beleza do jogo de luzes que eram produzidos dentro daqueles tubos. O capítulo 3 da apostila é uma narrativa bem resumida desta pesquisa compartilhada. Foi nessa aventura científica que se consolidaram as descobertas de elétrons, prótons e nêutrons, e, é claro, dos modelos que surgiram para tentar encaixar as descobertas num esquema teórico.

### 5.15.2 - Capítulo sobre o surgimento da Física Quântica

Nenhuma teoria teve um impacto tão grande na história da humanidade quanto a Física Quântica e a Teoria da Relatividade. Embora tenham surgido de forma independente, a primeira se somou à segunda pelo fato de que, dentro do átomo os componentes se movem à velocidades próximas a da luz. A Física Quântica mudou até mesmo nossa forma de ver o mundo, apresentando e superando paradoxos que ainda hoje nos causam admiração. O capítulo quatro é uma descrição também resumida do surgimento desta notável contribuição de mentes brilhantes. O efeito fotoelétrico, a noção de quantum, a aplicação desta noção ao recente modelo do átomo, a dualidade de comportamentos da luz e das partículas, a inclusão de probabilidades nas previsões dos resultados de um experimento, a descoberta da

antimatéria pareciam “acidentes históricos” na pesquisa científica, mas hoje se mostram mais como eventos concorrentes que nos levam de volta às perguntas fundamentais que há milhares de anos, os antigos já se tinham feito: de onde viemos? Para onde vamos?

Especificamente com relação ao Modelo Padrão da Física de Partículas, o capítulo menciona muito resumidamente a descoberta de neutrinos, mésons, a descoberta de interações antes ignoradas e, por fim, de quarks, outras partículas e modelos que conseguissem explicar o cenário já imenso (já passava de centenas) de partículas que se multiplicavam nos laboratórios do mundo inteiro.

#### 5.15.3 - Capítulo que explica os fatos descritos em Quantolândia

No capítulo cinco, revisitamos a narrativa, agora já de posse das conquistas teóricas e científicas citadas nos capítulos anteriores, para poder então interpretar e explicar os fatos narrados na estória quase “passo a passo”.

#### 5.15.4 - Capítulo de implicações

Por fim, no capítulo seis, analisamos tudo o que foi dito nos capítulos anteriores para uma reflexão a respeito do que podemos esperar a partir do que aprendemos, ou seja, o que ganhamos em saber o que hoje sabemos a respeito da física de partículas.

### **5.16 - Final**

Creemos que, com o uso da estória de Quantolandia, conseguimos apresentar aos estudantes temas complexos como o da dualidade onda-partícula, da difração de matéria, classificação de partículas em bósons e férmions, do alcance de interações, das partículas virtuais, da existência de antimatéria, spins, quarks e assim cumprir o papel daquilo que Ausubel chama de âncoras para o processo cognitivo.

## Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 - Introdução

O conhecimento científico não é um conhecimento unicamente progressivo. Ele permite também uma redescoberta de nosso passado tanto a nível geológico, quanto biológico, químico e físico. Especificamente no que diz respeito ao objeto estudo de nossa proposta, o Modelo Padrão da Física de Partículas, podemos dizer que, embora ainda não seja uma teoria fechada, representa uma das mais bem sucedidas investidas da ciência na descrição da estrutura de mundo. Em função disso e em função do crescente incentivo que as autoridades do setor de educação vêm proporcionando, seja através dos PCN, seja através da aplicação do ENEM, acreditamos que vale a pena investir no repasse destas informações para os estudantes de ensino médio.

O físico Richard Feynman afirmou<sup>13</sup> que, se por algum cataclisma, todo o conhecimento científico fosse destruído e somente uma idéia pudesse ser repassada às gerações seguintes, a idéia que permitiria reconstruir todo o saber científico seria a da hipótese atômica. É curioso que uma idéia tão profunda não tenha saído de um laboratório, mas da mente de filósofos que eram meros contempladores da natureza. Do exame puramente intelectual de homens notáveis surgiram e se desenvolveram idéias que culminaram em última instância com o que hoje conhecemos como “O Modelo Padrão da Física de Partículas”.

É claro que o modelo ainda tem muitas lacunas e perguntas por responder, como, por exemplo, principalmente ao fato da interação gravitacional ficar de fora do modelo. Mas apresentar este modelo a estudantes de ensino médio foi o desafio que aceitamos enfrentar.

Uma vez ouvimos um homem, que consideramos sábio, dizer que o tamanho da dificuldade é do mesmo tamanho que a facilidade. Acreditamos que esta frase quase profética se aplica à nossa proposta de trabalho. Seria muita ingenuidade ou pretensão nossa achar que, com a aplicação e a divulgação de nosso trabalho através de agentes multiplicadores, os estudantes de Ensino Médio serão capazes de assimilar muito facilmente as idéias contidas no Modelo Padrão. O que acreditamos com certeza é que com uma boa metodologia se pode reduzir muito a resistência dos alunos a aceitar idéias difíceis de

---

<sup>13</sup> FEYNMANN, Richard. **Lições de física**. São Paulo: Bookman, 2006. v.1, cap. 1.

assimilar. Hoje há *sites* ou *blogs* na Internet onde internautas (geralmente jovens ainda) expressam o seu desagrado e rejeição a disciplinas como Física e Matemática formando comunidades como “detesto física” ou “odeio matemática”. A nosso ver com certeza faltou aos professores desses jovens uma boa metodologia, uma metodologia que mostrasse a eles que até aquilo que é muito difícil pode se tornar mais aceitável.

No processo de ensino, seja em Física, seja em qualquer disciplina, o principal objetivo deve ser a formação e não a mera informação; no contexto da proposta de Ausubel, deve ser uma aprendizagem significativa e não mecânica.

Embora não tenhamos dados estatísticos, sabemos pela experiência, hoje, que o contingente de alunos que fazem a opção de ingressar numa universidade numa área como Física é muito pequeno. Quais fatores contribuem para o estudante não querer estudar Física? Seria somente a má remuneração dos professores? Seria porque o estudante acha que a pesquisa boa é apenas aquela realizada no exterior?

Seja pelo primeiro fator, seja pelo segundo, será que um bom estímulo não poderia mudar isto? Ou seja, quem sabe se, com maior estímulo, tanto as empresas se sintam mais estimuladas a investir em pesquisas quanto os estudantes em se aperfeiçoar nas pesquisas?

Hoje, graças ao compartilhamento global de informações e de novas tecnologias, pode-se, numa defasagem tecnológica muito menor, produzir materiais e sistemas de grandes potenciais de aplicação. Diante disso nos perguntamos se o incentivo à produção de materiais pedagógicos com a utilização de produtos similares ao nosso (ou ainda melhores) não poderia ser feito e com isso mudar um pouco o perfil de escolhas tanto para o ingresso quanto para o período de escolha pela área de trabalho.

O ensino tradicional de Física no Brasil no Ensino Médio é de três anos, e a parte reservada ao ensino da Física Moderna e Contemporânea geralmente é dada nos últimos meses (e muitas vezes só no último mês), de forma que, para a Física de topo de linha é reservado um tempo da ordem de 2 a 3% do período total, algo ainda muito insatisfatório. Será que uma maior utilização de recursos como os que aqui foram apresentados não poderia mudar o panorama da situação? Ou seja, será que alguns estudantes, apresentados que fossem a estes conteúdos, não poderiam mudar suas escolhas e optar por uma carreira da área de pesquisa?

## 6.2 - Aperfeiçoamento da idéia?

É claro também que não queremos superestimar o valor da nossa proposta. Só a utilização da estória como recurso didático não é suficiente. Vimos que o uso de bons vídeos e materiais de apoio continuam sendo extremamente importantes no objetivo de repassar os conteúdos. Na verdade, cremos que a proposta pode e deve ser aperfeiçoada e ampliada, principalmente com a utilização de mais vídeos e recursos de multimídia que se mostrarem úteis na assimilação dos conteúdos.

Hoje já existem diversos softwares de edição gráfica (como o Blender 3D, por exemplo) cujo potencial, embora não nos seja familiar, já tivemos a oportunidade de constatar através de vídeos demonstrativos na Internet. Segundo pudemos pesquisar, este programa já traz embutido dentro de suas bibliotecas internas diretivas e comandos que reproduzem com perfeição leis da física, bastando para isso inserir os objetos gráficos (esferas, cubos, cones, etc) e lhe atribuir as propriedades que se deseja ver reproduzidas, como colisão, reflexão, refração, radiação, queda livre e movimento de fluidos, para citar apenas algumas das principais, e assim dar início à animação. Esse é um recurso fantástico, não só pelo que ele é capaz de produzir, mas também pelo que é capaz de estimular nos jovens que gostem de trabalhar com computadores. A título de exemplo gostaríamos de sugerir os vídeos<sup>14</sup>:

*[http://www.youtube.com/watch?v=r\\_WKeTQ7Yho](http://www.youtube.com/watch?v=r_WKeTQ7Yho)*

*<http://www.youtube.com/watch?v=IgdIQq0TD9U>*

*<http://www.youtube.com/watch?v=cuGyGnWeGxU&feature=related>*

O primeiro mostra a colisão de uma bola de boliche com os pinos do jogo, o segundo mostra partículas saindo de um cubo aberto em direção ao ar e colidindo com uma parede, e o terceiro mostra escoamento de água de forma impressionante.

Em função desses recursos, cogitamos se, caso houvesse algum professor que saiba trabalhar com esses programas de edição gráfica (ou disponha de alunos ou pessoas que possam fazê-lo), a estória de Quantolandia não poderia se transformar num recurso de animação computadorizada ainda com maior potencial de aprendizagem significativa do Modelo Padrão da Física de Partículas? Fica a proposta.

O fato é que todas as aplicações da Física, como em problemas de atrito, ótica, eletrostática e eletrodinâmica, termodinâmica, física das ondas, o ganho na aprendizagem

---

<sup>14</sup> Esta lista poderia chegar a dezenas e o número está crescendo

seria absolutamente fantástico, e isso seria adequado por duas razões: a primeira é que a reprodução virtual permitiria visualizar fenômenos que seriam extremamente proibitivos caso fossem reproduzidos realmente em laboratório, e a segunda é que permite reproduzir fenômenos que nem em laboratórios se pode reproduzir pela sua natureza (ondas gravitacionais, processos no interior dos átomos, por exemplo).

## **CONCLUSÃO**

Portanto, concluímos dizendo com relação à nossa proposta de apresentar o Modelo Padrão da Física de Partículas através de uma estória fictícia que ela:

- 1- Proporcionou ganhos na aprendizagem, como o questionário de avaliação 2 foi capaz de mostrar;
- 2- Conjugou bem com a proposta da Aprendizagem Significativa de Ausubel;
- 3- Permitiu que idéias e conceitos básicos contidos no modelo pudessem ser assimilados de uma forma mais atrativa e estimulante;
- 4- Poderá ter ainda maior potencial de aproveitamento caso seja complementada com vídeos instrutivos específicos dos conteúdos e com programas de edição gráfica de grande poder apelativo.

## REFERÊNCIAS

- ABDALA, Maria Cristina B. **O Discreto charme das partículas**. São Paulo: Unesp, 2006.
- CHERNOGOROVA, V. **Enigmas del micromundo**. Moscou : Editorial Mir, 1977.
- FEYNMANN, Richard. **Lições de física**. São Paulo: Bookman, 2006. v.1
- FUCHS, Walter. **Física moderna**. São Paulo: Polígono, 1970.
- HEISENBERG, Werner. **Física e filosofia**. Brasília: UNB, 1981.
- GAMOV, G. **O incrível mundo da física moderna**. São Paulo: Ibrasa, 1976.
- GILMORE, R. **Alice no país do Quantum**. São Paulo: Jorge Zahar, 1998.
- MENEZES, Luiz Carlos. **Matéria, uma aventura do espírito**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.
- MOREIRA, M. A. ; MASSINI, E. F. Salzani. **Aprendizagem significativa, a teoria de David Ausub**. São Paulo: Centauro, 2009.
- OSADA, Jun'ich. **Evolução das idéias da física**. São Paulo: Edgard Blücher, 1972.
- SEGRÈ, Emilio. **Dos raios X aos quarks**. Brasília: Universidade de Brasília, 1987.
- VIEIRA, F. J. Amaral. **Em busca de Higgs, a partícula de Deus**. In: Arch.Funcap.Scienc-Phys. Cosmo1/Scientific.Update. 001.oct.29.2008.Disponível em:  
<http://funcapciencia.funcap.ce.gov.br./artigos/artigos/artigos>



## APÊNDICES

### APÊNDICE A

#### Questionário 1

**01-** O átomo é uma partícula elementar? ( ) Sim ( ) Não

**02-** Originalmente, o que significa o termo átomo?

---

**03-** Você sabe qual a composição do núcleo? ( ) Sim ( ) Não

Caso tenha marcado sim, indique seus componentes.

---

**04-** Dentre as partículas abaixo marque aquela(as) que é(são) elementar(es).

Partícula alfa ( )

Próton ( )

Nêutron ( )

Elétron ( )

**05-** Do ponto de vista das partículas elementares, você já ouviu falar em Modelo Padrão?

( ) Sim ( ) Não

**06-** Você já ouviu falar de anti-matéria? ( ) Sim ( ) Não

Se sim, diga o que sabe nas linhas abaixo.

---



---

**07-** Na natureza, tudo que existe está relacionada a ação de forças. Segue abaixo algumas dessas forças que interagem entre as partículas(ou corpos). Qual(quais ) você já ouviu falar.

A- Força Gravitacional: ( ) Sim ( ) Não.

Se sim, como ela interage

---



---

B- Força eletromagnética: ( ) Sim ( ) Não.

Se sim, como ela interage

---



---

C- Força fraca: ( ) Sim ( ) Não.

Se sim, como ela interage

---



---

D- Força Forte: ( ) Sim ( ) Não.

Se sim, como ela interage

---



---

**08-** Dentre os termos abaixo usado para denominar as partículas, marque aquele(s) que você conhece ou já ouviu falar.

Pósitrons ( )

Nêutrons ( )

Neutrinos ( )

Quarks ( )

Léptons ( )

Bósons ( )

Leia o pequeno texto e depois responda às perguntas 9 e 10:

*O Grande Colisor de Hadrões (em inglês Large Hadron Collider) é o maior acelerador de partículas e o de maior energia existente do mundo, que tem como objetivo a colisão de feixes de partículas carregadas, tanto de prótons a uma energia de 7 TeV por partícula, ou núcleos de chumbo a energia de 574 TeV por núcleo. O laboratório localiza-se em um túnel de 27 km de circunferência, bem como a 175 metros abaixo do nível do solo na fronteira franco-suíça próximo a Genebra na Suíça.*

**09-** Você tem alguma idéia ou informação de como ocorre o processo de colisão citado? ( )

Sim ( ) Não

Se sim, descreva o que sabe:

---

---

**10-** Você sabe o dizer que partículas são denominadas hádrons? ( ) Sim ( ) Não

Se sim, indique-as:

---

---

## APÊNDICE B

### Questionário 2

**01-** Do ponto de vista da Física, o que significa ser uma partícula elementar?

---

---

**02-** De acordo com etimologia da palavra, o termo átomo usado atualmente está correto?

( ) Sim ( ) Não

Justifique sua resposta: \_\_\_\_\_

---

**03-** Cite o nome das partículas que constituem:

a) os prótons e nêutrons: \_\_\_\_\_

b) os elétrons: \_\_\_\_\_

**04-** Quais são os quarks da primeira geração?

---

**05-** Cite o nome do bóson mediador da:

a) Força eletromagnética: \_\_\_\_\_

b) Força fraca: \_\_\_\_\_

c) Força forte: \_\_\_\_\_

**06-** O modelo padrão da física de partículas, desenvolvida na década de 70, é uma teoria que descreve as forças fundamentais fortes, fracas, e eletromagnéticas, bem como as partículas elementares que constituem toda a matéria. Diante do estudado e com o que está dito nesta frase, cite o nome dos 3 tipos de partículas que constituem essa teoria.

---

**07-** Como é de conhecimento nosso, o núcleo atômico é constituído de prótons e nêutros. Sabemos, também, que os prótons possuem carga elétrica positiva e os nêutrons não apresentam carga elétrica. Se cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, como pode o núcleo atômico ser estável? Inicialmente, esse foi um dos problemas a ser explicado pelo modelo

atômico de Rutherford. Hoje, diante do exposto nesse material, que explicação você daria para explicar esta estabilidade?

---

**08-** Quantas partículas elementares constituem o modelo padrão?

---

**09-** Das forças indicadas abaixo, marque aquelas que são de natureza eletromagnética.

Peso ( )

Força de Atrito ( )

Força entre prótons ( )

Força entre elétrons ( )

Força elástica ( )

**10-** Qual a denominação das partículas usadas nas colisões no LHC(Large Hardron Collider)?

a) mésons

b) hádrons

c) bósons

d) píons

e) léptons

### **Questões extras**

**01** – Que impressão esse novo conhecimento deixou em você?

---

---

---

**02-** Faça um breve relato do uso metafórico de Quantolândia para explicar as partículas elementares.

---

---

---

## **APÊNDICE C**

### **QUANTOLANDIA, A REPÚBLICA DAS PARTÍCULAS**