UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA

INSTITUTO DE QUÍMICA

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

ROGER WILLIANS CORRÊA

**Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos
de astrofísica de partículas para o ensino médio**

SÃO PAULO

2015

ROGER WILLIANS CORRÊA

**Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos
de astrofísica de partículas para o ensino médio**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação Interunidades em
Ensino de Ciências da Universidade de
São Paulo como requisito para obtenção
do título de Mestre em Ensino de
Ciências

Área de Concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alves
Barros

SÃO PAULO

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Corrêa, Roger Willians

Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de astrofísica de partículas para o ensino médio. São Paulo, 2014.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alves Barros

Área de Concentração: Física

Unitermos: 1. Astrofísica – Estudo e ensino; 2. Ensino médio; 3. Ensino e aprendizagem; 4. Mapas conceituais; 5. Raios cósmicos.

USP/IF/SBI-104/2014

Nome: CORRÊA, Roger Willians

Título: Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de astrofísica de partículas para o ensino médio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências
Área de Concentração: Ensino de Física

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Alves Barros

Instituição: IFSC-USP

Julgamento:_____ Assinatura:_____

Prof. Dr. Ivã Gurgel

Instituição: IFUSP

Julgamento:_____ Assinatura:_____

Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha

Instituição: IFSC-USP

Julgamento:_____ Assinatura:_____

Aos meus mestres que, com afino e dedicação, auxiliaram-me a trilhar o caminho do conhecer.

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador e mantenedor da vida.

Aos meus pais (*in memoriam*), Miguel e Emília, pelo amor incondicional e esforços desferidos para minha formação.

À minha amada esposa Letícia e à minha amada filha Marina, por entenderem meu distanciamento nos momentos de estudo.

Ao professor Marcelo Barros, pela orientação cuidadosa, pela paciência em lidar com minhas dificuldades e tornar possível a elaboração deste trabalho.

À Silvana, diretora da Escola Alayde Domingues Couto Macedo, por permitir a aplicação da sequência didática objeto deste trabalho.

Aos alunos que participaram das atividades realizadas.

Ao colega Geraldo, pela ajuda na revisão gramatical do trabalho.

Às bancas de qualificação e defesa, pelas críticas e sugestões.

RESUMO

CORRÊA, R. W. **Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de astrofísica de partículas para o ensino médio.** 2015. 162 f. Dissertação (Mestrado) apresentada aos Institutos de Física, Química, Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2015.

Este trabalho tem como objetivo investigar a implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de Astrofísica de Partículas para o Ensino Médio. Buscou-se determinar o ponto de impacto e a direção de chegada de um raio cósmico primário ao solo, utilizando dados do Observatório Pierre Auger. A fim de identificar elementos relevantes dessa sequência, analisamos a maneira como os estudantes interagiram e realizamos refinamentos progressivos a fim de aperfeiçoá-la. No refinamento da sequência de ensino, a análise dos dados obtidos desempenhou um importante papel, já que indicou os caminhos a serem tomados para que a atividade desenvolvida fizesse parte do repertório de conhecimentos do aluno. Esperou-se que esse conhecimento, longe de ser mecânico e passageiro, fosse significativo ao aluno no sentido de que os conteúdos tratados se entrelaçassem a conhecimentos prévios e se transformassem em conhecimento mais estáveis e ricos em significados. Por este viés, a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel norteou a escolha do método de avaliação e interpretação dos dados coletados neste estudo. Assim, de acordo com o referencial teórico adotado, os mapas conceituais apresentaram-se como forma de análise e serviram de avaliação do conhecimento obtido pelos estudantes e, por conseguinte, da sequência didática proposta. Conforme indicou a análise dos mapas conceituais, a maior parte das informações relacionadas com a dinâmica de determinação do ponto de impacto e da direção de chegada de um raio cósmico primário começou a ter significado na estrutura de conhecimentos dos alunos. Assim, o conteúdo *raios cósmicos* mostrou-se possível de ser ensinado na sala de aula do Ensino Médio.

Palavras-Chave: Astrofísica de Partículas, Ensino Médio, Aprendizagem Significativa, Mapas Conceituais, Raios Cósmicos.

ABSTRACT

CORRÊA, R. W. Implementation of a teaching and learning sequence for particle astrophysics topics in High School. 2015. 162 f. Dissertation (Master's Degree) presented to Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências and to Faculdade de Educação of Universidade de São Paulo, 2015.

This paper aims at investigating the implementation of a teaching and learning sequence for particle Astrophysics topics in High School. Our aim is to determine the impact point and direction of a primary cosmic ray to the ground, using the Pierre Auger Observatory data. To identify the relevant elements of this sequence, we analyzed the way in which students interacted and then implemented progressive refinements to improve it. The data analysis played an important role in refining the teaching sequence, enabling the results to form part of the students' knowledge. It is hoped the knowledge gained has been significant for the students and when added to previous knowledge has helped them develop a more stable and rich understanding of the subject. Ausubel's theory guided the choice of the evaluation method and interpretation of data collected in this study. According to the theoretical approach, the conceptual maps were presented as a way of analyzing and evaluate the knowledge gained by students and therefore the proposed didactic sequence. As indicated by analysis of the conceptual maps, most of the information related to the dynamics of determination of the impact point and the direction of arrival of a primary cosmic ray began to have meaning in students' knowledge structure. Along these lines, the content cosmic rays proved possible to be taught in the high school classroom.

Keywords: Particle Astrophysics, High School, meaningful learning, concept maps, Cosmic Rays.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Processos de aprendizagem, segundo Ausubel. Fonte: Novak e Cañas (2010)	22
Figura 2.2: Exemplo de mapa conceitual	25
Figura 2.3: Um mapa conceitual a respeito de mapas conceituais.....	26
Figura 2.4: Exemplos dos três padrões estruturais de mapas conceituais.	28
Figura 3.1: Losango didático. Adaptado de Méheut (2005).....	31
Figura 4.1: Espectro de raios cósmicos.	45
Figura 4.2: Representação esquemática do processo de aumento de energia de um raio cósmico.....	46
Figura 4.3: Representação esquemática do desenvolvimento de um raio cósmico na atmosfera	47
Figura 4.4: Localização geográfica do Observatório Pierre Auger.	48
Figura 4.5: Detector de fluorescência e tanque de superfície	49
Figura 4.6: Representação esquemática de um tanque detector de superfície	49
Figura 4.7: Prédio que abriga seis telescópios de fluorescência	50
Figura 4.8: Detector de fluorescência e esquema mostrando detalhes de sua construção e escala	50
Figura 4.9: Esquema de detecção híbrida de raio cósmico por detectores de fluorescência e tanques de superfície	51
Figura 5.1: Fórmula para o cálculo do centro de massa	62
Figura 5.2: Folha de dados preenchida pelos alunos	63
Figura 5.3: Posições dos tanques em escala	64
Figura 5.4: Construção da maquete	66
Figura 6.1. Mapa conceitual do grupo 1 - 2ºano	70
Figura 6.2. Mapa conceitual do grupo 2 - 2ºano	73
Figura 6.3. Mapa conceitual do grupo 3 - 2ºano	75
Figura 6.4. Mapa conceitual do grupo 4 - 2ºano	77
Figura 6.5. Mapa conceitual do grupo 5 - 2ºano	79
Figura 6.6. Mapa conceitual do grupo 6 - 2ºano	81
Figura 6.7. Mapa conceitual do grupo 1 - 3ºano	84
Figura 6.8. Mapa conceitual do grupo 2 - 3ºano	86
Figura 6.9. Mapa conceitual do grupo 3 - 3ºano	88
Figura 6.10. Mapa conceitual do grupo 4 - 3ºano	90
Figura 6.11. Mapa conceitual do grupo 5 - 3ºano	92
Figura 6.12. Mapa conceitual do grupo 6 - 3ºano	94
Figura 6.13. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 1 - 3ºano	99
Figura 6.14. Mapa conceitual do grupo 2 - mapa 1 - 3ºano	101
Figura 6.15. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 1 - 3ºano	103

Figura 6.16. Mapa conceitual do grupo 4 - mapa 1 - 3ºano	105
Figura 6.17. Mapa conceitual do grupo 6 - mapa 1 - 3ºano	107
Figura 6.18. Mapa conceitual do grupo 7 - mapa 1 - 3ºano	109
Figura 6.19. Mapa conceitual do grupo 8 - mapa 1 - 3ºano	111
Figura 6.20. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 2 - 3ºano	114
Figura 6.21. Mapa conceitual do grupo 4 - mapa 2 - 3ºano	116
Figura 6.22. Mapa conceitual do grupo 7 - mapa 2 - 3ºano	118
Figura 6.23. Mapa conceitual do grupo 8 - mapa 2 - 3ºano	120

LISTA DE GRÁFICOS E QUADROS

Quadro 5.1. Folha da atividade para determinação do ponto de impacto e a direção de chegada de um raio cósmico primário.....	60
Quadro 6.1. Análise geral do grupo 1 - 2ºano	72
Quadro 6.2. Análise geral do grupo 2 - 2ºano	74
Quadro 6.3. Análise geral do grupo 3 - 2ºano	76
Quadro 6.4. Análise geral do grupo 4 - 2ºano	78
Quadro 6.5. Análise geral do grupo 5 - 2ºano	80
Quadro 6.6. Análise geral do grupo 6 - 2ºano	82
Gráfico 6.1. Análise geral dos grupos – turma 1 (2º ano).....	83
Quadro 6.7. Análise geral do grupo 1 - 3ºano	85
Quadro 6.8. Análise geral do grupo 1 - 3ºano	87
Quadro 6.9. Análise geral do grupo 3 - 3ºano	89
Quadro 6.10. Análise geral do grupo 4 - 3ºano	91
Quadro 6.11. Análise geral do grupo 5 - 3ºano	93
Quadro 6.12 Análise geral do grupo 5 - 3ºano	96
Gráfico 6.2. Análise geral dos grupos – turma 2 (3º ano).....	96
Quadro 6.13. Análise geral do grupo 1 - mapa 1 - 3ºano	100
Quadro 6.14. Análise geral do grupo 2 - mapa 1 - 3ºano	102
Quadro 6.15. Análise geral do grupo 3 - mapa 1 - 3ºano	104
Quadro 6.16. Análise geral do grupo 4 - mapa 1 - 3ºano	106
Quadro 6.17. Análise geral do grupo 6 - mapa 1 - 3ºano	108
Quadro 6.18. Análise geral do grupo 7 - mapa 1 - 3ºano	110
Quadro 6.19. Análise geral do grupo 8 - mapa 1 - 3ºano	112
Gráfico 6.3. Análise geral dos grupos – mapa 1 – turma 3 (3º ano).....	113
Quadro 6.20. Análise geral do grupo 1 - mapa 2 - 3ºano	115
Quadro 6.21. Análise geral do grupo 4 - mapa 2 - 3ºano	117
Quadro 6.22. Análise geral do grupo 7 - mapa 2 - 3ºano	119
Quadro 6.23. Análise geral do grupo 8 - mapa 2 - 3ºano	121
Gráfico 6.4. Análise geral dos grupos – mapa 2 – turma 3 (3º ano).....	122
Gráfico 7.1. Percentual de não-atendimento aos objetivos propostos, turmas 2 e 3.....	126

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE GRÁFICOS E QUADROS.....	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Contexto das Pesquisas Sobre Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.....	13
1.1.1 A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	15
1.1.2. Abordagens Metodológicas	18
2. A TEORIA DE APRENDIZAGEM DE AUSUBEL	21
2.1. Aprendizagem significativa	21
2.2. Mapas Conceituais	24
2.2.1. Avaliação de Mapas Conceituais	27
3. SEQUÊNCIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM	30
3.1. Pesquisa Baseada no <i>Design</i>	32
3.2. Experimentos em <i>Design</i>	33
3.3. Pesquisa em <i>Design</i> em Comparação com Outros Métodos de Pesquisa	34
3.4. Metodologia da Pesquisa em <i>Design</i>	35
4. O ESTUDO DE RAIOS CÓSMICOS.....	40
4.1. Um Breve Histórico	40
4.2. Chuveiros de Raios Cósmicos	43
4.2.1. A detecção de Raios Cósmicos – O Observatório Pierre Auger	48
5. METODOLOGIA DE PESQUISA	52
5.1. Objetivos	52
5.2. Participantes.....	52
5.3. <i>Design</i> da sequência de ensino e aprendizagem	52
5.3.1. Variáveis Dependentes.....	52
5.3.2. Variáveis Independentes	53
5.4. A sequência de ensino e aprendizagem utilizada nesse trabalho.....	54
5.5. A atividade de raios cósmicos utilizada nesse trabalho.....	56
5.6. Procedimento de aplicação da sequência de ensino e aprendizagem	60
6. ANÁLISE DOS DADOS	67
6.1 Critérios de análise	67
6.2. Etapa piloto	69
6.2.1. Turma 1 (segundo ano – maio de 2012)	69
6.2.2. Turma 2 (terceiro ano – setembro de 2012)	83
6.3. Etapa pós-implementação	97
6.3.1. Turma 3 (terceiro ano – setembro de 2013) - Mapa 1.....	98
6.3.2. Turma 3 (terceiro ano – setembro de 2013) - Mapa 2.....	113
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
9. ANEXOS	134
9.1. ANEXO A – Mapas conceituais dos alunos (originais)	134
9.2. ANEXO B – Texto de apoio e questionário	157
9.2. ANEXO C – Mapas conceituais avaliados em sala de aula (etapa de pós implementação)	159

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto das Pesquisas Sobre Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

As grandes transformações econômicas, políticas e sociais ocorridas no séc. XX trouxeram consigo uma evolução tecnológica sem precedentes na história humana. A maneira como as pessoas trabalham, se locomovem, comunicam, divertem etc., tem sofrido, como resultado direto da evolução constante dos aparelhos tecnológicos, enormes mudanças em intervalos de tempo cada vez mais curtos: máquinas cada vez mais eficientes, miniaturização de aparelhos, computadores com processadores cada vez mais velozes, novos materiais e propriedades que possibilitam a construção de equipamentos mais modernos, uso de diferentes meios para obtenção de energia etc. Tal evolução não seria possível sem a compreensão de fenômenos físicos como, por exemplo, os processos subatômicos estudados na mecânica quântica. Seria de se esperar, portanto, que a Física Moderna e Contemporânea (FMC), além de atrair a atenção de nossos estudantes, fosse tratada em sala de aula e fizesse parte de seus conhecimentos escolares. Mas não é isso o que acontece.

Essa lacuna de conteúdos se reflete nas estatísticas do Pisa - o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (Pisa), desenvolvido e coordenado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), cujo objetivo é produzir indicadores que contribuam para a discussão da qualidade da educação dos países participantes. As avaliações deste programa, abrangendo Leitura, Matemática e Ciências, são realizadas a cada três anos e o relatório de 2012 apontou uma questão preocupante: dos 65 países estudados, o Brasil assumiu o 59º lugar no ranking de aptidões e conhecimento científico/tecnológico para tarefas relevantes na atual sociedade moderna. Explicações podem ser encontradas nos documentos oficiais voltados à educação, uma vez que, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN-2002), o desinteresse dos estudantes está associado à apresentação de conceitos e fórmulas de maneira desarticulada, distante do mundo vivencial do educando e, portanto, vazios de significado. Uma breve comparação entre o currículo ensinado nas escolas e o mundo vivencial do aluno, sobretudo em relação aos conceitos de construção e funcionamento dos equipamentos tecnológicos com os quais ele tem contato, permite concluir pela desatualização do currículo, aquém das transformações ocorridas no campo das ciências. Em vista desta situação, torna-se evidente a necessidade de uma inovação curricular de conteúdos.

Uma busca mais efetiva em direção a uma renovação dos conteúdos, sobretudo para dar conta de uma maior aproximação com os desenvolvimentos e conquistas científicas recentes (Ostermann e Moreira, 2000a), aconteceu em 1986, na “Conferência sobre o Ensino de Física Moderna”, ocorrida no Fermi National Accelerator Laboratory, nos Estados Unidos. Embora a Física houvesse apresentado mudanças revolucionárias, essas inovações não faziam parte do conteúdo ensinado na escola média. Havia, naquela época, um atraso de mais de 100 anos no ensino de Física. Esta, como estudada na escola, compreendia conteúdos cujas bases eram bastante antigas: a Mecânica Newtoniana, elaborada em meados e fim do séc. XVII; os princípios de Termodinâmica, estabelecidos nos séculos XVII e XVIII; o Eletromagnetismo Clássico, que recebeu suas últimas contribuições no fim do séc. XIX, com o conceito de campo elétrico. Conceitos mais modernos como radioatividade, laser, buracos negros, entre outros, não faziam parte do rol de conteúdos tratados. Hoje, embora os currículos oficiais (como o do Estado de São Paulo) prevejam o estudo desses conceitos, nota-se, na prática, sua ausência na maioria das salas de aula.

Entretanto, convém ressaltar que após a realização da conferência várias tentativas de se inserir tópicos de Física Moderna no Ensino Médio começaram a surgir; a sociedade começou a exigir uma cultura científica mais atualizada em seus setores produtivos. Particularmente, as demandas da comunidade científica e dos próprios alunos apontaram na direção de tornar o ensino da Física mais próximo do conhecimento produzido pelos cientistas na atualidade.

No Brasil, os vários trabalhos que surgiram com esse objetivo apresentam algumas justificativas para este movimento, entre as quais se destacam, conforme Ostermann e Moreira (2000a): despertar a curiosidade do aluno e ajudá-lo a reconhecer a Física como uma construção humana e, portanto, mais próxima a ele; o cenário da pesquisa atual em Física não é discutido; a Física vista pelos estudantes data de 1900; é de suma importância atrair jovens para a carreira científica, já que eles serão os futuros pesquisadores e professores de Física; é mais motivador para o professor ensinar tópicos novos, entusiasmando-o devido ao material utilizado e a mudanças estimulantes no conteúdo do curso; embora a Física Moderna seja considerada conceitualmente difícil e abstrata, a Física Clássica também encontra estas mesmas dificuldades.

Para Pinto e Zanetic (1999),

É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, não como uma mera curiosidade, mas como uma Física que surge

para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo. Uma Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básicas para o homem contemporâneo, um conjunto de conhecimentos que extrapola os limites da ciência e da tecnologia, influenciando outras formas do saber humano. Portanto, os vários campos abertos pela física deste século devem ter sua presença garantida nos currículos de nossas escolas médias, particularmente a Física Quântica e a Física Relativística que abriram novos horizontes de exploração científica inimagináveis aos olhos dos cientistas clássicos. (p. 7).

Uma lista de tópicos de FMC que poderiam ser inseridos no Ensino Médio foi elaborada por Ostermann e Moreira (2000a) a partir de uma pesquisa realizada com físicos, pesquisadores em ensino de física e professores do Ensino Médio. Como principais temas, foram citados: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do Universo, raios-X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita e geral, Big-Bang, estrutura molecular e fibras ópticas.

Entretanto, além de elencar os tópicos a serem ensinados, propõe-se ao ensino de Física o desafio de incorporar estes conteúdos ao conjunto de conhecimento dos alunos. Neste sentido, especificamente a respeito da Física Moderna, os PCNEM+ (BRASIL, 2002) destacam algumas razões que justificam a inserção desses tópicos do ensino de Física:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. (p. 70).

1.1.1 A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Apresentar uma Física cujos conteúdos tenham relação com a experiência cotidiana do aluno, seja ela palpável ou apenas perceptível, não é uma preocupação recente. O Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), por exemplo, formado em meados da década de 1980 por professores da rede estadual de ensino e por docentes da Universidade de São Paulo (USP), elaborou uma proposta de ensino de Física vinculada às experiências cotidianas do aluno. Este material, não muito diferentemente dos livros didáticos da época (e de muitos mais recentemente), apresentava alguns tópicos de Física Moderna, como

funcionamento do laser, o modelo quântico da luz, evolução estelar, matéria escura, buracos negros etc. Embora esses tópicos estivessem presentes nesse material, o tratamento dado a eles era muito superficial. Em geral estes assuntos apareciam no final nos capítulos, aparentemente apenas como uma curiosidade e sem a mesma importância dada aos temas da Física Clássica.

Nas últimas décadas, a preocupação com respeito à forma como os tópicos de FMC devem ser trabalhados tem sido motivo de estudo de vários grupos de ensino de ciências, como o Núcleo de Pesquisa em Inovação Curricular (NUPIC), uma referência em estudos sobre atividades didáticas nesse sentido. O Núcleo, formado por pesquisadores da USP, estudantes de graduação e pós-graduação e professores de Física da rede pública, desenvolve várias atividades: elaboração de materiais didáticos (vídeos, hipertextos, Objetos de Aprendizagem virtual (OAs) etc.), *workshops*, cursos, publicações de artigos e livros etc. Dentre estas atividades, destaca-se dois projetos¹: “Física Moderna no Ensino Médio” e “A Física Moderna no Ensino Médio e a Formação de Multiplicadores para a Rede Pública de Professores de Física”.

O primeiro projeto, realizado com parceria entre pesquisadores da USP e professores da Rede Pública de Ensino do Estado de São Paulo, teve como produtos vários materiais didáticos. As atividades realizadas nos cursos que compõem o projeto foram aplicadas em sala de aula, aumentando a possibilidade de reprodução em condições reais. Os materiais deste curso podem ser encontrados no site: <http://www.nupic.fe.usp.br/Projetos%20e%20Materiais>. Os seguintes cursos fizeram parte deste projeto:

- **Dualidade Onda-Partícula** – o curso é parte integrante da dissertação de mestrado de Guilherme Brockington (BROCKINGTON, 2005). Brockington, em seu trabalho, afirma que a inserção de Física Moderna no Ensino Médio se justifica devido à necessidade que os alunos sentem de entender os temas científicos com os quais se deparam em seu cotidiano. Ele acrescenta que, embora os livros didáticos apresentem os temas de FMC, os assuntos são tratados de forma superficial e parecem constar no livro não por necessidade pedagógica, mas por exigência dos PCN. Porém, conforme o autor, existem alternativas permitindo que tópicos de FMC sejam tratados em sala de aula, como o uso de materiais de baixo custo e simulações computacionais.
- **Física das Partículas** - o curso originou-se de uma sequência didática produzida na dissertação de mestrado de Maxwell Siqueira (SIQUEIRA, 2006). Em sua dissertação,

¹ Ambos apoiados pela FAPESP.

Siqueira justifica a inserção da FMC no Ensino Médio como uma forma de compreensão dos fenômenos ligados ao cotidiano das pessoas. Ele chama a atenção para a questão da formação de professores que não encontram na graduação disciplinas abordando tópicos de FMC, e aponta a necessidade de cursos de formação continuada para os professores. Esse trabalho abordou a inserção do tópico “Física de Partículas Elementares” no Ensino Médio, mostrando que o assunto pode ser trabalhado de maneira satisfatória na sala de aula.

- **Paradoxo dos Gêmeos** – o curso trata de relatividade restrita e tem como objetivo a compreensão do não absolutismo do tempo e a existência do intervalo relativístico como um invariante por mudança de referenciais. A experiência de aplicação em uma turma piloto em 2011 e a aplicação em turmas brasileiras e alemãs em 2012 mostram que esses conteúdos podem ser trabalhados de forma satisfatória no Ensino Médio.
- **Fundamentos da Relatividade Restrita** – o curso é fruto de uma sequência didática produzida por Guilherme Brockington, Ivã Gurgel e Fabio Beig; trata de simetria e leis de conservação.

O segundo projeto, “A Física Moderna no Ensino Médio e a formação de Multiplicadores para a Rede Pública de Professores de Física”, contou com a coordenação do Prof. Dr. Maurício Pietrocola (Faculdade de Educação - USP) e foi ministrado em São Paulo e no polo de São Carlos (IF - USP- São Carlos), sob a responsabilidade do Prof. Dr. Marcelo Barros. O projeto apresentou como objetivo a implementação dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea presentes na então proposta curricular de Física do Estado de São Paulo. A capacitação de professores multiplicadores dentre os professores de Física da Rede Estadual de Ensino foi realizada com o desenvolvimento de atividades focando conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (Física Quântica, Partículas Elementares, Relatividade e Cosmologia, Física das Radiações e Raios Cósmicos). O presente trabalho utiliza uma das atividades que se originaram nesse projeto.

Outro grupo que estuda a inserção de Física Moderna no Ensino Médio é o Grupo de Pesquisa e Ensino em Física (GoPEF), vinculado à Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Seus membros realizam trabalhos relacionados com a construção de aparatos experimentais e com o estudo de novas tecnologias educacionais de aquisição de dados experimentais de forma eletrônica. A divulgação dos instrumentos educacionais elaborados por eles ocorre através de oficinas de capacitação em Física Moderna direcionadas a professores de Ensinos Fundamental e Médio.

Tópicos de Física Moderna, além de constarem nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio Complementares (PCNEM+), também estão presentes no Currículo de Física do Estado de São Paulo. Especificamente, em relação ao assunto tratado neste trabalho, é apresentado o tópico *Processos de identificação e detecção de partículas subatômicas*. O material do aluno fala sobre a detecção de raios cósmicos através de filmes fotográficos e detecção de partículas através de câmaras de bolhas. Acreditamos que a sequência didática aqui apresentada pode favorecer a compreensão desse tópico, tendo a vantagem de tratar de um experimento mais atual.

Por fim, as motivações para a inclusão de tais tópicos no ensino médio vão além de aplicações práticas e diretas, tais como as citadas anteriormente. Estas motivações também carregam em si muito da curiosidade humana em entender o mundo – não apenas para obter melhor controle da natureza, mas também para satisfazer nosso desejo de compreender aquilo que nos cerca. Existe um poder na busca de conhecimento que faz com que certas pessoas procurem superar as mais diferentes limitações em função do encanto que certos temas lhes trazem. Deve ser objetivo do professor propiciar estas experiências à maioria de seus estudantes. É necessário, portanto, efetivar estratégias para que este objetivo seja alcançado de forma plena.

Assim, o presente trabalho busca tratar de duas questões correlatas: a primeira relaciona-se com a inserção de tópicos de FMC no Ensino Médio, ou seja, pretende-se investigar a implementação de uma sequência didática de ensino e aprendizagem. A segunda, diz respeito ao uso de instrumentos metodológicos que permitem avaliar o sucesso na execução desta sequência didática em uma situação de ensino.

1.1.2. Abordagens Metodológicas

De acordo com Ostermann e Moreira (2000a) as abordagens metodológicas que visam à introdução da FMC no Ensino Médio são representadas por três vertentes principais: *exploração dos limites dos modelos clássicos; não utilização de referências aos modelos clássicos e escolha de tópicos essenciais*.

A primeira vertente - *exploração dos limites clássicos* - deve-se aos trabalhos de Gil e Solbes (1993) da Universidade de Valência, Espanha. Conforme os autores, uma visão simplista da Física que não considera o caráter não linear do desenvolvimento científico, as dificuldades que originaram a Física Clássica e as diferenças conceituais entre a Física Clássica e a Moderna, podem provocar sérias concepções alternativas. Os autores sugerem

uma abordagem construtivista para o ensino de FMC, na qual a transmissão/recepção de conhecimento seja substituída por uma abordagem em que o aluno participe de atividades que o coloquem em situações problemáticas através das quais o conhecimento possa ser (re)construído.

A segunda vertente - *não utilização de referências aos modelos clássicos* - é atribuída às pesquisas de Fischler e Lichtfeldt (1992) da Universidade de Berlim, Alemanha. Estes autores consideram que a aprendizagem de FMC é dificultada pelo uso frequente de analogias clássicas. Por exemplo, o átomo de Bohr, uma vez aprendido, passa a ser um obstáculo para o entendimento de ideias modernas.

A terceira vertente (a qual seguiremos neste trabalho) - *escolha de tópicos essenciais* - é contribuição de Arons (1990) da Universidade de Washington, Estados Unidos. Arons propõe que poucos conceitos de Física Moderna devam ser ensinados no nível médio. O importante é proporcionar aos alunos alguma percepção sobre conceitos como: elétrons, fótons, núcleos e estrutura atômica. Defende também a busca de sustentação na Física Clássica para a abordagem de tópicos da Física Moderna. Na abordagem de tópicos de FMC deve-se buscar na Física Clássica apenas o essencial para que o tópico proposto seja compreendido.

Ostermann e Moreira (2001), por exemplo, fazem uso dessa terceira vertente. Nesse trabalho os tópicos de Física Contemporânea a serem apresentados no Ensino Médio – partículas elementares e supercondutividade – são escolhidos a partir de entrevista com professores. Os autores mostram que uma seleção de tópicos é causada por fatores como a falta de consenso existente em relação ao que deve ser abordado e a ausência de materiais menos densos que exigem do professor e do aluno menos conhecimentos prévios. Isso faz com que sejam deixados de fora tópicos importantes de FMC, embora seja possível ensiná-los utilizando bons materiais didáticos e recorrendo a analogias e vínculos com conteúdos já aprendidos.

Outros trabalhos também evidenciam que conceitos de Física Moderna podem ser satisfatoriamente ensinados no Ensino Médio. Entre eles, podem-se citar as pesquisas sobre abordagem dos temas *Física Quântica* (Pinto e Zanetic, 1999), *Partículas Elementares* (Ostermann, 1999), *Supercondutividade* (Ostermann, Ferreira e Cavalcanti, 1998), *Raios Cósmicos* (Pereira, 1997) etc. Estas pesquisas também apontam que tais conteúdos resgatam o interesse dos alunos em relação às Ciências, contribuindo para um aprendizado mais significativo e prazeroso.

O quadro levantado neste trabalho indica que as pesquisas atuais sobre a inserção da FMC no Ensino Médio são numerosas. Se, por um lado, existe um consenso da importância de se ensinar conteúdos de FMC na escola média, por outro, o viés a ser seguido para realizar essa inserção enfrenta várias divergências. Especificamente, o papel das analogias clássicas para o entendimento de conceitos modernos, a ênfase em pré-requisitos e a abordagem histórica são aspectos que ainda geram polêmica. Se há alguns anos o objetivo dessas pesquisas girava em torno do *por que* ensinar FMC, hoje elas tentam abordar o *como* e *em que condições* se ministrarem tais tópicos. Atualmente, seus focos são os mais variados: as concepções dos professores sobre inovação curricular e inserção de FMC (LAWALL et al., 2012; MARQUES FILHO, 2011); as abordagens de FMC (DOMINGUINI et al., 2012), atividades relacionadas com aplicações tecnológicas de FMC (RODRIGUES, 2011), ensino de FMC no Ensino Superior (RODRIGUES et al., 2012) etc.

As pesquisas em ensino relacionadas ao assunto raios cósmicos, no Brasil, são raras. Pereira (1997) focou o tema, produzindo um vídeo com o objetivo de elaborar um material de apoio ao professor, visando a inserção deste tópico no Ensino Médio. Mais recentemente, Souza et al. (2013) e Saran (2012) descrevem uma atividade sobre tópicos de Astrofísica de Partículas para o Ensino Médio que apresenta como objetivo a determinação do ponto de impacto e da direção de chegada de um raio cósmico estudado pelo Observatório Pierre Auger. Esta mesma atividade será utilizada no presente trabalho como parte de uma sequência de ensino e aprendizagem.

Assim, neste trabalho também se pretende colaborar no sentido de diminuir essa falta de trabalhos relacionados com sequências didáticas que enfoquem o conteúdo Raios Cósmicos, contribuindo para divulgar uma conquista científica tão atual e importante. Pretende-se que o estudo dos raios cósmicos faça parte dos conhecimentos dos alunos, mostrando a ciência como uma atividade humana, atual e passível de ser exercida pelos jovens. Acredita-se que uma pesquisa como esta, que ocorre na atualidade e pode revolucionar a forma como se entende o Universo, é um apelo interessante ao aluno.

2. A TEORIA DE APRENDIZAGEM DE AUSUBEL

O objetivo de estudar a inserção de novos conteúdos na escola média depara com a necessidade de avaliar o nível de aprendizagem propiciado pelas intervenções que são efetuadas. Uma das maneiras de analisar a aprendizagem obtida em uma sequência de ensino e aprendizagem envolve o estudo de aspectos relacionados ao nível cognitivo, ou seja, a análise dos conhecimentos manifestados pelos alunos é de grande importância. Assim, a Teoria de Aprendizagem de Ausubel se apresenta como um dos referenciais teóricos capazes de tratar dessas questões.

Infere-se do trabalho de Moreira (2009) que as diferentes teorias de aprendizagem podem ser agrupadas em três enfoques principais: Comportamentalismo, Cognitivismo e Humanismo. Segundo Machado (2006), o cognitivismo fundamenta-se na ideia de que vários aspectos do comportamento humano podem ser entendidos através da compreensão do mecanismo de pensamento das pessoas.

Para David Ausubel, um dos principais expoentes do cognitivismo, o conhecimento prévio do aluno é o fator mais importante em seu aprendizado e é função do professor certificar-se desse conhecimento e ensinar de acordo. Sua teoria de aprendizagem, além de cognitivista também é construtivista, uma vez que considera que o processo de apreensão de conhecimento pelo aluno se dá de maneira evolutiva, em que o conhecimento atual é construído sobre estruturas prévias já acabadas. Dessa forma, os conhecimentos que os alunos apresentam são de vital importância para se tratar de questões de ensino de acordo com o enfoque cognitivista.

2.1. Aprendizagem significativa

De acordo com Novak e Cañas (2010), Ausubel faz importantes distinções entre processos de aprendizagem (fig. 2.1). Na *aprendizagem por descoberta* os atributos dos conceitos são identificados de forma autônoma pelo aprendiz. Crianças de zero a três anos de idade aprendem essencialmente desta forma, reconhecendo regularidades ao seu redor e identificando rótulos de linguagem para estas regularidades. A partir dos três anos de idade o processo de aprendizagem ocorre de forma *receptiva*, em que a aquisição de novos conceitos é mediada pela linguagem, através da interação com os mais velhos por meio de perguntas e respostas. Experiências e proposições concretas facilitam enormemente a obtenção destes

novos conceitos, o que acentua a importância de atividades interativas no aprendizado de ciências.

Ausubel também faz distinção entre aprendizagem *mecânica* e aprendizagem *significativa*, destacando que a diferença entre elas reside na criação de relações entre o novo conhecimento e o antigo: na aprendizagem mecânica não há criação de relações; na significativa, a nova informação é relacionada com conhecimentos relevantes da estrutura cognitiva do indivíduo.

Figura 2.1: Processos de aprendizagem, segundo Ausubel. Fonte: Novak e Cañas (2010)

São três as condições requeridas para que ocorra a aprendizagem significativa:

- O material a ser aprendido deve ser conceitualmente claro e apresentado com linguagem e exemplos relacionáveis com o conhecimento anterior do aluno;
- O aluno deve apresentar conhecimento anterior relevante, o que ocorre após os três anos de idade para praticamente qualquer campo disciplinar;
- O aluno precisa optar por aprender de modo significativo.

O professor não tem controle direto sobre a motivação dos estudantes em aprender significativamente (através da incorporação de novos significados ao seu conhecimento prévio) ao invés de utilizar memorização. Entretanto, as estratégias de ensino e avaliação utilizadas pelo professor podem influir enormemente nessa escolha. Se de um lado as provas objetivas convencionais geralmente levam a um conhecimento mecânico, incentivando o aluno a decorar enunciados e definições palavra por palavra, obtendo conhecimento de forma superficial e pouco duradoura, de outro lado a aprendizagem significativa favorece uma aprendizagem mais ampla, profunda e duradoura, pois o novo conhecimento é assimilado a partir de conhecimentos já existentes.

Moreira define assim a teoria da aprendizagem significativa:

A aprendizagem é dita significativa quando uma nova informação (conceito, ideia, proposição) adquire significados para o aprendiz através de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva preexistente do indivíduo, isto é, em conceitos, ideias, proposições já existentes em sua estrutura de conhecimentos (ou de significados) com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação. Esses aspectos relevantes da estrutura cognitiva que servem de ancoradouro para a nova informação são chamados de “subsunçores”. (MOREIRA, 2010, p. 18).

Um subsunçor representa um ou mais conceitos existentes na estrutura cognitiva aos quais os novos conceitos vão ligar-se em um primeiro momento antes de serem incorporados à estrutura cognitiva de forma mais completa. O conhecimento prévio serve de base para a atribuição de novos significados à nova informação. A aprendizagem significativa é um processo dinâmico em que as interações entre o novo conhecimento e o antigo fazem com que ambos se modifiquem. Daí, os subsunçores adquirem novos significados, tornando-se cada vez mais diferenciados e mais estáveis. Criam-se novos subsunçores, que por sua vez interagem entre si e com os antigos. Desta forma ocorre assimilação de novos conceitos e o conhecimento é construído.

No decorrer da aprendizagem significativa o aprendiz passa por importantes processos. O primeiro deles é a *diferenciação progressiva*. Este processo acontece quando um subsunçor se torna progressivamente mais elaborado e diferenciado. Moreira (2010) cita como exemplo a conservação de energia: o subsunçor “conservação” vai adquirindo novos significados à medida que o aprendiz adquire conhecimentos associados a este termo, tais como conservação da carga elétrica, conservação da energia mecânica, conservação da

quantidade de movimento etc. O segundo processo é a *reconciliação integrativa*. Neste caso, elementos distintos que apresentam certo nível de estabilidade e diferenciação na estrutura cognitiva dos aprendizes são entendidos como relacionados. Esses elementos se rearranjam e começam a apresentar novos significados, a partir de uma reorganização da estrutura cognitiva. Como exemplo, Moreira (2010) cita os conceitos de campo elétrico e magnético que um aluno poderia ter bem claros em sua estrutura cognitiva e a seguir, estes conceitos poderiam ser vistos como relacionados. A partir deste momento, tais conceitos seriam entendidos como manifestações de um conceito mais amplo: o conceito de campo eletromagnético.

2.2. Mapas Conceituais

Atualmente os mapas conceituais têm sido utilizados em trabalhos dos mais variados conteúdos e níveis de ensino, tais como: reprodução humana, Ensino Fundamental I, (FALCÃO, 2012); educação ambiental, Ensino Fundamental II, (OLIVEIRA; FROTA; MARTINS, 2013); leitura e interpretação de textos de química, Ensino Médio (YANO; AMARAL, 2011); óptica física, Ensino Médio (ALMEIDA; MOREIRA, 2008), ferramenta de avaliação, ensino superior (CORREIA; SILVA; ROMANO, 2010) etc. Estes trabalhos apresentam em comum o fato de que os mapas conceituais são um instrumento didático que facilita a apreensão significativa de novas informações, diminuindo a chance de ocorrência de aprendizagem mecânica.

Os mapas conceituais são fruto de um programa de pesquisa desenvolvido por Novak e seus colaboradores, em 1972, na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. Esse programa tinha como base a teoria cognitivista de aprendizagem proposta por Ausubel (AUSUBEL et al., 1978) e buscava entender as mudanças na maneira como as crianças compreendiam a ciência. As mudanças específicas na compreensão dos conceitos científicos nessas crianças eram analisadas a partir das transcrições de entrevistas. Entretanto, os pesquisadores enfrentaram dificuldades em identificar tais mudanças. Diante dessas dificuldades, surgiu a ideia de se avaliar a compreensão conceitual dessas crianças através de um novo método: o mapa conceitual.

Mapas conceituais são diagramas que permitem a organização e a representação do conhecimento. Para isto, utilizam-se conceitos que se relacionam através de linhas, setas e palavras ou frases de ligação. Conceitos são definidos como regularidades em objetos ou eventos designados por um rótulo, em geral um termo. Dois ou mais conceitos podem ser

conectados para formar uma proposição – enunciação sobre um objeto ou evento – a fim de compor uma afirmação com sentido. No mapa conceitual da figura 3.2 são mostrados os dois conceitos “José” e “Aluno” e é utilizado o termo de ligação “é um” para estabelecer a proposição “José é um aluno”. Outros termos de ligação possíveis seriam “conhece um”, “é amigo de um”, “ensina Física a um” etc. Dado um campo de conhecimento específico como uma história, por exemplo, estas ligações poderiam resultar em proposições verdadeiras ou falsas. Isto permite o julgamento de uma proposição apresentada quanto à sua veracidade. Podemos definir um mapa conceitual como “... um aparato esquemático para representar um conjunto de significados conceituais encaixados em uma estrutura de proposições” (NOVAK e GOWIN, 1984, p. 15).

Figura 2.2: Exemplo de mapa conceitual formado apenas por dois conceitos e uma conexão

É necessário diferenciar o mapa conceitual de outros tipos de ferramentas gráficas. Conforme Moreira (Moreira, 2010), mapas conceituais diferem de organogramas ou diagramas de fluxo por não implicarem sequência, temporalidade ou direcionalidade, nem hierarquias organizacionais ou de poder. Diferem de redes semânticas, que não necessariamente apresentam níveis hierárquicos e não obrigatoriamente incluem apenas conceitos. São diferentes de mapas mentais, que são associacionistas, não são organizados hierarquicamente, incluem coisas diferentes de conceitos e não trata das relações destes conceitos.

Graficamente pode-se utilizar em um mapa conceitual diversas figuras geométricas, como retângulos, elipses e círculos. Embora o uso de uma ou outra figura tenha relação com certas regras de hierarquia, figuras geométricas nada significam em um mapa conceitual. Uma característica importante dos mapas conceituais é que os conceitos devem ser representados de maneira hierárquica, com os mais inclusivos e gerais hierarquicamente no topo, mais acima; mais abaixo, os mais específicos e menos gerais. Um mapa conceitual é um instrumento que pode ser usado para compreendermos uma situação ou evento, por meio de

organização do conhecimento, provendo assim um contexto para ele. Assim, os mapas conceituais devem ser elaborados a partir de uma questão específica, que chamamos de questão focal.

Quando, na confecção de um mapa conceitual, há ligações que podem ser feitas a partir de conceitos em diferentes segmentos ou domínios, diz-se que estas relações são ligações cruzadas. Em geral, representam saltos criativos por parte de quem confecciona o mapa, indicando entendimento sobre as relações entre subdomínios do mapa e evidenciando alto nível de aprendizagem significativa. Um mapa conceitual com estas características é mostrado na figura 2.3.

Figura 2.3: Um mapa conceitual a respeito de mapas conceituais. Fonte: Novak e Cañas (2010)

Conforme Novak e Cañas (2010), os mapas conceituais podem ser utilizados como ferramentas de aprendizagem e de avaliação, incentivando os alunos a se expressarem utilizando padrões de aprendizagem significativa. Também são eficazes na identificação das ideias, corretas ou incorretas, dos estudantes. É possível identificar o conhecimento relevante que o aluno apresenta, antes ou depois da instrução, servindo de uma ótima ferramenta de avaliação do ensino e da aprendizagem de certo tema.

Neste trabalho, os mapas conceituais, além de facilitadores de aprendizagem significativa, servirão também como ferramenta de avaliação da aprendizagem.

2.2.1. Avaliação de Mapas Conceituais

Conforme Moreira (2010), a partir de uma abordagem ausubeliana, o ensino implica:

- 1) Identificar a estrutura de significados aceita no contexto da matéria de ensino;
- 2) Identificar subsunçores (significados) necessários para a aprendizagem;
- 3) Identificar os significados preexistentes na estrutura cognitiva do aluno;
- 4) Organizar o conteúdo, usando as ideias de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa como princípios programáticos;
- 5) Ensinar relacionando os conhecimentos prévios com os novos, a fim de dar significado aos novos materiais de aprendizagem.

Os mapas conceituais podem ser utilizados em todas estas etapas, inclusive para evidenciar aprendizagem significativa, ou seja, na avaliação da aprendizagem. Entretanto, dado o seu caráter idiossincrático, eles representam os significados conferidos aos conceitos e relações significativas por parte de seu elaborador. Um mapa conceitual, portanto, não pode estar “certo” ou “errado”. A avaliação da aprendizagem feita através dos mapas conceituais deve ser qualitativa. O professor deve interpretar a informação dada pelo aluno – o que pode ser facilitado por explicações orais ou escritas do estudante sobre seu mapa – buscando perceber se os significados manifestados pelo aluno indicam bom entendimento do conteúdo que foi ensinado. Mapas conceituais podem mostrar evidências de aprendizagem significativa de conteúdos por parte do aluno e, além disso, indicar caminhos a ser trilhados em direção ao pleno alcance dos objetivos de aprendizagem.

Kinchin et al (2000) descrevem uma abordagem qualitativa de análise de mapas conceituais e criticam a análise quantitativa proposta por Novak e Gowin (1984) e discípulos posteriores. Essas análises tendem a atribuir a um mapa conceitual um escore baseado em fatores como número de ligações válidas, índice de ligações cruzadas, quantidade de ramos, estrutura hierárquica que, de acordo com os autores, causa falta de clareza no que o escore total realmente revela. A classificação das ligações em “válidas” ou “inválidas” não leva em consideração o processo de pensamento que levou o aluno àquele entendimento. Uma ligação “válida”, embora correta, pode ser inapropriada ao contexto do conceito em discussão. Além disso, há na literatura trabalhos que mostram problemas de consistência em esquemas de escore e outras limitações dos mapas conceituais (JONASSEN et al. (1997), RUIZ-PRIMO e SHAVELSON (1996) apud (KINCHIN et al, 2000)). Devido a isso, os autores afirmam que é necessária uma avaliação informativa dos mapas conceituais, que devem ser vistos como

instrumento qualitativo cujo objetivo é facilitar o processo de aprendizagem significativa em sala de aula.

Os autores delineiam três padrões estruturais que os mapas conceituais podem apresentar: radial (*spoke*), corrente (*chain*) e rede (*net*) (fig. 2.4). No padrão *radial*, existe um conceito central e ligados a este há outros conceitos que não apresentam ligação entre si. No padrão *corrente*, os conceitos são ligados em uma sequência linear em que cada conceito é ligado apenas aos conceitos imediatamente superior e inferior. No padrão *rede* existe uma rede altamente integrada e hierárquica de conceitos, o que evidencia uma profunda compreensão do assunto. Estes padrões podem ser interpretados como indicadores de níveis progressivos de entendimento e aprendizagem.

Figura 2.4: Exemplos dos três padrões estruturais de mapas conceituais. (A) radial, (B) corrente e (C) rede
Fonte: Kinchin et al (2000) [Tradução nossa].

Uma vez que a avaliação que se busca efetuar aqui tem como objetivo verificar a aprendizagem dos alunos, depara-se com dois tipos de medição: a quantitativa e a qualitativa. Se por um lado a avaliação dos mapas conceituais baseada em escore apresenta problemas, de outro, acredita-se que abandonar totalmente essa abordagem quantitativa seria um erro. Fatores quantitativos como o número de ligações cruzadas, por exemplo, serão entendidas como evidência de reconciliação integrativa e, por conseguinte, de aprendizagem significativa. A avaliação dos mapas baseando-se exclusivamente em fatores numéricos não faz sentido pelas razões previamente expostas, sendo necessária uma análise qualitativa dos dados. O interesse é verificar a evolução dos conceitos na estrutura cognitiva do aluno e se houve uma aprendizagem significativa – o que, essencialmente, deve ser verificado qualitativamente.

3. SEQUÊNCIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Uma das maneiras de tratar as inovações curriculares em Física é através do uso de pesquisas em pequena e média escala de tempo, em oposição às tradicionais de longa duração. Essas pesquisas têm como foco a proposição, aplicação e avaliação de sequências de atividades, visando ao ensino e à aprendizagem de tópicos científicos específicos. Tais pesquisas podem ser entendidas como:

(...) uma "pesquisa de desenvolvimento", que envolve o entrelaçamento de concepção, desenvolvimento e aplicação de uma sequência de ensino sobre um tema específico, geralmente com duração de algumas semanas, em um processo de ciclo evolutivo iluminado por ricos dados de pesquisa. (Méheut e Psillos, 2004, p. 512, tradução nossa).

Desde a criação do conceito de sequências de ensino e aprendizagem (TLS, do inglês "Teaching-learning Sequences"), muitas abordagens diferentes têm sido propostas (ANDERSSON et al. 2005; KOMOREK e DUIT, 2004; LEACH e SCOTT, 2002; LIJNSE, 1994; LIJNSE e KLAASSEN, 2004; MÉHEUT, 2005; PSILLOS, TSELFES e KARIOTOGLOU, 2004; TIBERGHIE, 1996). Nessas abordagens, o professor desempenha um papel de transformador das intenções educativas dos programas e dos pesquisadores. Desta forma, Andersson et al. (2005) e Eylon e Bagno (2006) propõem que os investigadores e os professores trabalhem juntos na criação de sequências de ensino e aprendizagem e avaliem sua eficácia. A respeito desse assunto, sob uma perspectiva um pouco diferente, Azevedo menciona:

A construção de sequências didáticas sobre o conteúdo de FMC é um problema que se situa na interface entre o conhecimento científico e o conhecimento escolar. Esta interface não é apenas conceitual, mas envolve o professor, as necessidades da sala de aula e os relacionamentos que se estabelecem neste ambiente, todos determinantes para o sucesso da sequência didática. A construção de sequências didáticas é, assim, uma tarefa complexa, pois impõe a combinação de exigências de várias ordens. Vale acrescentar que as exigências de sala de aula obrigam que se tenham as aplicações de atividades em condições reais, como uma obrigação inevitável (AZEVEDO, 2008, p. 23).

Assim, o planejamento de uma sequência didática (ou sequência de ensino e aprendizagem) desempenha um papel muito importante para seu sucesso. De acordo com Méheut (2005) esse planejamento pode apresentar diferentes abordagens e, para caracterizá-

las, a autora descreve um modelo que consiste de quatro componentes: professor, alunos, mundo material e conhecimento a ser desenvolvido (fig. 3.1).

Figura 3.1: Losango didático. Adaptado de Méheut (2005).

Nessa figura, o eixo vertical representa a dimensão epistêmica, ou seja, trata das relações entre o conhecimento e o mundo material, no qual são considerados métodos científicos, processos de elaboração e validação do conhecimento científico. Uma análise da sequência de ensino e aprendizagem utilizada nesse trabalho foi feita por Saran (2012), mostrando que o saber produzido pelo cientista, o conteúdo Astrofísica de Partículas, sofreu transformações e adaptações para chegar à sala de aula, num processo que Chevallard (1991) denomina transposição didática.

O eixo horizontal da representação, por outro lado, evidencia a dimensão pedagógica, em que são considerados os aspectos relacionados ao papel do professor e aos tipos de interação: professor-aluno e aluno-aluno. Neste trabalho procurou-se atentar às interações entre os alunos e verificar sua influência na aprendizagem dos estudantes.

De acordo com Méheut (2005) as dimensões epistêmica e pedagógica podem ser interlaçadas em abordagens chamadas “integradas construtivistas”, que refletem vários pontos de vista sobre os processos de desenvolvimento do conhecimento. Nelas, grande atenção é dada às concepções dos alunos, seus modos de raciocínio e as dimensões motivacionais das situações de ensino e aprendizagem. Na sequência de ensino e aprendizagem utilizada neste trabalho (quadro 5.1, pág. 56), essas duas dimensões foram levadas em consideração a fim de se perceber os fatores que favorecem a aprendizagem dos tópicos propostos e como a sequência didática que trata destes tópicos pode ser efetivada.

3.1. Pesquisa Baseada no *Design*

Para analisar como um tópico de FMC pode fazer parte do conteúdo da escola média e como uma sequência poderia facilitar essa tarefa, faz-se necessário entender melhor como as intervenções educacionais afetam diferentes variáveis em ensino e aprendizagem. Para isso, pode-se utilizar a metodologia *Pesquisa Baseada no Design* (DBR, do inglês “Design-Based Research”).

Dentre os vários investigadores que têm realizado pesquisas com base nesta metodologia, destaca-se o grupo Design-Based Research Collective (2003) e Wang e Hannafin (2005). Conforme esses dois trabalhos, a Pesquisa Baseada no *Design* apresenta as seguintes características:

- *Pragmatismo* – os pesquisadores tratam de questões da prática educativa visando à compreensão fundamental sobre o design, a aprendizagem e o ensino. O caráter pragmático se evidencia através das questões da prática educativa. A pesquisa, além de apontar como o *design* funciona em cenários reais, deve conduzir a teorias que comuniquem implicações relevantes para profissionais de educação e outros.
- *Iteratividade* – o desenvolvimento e a pesquisa ocorrem através de contínuos ciclos de *design*, ação, análise e *re-design*.
- *Interatividade* - envolvem a colaboração de pesquisadores, *designers* e professores para garantir que a inovação planejada atinja os objetivos esperados.
- *Flexibilidade* – o *design* inicial passa por implementações e modificações ao longo do processo iterativo que lhe é característico.
- *Integração* – a DBR é desenhada a partir de variada gama de abordagens amplamente utilizadas, como pesquisas, entrevistas, estudos de caso, análise comparativa etc. O uso de vários métodos a partir de múltiplas fontes aumenta a validade e aplicabilidade da pesquisa em andamento.
- *Contextualidade* – Os resultados advindos da pesquisa devem estar intimamente ligados com o processo de *design* através do qual os resultados foram obtidos e com o contexto no qual a pesquisa foi efetuada.

Cabe destacar que o presente trabalho inspirou-se nessa abordagem de pesquisa, adaptando suas demandas metodológicas, com a finalidade de analisar, em um nível cognitivo, o *design* de uma sequência de ensino e aprendizagem.

3.2. Experimentos em *Design*

O termo “experimentos em design” foi introduzido no início da década de 1990 por artigos de Ann Brown (1992) e Allan Collins (1992). Este termo surgiu a partir de um movimento cujo objetivo voltava-se ao desenvolvimento de uma nova metodologia para a realização de estudos de intervenção educacional.

Collins et al. (2004) delineiam as bases deste movimento, seus objetivos, suas relações com outras metodologias e os métodos de pesquisa dele advindos. Conforme os autores, dentre as várias questões sobre aprendizagem das quais este movimento trata, podem ser citadas:

- A necessidade de abordar questões a respeito da natureza do aprendizado em um contexto;
- A necessidade de abordagens para o estudo dos fenômenos de aprendizagem no mundo real, em vez de no laboratório;
- A necessidade de ir além das medidas superficiais de aprendizagem;
- A necessidade de obter resultados de pesquisas a partir de avaliação formativa.

Os autores destacam que, apesar de ser uma poderosa ferramenta para tratar destas questões, existem vários desafios que advém do uso desta metodologia, dentre os quais são citados:

- Dificuldades surgidas da complexidade de situações do mundo real e sua resistência ao controle experimental;
- Grande quantidade de dados advindos da necessidade de combinar análise quantitativa e etnográfica;
- Comparação entre designs.

Conforme os autores, Herbert Simon (1969) em seu clássico livro *The Sciences of the Artificial*, assinala as diferenças entre as ciências naturais e as ciências do artificial, às quais ele chama de ciências do *design*. Simon elenca entre as ciências do artificial várias profissões, tais como arquitetura, engenharia, medicina, educação etc. e delineia teorias relacionadas a estas áreas do conhecimento. Na opinião de Simon tem faltado às ciências do *design* teorias mais rigorosas. Se por um lado, em seu livro, ele cria teorias bem estruturadas a respeito de ciências das engenharias, de outro, não provê qualquer fundamento teórico sobre a ciência do *design* em educação.

Para preencher esta lacuna, Collins (1992), em um de seus primeiros artigos em experimentos em *design*, pauta seu trabalho na ciência do *design* de educação. Assim como

Simon, faz considerações a respeito das diferenças entre as ciências naturais e as de *design* e declara que, da mesma maneira que na aeronáutica, em que os pesquisadores estudam o efeito do *design* no arrasto, no empuxo e em outras variáveis, também deve ser desenvolvida uma ciência de *design* em educação, em que o objetivo seja estudar como diferentes *designs* de ambientes de aprendizagem afetam diferentes variáveis em ensino e aprendizagem.

3.3. Pesquisa em *Design* em Comparação com Outros Métodos de Pesquisa

A pesquisa em *design* apresenta como característica importante o fato de ser uma metodologia que envolve refinamento progressivo. Como sabemos, um ambiente de aprendizagem envolve muitas situações diferentes e trazem consigo muitas variáveis que não podem ser controladas. Assim, a fim de restringir estas variáveis ao mínimo possível, é necessário que os pesquisadores aperfeiçoem tanto quanto possível um *design*. Dessa forma, será possível identificar diferentes elementos e analisar como eles interagem.

Uma vez criado o *design*, o próximo passo é colocá-lo em prática. A seguir, realizam-se observações qualitativas e quantitativas que evidenciarão elementos do *design* que não estão funcionando apropriadamente e apontarão em direção a mudanças que devem ser realizadas na prática. Este refinamento sucessivo permite a criação de *designs* mais robustos, em que os objetivos educacionais são alcançados de maneira mais efetiva.

Existem algumas limitações à pesquisa em *design*. A multiplicidade de situações em um ambiente de aprendizagem dá origem a muitas variáveis. Todas elas afetam diretamente o seu sucesso, mas algumas delas não podem ser controladas. Nesta empreitada é coletada uma grande quantidade de dados, cuja análise envolve grande quantidade de pessoas, recursos e tempo, o que acaba inviabilizando uma análise completa dos dados recolhidos.

Buscando dar um panorama geral dos diferentes métodos de avaliação, Collins et al. (2004) comparam sinteticamente a pesquisa em *design* com três outras metodologias: laboratórios e estudos de treinamento; pesquisa etnográfica e estudos de larga escala de intervenções educacionais.

Laboratórios e estudos de treinamento se baseiam no controle de variáveis a fim de determinar o quanto variáveis independentes particulares afetam algumas variáveis dependentes, como aprendizagem de conteúdo e habilidades. Por um lado, em laboratório e em estudos de treinamento (em Psicologia) evitam-se influências externas; utilizam-se em geral poucas variáveis, que são controladas; seguem-se procedimentos fixos; isolam-se os objetos de estudo, minimizando as interações; testam-se hipóteses através de variação

sistemática das condições de aprendizagem; controla-se o objeto de estudo por meio de escolha do *design* e da análise dos dados. Em contraste, a pesquisa em *design* apresenta: circunstâncias desordenadas que caracterizam situações de aprendizagem do dia a dia; grande quantidade de variáveis que impossibilitam ao pesquisador a análise de todas elas; as variáveis são deixadas livres e analisam-se o máximo de variáveis possíveis; apresenta possibilidades de mudança em relação ao plano inicial, dependendo do sucesso nas situações práticas; ocorre em situações sociais complexas nas quais se verificam muitas interações; são estudados vários aspectos do *design* e elabora-se um perfil qualitativo e quantitativo que caracteriza o *design* na prática; há um esforço em envolver diferentes participantes em toda a ação do *design*, a fim de que seus conhecimentos sejam utilizados na produção e análise do *design*.

Pesquisa etnográfica visa compreender as relações socioculturais, comportamentos, técnica e saberes nos mais distintos ambientes, entre eles, os educacionais. Apresenta muito latente a prática da observação, descrição e análise das dinâmicas interativas e de comunicação de certo grupo, objetivando a compreensão de suas experiências e costumes do ponto de vista dos integrantes deste grupo. A importância da observação reside no fato de que parte do comportamento das pessoas baseia-se no comportamento tácito, não falado. A descrição detalhada dos ambientes, das interações que neles ocorrem, dos objetos e documentos neles utilizados permite a compreensão do que acontece em certo ambiente e suas causas subjacentes. Este tipo de pesquisa, ao contrário dos experimentos em *design*, não apresenta qualquer viés de intervenção, não havendo tentativa de mudar a prática educacional.

Estudos de larga escala de intervenções educacionais utilizam grande variedade de medições padronizadas e pesquisas de participantes selecionados a fim de verificar os efeitos de certas intervenções. Embora este tipo de estudo possa avaliar a efetividade de um programa em termos quantitativos, ele não consegue elaborar um quadro detalhado o suficiente para estabelecer guias para o refinamento de um *design*.

3.4. Metodologia da Pesquisa em *Design*

Collins et al. (2004) declaram que lidar com experimentos em *design*, da forma como eles veem, requer esforço sobre-humano. Destacam, ainda, que as ideias tratadas por eles não deverão ser aplicadas a cada experimento em *design*, mas serão expostas para que se saiba a total responsabilidade da comunidade de pesquisadores que trabalha com este assunto. Assim, lidar com experimentos em *design* envolve, idealmente:

Implementar um *design*

Uma vez estabelecidos os elementos críticos do *design*, devem-se analisar as suas interações. Esta análise permitirá avaliar quais elementos devem ser implementados e em que profundidade. É de suma importância que sejam elaboradas descrições sobre cada elemento que sofreu implementação, como esta foi realizada e como as implementações nestes elementos colaboraram para atingir os objetivos estabelecidos.

Modificar o *design* ao longo do percurso

No decorrer da aplicação de um *design*, o professor ou os pesquisadores devem verificar que elemento não está funcionando a contento e tentar encontrar possíveis causas para essa falha. Esta análise sugerirá e justificará modificações no *design* a fim de sanar tais problemas. As informações a respeito das falhas, dos sucessos e das medidas de implementação que foram tomadas ao longo da atividade devem ser detalhadamente documentadas. Esta documentação criteriosa possibilita a outros pesquisadores avaliarem a credibilidade das decisões em relação ao *design* e à qualidade da pesquisa efetuada.

Múltiplas maneiras de analisar o *design*

As intervenções educacionais advindas de um *design* efetivo envolvem muitos aspectos diferentes. Embora seja possível a uma pessoa apresentar domínio destes distintos conhecimentos, é preferível que cada área seja representada. Os seguintes aspectos do *design* educacional devem ser levados em consideração:

- *Nível cognitivo* – trata do conhecimento que os alunos manifestam, explícita ou implicitamente, e da forma como este conhecimento pode ser aferido pelos pesquisadores.
- *Nível interpessoal* – trata das interações entre professores e alunos. Estas interações são analisadas pelos pesquisadores através de técnicas etnográficas.
- *Nível de grupo ou classe de aula* – trata de questões relacionadas à dinâmica de interação entre os componentes do grupo. Neste caso as técnicas etnográficas também são de grande valia para abordagem dos pesquisadores.
- *Nível de recursos* – trata dos recursos que os alunos têm à disposição para uso nas atividades, sua disponibilidade e seu nível de integração com as atividades.

- *Nível institucional ou escolar* – trata das questões de comunicação que ocorrem entre a instituição e os agentes fora dela, bem como entre a instituição e seus membros.

Caracterização de variáveis dependentes

A avaliação de um *design* não envolve apenas o levantamento de quantos alunos aprenderam determinado conteúdo e o quanto aprenderam. Questões mais abrangentes em um *design* devem ser avaliadas, tais como: o quanto um *design* é sustentável na ausência do pesquisador, o quanto o *design* privilegia o pensamento argumentativo e não o aprendizado mecânico, a exequibilidade do *design* em diferentes lugares, etc. Essas diferentes variáveis podem ser avaliadas a partir de várias técnicas, entre elas: pesquisas, entrevistas, análises de observações da sala de aula. Pelo menos três tipos de variáveis dependentes devem ser avaliadas:

1. *Variáveis de ambiente*, tais como engajamento, cooperação, autocontrole.

Podem ser avaliadas através de técnicas de observação, utilizando-se notas coletadas ou filmagem da situação de intervenção proposta.

2. *Variáveis de aprendizagem*, tais como conhecimento do conteúdo, habilidades, estratégias de aprendizagem. Podem ser avaliadas a partir de pré e pós-testes.

3. *Variáveis sistemáticas*, tais como sustentabilidade, escalabilidade, exequibilidade, custos. Melhor avaliadas através de entrevistas e pesquisas. Como exemplo, para avaliar a facilidade de adoção do *design*, seu uso em anos subsequentes e sua difusão entre professores e estudantes, podem ser utilizadas pesquisas estruturadas com esses professores e estudantes.

Caracterização de variáveis independentes

Há um grande número de variáveis independentes que afetam o sucesso de um *design*. A determinação dos aspectos específicos responsáveis por esse sucesso é muito complexa. Por isso, somente os aspectos gerais que devem ser levados em consideração a fim de decidir o que afeta o sucesso de um *design* serão elencados a seguir:

- *Cenário* – São vários os cenários possíveis onde se aplica um *design*: museus, escolas; escolas primárias, secundárias, urbanas, rurais; etc. O quanto uma inovação é aplicável somente é possível determinar através de tentativas nos mais variados cenários.
- *Natureza dos aprendizes* – São variáveis críticas, tais como idade, status socioeconômico, frequência às aulas, etc. Certos *designs* funcionam melhor com certo

grupo que em outro. Portanto, é importante determinar para que tipo de aprendizes o *design* é efetivo e em que situações.

- *Recursos requeridos e apoio para implementação* – Os recursos necessários à execução de uma intervenção, sejam eles materiais, suporte técnico, suporte administrativo, entre outros, devem ser listados.
- *Desenvolvimento profissional* – Para um *design* atingir sucesso, muitas vezes é necessário que o professor seja alvo de treinamento profissional, que pode incluir: workshops, cursos, vídeos sobre a aplicação do *design*, estágio com especialistas etc.
- *Necessidades financeiras* – É necessário anotar todas as fontes de gastos necessários a qualquer intervenção. Entre estes gastos podem ser citados: equipamentos, serviços, apoio profissional.
- *Trajétória de implementação* – Há outras variáveis relacionadas com a implementação de um *design*, como a forma de introduzir um *design*, o tempo que ele necessita para ser desenvolvido etc. Há uma estrutura de introdução e evolução de um *design* que deve ser caracterizada ao se analisar qualquer implementação.

Relatório em pesquisa do *design*

De acordo com a literatura experimental, a estrutura de um relatório consiste em quatro partes: pano de fundo para o problema, método experimental, resultados e discussão. No entanto, os experimentos em *design* apresentam uma estrutura um pouco diferente, com cinco partes:

Objetivos e elementos do design. É de suma importância identificar os elementos críticos do *design* e como se relacionam para atingir os objetivos do *design*. Através da descrição minuciosa dos objetivos, elementos críticos e suas interações é possível avaliar o quanto um *design* foi implementado em diferentes cenários.

Cenários onde ocorreu o design. Todas as informações relevantes a respeito do cenário onde ocorreu *design* devem ser detalhadas. Isto permite avaliar a forma como o *design* foi executado em cada cenário.

Descrição de cada fase. Como o *design* evolui de forma diferente em cada cenário em que ocorre, é necessário descrever cada fase em cada cenário. Devem ser relatados também: as mudanças feitas e os motivos para isto; como os elementos do *re-design* contribuíram para atingir os objetivos originais (ou novos objetivos, em caso de mudança).

Resultados encontrados. Devem ser relatados os resultados em termos de um perfil de valores nas variáveis dependentes em diferentes cenários.

Lições aprendidas. O relatório deve apresentar as descobertas de forma a retratar de maneira coerente como o *design* envolveu os diferentes cenários. Devem ser apresentados os resultados e as implementações; além dos sucessos devem ser relatadas também as limitações e falhas.

Em síntese, reitera-se o foco de pesquisa intimamente ligado ao estudo das sequências de ensino e aprendizagem, sendo de essencial importância entender como as intervenções que se realizam influenciam na aprendizagem do tópico escolhido. Os resultados obtidos somente podem ser avaliados através da análise sistemática dessas sequências.

Neste trabalho, essa análise sistemática não atendeu a todos os requisitos de uma pesquisa em DBR. Como mencionado, foi dada uma atenção maior à análise cognitiva do *design*, feita através da avaliação dos mapas conceituais elaborados pelos alunos.

4. O ESTUDO DE RAIOS CÓSMICOS

A sequência de ensino e aprendizagem tratada neste trabalho focou o tema raios cósmicos. Raios cósmicos são partículas de alta energia carregadas aceleradas até velocidades relativísticas. Estas partículas são geralmente prótons, mas algumas podem ser núcleos maiores. Ao se chocar com a atmosfera, dão origem a um chuva de partículas de menor energia, chamadas secundárias. Estas partículas podem ser detectadas em solo e estudadas a fim de fornecer informações importantes sobre a constituição do Universo. Muitos foram os cientistas responsáveis pelo estudo das radiações relacionadas com os raios cósmicos.

4.1. Um Breve Histórico

Em agosto de 2012, o centro de aceleradores de partículas alemão DESY (Síncrotron Alemão de Elétrons) organizou uma conferência em comemoração aos 100 anos da descoberta dos raios cósmicos. Esta seção apresenta um histórico do estudo dos raios cósmicos baseado na brochura elaborada a partir desse encontro: *100 Years of Cosmic Rays - A selected chronology from the first ionisation measurements in air to the understanding of cosmic accelerators*.

É possível afirmar que a ideia de raios cósmicos tenha sido levantada em 1901, época em que se estudava sistematicamente a ionização de gases. Os espectroscópios, criados em 1789 a fim de estudar fenômenos elétricos, levaram a importantes descobertas. Dentre elas, Julius Elster, Hans Geitel e Charles Thomson Hess Wilson notaram que a produção de íons era detectada mesmo em aparelhos isolados e sem qualquer fonte aparente. Esta ionização inesperada deveria ser causada por substâncias radioativas presentes nos arredores do aparelho detector. Wilson foi o primeiro a sugerir que esta radiação penetrante poderia ter origem fora da Terra.

Nos anos que se seguiram, os efeitos de ionização foram estudados por cientistas de vários países. Em 1908, o jesuíta alemão Theodor Wulf aperfeiçoou o desenho do eletroscópio, tornando-o mais sensível e fácil de calibrar. Neste mesmo ano, Wulf e Albert Gockel desenvolveram um estudo pioneiro da taxa de ionização em altas montanhas nos Alpes, não observando desvios nas medidas em relação às feitas em nível do mar. Na publicação deste trabalho o termo “radiação cósmica” foi usado pela primeira vez.

Em 1909, Karl Bergwitz alcança a altitude de 1300 m em um balão. Se as fontes de radiação estivessem mesmo na Terra, seria esperado que o nível de ionização decrescesse

com o aumento da altitude – o que não foi observado neste experimento, devido a problemas nos detectores. No ano seguinte, Wulf consegue observar uma pequena diminuição na radiação em relação às estimativas teóricas. Ele conclui, assim como Bergwitz e Gockel, que a radioatividade do ar deve contribuir para a ionização medida.

Nos anos de 1911 e 1912, Victor Hess, responsável por uma nova técnica de construção e calibração de eletroscópios, realiza uma série de sete voos de balão, um deles alcançando 5350 m. A partir dos estudos dos dados obtidos nestes voos, Hess conclui que a radiação de alto poder de penetração atinge a atmosfera a partir de cima, sendo a mesma durante o dia ou à noite, esta radiação também contribui para a quantidade total de ionização em menores altitudes. Em 1913 e 1914, Werner Kolhörster confirma os resultados de Hess, através de balões que alcançaram altitudes ainda maiores.

Em 1927, D. Skobeltsyn conseguiu a primeira prova visual da existência de partículas secundárias produzidas por um raio cósmico, a partir de um experimento de raios beta em uma câmara de nuvens. Nos anos seguintes, H. Geiger e W. Müller anunciaram desenvolvimento de um novo detector de partículas cósmicas e W. Bothe e W. Kolhörster realizaram detecção simultânea da passagem de um raio cósmico em dois destes aparelhos, evidenciando que parte da radiação cósmica secundária é corpuscular, ou seja, composta por partículas.

De 1933 a 1947, período que pode ser considerado como o nascimento da Física de Partículas, são feitas várias descobertas. Em 1932, Carl Anderson, usando uma câmara de nuvens descobre a antimatéria, o pósitron, previsto por Paul Dirac em 1928. Em 1937, S. Neddermeyer e C. Anderson descobrem o múon nos raios cósmicos; D. H. Perkins, G. P. S. Occhialini e C. F. Powell descobrem o pión, previsto por H. Yukawa dois anos antes; Pierre Auger e seus colegas, Maze e Robley foram os primeiros a detectar, em 1938, um chuveiro atmosférico extenso gerado pela interação de raios cósmicos de alta energia com a atmosfera terrestre.

Em 1949, E. Fermi propôs um modelo que explicava os mecanismos de aceleração de partículas cósmicas, segundo o qual as partículas atingem altas energias quando entram em uma nuvem de plasma que se move com uma velocidade muito alta. Estas nuvens de plasma são produzidas, por exemplo, em explosões de supernovas. A aceleração até altas energias, entretanto, não é explicada por este modelo.

De 1954 a 1961 surge a primeira geração de rede de chuveiros atmosféricos extensos. Uma delas, construída na Grã Bretanha, era composta por 91 contadores Geiger-

Müller e cobria uma área de aproximadamente $0,6 \text{ km}^2$, sendo possível medir energias primárias de até 10^{17} eV . Estudos desta natureza também ocorreram no Japão e na União Soviética. Em 1958 N. A. Porter criou um detector Cherenkov em água, composto de um tanque de metal com água com um fotomultiplicador na superfície e voltado para baixo. A luz Cherenkov produzida pelas partículas relativísticas carregadas era medida pelo fotomultiplicador.

Os anos de 1959 a 1970 são marcados pela construção de várias redes de detecção, como a da Universidade de Leeds, com 12 km^2 de área; a de Yakutsk, na Sibéria, com área de 18 km^2 , entre outras. Em 1968 foi construído um telescópio Cherenkov com 10m de diâmetro, um detector considerado estado da arte. Tais aparatos de medição tornaram possíveis grandes descobertas que incluem, entre outras: a descoberta da radiação cósmica de fundo, por A. Penzias e R. Wilson, em 1975; a detecção dos primeiros neutrinos atmosféricos, em 1965.

De 1971 a 1995 as novas tecnologias aperfeiçoam as formas de detecção, trazendo novos instrumentos como a rede de detectores de fluorescência Olho de Mosca, localizada no deserto do Utah, Estados Unidos; o DUMAND (detector de múons e neutrinos em águas profundas), na costa do Havaí; a rede de detecção de neutrinos do lago Baikal, na Sibéria; o AGASA (rede gigante de chuveiros atmosféricos de Akeno), no Japão; o detector de neutrinos AMANDA, no Polo Sul; o SOHO, Observatório Solar e Heliosférico, cujo objetivo é estudar o Sol e o vento solar; entre outros.

De 1996 até os dias atuais, espalharam-se pelo mundo outros detectores. Citando apenas alguns: o KASCADE e KASCADE-Grande (KARlsruhe Shower Core and Array DEtector); o HiRes, que substituiu os detectores Olho de Mosca, em Utah; o H.E.S.S. na Namíbia, o MAGIC, em La Palma e o VERITAS, no Arizona, estes três contando com telescópios Cherenkov de terceira geração; o Observatório Pierre Auger, com objetivo de identificar a composição e a origem dos raios cósmicos de ultra alta energia; os satélites PAMELA (russo-italiano) e Fermi; o AMS (Espectrômetro de Antimatéria-Matéria), instalado na Estação Espacial Internacional.

O Brasil também dá sua contribuição à história dos raios cósmicos, com a chegada do físico alemão Bernard Gross ao Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro, em 1933, dando início às pesquisas sobre o assunto no país. No ano seguinte chega o físico ítalo-russo Gleb Wataghin, que cria um grupo de pesquisa experimental com Marcelo Damy de Souza Santos e Paulus Aulus Pompéia. Suas pesquisas conduziram à importante descoberta

dos chamados chuveiros penetrantes, em 1940 – descoberta relacionada com partículas penetrantes produzidas pelas interações nucleares de raios cósmicos com a matéria. Em 1944, Wataghin e outro físico brasileiro, Oscar Sala mostraram que a produção da radiação secundária origina certas partículas que seriam identificadas três anos depois como mésons pi (ou píons).

A descoberta do méson pi, em 1947, contou com importante participação do físico brasileiro César Lattes, além dos físicos Giuseppe Occhialini (italiano) e Cecil Powell (britânico). Occhialini, professor de Lattes, trabalhava na Universidade de São Paulo, mas, devido à Segunda Guerra Mundial, mudou-se para a Universidade de Bristol a fim de estudar partículas nucleares através de emulsões fotográficas. Occhialini convidou Lattes para trabalhar com ele e formaram, com Powell, um grupo de pesquisas. Lattes e Occhialini conseguiram detectar o méson pi utilizando chapas fotográficas colocadas nos Pirineus. Na Bolívia, em uma altitude superior à dos Pirineus, Lattes confirmou a detecção desta partícula. O méson pi, responsável por manter o núcleo atômico coeso, fora previsto teoricamente pelos físicos japoneses Hideki Yukawa, em 1935, e Shoichi Sakata, em 1942. Esta descoberta teve enorme importância na época.

Em 1947, Lattes mudou-se para a Universidade da Califórnia. Lá, trabalhou com um sincrocíclotron e realizou estudos sobre partículas em parceria com o norte-americano Eugene Gardner. Juntos conseguiram detectar mésons pi criados artificialmente neste aparelho, o que trouxe grande repercussão internacional e abriu novas perspectivas para estudos com feixes de partículas.

4.2. Chuveiros de Raios Cósmicos

Raios cósmicos são partículas energéticas vindas do espaço que eventualmente interagem com a atmosfera terrestre e originam partículas secundárias. Apesar de sua origem, em nada estas partículas se diferem das encontradas na Terra. Aproximadamente 90% dos raios cósmicos que atingem o planeta são prótons, 9% são núcleos de hélio, 1% são núcleos de elementos mais pesados e elétrons. Essa variedade de partículas é resultado de diferentes fontes, entre elas o Sol, outras estrelas e diversas fontes de radiações de alta energia, como explosões de supernovas, buracos negros e estrelas de nêutrons.

O espectro de energia (fig. 4.1) dos raios cósmicos conta com mais de 100 anos de tomada de dados. Como aponta Lago (2007), esse espectro se estende por aproximadamente

10 ordens de grandezas e o fluxo de partículas, por mais de 30 ordens de magnitude. Embora à primeira vista pareça se tratar de um gráfico que obedece a uma lei de potência com fluxo e energia variando conforme a relação $\Phi \propto E^{-\alpha}$, uma análise mais profunda revelará características interessantes. O índice α muda de $\approx 2,6$ para $\approx 3,0$ para o valor de energia 4.10^{15} , aproximadamente. Essa região é denominada joelho (knee) do espectro. Próximo do valor de energia 4.10^{18}eV , o valor de α muda de $\approx 3,0$ para $\approx 2,5$, na região conhecida como tornozelo(*ankle*). A baixa ocorrência de dados nas regiões de maior energia não permite dados estatísticos conclusivos.

Figura 4.1: Espectro de raios cósmicos (fonte: A guide to explore the Pierre Auger Observatory public data - LIP, Lisboa, GAP NOTE 2012-137).

O fluxo de raios cósmicos na região do *joelho* é de uma partícula por metro quadrado por ano, enquanto que na região do *tornozelo*, é de uma partícula por quilômetro quadrado por ano. A incidência de raios cósmicos de energia acima 10^{20} eV é extremamente

pequena. Somente uma partícula cai em um quilômetro quadrado, por século. Como essa frequência é muito baixa, a utilização de detectores em órbita para obter um número razoável de eventos não é viável. Portanto, para que se consiga caracterizar raios cósmicos de alta energia é necessário utilizar sensores espalhados por uma extensa área a fim de coletar uma amostragem representativa de partículas que se formaram após interação com a atmosfera.

A radiação cósmica de baixa energia apresenta menor capacidade de percorrer grandes distâncias. Estima-se que uma pequena parcela da radiação cósmica que a Terra recebe venha de fontes próximas, como o Sol, e a maior parte tem origem fora do Sistema Solar, ainda que dentro da nossa galáxia. A origem dessa radiação está ligada às explosões de supernovas, processo que ocorre na morte de certas estrelas. Nesse processo são gerados campos magnéticos muito intensos capazes de alterar o movimento de partículas de radiação cósmica. Enrico Fermi propôs, por volta de 1950, um modelo que explicava a aceleração dessas partículas. Segundo ele, tal aceleração seria causada por repetidas colisões com nuvens de plasma interestelares (fig. 4.2a). Entretanto, a aceleração dada por este processo não era capaz de explicar as altas energias apresentadas pelas partículas que atingem a Terra. O modelo de Fermi foi aperfeiçoado e acredita-se que a aceleração é proveniente de interações das partículas com ondas de choque resultantes da explosão de supernovas ou com núcleos galácticos ativos (fig. 4.2b). A radiação cósmica de alta energia tem origem fora do Sistema Solar, mesmo de fora de nossa galáxia, apresentando energia da ordem de 10^{15} eV. Não há consenso no meio científico quanto à origem da radiação de ultra alta energia (cerca de $10^{19} - 10^{20}$ eV).

Figura 4.2: Representação esquemática do processo de aumento de energia de um raio cósmico (fonte: <http://www.telescopearray.org/images/site/accel.gif>, editada)

Quando um raio cósmico de alta energia (chamado de raio primário) colide com núcleos de moléculas na alta atmosfera terrestre, ele origina uma série de interações nucleares e eletromagnéticas, produzindo uma cascata de partículas (chamadas de partículas secundárias) que se deslocam com velocidades próximas à velocidade da luz (fig. 4.3). Esta interação produz luz por fluorescência na região do ultravioleta e também radiação Cherenkov². Isto permite a utilização de detectores sensíveis a estas radiações, tornando possível a caracterização dos raios cósmicos.

Pode-se considerar que esta cascata de partículas secundárias forma um disco cujo raio aumenta conforme se dirige em direção à Terra. Além disso, quanto maior a energia do raio cósmico primário, maior será a quantidade de partículas secundárias.

Figura 4.3: Representação esquemática do desenvolvimento de um raio cósmico na atmosfera
(fonte: https://www.auger.org/images/Cosmic_Rays/photo_summary_01.jpg).

² A radiação Cherenkov, constatada pelo físico russo Pavel Alekseyevich Cherenkov, ocorre quando partículas eletrizadas atravessam um meio isolante com velocidade maior do que a velocidade de propagação da radiação eletromagnética neste meio.

4.2.1. A detecção de Raios Cósmicos – O Observatório Pierre Auger

Situado em Malargüe, na província de Mendoza, na Argentina, o observatório Pierre Auger é o maior detector de raios cósmicos do mundo. Seu objetivo é estudar partículas de altíssima energia que atingem a Terra na forma de raios cósmicos. O Observatório é um “detector híbrido” composto de 1600 detectores de superfície e vinte e quatro telescópios de fluorescência. Estes detectores de superfície apresentam formato de tanques, espaçados entre si em 1,5 km, ocupando uma área de aproximadamente 3000 km² (fig. 4.4).

Figura 4.4: Localização geográfica do Observatório Pierre Auger. Os pontos vermelhos representam os tanques de superfície e os espaços entre as linhas verdes, regiões para onde apontam os telescópios de fluorescência (fonte: http://visitantes.auger.org.ar/images/stories/observatorio/observatorio_01.jpg, editada).

O Observatório Pierre Auger utiliza dois métodos independentes de detecção de raios cósmicos de alta energia (fig. 4.5). O primeiro consiste em detectar partículas de alta energia através da interação com a água presente em tanques detectores. O segundo consiste em rastrear, através dos telescópios de fluorescência, o chuveiro de partículas através da luz ultravioleta emitida pela interação destas partículas com a atmosfera terrestre.

Cada um dos tanques detectores apresenta formato cilíndrico de dimensões 3,6 m de diâmetro e 1,6 m de altura, contendo 12000 litros de água pura (fig. 4.6). Quando as partículas carregadas dos raios secundários atravessam a água, emitem luz Cherenkov que pode ser captada pelos tubos fotomultiplicadores. Esta luz captada é convertida em sinais elétricos e dá uma estimativa da densidade de partículas que atingiu o tanque. Esta informação

é enviada ao CDAS (Sistema Central de Aquisição de Dados) através de antena de rádio frequência.

Figura 4.5: Detector de fluorescência (acima) e tanque de superfície (abaixo) (fonte: <http://www.auger.to.infn.it/images/auger-hybrid.jpg>)

Os 24 telescópios de fluorescência são dispostos em quatro prédios (fig. 4.7) (6 telescópios por prédio) localizados em 4 elevações localizadas nas bordas da região onde se encontram os tanques de superfície.

Figura 4.6: Representação esquemática de um tanque detector de superfície (fonte: http://www.kavlifoundation.org/sites/default/files/image/astrophysics/inside_surface_detector.jpg, tradução nossa).

Cada telescópio possui um espelho de $3,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$ e focaliza a luz sobre uma câmera formada por 440 fotomultiplicadores (fig. 4.8). Esta câmera é protegida de

luminosidade excessiva por diafragmas e cortinas, funcionando somente em noites onde há ausência da luz da Lua.

Figura 4.7: Prédio que abriga seis telescópios de fluorescência (fonte: http://visitantes.auger.org.ar/images/stories/observatorio/observatorio_7.jpg)

(a)

(b)

Figura 4.8: Detector de fluorescência (a) e esquema mostrando detalhes de sua construção e escala (b) (fontes: <http://visitantes.auger.org.ar/images/stories/fotos/equipamiento/detector%20de%20fluorescencia.jpg> e http://www.auger.org.ar/argentina/imagen_trabajo_c/imagen8.jpg, editada).

Da mesma forma que os detectores de superfície são atingidos pelas partículas dos raios secundários em tempos ligeiramente diferentes, também a luz Cherenkov é captada

pelos telescópios de fluorescência em tempos ligeiramente diferentes. O uso do sistema de posicionamento global (GPS) presente nos tanques de superfície e nos telescópios permite precisão na determinação dos tempos de detecção e posição dos tanques. Assim, o trabalho conjunto destas duas formas de detecção (fig. 4.9) permite aprofundado estudo de raios cósmicos de alta energia, da ordem de até 10^{20} eV. Desta forma, é possível descobrir uma importante propriedade de um raio cósmico primário: sua direção de chegada. A análise de dados obtidos no Observatório Pierre Auger indicam que os raios cósmicos são anisotrópicos, ou seja, não vêm com mesma probabilidade de todas as regiões do céu. Saber de que regiões do céu esses raios vêm permite entender melhor sua origem e os fenômenos responsáveis por sua criação.

Figura 4.9: Esquema de detecção híbrida de raio cósmico por detectores de fluorescência e tanques de superfície (fonte: http://vega.fis.cinvestav.mx/AUGER/Press/AGN_correlation_archivos/quadruple.jpg e https://www.auger.org/images/Cosmic_Rays/Auger_cosmic_ray_shower.jpg).

5. METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa realizada neste trabalho apresentou grande influência do referencial metodológico do DBR. Descreve-se, a seguir, a metodologia seguida:

5.1. Objetivos

- Investigar a aprendizagem na implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de Astrofísica de Partículas para o Ensino Médio.
- Contribuir para a implementação de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea presentes no novo Currículo de Física do Estado de São Paulo, em particular do conteúdo Matéria e Física das Radiações.

5.2. Participantes

Participaram deste trabalho estudantes do turno noturno regular de uma escola de Ensino Médio Estadual, situada na região metropolitana de São Paulo. A atividade foi aplicada, em uma etapa piloto, a duas turmas de uma mesma escola, no ano de 2012. Nos meses de maio e junho a atividade foi aplicada a alunos de 2º ano e, nos meses de outubro e novembro, a alunos de 3º ano. Após a análise dos dados dessas duas turmas, aplicaram-se as atividades, nos meses de setembro a novembro de 2013 em uma turma de 3º ano. Em todos os casos, os participantes foram divididos em aproximadamente 7 grupos de até 4 alunos cada. Cabe destacar que o autor deste trabalho atuou como professor pesquisador.

5.3. *Design* da sequência de ensino e aprendizagem

5.3.1. Variáveis Dependentes

As chamadas variáveis dependentes do *design* auxiliaram no planejamento da sequência. Elas são descritas a seguir:

- *Variáveis de ambiente* – A maioria das atividades desta sequência de ensino e aprendizagem foi realizada em grupo. Buscou-se, dessa forma, incentivar a cooperação entre os participantes, a fim de facilitar a aprendizagem significativa através da elaboração de mapas conceituais de forma colaborativa.
- *Variáveis de aprendizagem* – A avaliação dos novos conhecimentos adquiridos pelos alunos foi feita através da análise de seus mapas conceituais. Pretendeu-se, assim,

verificar se as atividades e estratégias aqui elencadas favoreceram o aprendizado de forma mais efetiva.

- *Variáveis sistemáticas* – As análises de sustentabilidade, escalabilidade e exequibilidade não foram feitas nesse trabalho. Entretanto, algumas impressões apresentadas foram baseadas no exame das condições sob as quais se deram a aplicação da sequência de ensino e aprendizagem.

5.3.2. Variáveis Independentes

Descreve-se a seguir o ambiente onde ocorreu a aplicação do trabalho através da caracterização de suas variáveis independentes.

- *Cenário* – A pesquisa teve lugar em uma escola de Ensino Médio Estadual do Estado de São Paulo, na periferia do município de Barueri, localizado na região metropolitana da capital paulista.
- *Natureza dos aprendizes* – As turmas contavam com alunos do ensino regular do período noturno, com idades variando entre 15 e 18 anos, alguns dos quais trabalhavam durante o dia.
- *Recursos requeridos e apoio para implementação* – Os recursos materiais necessários à execução da atividade consistiram em materiais de baixo custo, como folhas de isopor, palitos de madeira, impressões das atividades etc. Como suporte pedagógico foi utilizado um aparelho *datashow*. Embora a escola contasse com um laboratório de informática, devido à falta de técnico habilitado, não foi possível utilizar computadores na confecção dos mapas conceituais.
- *Desenvolvimento profissional* – O professor pesquisador, licenciado em Física, leciona há 13 anos nessa área. Trabalhou como professor orientador no Projeto de Iniciação Científica Junior - PUC SP, como integrante do GoPEF – Grupo de Pesquisa em Ensino de Física, de 2008 a 2011. Durante este período, participou do desenvolvimento e aplicação de atividades práticas que utilizavam componentes eletrônicos, eventualmente tratando de tópicos de Física Moderna com os alunos ao trabalhar com a teoria relacionada com esses componentes. Participou, em 2009, do curso de atualização destinado a professores de ensino médio: Matéria e Energia em Física Moderna, no IV Encontro IFUSP-Escola. Ali entrou em contato com alunos da graduação do curso de Física da USP e interessou-se em participar do Programa de Pós Graduação Interunidades em Ciências – Modalidade Física como aluno especial, ingressando oficialmente no programa em 2011.

- *Necessidades financeiras* – Como o trabalho de pesquisa requer materiais de baixo custo, as necessidades financeiras são irrelevantes.
- *Trajatória de implementação* – O *design* aqui apresentado consistiu nos seguintes passos: letramento dos alunos no assunto mapas conceituais, introdução ao assunto Raios Cósmicos, definição e cálculo de centro de massa, determinação da direção do Raio Cósmico Primário, sistematização e levantamento dos conceitos referentes à atividade, construção do mapa conceitual, análise do mapa conceitual. Este *design* necessitou de aproximadamente 16 aulas para ser aplicado.

5.4. A sequência de ensino e aprendizagem utilizada nesse trabalho

Como já mencionado no item 1.1.1, a sequência de ensino e aprendizagem utilizada nesse trabalho fez uso de uma atividade originada no projeto “A Física Moderna no Ensino Médio e a formação de Multiplicadores para a Rede Pública de Professores de Física”.

Vinculado a esse projeto, o grupo de pesquisa em Ensino de Física do Instituto de Física da USP de São Carlos, sob a coordenação do professor Doutor Marcelo Alves Barros, elaborou um curso³ com o tema “Partículas Elementares e Raios Cósmicos”. Esse curso aconteceu nos meses de março e abril de 2011, com carga horária de 40 horas presenciais e 10 horas de atividades em sala de aula. Seu público alvo foram professores de Física do Ensino Médio da Rede Estadual de Ensino, PCOP (Professores Coordenadores das Oficinas Pedagógicas) de Ciências da Natureza e alunos de graduação em Licenciatura em Física ou Ciências. Os participantes deveriam contribuir com a implementação da Proposta Curricular do Estado de São Paulo, focando atividades de FMC. Listam-se a seguir alguns conteúdos desenvolvidos:

- Dimensões e ordem de grandeza
- Espalhamento Rutherford
- Evolução do modelo atômico
- Partículas elementares
- Forças fundamentais
- Escalas de energia
- Raios cósmicos

³ Apoiado pela CENPE (Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas) e pela Secretaria de Educação do Estado de São Paulo.

Esses conteúdos foram tratados por meio de palestras, videoconferências, construção de maquetes de experimentos, resolução de exercícios, relatos e trocas de experiências entre os professores. Como desdobramento deste curso cita-se o mestrado profissional de Saran⁴ (2012), uma das alunas participantes. No referido trabalho, a autora escolheu três das atividades tratadas no curso de formação, adaptando-as para aplicação em um minicurso sobre Raios Cósmicos, aplicado a alunos de 2ª e 3ª séries de uma escola pública estadual de ensino médio, os quais passaram por seleção e estudaram em contraturno. O objetivo da autora foi realizar “uma análise quanto ao processo de transformação do saber sábio sobre Raios Cósmicos em saber a ensinar, ou seja, (...) analisar este tema sob as regras da Transposição Didática”.

Em seu trabalho a autora destaca que, conforme a Transposição Didática proposta por Chevallard (1991), certo saber (ou conhecimento) precisa sofrer modificações para ser ensinado aos alunos. Em um primeiro momento, o *saber sábio* (conhecimento da comunidade científica) deve ser escolhido e passar por adaptações para chegar à sala de aula em linguagem acessível ao aluno, tornando-se o *saber a ensinar* (conhecimentos que devem integrar o currículo escolar). Este processo é chamado de transposição externa. Os saberes sujeitos a transposição efetiva devem apresentar os seguintes requisitos: consensualidade (ligada a um status de “verdade”), atualidade moral (adequação à sociedade e avaliado como importante), atualidade biológica (consistência com a ciência atual), operacionalidade (deve ser possível desenvolver atividades que possam ser trabalhadas em sala de aula), criatividade didática (atividades que existam no ambiente escolar sem necessariamente ter equivalência com os procedimentos da ciência) e, por fim, deve apresentar terapêutica (sobrevivência de um saber após aplicação em sala de aula). Em um segundo momento, o *saber a ensinar* deve ser readaptado, pelo professor, às situações e necessidades específicas de seus alunos. O *saber a ensinar* deverá, então, tornar-se efetivamente um *saber ensinado*. Este processo é chamado de transposição interna.

Astolfi (1997), baseado nas características dos saberes a serem transpostos, elaborou algumas regras que devem ser atendidas para a transposição dos saberes, desde o saber dos cientistas até o saber dos alunos. Estas regras facilitam a análise e a validação de um processo transformador. Estes saberes devem:

I) Modernizar o saber escolar;

II) Atualizar o saber a ensinar;

⁴ Mestrado Profissional em Ensino de Física pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Exatas – UFSCAR, São Carlos - SP.

- III) Articular o saber “novo” com o “antigo”;
- IV) Transformar um saber em exercícios e problemas;
- V) Tornar um conceito mais compreensível.

A autora analisa as atividades aplicadas quanto a estas regras e quanto aos requisitos da transposição externa. Quase todos eles foram satisfeitos, com exceção do requisito terapêutico, ou seja, a sobrevivência deste saber ainda depende da realização da atividade em sala de aula repetidas vezes. Assim, o tema Raios Cósmicos foi trabalhado sob a luz da teoria da transposição didática e mostrou-se um interessante tópico de Física Moderna a ser tratado nas escolas.

Este meu trabalho foi, de certo modo, um prosseguimento do trabalho de Saran. Sob a perspectiva da Transposição Didática, Saran analisa a transposição externa do conteúdo Raios Cósmicos (transposição do saber do cientista ao saber a ensinar presente nos livros didáticos), enquanto que este meu trabalho teve relação estreita com a transposição interna (transposição do saber a ensinar ao saber ensinado que o aluno apreendeu).

5.5. A atividade de raios cósmicos utilizada nesse trabalho

A atividade escolhida (também utilizada por Saran) para desenvolver este trabalho foi *Observatório Pierre Auger: Determinação de direção de um Raio Cósmico Primário*. Tal atividade desempenhou um papel de destaque dentro da sequência de ensino e aprendizagem e, em função dela, foi planejada uma implementação onde foram utilizadas outras atividades, como palestra expositiva sobre raios cósmicos, aplicação de questionário e elaboração de mapas conceituais.

Apresenta-se, a seguir, essa atividade (quadro 5.1), da maneira como foi proposta inicialmente para os professores no curso de formação.

Atividades com dados reais do Observatório Pierre Auger – Raios Cósmicos

1) Objetivo:

Entender como se calcula a trajetória de um Raio Cósmico.

2) Problematização:

a) Raios Cósmicos

O professor apresenta e define o que são os raios cósmicos como eventos naturais

em que núcleos atômicos muito energéticos colidem com átomos da atmosfera, gerando um “chuveiro” de novas partículas.

b) Pierre Auger

O Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger tem como objetivo estudar através de detectores em formato de tanques os Raios Cósmicos mapeando de ONDE eles vêm para compreender COMO eles são produzidos. Nesta atividade, trabalharemos com a questão relacionada à de ONDE eles estão vindo.

Para tanto, o professor lança a seguinte pergunta: Analisando um determinado chuveiro de partículas detectado no Observatório Pierre Auger, como podemos descobrir a posição em que o raio cósmico que o gerou deveria atingir a superfície da Terra?

Figura 1: Origem e trajetória do centro massa de um Raio Cósmico

Para responder a esta pergunta, é necessário que o professor defina através de exemplos e exercícios:

- Centro de massa, conforme podemos observar na Figura 1
- Equivalente massa-energia

Exemplo de centro de massa:

01. Determine as coordenadas do centro de massa do sistema de partículas indicado a seguir:

As coordenadas das partículas são:

$$m_1 \rightarrow x_1 = 0; y_1 = 0$$

$$m_2 \rightarrow x_2 = 1 \text{ cm}; y_2 = 2 \text{ cm}$$

$$m_3 \rightarrow x_3 = 4 \text{ cm}; y_3 = 1 \text{ cm}$$

Deste modo, as coordenadas do centro de massa são:

$$x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$x_{CM} = \frac{2 \cdot 0 + 3 \cdot 1 + 5 \cdot 4}{2 + 3 + 5}$$

$$x_{CM} = 2,3 \text{ cm}$$

$$y_{CM} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$y_{CM} = \frac{2 \cdot 0 + 3 \cdot 2 + 5 \cdot 1}{2 + 3 + 5}$$

$$y_{CM} = 1,3 \text{ cm}$$

Exemplo de relação massa-energia

Uma fábrica de produtos metalúrgicos consome por mês cerca de $2,0 \times 10^6$ KWh de energia elétrica ($1 \text{ KWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$). Suponha que essa fábrica possui uma usina capaz de converter diretamente massa em energia elétrica, de acordo com a relação de Einstein, $E = m_x c^2$. Nesse caso, qual a massa necessária para suprir a energia requerida pela fábrica durante um mês?

Resposta:

$$\text{Massa} = 0,8 \times 10^{-4} \text{ Kg} = 0,8 \times 10^{-2} \text{ g}$$

3) Encaminhamento da atividade

Materiais utilizados:

Isopor

Palitos de madeira (espetos de churrasco)

Papel sulfite

Canudos de plástico

Régua, Cola e tesoura

4) Procedimento:

Serão feitos grupos de trabalho na classe onde o professor distribuirá tabelas com dados reais do Observatório Pierre Auger e será pedido que se calcule o centro de massa através das equações a seguir:

$$x_{CM} = \frac{E_1x_1 + E_2x_2 + E_3x_3 + \dots + E_nx_n}{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}$$

$$y_{CM} = \frac{E_1y_1 + E_2y_2 + E_3y_3 + \dots + E_ny_n}{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}$$

Figura 2: Equação do Centro do Massa-Energia em que E é a energia

Posteriormente o professor deve pedir que os alunos marquem a posição calculada do centro de massa no gráfico fornecido com as posições dos tanques.

Feito isso respondemos à questão inicial: Analisando um determinado chuveiro de partículas detectado no Observatório Pierre Auger, como podemos descobrir a posição em que o raio cósmico que o gerou deveria atingir a superfície da Terra?

A seguir, devemos buscar a resposta à seguinte pergunta: Qual a direção do centro de massa deste raio cósmico?

Para isto o professor deve indicar ao aluno a tabela contendo o instante em que cada tanque foi atingido pelo chuveiro. Os alunos deverão associar estes instantes ao comprimento de palitos em escala, ou seja, quanto maior o tempo, maior a haste sobre o tanque.

Assim, cada tanque indicado no gráfico terá seu respectivo tempo de acionamento indicado por um palito em escala que perfurará, perpendicularmente, o gráfico colado sobre uma placa de isopor conforme a foto a seguir:

Obs: Sugerimos que o professor contabilize a espessura do isopor e some ao comprimento final de todos os palitos que serão cortados.

Conforme forem sendo colocados os palitos, formaremos um plano que na verdade representa a “frente de onda” do chuveiro de partículas. Assim, se formos capazes de encontrar a reta perpendicular a este plano e que passa pelo centro de massa, então teremos a direção do raio cósmico conforme as fotos a seguir:

Quadro 5.1. Folha da atividade para determinação do ponto de impacto e a direção de chegada de um raio cósmico primário.

5.6. Procedimento de aplicação da sequência de ensino e aprendizagem

A sequência didática foco deste trabalho apresentou três momentos distintos:

a) Letramento dos alunos no assunto mapas conceituais (04 aulas)

Considerando-se que os mapas conceituais são a forma de avaliação da atividade e não eram conhecidos pelos alunos, fez-se necessário instruí-los a respeito do assunto. Com este objetivo, inicialmente foi construído um mapa conceitual pela classe, de forma colaborativa, com a ajuda do professor. Conforme sugerem Novak e Cañas (2010), buscou-se uma questão focal que contemplasse um assunto familiar aos estudantes: “Como Funciona a Escola?”. O professor, então, incentivou-os a levantarem conceitos pertinentes ao assunto, anotando cada um dos termos na lousa. Feito isto, o professor começou a explicar características dos mapas conceituais, mostrando como interligar conceitos de forma ordenada. Os alunos continuaram a interligar os conceitos verbalmente, enquanto o professor auxiliava a elaboração do mapa na lousa. Nesse processo, o professor delineou as características de um mapa conceitual, deixando clara a importância da utilização de todos os conceitos propostos e do máximo de ligações possíveis, incluindo ligações cruzadas. Depois, o professor dividiu a sala em grupos e repetiu o procedimento anterior, estabelecendo a questão focal: “Como Funciona o Futebol?” e levantando com os alunos os conceitos relacionados com este assunto. A seguir, a partir destes dados, cada grupo de alunos elaborou seu mapa conceitual. Dessa forma, o professor pode avaliar a compreensão dos alunos; posteriormente, foi elaborado um mapa a respeito de um assunto relacionado com Física. No

caso dos alunos de 2º ano, o assunto foi *Temperatura e Calor*; para os alunos de 3º ano, *Magnetismo*. Estes últimos mapas foram trocados entre os grupos e foi-lhes solicitado que elaborassem frases baseadas nos mapas dos colegas, com o propósito de incentivar a discussão e a fixação do assunto tratado.

b) Aplicação da atividade *Determinação de direção de um Raio Cósmico Primário*

b1) Introdução ao tema “Raios Cósmicos” (01 aula)

Para a introdução ao tema raios cósmicos fez-se uma breve discussão sobre assuntos relacionados às radiações que atingem a Terra, tais como: erupções solares, auroras boreais, perigos para a astronáutica etc. a fim de se fazer um levantamento de conhecimentos prévios dos alunos. Foi exibida uma apresentação digital com vídeos e simulações mostrando características e parte da dinâmica de um raio cósmico, baseada no material da palestra proferida pelo Prof. Dr. Luiz Vitor de Souza Filho no curso de formação de professores multiplicadores. Nela, utilizou-se a ideia lúdica de alguém que é atingido por um objeto e quer saber características associadas a este fato, como o que o atingiu, quem jogou, com que velocidade etc., relacionando-se esse objeto ao raio cósmico que atinge a Terra. Esta introdução ao assunto permitiu discutir a origem dos raios cósmicos, sua composição, formas de detecção, perigos envolvidos etc.

b2) Centro de massa – conceito e cálculo (04 aulas)

Tratou-se do assunto *centro de massa* de maneira conceitual, utilizando exemplos e demonstrações com objetos comuns, como martelo, vassoura, halteres etc. Foram feitos cálculos de centro de massa de sistemas de partículas.

A seguir, foi entregue aos alunos uma tabela com o registro de dados relacionados a um evento registrado no observatório Pierre Auger (tab. 5.1). A partir destes dados foi calculado o “centro de massa⁵” de um raio cósmico primário. Deve-se ressaltar aqui que o conceito de “centro de massa” relacionado com o estudo de raios cósmicos foi bem diferenciado do mesmo conceito relacionado com objetos do cotidiano. Fez-se uma analogia com o problema clássico de explosão de um projétil que se fragmenta em pedaços menores: da mesma forma que a trajetória do centro de massa do projétil continua a mesma antes e

⁵ Este “centro de massa” equivale ao ponto, na Terra, que o raio cósmico primário atingiria caso não houvesse interagido com os átomos constituintes da atmosfera terrestre.

depois da explosão, assim também acontece com a trajetória do centro de massa do raio cósmico antes e depois da formação de partículas secundárias.

	Id	Dia	Mês	Ano
Evento 1	3637800	1	7	2007
tank id	x (km)	y (km)	Sinal (VEM)	Tempo (μs)
0	2,25	1,31	2184,72	1,62
1	1,49	2,61	129,01	2,41
2	2,99	2,60	71,81	0,56
3	0,74	1,31	65,43	3,96
4	1,52	0,01	23,27	3,39
5	3,73	1,31	23,13	0,00
6	3,00	0,00	9,31	1,64
7	0,00	2,61	7,48	4,95
8	2,24	3,90	6,45	1,69
9	0,75	3,91	2,71	4,69

Tabela 5.1: Evento registrado pelo Observatório Pierre Auger. São mostrados: a identificação do tanque e as coordenadas de sua posição, o sinal medido e o tempo de disparo do detector.

As coordenada X_{cm} e Y_{cm} do centro de massa são determinadas conforme a fórmula apresentada na figura 5.1. Os alunos foram orientados a seguir os passos abaixo:

1. Multiplique o valor da coordenada x de cada tanque pelo correspondente sinal registrado por ele; anote cada valor obtido.
2. Some todos os valores das multiplicações feitas no passo anterior; anote o valor obtido.
3. Some todos os valores de sinais; anote o valor obtido.
4. Divida o valor encontrado no passo 2 pelo valor obtido no passo 3.
5. Anote o resultado.

$$X_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i * S_i}{\sum_{i=1}^N S_i}$$

$$Y_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i * S_i}{\sum_{i=1}^N S_i}$$

Figura 5.1: Fórmula para o cálculo do centro de massa

A figura 5.2 mostra a folha de dados recebida pelos alunos e como ela foi preenchida por eles.

X_{cm} (km)	Y_{cm} (km)
2,19	1,41

b3) Construção de maquete (04 aulas)

Para a construção da maquete que representa o evento estudado, utilizou-se uma folha impressa com as posições dos tanques plotadas em um sistema de coordenadas, palitos de madeira, estilete para cortar os palitos e uma base de isopor.

Inicialmente os alunos identificaram as posições de cada tanque em uma folha impressa (fig.5.3), numerando-os conforme a identificação da tabela 1. Também foi plotado nesta folha o ponto correspondente ao centro de massa calculado anteriormente.

Figura 5.3: Posições dos tanques em escala

Quando o primeiro tanque é atingido por partículas secundárias, considera-se este tempo como o tempo inicial t_0 . A partir daí, os outros tanques serão sucessivamente atingidos por outras partículas secundárias. No exemplo utilizado (evento 1), o primeiro tanque atingido foi o número 5 ($t=0,0\mu s$), o próximo, o número 0, foi disparado $1,62 \mu s$ depois, e assim por diante. Como se está tratando de dimensões de distância nesta maquete, os valores de tempo também devem ser convertidos em dimensões equivalentes de distância. Assim, os tempos de disparo dos tanques serão representados em nossa maquete por palitos cujas alturas correspondem à distância que as partículas secundárias percorrem até chegar a cada tanque, a partir de um tempo inicial.

Logo, tornaram-se necessários alguns cálculos, levando-se em consideração as dimensões da base e a escala de distância impressa na mesma. Após medição da base, verificou-se que 2,3cm na maquete correspondem a 1 km de solo do observatório.

Para calcular a distância percorrida (D) pelas partículas que atingiram certo tanque utilizou-se o intervalo de tempo de disparo (T) e a velocidade de propagação dessas partículas, aproximadamente a velocidade da luz (C). Assim:

$$D = C.T$$

De posse dos valores de distância real do solo do observatório com correspondente distância na maquete, é possível chegar a uma relação que permite calcular a altura H de cada palito em função do intervalo de tempo de disparo (T):

Distância real (km) Distância na maquete (cm)

1 -----2,3

D ----- H

Mas, como $D = C.T$, temos:

Distância real (km) Distância na maquete (cm)

1 -----2,3

C.T ----- H

Daí:

$H = 2,3.C.T$, usando $C = 3,00.10^5$ km/s e T em μs , temos:

$$H = 0,69T$$

Assim, para o tanque 0, cujo intervalo de tempo de disparo vale $1,62 \mu s$, temos:

$$H = 0,69.1,62$$

$$H = 1,1 \text{ cm}$$

Como os palitos devem ser fixados a uma base de isopor de certa espessura, este valor deve ser acrescentado ao valor de altura do palito. Como no caso a espessura do isopor vale 1,8 cm, tem-se:

$$\text{Tamanho do palito} = 1,1 + 1,8$$

Tamanho do palito = 2,9 cm

A seguir, cortou-se um palito com este tamanho, fixando-o na posição correspondente ao tanque 0, perpendicularmente ao plano da placa de isopor.

Repetindo-se este processo para os demais tanques, é possível notar que as extremidades dos palitos formam aproximadamente um plano⁶ que corresponde a uma secção de esfera, representando a frente de onda formada pelo deslocamento das partículas secundárias oriundas do raio cósmico primário.

Para se determinar a direção do raio cósmico primário, fixou-se no isopor um último palito, passando pelo ponto de impacto calculado anteriormente e apresentando direção perpendicular ao plano da “frente de onda” (fig. 5.4).

Figura 5.4: Construção da maquete

c) Retomada de conteúdos e elaboração do mapa conceitual do assunto “Raios Cósmicos” (03 aulas)

Construída a maquete, foram retomados e sistematizados os conceitos através de texto e questionário (anexo B) a respeito da atividade realizada, objetivando estruturar melhor os assuntos tratados, para posterior construção do mapa conceitual. A seguir, o professor mediou a elaboração de uma lista de conceitos-chave sobre o assunto tratado, com auxílio da turma. Depois, cada grupo de alunos construiu seu mapa conceitual com base nessa lista.

⁶ Podemos considerar a secção desta frente como um plano pois o raio de curvatura da esfera é muito maior que as dimensões da secção considerada.

6. ANÁLISE DOS DADOS

Os mapas conceituais confeccionados pelos alunos foram utilizados como instrumento de coleta de dados da sequência de ensino proposta. Avaliaram-se quantidade e relações entre os conceitos, as proposições e o padrão estrutural dos mapas conceituais.

6.1 Critérios de análise

Com base nos princípios metodológicos relacionados a construção e avaliação de mapas conceituais e baseado também nas intencionalidades do estudo proposto, utilizaram-se os seguintes critérios de análise dos mapas conceituais:

1. *Conceitos*. A quantidade de ligações cruzadas presentes em um mapa evidencia reconciliação integrativa. O não uso de determinado conceito na construção do mapa evidencia uma insegurança ou não conhecimento das relações deste conceito em relação a outros. Desta forma, acredita-se que, quanto maior a quantidade de conceitos utilizados na construção do mapa, maior a possibilidade de ocorrência de aprendizagem.
2. *Relações entre os conceitos*. Uma aprendizagem significativa resultará em proposições corretas do ponto de vista dos significados cientificamente aceitos. Os conceitos mais inclusivos apresentarão diferenciação progressiva. As ligações cruzadas revelarão reconciliações integrativas evidenciando uma aprendizagem mais significativa.
3. *Padrão estrutural*. As estruturas dos mapas serão classificadas segundo o padrão proposto por Kinchin et al (2000). As estruturas serão classificadas em *radial*, *corrente* ou *rede*, apresentando, nessa ordem, níveis crescentes de aprendizagem significativa.

As interpretações das proposições retiradas dos mapas conceituais serão feitas analisando-se as conexões e rótulos que ligam os conceitos do mapa conceitual, buscando verificar o nível de atendimento aos objetivos de aprendizagem estabelecidos. Assim, pretende-se notar evidências de aprendizagem significativa. Serão avaliados cinco tópicos tidos como de essencial importância para a compreensão dos alunos. São eles:

a) *Origem dos raios cósmicos*

Os raios cósmicos dos quais trata esta sequência didática são oriundos de galáxias distantes, em ambientes altamente energéticos, como supernovas.

b) Composição dos raios cósmicos

Os raios cósmicos são compostos de núcleos atômicos altamente energéticos, cujas velocidades são próximas às da luz.

c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre

Um raio cósmico, ao chegar à Terra, interage com os átomos da atmosfera, dando origem a um chuveiro de partículas secundárias. Cada partícula assim formada origina um *raio cósmico secundário*.

d) Detecção das partículas dos raios secundários

As partículas do raio cósmico secundário que chegam ao solo podem ser captadas por tanques em solo e podem ser vistas em telescópios através da luminescência criada devido à interação raio cósmico/atmosfera. Estes tanques possuem dispositivos que medem a energia das partículas que ali chegam e os instantes de sua captação.

e) Determinação da direção do raio cósmico primário

A partir dos valores de energia e tempo citados acima, os cientistas calculam o “centro de massa”, equivalente ao ponto na Terra que o raio cósmico primário atingiria caso não interagisse com os átomos da atmosfera. Depois, juntando os dados obtidos nos tanques e nos telescópios, os cientistas conseguem determinar de onde veio um raio cósmico primário que chegou à Terra em determinado momento.

O atendimento aos objetivos dos tópicos será avaliado da seguinte forma:

- O grupo atingiu *plenamente* os objetivos se conseguiu expressar-se conforme as respostas esperadas.
- No caso em que o grupo entendeu parte do tópico ou explicou de forma incompleta, consideramos que os objetivos foram *parcialmente* atendidos.
- Erros conceituais ou explicações confusas evidenciaram que o grupo *não atingiu* os objetivos.

Apresentam-se a seguir os mapas conceituais elaborados pelos alunos e as suas respectivas análises. Para facilitar sua leitura, eles foram reescritos com o *software* Cmap

Tools⁷. Buscou-se representá-los o mais fielmente possível. Os mapas originais encontram-se no anexo A.

6.2. Etapa piloto

Após a elaboração do planejamento de trabalho, as atividades da sequência didática foram aplicadas inicialmente a alunos de 2º e 3º anos do Ensino Médio. O objetivo foi coletar os dados obtidos após a aplicação da sequência didática e realizar correções necessárias ao seu sucesso.

A seguir apresentam-se os dados coletados nesta etapa:

6.2.1. Turma 1 (segundo ano – maio de 2012)

A turma efetuou um levantamento total de vinte conceitos relacionados ao tema: raios cósmicos, raios, galáxias, tanque, telescópio, antenas, energia, partículas, moléculas, atmosfera, velocidade, tempo, distância, direção, Terra, funcionamento, massa, água, detectores, trajetória.

⁷ Cmap Tools é um *software* desenvolvido pelo Instituto de Cognição Humana e de Máquina da Flórida (IHMC). Seu objetivo é auxiliar na construção, publicação, compartilhamento e colaboração de mapas conceituais.

Grupo 1 - 2º ano **Figura 6.1. Mapa conceitual do grupo 1 - 2º ano**

1. Conceitos

Dos vinte conceitos propostos o grupo utilizou onze, acrescentando o conceito *laboratório* e os termos *o quê?*, *quem?* e *como produzir a energia*. Os termos *o quê?* e *quem?* são uma alusão à primeira aula sobre raios cósmicos. Acredita-se que o grupo associou essas perguntas às questões que devem ser respondidas no estudo de raios cósmicos. O termo *como produzir na energia*, que deveria ser “como produzir *esta* energia”, foi uma questão levantada para comparar a energia de um raio cósmico e a energia obtida em aceleradores de partículas. Possivelmente a escolha de termos que não faziam parte da lista denota uma tentativa de utilização de anotações de aula elaboradas na primeira aula do assunto Raios Cósmicos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostram uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos. Por outro lado, não foi possível notar evidências de reconciliações integrativas devido à falta de ligações cruzadas.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial, com prevalência deste último. Nota-se a falta de uma ligação entre *Raios Cósmicos* e *chocam-se com partículas*. Uma possível ligação cruzada poderia ter sido feita entre *tanques* e o termo de ligação *nos mostra a trajetória dos raios*, o que indicaria reconciliação integrativa mostrando que, tanto tanques quanto telescópios são importantes para a determinação da trajetória dos raios cósmicos.

Uma análise das proposições do mapa permite a constatação de que o grupo atendeu parcialmente às expectativas quanto à origem dos raios cósmicos ao mencionar que *raios cósmicos vêm da galáxia*, associando *galáxia* a um local espacialmente distante da Terra. Nenhuma referência é feita à composição dos raios cósmicos, porém, quanto à interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre, é clara a ideia de que ocorre choque dos componentes do raio cósmico com partículas da atmosfera, embora faltem detalhes de como essa interação ocorre. O grupo citou os aparatos de detecção dos raios secundários, sem entrar em detalhes relacionados às funções desses aparatos. Nota-se, portanto, que a dinâmica de detecção dos raios cósmicos e como sua trajetória é determinada não foi compreendida pelo grupo.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos		X		
b) Composição dos raios cósmicos				X
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		
d) A detecção das partículas dos raios secundários		X		
e) A determinação da direção do raio cósmico primário			X	

Quadro 6.1. Análise geral do grupo 1 - 2º ano

Grupo 2 - 2º ano

Figura 6.2. Mapa conceitual do grupo 2 - 2º ano

1. Conceitos

Dos vinte conceitos propostos o grupo utilizou quinze, cuja escolha provavelmente tenha buscado sintetizar o que entenderam sobre o assunto e chegar a um resultado que acreditaram ser suficiente à atividade.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostram uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos, como esperado. Notam-se uma boa estética e a existência de duas ligações cruzadas, das quais somente uma correta. Esta única ligação cruzada válida não apresenta conceitos muito importantes à atividade, não evidenciando reconciliação integrativa propriamente dita.

3. Padrão estrutural

Embora sua estética dê a impressão de se tratar de um mapa tipo rede com várias ligações cruzadas, é possível notar que estas são poucas. A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial, apresentando apenas duas ligações cruzadas – o que o classifica como tipo rede.

As proposições do mapa sinalizam que o grupo atendeu parcialmente às expectativas quanto à origem dos raios cósmicos ao mencionar que *raios cósmicos vêm das galáxias*, associando *galáxias* a um local espacialmente distante da Terra. Aparecem alguns erros conceituais quanto à composição dos raios cósmicos: *raios cósmicos se dividem em moléculas*; não fica clara a forma como os raios cósmicos interagem com a atmosfera e se *transformam em partículas*. O grupo citou os aparatos de detecção dos raios secundários, sem entrar em detalhes de suas funções. Nota-se, portanto, que a dinâmica de detecção dos raios cósmicos e como sua trajetória é determinada não foram totalmente compreendidos.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos		X		
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre			X	
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário			X	

Quadro 6.2. Análise geral do grupo 2 - 2º ano

Grupo 3 - 2º ano

Figura 6.3. Mapa conceitual do grupo 3 - 2º ano

1. Conceitos

Dos vinte conceitos propostos, o grupo utilizou doze, cuja escolha provavelmente tenha procurado sintetizar o que entenderam sobre o assunto e chegar a um resultado que acreditaram ser suficiente à atividade.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. Não aparecem ligações cruzadas, que poderiam aparecer, por exemplo, ligando conceitualmente os tanques e os telescópios associando-os a detectores. Não foi possível identificar reconciliação integrativa.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Há três ramos ligados ao conceito *Raios Cósmicos* e cada ramo é predominantemente do tipo corrente. Estes

tipos de estrutura e a não existência de ligações cruzadas evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa sinalizam que o grupo atendeu parcialmente às expectativas quanto à origem dos raios cósmicos ao mencionar que *raios cósmicos vêm das galáxias*. Consideramos que o grupo associa *galáxias* a um local espacialmente distante da Terra. Aparecem algumas ideias incompletas quanto à composição dos raios cósmicos: *raios cósmicos se dividem em pedaços*. Não é citado como os raios cósmicos *se dividem em pedaços* – o que seriam as partículas secundárias. O grupo citou os aparatos de detecção dos raios secundários, associando-os às funções de detecção visual (telescópios) e interação com a águas (tanques) sem entrar em detalhes de como estes dados permitem a detecção dos raios secundários e a determinação da trajetória do raio primário.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos		X		
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre				X
d) A detecção das partículas dos raios secundários		X		
e) A determinação da direção do raio cósmico primário				X

Quadro 6.3. Análise geral do grupo 3 - 2º ano

Grupo 4 - 2º ano **Figura 6.4. Mapa conceitual do grupo 4 - 2º ano****1. Conceitos**

Dos vinte conceitos propostos o grupo utilizou dezoito. A escolha de quase todos os conceitos procurou atender ao que foi solicitado na atividade.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Há quatro ramos ligados ao conceito *Raios Cósmicos* e cada ramo é do tipo corrente. Estes tipos de estrutura e

a não existência de ligações cruzadas evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa apontam que o grupo compreendeu a origem dos raios cósmicos ao mencionar que *os raios cósmicos partem das galáxias em direção à Terra*. Embora subentenda-se nessa proposição que os raios somente chegam à Terra, a origem em um ponto distante do planeta Terra é clara. Há erro conceitual quanto à composição dos raios cósmicos: *raios cósmicos são compostos por massa e água*. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera é citada pelo grupo: *Os raios cósmicos chegam na atmosfera com uma velocidade e tempo, muito acelerados, e se quebram em partículas menores quando batem nas moléculas*. Embora haja alguns erros conceituais quanto à aceleração e inapropriação no uso do termo tempo, é claro o choque dos raios cósmicos com moléculas da atmosfera e consequente criação de partículas secundárias. O grupo citou apenas os tanques como forma de detecção dos raios secundários e explicou seu funcionamento de forma confusa a detecção dos raios secundários e a determinação da trajetória do raio primário.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos	X			
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre	X			
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário				X

Quadro 6.4. Análise geral do grupo 4 - 2º ano

Grupo 5 - 2º ano

Figura 6.5. Mapa conceitual do grupo 5 - 2º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os vinte conceitos propostos. A escolha de todos os conceitos propostos buscou atender ao que foi solicitado e é um indício de criatividade.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial, prevalecendo o primeiro. Estes tipos de estrutura e a não existência de ligações cruzadas evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa indicam que o grupo atendeu parcialmente às expectativas quanto à origem dos raios cósmicos ao mencionar que *raios cósmicos vêm das galáxias*. O grupo associa *galáxias* a um local espacialmente distante da Terra. Aparece um erro conceitual quanto à composição dos raios cósmicos: *raios cósmicos são uma energia*. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre não é explicada de forma completa, não sendo explicitado porque os raios *se dividem em várias partículas*. Quanto à detecção dos raios secundários, há erros conceituais: *os telescópios servem como detectores de moléculas, existem várias antenas para captar os raios*. Nota-se, portanto, que a dinâmica de detecção dos raios cósmicos e como sua trajetória é determinada não foi compreendida pelo grupo.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos		X		
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		
d) A detecção das partículas dos raios secundários		X		
e) A determinação da direção do raio cósmico primário			X	

Quadro 6.5. Análise geral do grupo 5 - 2ºano

Grupo 6 - 2ºano **Figura 6.6. Mapa conceitual do grupo 6 - 2ºano****1. Conceitos**

Dos vinte conceitos propostos o grupo utilizou doze. Tal escolha buscou sintetizar o que entenderam sobre o assunto e chegar a um resultado que acreditaram ser suficiente à atividade.

2. Relações entre os conceitos

Os conceitos e suas ligações mostram uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. Notam-se, porém, conceitos “soltos”, sem ligações, um indicativo de falta de compreensão das relações entre os conceitos escolhidos.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa apresenta os tipos corrente e radial. Há dois ramos ligados ao conceito *Raios Cósmicos* e cada ramo é do tipo corrente. Estes tipos de estrutura e a não existência de ligações cruzadas evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa indicam que o grupo compreendeu a origem dos raios cósmicos ao mencionar que *os raios cósmicos saem das galáxias em direção à Terra*. Embora subentenda-se nessa proposição que os raios somente cheguem à Terra, a origem em um ponto distante do planeta Terra é clara. Não há referências quanto à composição dos raios cósmicos. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre não é explicada de forma completa, sendo mencionada apenas a colisão dos raios com as moléculas da atmosfera, não sendo dito o que ocorre devido a esse choque. Quanto à detecção dos raios secundários, há erros conceituais: *o telescópio capta as imagens dos raios*, o que sugere que os raios são detectados pelos telescópios. Não é mencionada a determinação da trajetória do raio cósmico primário.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos	X			
b) Composição dos raios cósmicos				X
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário				X

Quadro 6.6. Análise geral do grupo 6 - 2º ano

Com base nos quadros de análise geral dos grupos, construímos um gráfico (gráf. 6.1) a fim de apresentar a evolução conceitual obtida nesta sala.

Gráfico 6.1. Análise geral dos grupos – turma 1 (2º ano)

6.2.2. Turma 2 (terceiro ano – setembro de 2012)

A quantidade de conceitos levantados pela turma foi quinze: raios cósmicos, tanques, partículas, radiação, direção, tempo, átomos, núcleos, luz, velocidade, detectores, atmosfera, energia, centro de massa, galáxias.

Grupo 1 - 3ºano **Figura 6.7. Mapa conceitual do grupo 1 - 3ºano****1. Conceitos**

O grupo utilizou todos os quinze conceitos propostos, buscando atender ao que foi solicitado. Isto também é um indício de criatividade.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Há quatro ramos ligados ao conceito *Raios Cósmicos* e cada ramo é do tipo corrente. Estes tipos de estrutura e a não existência de ligações cruzadas evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa indicam que o grupo compreendeu a origem dos raios cósmicos ao mencionar que *os raios cósmicos vêm de galáxias distantes em direção à atmosfera*. Embora subentenda-se nessa proposição que os raios somente cheguem à Terra, a origem dos raios é correta. Quanto à composição dos raios cósmicos, é correta a afirmação: *raios cósmicos são núcleos de alta energia*. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera não é citada pelo grupo. O grupo citou apenas os tanques como forma de detecção dos raios secundários sem explicar seu funcionamento. Além disso, há um erro conceitual na afirmação de que *os raios cósmicos atingem os detectores dos tanques*. A determinação da trajetória do raio primário não é citada.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos	X			
b) Composição dos raios cósmicos	X			
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre				X
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário				X

Quadro 6.7. Análise geral do grupo 1 - 3º ano

Grupo 2 - 3ºano

Figura 6.8. Mapa conceitual do grupo 2 - 3ºano

1. Conceitos

O grupo utilizou treze dos quinze conceitos propostos. A escolha de quase todos os conceitos buscou atender ao que foi solicitado.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostram uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial, prevalecendo o primeiro. Há praticamente um único ramo ligado ao conceito *Raios Cósmicos*. Estes tipos de estrutura e a não existência de ligações cruzadas evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa indicam que o grupo compreendeu a origem dos raios cósmicos ao mencionar que *os raios cósmicos vêm das galáxias na direção da Terra*. Embora subentenda-se nessa proposição que os raios somente cheguem à Terra, a origem dos raios é correta. Quanto à composição dos raios cósmicos, há um erro conceitual na afirmação: *raios cósmicos são um tipo de radiação*. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera foi corretamente entendida pelo grupo. O grupo associa a detecção das partículas dos raios secundários à identificação das *partículas pelos detectores* e à determinação do *tempo de chegada*. A determinação da trajetória do raio primário não é citada.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos	X			
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre	X			
d) A detecção das partículas dos raios secundários		X		
e) A determinação da direção do raio cósmico primário				X

Quadro 6.8. Análise geral do grupo 1 - 3º ano

Grupo 3 - 3ºano

Figura 6.9. Mapa conceitual do grupo 3 - 3ºano

1. Conceitos

O grupo utilizou oito dos quinze conceitos propostos. O grupo buscou sintetizar o que entendeu sobre o assunto e chegar a um resultado que acreditou ser suficiente à atividade.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostram uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados. Além disso, notam-se algumas ligações entre os conceitos com frases longas. Essas frases são oriundas do texto que os alunos receberam antes da elaboração dos mapas para revisar o conteúdo. A frase *núcleos*

reagem com um raio cósmico penetrando na atmosfera originando grande número de partículas apresenta alguns conceitos propostos e poderiam ser separados da frase para melhorar a estrutura do mapa. A frase *que são pouco prováveis que um raio cósmico sobreviva ao atingir a atmosfera* é inapropriada ao contexto do assunto desenvolvido no mapa.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Estes tipos de estrutura e a não existência de ligações cruzadas evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

A origem dos raios cósmicos não é citada. Quanto à composição dos raios cósmicos, só existe a citação de que *raios cósmicos são núcleos*, o que é muito vago. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera é imprecisa pois o grupo se confunde afirmando que *núcleos reagem com um raio cósmico penetrando na atmosfera originando grande número de partículas*. O grupo associa a detecção das partículas dos raios secundários apenas com a captação da radiação pelo telescópio. A determinação da trajetória do raio primário não é citada.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos		X		
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário				X

Quadro 6.9. Análise geral do grupo 3 - 3º ano

Grupo 4 - 3ºano

Figura 6.10. Mapa conceitual do grupo 4 - 3ºano

1. *Conceitos*

O grupo utilizou treze dos quinze conceitos propostos. A escolha de quase todos os conceitos buscou atender ao que foi solicitado.

2. *Relações entre os conceitos*

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra que não ocorreu diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos devido ao número excessivo de erros conceituais. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. *Padrão estrutural*

A estrutura desse mapa é do tipo corrente. Este tipo de estrutura, com ausência de ramificações e ligações cruzadas evidencia, em geral, falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados e baixo nível de aprendizagem significativa.

As proposições do mapa corroboram as conclusões obtidas na avaliação de seu padrão estrutural. O mapa está repleto de erros conceituais indicando que nenhum dos objetivos foi atingido.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos			X	
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre			X	
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário			X	

Quadro 6.10. Análise geral do grupo 4 - 3º ano

Grupo 5- 3ºano

Figura 6.11. Mapa conceitual do grupo 5 - 3ºano

1. Conceitos

O grupo utilizou treze dos quinze conceitos propostos. A escolha de quase todos os conceitos propostos buscou atender ao que foi solicitado.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos, como esperado. Há ocorrência de algumas ligações cruzadas, o que é um indício de reconciliação integrativa dos conceitos tratados. Além disso, notam-se muitas ligações entre os conceitos através de frases. A organização dessas frases tornou a compreensão do mapa conceitual não-direta e confusa.

3. Padrão estrutural

Embora o mapa apresente estrutura não formal, as ligações feitas entre as frases alternam-se entre os tipos corrente e radial, apresentando apenas ligações cruzadas – o que o classifica como tipo rede. A existência de ligações cruzadas podem denotar profundidade no entendimento dos conceitos tratados e aprendizagem significativa.

As proposições do mapa sinalizam que o grupo compreendeu a origem e a composição dos raios cósmicos ao mencionar que *os raios cósmicos são núcleos que provêm de galáxias distantes*. A interação dos raios cósmicos com a atmosfera foi parcialmente entendida pelo grupo pois é citado que *os raios cósmicos entram na atmosfera e começam a se despedaçar em pequenas partículas*. Não é explicado o porquê de os núcleos se “despedaçarem”. O grupo associa a determinação da direção de chegada dos raios cósmicos com o tempo de chegada das partículas secundárias até a Terra e com o cálculo do centro de massa dessas partículas.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos	X			
b) Composição dos raios cósmicos	X			
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		
d) A detecção das partículas dos raios secundários		X		
e) A determinação da direção do raio cósmico primário		X		

Quadro 6.11. Análise geral do grupo 5 - 3º ano

Grupo 6 - 3º ano

Figura 6.12. Mapa conceitual do grupo 6 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os conceitos propostos e ainda acrescentou *Observatório Pierre Auger* e *Universo*. Tal escolha buscou atender plenamente ao que foi solicitado e é um indício de criatividade.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos mas também de outros conceitos como núcleos e tanques. Há

ocorrência de algumas ligações cruzadas, o que é um indício de reconciliação integrativa dos conceitos tratados. Além disso, notam-se muitas ligações entre os conceitos através de frases.

3. Padrão estrutural

Embora o mapa apresente estrutura não formal, as ligações feitas entre as frases alternam-se entre os tipos corrente e radial, apresentando apenas ligações cruzadas – o que o classifica como tipo rede. A existência de ligações cruzadas podem denotar profundidade no entendimento dos conceitos tratados e aprendizagem significativa.

As proposições do mapa indicam que o grupo atendeu plenamente às expectativas quanto à origem e composição dos raios cósmicos ao mencionar que: *Raios cósmicos são partículas de alta energia que se deslocam próximas da velocidade da luz e Raios cósmicos são partículas vindas do espaço liberadas por galáxias distantes*. Ao falar da interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre o grupo confundiu-se ao tratar dos constituintes da atmosfera e do raio cósmico: *Raios cósmicos possuem núcleos de átomos de hidrogênio e oxigênio da atmosfera terrestre*. O grupo atendeu parcialmente às expectativas quanto à detecção dos raios secundários pois não aparece alusão à formação de outras partículas a partir do raio cósmico primário, ficando a impressão de que é o raio cósmico primário que chega aos tanques. Quanto à determinação da direção do raio cósmico primário, consideramos que o grupo percebeu a importância dos detectores nos tanques para determinação de tempo de chegada e para o cálculo do centro de massa. Entretanto, acreditamos que houve conhecimento parcial deste tópico, evidenciado pela ausência da informação de que o raio cósmico primário gera outras partículas e que são estas últimas que atingem os tanques.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos	X			
b) Composição dos raios cósmicos	X			
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		
d) A detecção das partículas dos raios secundários		X		
e) A determinação da direção do raio cósmico primário		X		

Quadro 6.12 Análise geral do grupo 5 - 3º ano

Com base nos quadros de análise geral dos grupos, construímos um gráfico (gráfico 6.2) a fim de apresentar o índice de aprendizagem obtido nesta sala.

Gráfico 6.2. Análise geral dos grupos – turma 2 (3º ano)

6.3. Etapa pós-implementação

A análise dos mapas conceituais elaborados pelas turmas 1 e 2 deixou um fato bastante evidente: dentre os 5 tópicos de aprendizagem enunciados na seção 6.1. *Critérios de Análise* (listados abaixo), acredita-se que apenas os três primeiros foram ensinados/aprendidos de forma satisfatória.

- a) Origem dos raios cósmicos;
- b) Composição dos raios cósmicos;
- c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre;
- d) Detecção das partículas dos raios secundários;
- e) Determinação da direção do raio cósmico primário.

Quanto aos dois últimos, *d* e *e*, nenhum dos 12 grupos pesquisados atingiu plenamente os objetivos propostos. Várias são as possibilidades de explicação para esse baixo rendimento. Acredita-se que, de forma geral, os três primeiros assuntos são relativamente mais simples em relação aos últimos. Os detalhes técnicos relacionados com a sequência operacional destes dois itens são relativamente mais complexos. É possível que os alunos tenham se detido em explicar os três primeiros tópicos em detrimento dos dois últimos, resultando em explicação incompleta ou incorreta destes últimos. Além disso, o volume de informações da atividade mostrou-se muito grande para ser tratado em apenas um mapa conceitual.

Assim, resolveu-se modificar sutilmente a atividade, aumentando para dois o número de mapas conceituais a serem construídos pelos alunos. O primeiro envolveu os itens *a*, *b* e *c*, enquanto que o segundo, os itens *d* e *e*. Essa divisão teve com propósito facilitar tanto a explicitação dos conceitos aprendidos pelo aluno, quanto a avaliação do conhecimento apreendido por ele.

Tendo em vista o objetivo de melhorar as habilidades na construção dos mapas conceituais, facilitando a explicitação das ideias dos alunos, realizou-se outra implementação: foram escolhidos quatro dos mapas conceituais que os alunos fizeram no momento de letramento e elaborou-se uma apresentação em *powerpoint* (anexo C) para exibição aos alunos. Os *slides* mostraram os mapas em ordem crescente de qualidade, evidenciando as características esperadas em um mapa bem construído. Paralelamente, apresentou-se uma ferramenta de construção de mapas: o *software* Cmap Tools⁸. Com ele, evidenciou-se a

⁸ Cmap Tools é um *software* desenvolvido pelo Instituto de Cognição Humana e de Máquina da Flórida (IHMC). Seu objetivo é auxiliar na construção, publicação, compartilhamento e colaboração de mapas conceituais.

facilidade de operação, demonstrada com a reprodução digital dos quatro mapas construídos no papel. Foram discutidos os tipos de estruturas dos mapas (corrente, radial e rede); chamou-se a atenção dos alunos para o mapa com estrutura de rede, destacando que ele apresentou maior quantidade e qualidade de informações, indicando sólido conhecimento do assunto tratado.

Embora essas mudanças não sejam consideradas um *redesign* da atividade, acreditou-se que esses pequenos detalhes pudessem facilitar as habilidades de construção de mapas conceituais e melhorar a explicitação dos conhecimentos adquiridos pelos alunos.

A seguir, apresentam-se os dados coletados nesta etapa de pós-implementação.

6.3.1. Turma 3 (terceiro ano – setembro de 2013) - Mapa 1

A questão focal do primeiro mapa foi: *O que são Raios Cósmicos?* A turma elencou nove conceitos: Raios Cósmicos, partículas, energia, núcleos de átomos, Terra, atmosfera, átomos, velocidade e hidrogênio. Deve-se dizer que os alunos foram deixados livres para acrescentar quaisquer outros conceitos que quisessem, a fim de facilitar a confecção dos mapas. Entretanto, nenhum grupo o fez.

Grupo 1 - mapa 1 - 3ºano

Figura 6.13. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 1 - 3ºano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial, prevalecendo esta última. Não foram encontradas ligações cruzadas. Tais características evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa indicam que a composição dos raios cósmicos não foi compreendida de forma correta pelos alunos. Embora haja o entendimento de que *os raios cósmicos são pequenas partículas que caem com velocidade em direção à Terra*, existe certa confusão ao considerarem que as partículas constituintes dos raios cósmicos são *átomos que geralmente são hidrogênio* ao invés de serem formados por núcleos de átomos. Assim, o grupo compreendeu parcialmente a composição dos raios cósmicos. O conceito de energia aparece de forma vaga, ligando-se somente na proposição *raios cósmicos têm energia*, sem qualificar a intensidade dessa energia ou associá-la com velocidade (o que originaria uma ligação cruzada). A origem dos raios cósmicos não é citada e a interação deles com a atmosfera também não.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos		X		
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre				X

Quadro 6.13. Análise geral do grupo 1 - mapa 1 - 3º ano

Grupo 2 - mapa 1 - 3º ano

Figura 6.14. Mapa conceitual do grupo 2 - mapa 1 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos, como esperado. Essa diferenciação progressiva foi prejudicada pela falta de termos de ligação entre os conceitos Raios Cósmicos e Energia, impossibilitando a explicitação da relação entre os dois. Embora ocorram algumas ligações cruzadas, elas são confusas e apresentam erros conceituais, indicando falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial, apresentando ainda ligações cruzadas, o que o classifica como o tipo rede. Embora o tipo rede indique

profunda compreensão no assunto, uma análise das proposições de mapa indica que o entendimento dos assuntos tratados ficou aquém do esperado.

As análises das proposições do mapa mostram que o grupo utilizou algumas ligações confusas. Além disso, ocorrem alguns erros conceituais, ao dizer *a energia que bombardeia a Terra colide com os núcleos de átomos da atmosfera que, com o impacto viram partículas que viram pequenos átomos*. Dizem ainda: *a energia que bombardeia a Terra é observada no núcleo de hidrogênio*. Apesar de confuso e de apresentar erros conceituais, o grupo atingiu parcialmente os objetivos propostos quanto à interação entre raios cósmicos e atmosfera ao associar (ainda que de forma incompleta) energia aos raios cósmicos e perceber as interações devidas a essa energia: *Raios cósmicos colidem com núcleos de átomos da atmosfera e com o impacto viram partículas*. A composição dos raios cósmicos, porém, apresentou muitos erros conceituais. A origem dos raios cósmicos não é citada.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		

Quadro 6.14. Análise geral do grupo 2 - mapa 1 - 3º ano

Grupo 3 - mapa 1 - 3º ano

Figura 6.15. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 1 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. Uma das conexões não apresentou termo de ligação, enquanto que outras utilizaram frases de ligação muito longas. A ligação cruzada que aparece no mapa associa a interação das partículas e da energia dos raios cósmicos com a atmosfera. Entretanto, essa ligação cruzada não evidencia reconciliação integrativa dos conceitos tratados pois apresenta o conceito de energia não explicado ou separado do conceito de raio cósmico.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa é preponderantemente radial. Apresentando ainda uma ligação cruzada, o que o classifica como o tipo rede. Embora o tipo rede indique profunda compreensão no assunto, uma análise das proposições de mapa indica que o entendimento dos assuntos tratados ficou aquém do esperado.

O mapa apresenta muitos erros conceituais como: *a Terra é composta por hidrogênio, a energia dos raios cósmicos bate na atmosfera e reage com o estado gasoso em vários núcleos de átomos. Acredita-se que a proposição Raios cósmicos precisam esperar séculos ou estão construindo gigantes detectores de partículas* tinha intenção de falar sobre a dificuldade de se captar raios cósmicos de alta energia, mas ficou incorreta. A ideia de que a interação dos raios cósmicos com a atmosfera cria novas partículas aparece de forma pouco precisa: *partículas são feitas quando bate na atmosfera*. Considera-se que o grupo não compreendeu a composição dos raios cósmicos. A origem dos raios cósmicos não é citada.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos			X	
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre			X	

Quadro 6.15. Análise geral do grupo 3 - mapa 1 - 3º ano

Grupo 4 - mapa 1 - 3ºano

Figura 6.16. Mapa conceitual do grupo 4 - mapa 1 - 3ºano
1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos, como esperado. Há várias ligações cruzadas que evidenciam reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa é preponderantemente radial. Apresenta ligações cruzadas, o que o classifica como o tipo rede. Este tipo de padrão indica profunda compreensão dos assuntos tratados.

Uma análise das proposições do mapa sinaliza que os objetivos esperados foram atendidos satisfatoriamente. Embora apareçam alguns erros conceituais como *partículas utilizam energia* ou *energia é velocidade* ou *Terra exige o hidrogênio*, é possível concluir que a composição dos raios cósmicos foi bem compreendida pelos alunos do grupo. A origem dos raios cósmicos e sua interação com a atmosfera não são citadas.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos		X		
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre				X

Quadro 6.16. Análise geral do grupo 4 - mapa 1 - 3ºano

Grupo 5 - mapa 1 - 3ºano

O grupo não entregou a atividade.

Grupo 6 - mapa 1 - 3ºano

Figura 6.17. Mapa conceitual do grupo 6 - mapa 1 - 3ºano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito *raios cósmicos*, como esperado. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa é preponderantemente radial, apresentando apenas uma ligação do tipo corrente. Não há ocorrência de ligações cruzadas. Tais características evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

A análise das proposições do mapa mostra que os objetivos esperados quanto à interação dos raios cósmicos com a atmosfera foram atendidos satisfatoriamente, enquanto que a respeito da composição dos raios cósmicos houve alguns erros conceituais. O grupo diz que *átomos são pequenas partículas* e ainda *raios cósmicos são partículas*. Embora essas frases sejam individualmente corretas, o contexto mostra que não ficou claro se o grupo entende que raios cósmicos não são átomos. A única ligação cruzada que aparece não é válida pois não há sentido na proposição *átomos com velocidade – Terra*. Nesse caso fica evidente a tentativa de utilizar o conceito velocidade, mas sem sucesso. A origem dos raios cósmicos não é citada.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos		X		
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre	X			

Quadro 6.17. Análise geral do grupo 6 - mapa 1 - 3ºano

Grupo 7 - mapa 1 - 3ºano

Figura 6.18. Mapa conceitual do grupo 7 - mapa 1 - 3ºano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos, como esperado. Existe uma ligação cruzada, mas a mesma não é válida por apresentar um erro conceitual: *Raios Cósmicos é uma energia*. O outro ramo apresenta a informação mais completa: *raios cósmicos são pequenas partículas que contêm energia*. O mapa apresenta ligações confusas entre os conceitos, com várias linhas de ligação chegando e saindo de um mesmo ponto, o que impossibilita leitura clara. A falta de ligações cruzadas válidas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Não há ocorrência de ligações cruzadas válidas. Tais características evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

A leitura do mapa foi prejudicada pela forma como as ligações foram feitas. Alguns conceitos não apresentaram ligações inteligíveis. Algumas proposições ficaram incompletas, como *existem átomos...*, *uma velocidade...* Algumas proposições aparecem de forma correta, como: *Raios cósmicos são núcleos de átomos*, *Raios cósmicos atingem a atmosfera da Terra*. Outras proposições, entretanto, evidenciam que o grupo atingiu parcialmente os objetivos propostos: *Raios Cósmicos é uma energia*, *Raios cósmicos são átomos de hidrogênio*. A origem da radiação cósmica não é citada.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos		X		
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre		X		

Quadro 6.18. Análise geral do grupo 7 - mapa 1 - 3º ano

Grupo 8 - mapa 1 - 3º ano

Figura 6.19. Mapa conceitual do grupo 8 - mapa 1 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos, como esperado. A ligação cruzada que aparece diz que *Raios cósmicos são partículas que têm velocidade, penetram na atmosfera e atingem a Terra* e no outro ramo: *Raios cósmicos têm energia que atinge a Terra* – ideias equivalentes. A falta de ligações cruzadas válidas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Não há ocorrência de ligações cruzadas válidas. Tais características evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

A proposição *Raios cósmicos são núcleos de hidrogênio* sugere que todos os raios cósmicos têm essa composição, o que não é verdadeiro. Também não é correto que *Raios cósmicos são formados por átomos*. Por outro lado, a proposição *Raios cósmicos são partículas que têm velocidade, penetram na atmosfera e atingem a Terra* e *Raios cósmicos são partículas que têm núcleos de átomos* resume os conceitos esperados com respeito à composição dos raios cósmicos. Assim, o grupo atendeu parcialmente a esses objetivos. A origem dos raios cósmicos e sua interação com a atmosfera não são citadas.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
a) Origem dos raios cósmicos				X
b) Composição dos raios cósmicos		X		
c) Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre				X

Quadro 6.19. Análise geral do grupo 8 - mapa 1 - 3ºano

Com base nos quadros de análise geral dos grupos, construímos um gráfico (gráf. 6.3) a fim de apresentar o índice de aprendizagem obtido nesta sala.

Gráfico 6.3. Análise geral dos grupos – mapa 1 – turma 3 (3º ano)

6.3.2. Turma 3 (terceiro ano – setembro de 2013) - Mapa 2

A questão focal do primeiro mapa foi: *Como determinar a direção de chegada de um raio cósmico?* A turma elencou nove conceitos: raio cósmico primário, raio cósmico secundário, telescópio de fluorescência, dados, energia das partículas, tempo de chegada, luz. Deve-se dizer que os alunos foram deixados livres para acrescentar quaisquer outros conceitos que quisessem a fim de facilitar a confecção dos mapas.

Grupo 1 - mapa 2 - 3º ano

Figura 6.20. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 2 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou oito dos nove conceitos propostos. O conceito *tanques detectores* não foi utilizado, dando lugar ao conceito *Tempo detectado*. Esta foi uma mudança nos pareceu inesperada, uma vez que os tanques são o principal local de tomada de dados. O grupo também optou por trocar o conceito *energia das partículas* por *partículas de energia*.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos. Nota-se que o conhecimento dos alunos quanto às características e propriedades dos raios cósmicos tornou-se mais elaborado e profundo, como esperado. A ligação cruzada que aparece mostra repetição no ramo em que os conceitos *tempo de chegada* e *tempo detectado* são ligados ao termo *dados*. Além disso, ela associa o *telescópio de*

fluorescência com a verificação do *tempo de chegada* (tempo de disparo que na verdade é medido nos tanques). No outro ramo, é dito que *o telescópio de fluorescência verifica a direção da chegada armazenada nos dados*. Aqui, a proposição é correta e, nesse caso, acreditamos a ligação cruzada não deve ser totalmente invalidada. Assim, podemos afirmar que houve reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Há ligação cruzada com proposições que contêm erro conceitual, mas parte dela é válida. Tais características evidenciam certa profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa indicam que o processo de detecção dos raios cósmicos foi razoavelmente compreendido pelos alunos. Alguns erros conceituais aparecem: *raios secundários são conhecidos como partículas de energia e partículas de energia parecem um conjunto de luz*. Entretanto, o grupo corretamente diz que *Raios cósmicos primários ao cair formam raios secundários cujas partículas são detectadas pelos telescópios de fluorescência, os quais verificam a direção da chegada*. Não há qualquer alusão aos tanques, o que poderia indicar que o grupo ignorou tais aparatos que são muito importantes no processo de detecção estudado. Assim, consideramos que o grupo compreendeu parcialmente o processo de detecção dos raios secundários e determinação da direção de chegada dos raios cósmicos.

	Não citou	Não atingiu	Atingiu parcialmente	Atingiu plenamente
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário			X	

Quadro 6.20. Análise geral do grupo 1 - mapa 2 - 3º ano

Grupo 2 - mapa 2 - 3º ano

O grupo não entregou a atividade.

Grupo 3 - mapa 2 - 3º ano

O grupo não entregou a atividade.

Grupo 4 - mapa 2 - 3º ano

Figura 6.21. Mapa conceitual do grupo 4 - mapa 2 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou todos os nove conceitos propostos, atendendo ao que foi solicitado pelo professor sem, entretanto, acrescentar quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra uma diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos. Nota-se que o conhecimento dos alunos quanto às características

e propriedades dos raios cósmicos tornou-se mais elaborado e profundo, como esperado. Há várias ligações cruzadas que evidenciam reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa é preponderantemente radial. Apresenta ligações cruzadas, o que o classifica como o tipo rede. Este tipo de padrão indica profunda compreensão dos assuntos tratados.

Alguns erros conceituais aparecem no mapa: *a direção de chegada indica o tempo de chegada, a energia das partículas calcula o tempo de chegada*. Por outro lado, a análise das várias proposições contidas no mapa mostra uma boa compreensão do assunto tratado. Fica clara, por exemplo, a função dos tanques e dos telescópios de fluorescência para se chegar aos objetivos do Observatório Pierre Auger.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
d) A detecção das partículas dos raios secundários	X			
e) A determinação da direção do raio cósmico primário	X			

Quadro 6.21. Análise geral do grupo 4 - mapa 2 - 3º ano

Grupo 5 - mapa 2 - 3º ano

O grupo não entregou a atividade.

Grupo 6 - mapa 2 - 3º ano

O grupo não entregou a atividade.

Grupo 7 - mapa 2 - 3º ano

Figura 6.22. Mapa conceitual do grupo 7 - mapa 2 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou os nove conceitos propostos. Não acrescentou quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra baixa diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos. Notam-se frases conectando os conceitos ao invés de verbos apropriados, algumas conexões não apresentam verbos. A ausência de ligações cruzadas é um indício de falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Não há ligações cruzadas. Tais características evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados.

As proposições do mapa indicam que o processo de detecção dos raios cósmicos não foi bem compreendido pelos alunos. Um erro conceitual que chama atenção é o uso das denominações *camada de raios cósmicos primários* e *camada de raios cósmicos secundários*. Essa forma de se referir aos raios cósmicos indica, possivelmente, um entendimento incorreto de sua natureza. A medição do tempo de chegada das *energias de partículas* (raios cósmicos secundários) é creditada ao telescópio de fluorescência e não aos tanques detectores, como seria correto. Assim, consideramos que o grupo não compreendeu nem o processo de detecção dos raios secundários e nem a determinação da direção de chegada dos raios cósmicos.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário			X	

Quadro 6.22. Análise geral do grupo 7 - mapa 2 - 3º ano

Grupo 8 - mapa 2 - 3º ano

Figura 6.23. Mapa conceitual do grupo 8 - mapa 2 - 3º ano

1. Conceitos

O grupo utilizou os nove conceitos propostos. Não acrescentou quaisquer outros conceitos.

2. Relações entre os conceitos

A análise dos conceitos e de suas ligações mostra baixa diferenciação progressiva do conceito raios cósmicos. Notam-se frases conectando os conceitos ao invés de verbos apropriados, algumas conexões não apresentam verbos. Algumas dessas conexões fazem parte

das ligações cruzadas e, portanto, essas ligações cruzadas não são válidas. Um mapa conceitual com essas características evidencia falta de reconciliação integrativa dos conceitos tratados por parte dos estudantes.

3. Padrão estrutural

A estrutura desse mapa alterna-se entre os tipos corrente e radial. Notam-se ligações cruzadas, mas uma análise mais profunda mostra que elas não são válidas. Tais características evidenciam falta de profundidade no entendimento dos conceitos tratados. As proposições do mapa indicam que o processo de detecção dos raios cósmicos não foi bem compreendido pelos alunos. O grupo não faz distinção entre os raios cósmicos primários e secundários, dizendo que *ambos atingem nosso planeta e as partículas chegam aos tanques detectores*. Há algumas proposições imprecisas, como: *a energia das partículas dos raios transmite dados aos tanques detectores* e ainda: *a direção da luz serve para determinar a direção de onde vêm os raios cósmicos primários e secundários*. Uma proposição clara e correta diz: *A energia das partículas é detectada pelo telescópio de fluorescência*. Assim, considera-se que o grupo não compreendeu nem o processo de detecção dos raios secundários e nem a determinação da direção de chegada dos raios cósmicos.

	Atingiu plenamente	Atingiu parcialmente	Não atingiu	Não citou
d) A detecção das partículas dos raios secundários			X	
e) A determinação da direção do raio cósmico primário			X	

Quadro 6.23. Análise geral do grupo 8 - mapa 2 - 3º ano

Com base nos quadros de análise geral dos grupos, construímos um gráfico (gráf. 6.4) a fim de apresentar o índice de aprendizagem obtido nesta sala.

Gráfico 6.4. Análise geral dos grupos – mapa 2 – turma 3 (3º ano)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho investigou, sob a luz da metodologia Design-Based Research, uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de astrofísica de partículas. Nesse processo, buscou-se implementar uma atividade específica a respeito de raios cósmicos ao mesmo tempo em que se buscou levantar ações necessárias a uma aprendizagem significativa dos alunos, visando o refinamento de tal sequência. A análise dos dados obtidos desempenhou um importante papel nesse refinamento, já que indicou os caminhos a serem seguidos para que as atividades desenvolvidas fizessem parte do rol de conhecimentos do aluno. Esperou-se que este conhecimento, longe de ser mecânico e passageiro, fosse significativo ao aluno. Ou seja, esperou-se que os conteúdos tratados se entrelaçassem a conhecimentos prévios e se transformassem em conhecimento mais estável e rico em significados. Por este viés, escolhemos a Teoria da Aprendizagem Significativa para interpretar os dados coletados neste estudo. Para isso, utilizamos os mapas conceituais como instrumento didático que, além de facilitar a apreensão significativa de novas informações também serviu de instrumento de avaliação da aprendizagem. A forma qualitativa de análise dos mapas conceituais aqui descrita, em conjunto com outras características dos mapas, algumas delas quantitativas, como número de conceitos utilizados, ocorrência de ligações cruzadas e estrutura do mapa, constituíram uma forma adequada de tratamento dos dados.

A avaliação quantitativa de um mapa conceitual, com atribuição de um escore, não é consenso no meio acadêmico por carecer de maior clareza em relação àquilo que o mapa revela. Por outro lado, os mapas se mostraram uma forma de avaliação muito efetiva em levantar erros conceituais dos alunos e indicar quais conceitos deveriam ser retomados. Logo, este instrumento metodológico permitiu indicar caminhos a seguir para atingir os objetivos de aprendizagem propostos e avaliar o sucesso da implementação da sequência didática, mostrando-se uma importante ferramenta de avaliação e promoção de aprendizagem significativa.

O mapa conceitual que aparece na fig. 6.21., pág. 116, destaca-se entre os mapas por apresentar várias ligações cruzadas. A princípio essas ligações não determinam que a aprendizagem efetivamente foi significativa. Entretanto, a análise geral das proposições do mapa indicou que, embora algumas delas apresentassem erros, a maioria delas trouxe informações corretas e relevantes, indicando que foram feitas relações muito significativas entre os conceitos apresentados. Embora os conceitos utilizados já estivessem intimamente

conectados, sendo fácil criar ligações cruzadas, pode-se dizer que houve reconciliação integrativa entre alguns conceitos, ou seja, alguns elementos distintos já diferenciados e estáveis se relacionaram entre si. Sendo assim, pode-se afirmar que um conjunto considerável de novas informações desconhecidas sobre raios cósmicos começou a apresentar significados para os autores dos mapas. Essas novas informações se ancoram nas estruturas cognitivas preexistentes dos indivíduos, de maneira que as interações ocorridas entre essas novas informações e o antigo conhecimento fizeram com que ambos se modificassem. Nesse processo dinâmico, novos significados aos conceitos foram criados e os conhecimentos específicos tratados foram se construindo, tornando-se cada vez mais diferenciados e estáveis. Como consequência disso, pode-se afirmar que a aprendizagem advinda dessas atividades foi significativa.

Os dados desta pesquisa foram coletados em duas etapas distintas e em condições também distintas. Notou-se que, embora heterogêneas e compostas por alunos do segundo e terceiro anos do ensino médio noturno, as turmas participantes do estudo apresentaram resultados semelhantes.

A primeira implementação feita na atividade utilizada neste trabalho, em relação ao material inicial (quadro 5.1., pág. 56) consistiu em: introdução ao assunto feita com apresentação digital e discussão, letramento dos alunos em mapas conceituais e utilização de texto para discussão antes da confecção dos mapas conceituais. Buscou-se, assim, utilizar abordagens diferentes para facilitar a aprendizagem dos alunos. A sequência didática aplicada pelo professor na turma piloto 1 (2º ano do ensino médio) não apresentou diferenças substanciais em relação à sequência aplicada na turma piloto 2 (3º ano do ensino médio). Isso evidencia que a sequência didática utilizada não necessitou de pré-requisitos de conteúdos específicos típicos de certa série. Da primeira turma para a segunda, o texto utilizado para discussão foi seguido de um pequeno questionário que tinha como objetivo formalizar os conhecimentos obtidos na discussão.

Comparando as análises gerais dos dois primeiros grupos da etapa piloto (gráficos 6.1 e 6.2, págs. 72 e 74) é possível perceber uma sensível diferença entre eles, sendo evidenciado resultado melhor na turma 2 (3º ano). Acredita-se que esse resultado superior é fruto da implementação recebida em relação à primeira turma, da maior maturidade dos alunos de 3º ano mas, sobretudo, de uma adequação maior do professor em face dos resultados da primeira aplicação da sequência de ensino e aprendizagem. Isso torna bastante evidente o papel da avaliação no processo educacional: fornecer informações que permitam

orientar as ações que visam facilitar o processo de aprendizagem. Espera-se, portanto, uma atenção maior do professor em relação a este momento do processo educacional.

Conforme já exposto na seção 6.3., o baixo rendimento em relação aos detalhes do processo de detecção dos raios cósmicos secundários e determinação da direção de chegada do raio cósmico primário deu rumo a mais uma pequena mudança na sequência didática: separar a sequência em dois momentos com a consequente confecção de dois mapas conceituais. Embora essa mudança pareça ser pequena, acredita-se que a retomada do assunto em duas partes favoreça uma maior aprendizagem, considerando-se a relativa complexidade do processo de detecção dos raios cósmicos.

O gráfico 7.1 mostra a comparação entre as turma 2 (etapa piloto) e 3 (etapa pós-implementação), ambas do 3º ano do ensino médio e mesma faixa etária, para cada um dos tópicos avaliados. Percebeu-se que:

- a) **Origem dos raios cósmicos** – nenhum dos grupos da turma pós-implementação citou a origem dos raios cósmicos. Isso se deveu à ausência de conceitos relacionados com o assunto, no momento do levantamento de termos para a construção do mapa conceitual.
- b) **Composição dos raios cósmicos** – 33% dos grupos da turma piloto não atingiram aos objetivos deste tópico, enquanto que na turma pós-implementação este índice caiu para 29%.
- c) **Interação dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre** – 20% dos grupos da turma piloto não atingiram aos objetivos deste tópico, enquanto que na turma pós-implementação este índice subiu para 25%.
- d) **Detecção das partículas dos raios secundários** – metade dos grupos das duas turmas, piloto e pós-implementação, não atingiu aos objetivos deste tópico.
- e) **Determinação da direção do raio cósmico primário** – 33% dos grupos da turma piloto não atingiram aos objetivos deste tópico, enquanto que na turma pós-implementação este índice subiu para 50%.

Gráfico 7.1. Percentual de não-atendimento aos objetivos propostos, turmas 2 e 3

Embora o rendimento da turma piloto tenha sido melhor que o da pós-implementação, a diferença entre eles é muito pequena. O referencial teórico que influenciou este trabalho, a metodologia DBR, aponta para a multiplicidade de situações em um ambiente educacional, originando um grande número de variáveis que não podem ser controladas. Assim, existem fatores que não aparecem nessa análise mas que são de grande importância nos indicadores de aprendizagem. Entre esses fatores, o que mais se destaca tem relação com o comprometimento dos alunos. A turma piloto sempre se mostrou mais receptiva, assídua e aplicada em relação à turma pós-implementação, não somente na aplicação desta sequência didática em particular, mas também nas atividades do cotidiano escolar (opinião compartilhada por professores que trabalhavam com estas turmas).

Dessa maneira, as análises efetuadas nessas duas turmas com diferentes perfis não são suficientes para afirmar que as implementações feitas nos procedimentos utilizados na turma de pós-implementação conduziram a uma aprendizagem de nível mais alto. Entretanto, acredita-se que uma mesma sequência didática aplicada às duas turmas traria melhores resultados na turma piloto (devido ao seu maior comprometimento). De outra perspectiva: se as atividades foram capazes de obter resultados muito próximos em turmas com rendimentos tão diferentes, é possível concluir que as implementações realizadas, aliadas a uma adequação do professor à sequência didática, trouxeram resultados muito positivos.

Sob uma perspectiva empírica, notou-se que as atividades propostas foram capazes de motivar os alunos. Certos alunos que em outras ocasiões não manifestavam qualquer interesse, mostraram-se mais propensos a entender o fenômeno, o processo de detecção e o tratamento dos dados, participando ativamente de todas as etapas das atividades. Mesmo em atividades comuns de sala, como as de exposição do conteúdo, houve maior participação.

As discussões sobre assuntos relacionados à atividade, como perigos da radiação cósmica, origem e estrutura do Universo, a tecnologia envolvida na detecção dos raios cósmicos, a atualidade desse estudo etc., despertaram o interesse dos estudantes. A elaboração de mapas conceituais colaborativos facilitou uma interação produtiva entre os educandos, auxiliando na criação de significados a conceitos objetos deste conjunto de atividades. Esse maior envolvimento dos estudantes, nas condições citadas, nos aponta a importância da realização de atividades diferentes das expositivas tradicionais a fim de se inserir novos conteúdos educacionais.

É fato que introduzir novos assuntos no currículo do Ensino Médio não é fácil. Ainda que a quantidade de recursos metodológicos para a implantação de sequências didáticas inovadoras seja grande, a estruturação do planejamento, a implementação e a avaliação das mesmas geram insegurança à grande maioria dos educadores. O tema *raios cósmicos*, mesmo atual, tratando de descobertas recentes da ciência e remontando a mais de um século de descobertas, ainda se mostra ausente na grande maioria dos livros didáticos. Portanto, é de grande importância que este tema seja transposto do saber científico para a sala de aula.

O ambiente onde as atividades foram executadas corresponde àquele típico das escolas brasileiras. Dessa maneira, os pré-requisitos necessários ao sucesso da sequência didática são poucos, não dependendo de fatores muito específicos, como conhecimento prévio elaborado, série que o estudante ocupa, recursos didáticos custosos etc.

A abordagem metodológica DBR apresentou-se como uma possibilidade para tratar da inserção de conteúdos inovadores por unir pesquisas teóricas e dados experimentais de cientistas com a prática educacional. Conforme essa abordagem, uma sequência didática deve passar pelo ciclo: *design*, ação, análise e *redesign*. Por inspirar-se nessa metodologia, a atividade inicial que serviu de base para este trabalho (quadro 5.1., pág. 56) apresentou um novo *design*. A seguir, essa sequência foi aplicada em sala de aula, sua análise foi feita em uma dimensão cognitiva, mas não foi possível realizar um *redesign* sistemático da sequência por limitações de tempo. As avaliações das intervenções efetuadas ao fim desse processo, em

um âmbito cognitivo, mostraram que o saber a ensinar tornou-se um saber efetivamente ensinado, ou seja, a transposição interna desse conteúdo ocorreu de forma satisfatória, colaborando para a sobrevivência desse saber. Dessa maneira, o conteúdo específico *raios cósmicos* é passível de ser ensinado, podendo ser aplicável em contextos educacionais similares.

Não é possível passar incólume a um processo como esse. Foi gratificante, como pesquisador e professor, notar um maior interesse e envolvimento dos alunos no assunto trabalhado e perceber que grande parte dos objetivos estabelecidos foram alcançados. Além disso, foi importante o estudo de teorias educacionais que apontaram as diretrizes para a elaboração de toda a sequência de ensino e aprendizagem; seu *design*, aplicação e avaliação. Nesse processo, percebeu-se a importância de um planejamento bem estruturado, o uso de diferentes artifícios didáticos e um processo de avaliação iterativo. A análise dos mapas conceituais mostrou-se uma ferramenta facilitadora do processo avaliativo, e também foi efetiva em evidenciar nuances de aprendizagem do aluno. Essa ferramenta avaliativa mostrou-se muito versátil, tendo aplicações em grande parte dos conteúdos a serem estudados em Física.

Se por um lado essa forma de avaliação apresenta vantagens para o professor, de outro, as impressões dos alunos sobre ela não foram avaliadas. Uma pesquisa sobre a opinião deles quanto ao uso de mapas conceituais em sua aprendizagem não foi feita nesse trabalho devido a limitações de tempo. Esse pode ser um interessante tema para pesquisas futuras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. O.; MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da óptica física.** Rev. Bras. Ensino Fís., Dez 2008, vol.30, n.4, p.4403.1-4403.7, 2008.

ANDERSSON, B. et al. **Discussing a research programme for the improvement of science teaching.** Research and the quality of Science Education (pp. 221–230). Dordrecht: Springer. 2005.

ANDERSSON, B.; BACH, F. **On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example.** Science Education, 89, p. 196-218. 2004.

ARONS, A. B. **A guide to introductory physics teaching**, New York: John Wiley, 1990.

ASTOLFI, J. P. **Mots-clés de la didactique des sciences.** Pratiques Pédagogies. Bruxelas: De Boeck & Lacier S. A., 1997.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view.** 2. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1978.

AZEVEDO, M. C. P. S. **Situações de ensino – aprendizagem: análise de uma sequência didática de física a partir da Teoria das Situações de Brousseau.** 2008, 284 p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, S.Paulo, São Paulo, 2008.

BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias.** Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Brasília, 2002.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em Educação: fundamentos, métodos e técnicas.** Portugal: Porto Editora, 1994.

BROCKINGTON, G. **A Realidade escondida: a dualidade onda - partícula para estudantes do Ensino Médio.** 2005. 341p. dissertação (mestrado em ensino de ciências). IF – FEUSP, São Paulo, 2005.

BROWN, A. L. **Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions.** Journal of the Learning Sciences, 2, 141–178. 1992.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné.** La pensée sauvage Éditions, Grenoble. 1991.

COLLINS, A.; JOSEPH, D.; BIELACZYK, K. **Design Research: Theoretical and methodological issues.** THE JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES, 13(1), 15–42. 2004.

COLLINS, A. **Toward a design science of education.** In E. Scanlon & T. O'Shea (Eds.), New directions in educational technology. Berlin: Springer-Verlag, 1992.

CORREIA, P. R. M.; SILVA, A. C.; ROMANO, J. G. J. **Mapas conceituais como ferramenta de avaliação na sala de aula.** Rev. Bras. Ensino Fís., Dez 2010, vol.32, n.4, p.4402-1-4402-8, 2010.

Design-Based Research Collective **Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry.** Educational Researcher, 32 (1), 5-8. 2003.

Deutsches Elektronen-Synchrotron **100 Years of Cosmic Rays - A selected chronology from the first ionisation measurements in air to the understanding of cosmic accelerators.**, Hamburgo, Alemanha 2012.

DOMINGUINI, L.; MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO, L. **Novas abordagens do conteúdo de Física Moderna no Ensino Médio público do Brasil.** IX ANPED SUL, Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul. 2012

EYLON, B. S.; BAGNO, E. **Research-design model for professional development of teachers: Designing lessons with physics education research.** Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2, 1–14. 2006.

FALCÃO, R. M. A. L. **Mapas conceituais e aprendizagem de conteúdo escolar no ensino fundamental I.** 2012. 205 f. Dissertação (Mestrado em Educação). Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal da Paraíba, UFPB/CE, João Pessoa, 2012.

FISCHLER, H.; LICHTFELDT, M. **Modern physics and students' conceptions** International Journal of Science Education, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, Apr./June 1992.

GIL, D. P.; SOLBES, J. **The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science.** International Journal of Science Education, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, May/June 1993.

GRF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 1: mecânica. São Paulo: EDUSP, 1990.

_____. Física 2: física térmica; óptica. São Paulo: EDUSP, 1991.

_____. Física 3: eletromagnetismo. São Paulo: EDUSP, 1993.

HAY, D. B. **Using concept maps to measure deep, surface and non-learning outcomes.** Studies in Higher Education, v. 32, n. 1, p. 39-57, February 2007.

KINCHIN, I. M.; HAY, D. B.; Adams, A. **How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development.** Educational Research 42(1), 43–57. 2000.

KOMOREK, M.; DUIT, R. **The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems.** International Journal of Science Education, 26(5), 619–633. 2004.

LAGO, B. L. **Estudo dos raios cósmicos galácticos com o Observatório Pierre Auger.** 2007. 77 f. Tese (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Física, UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

LAWALL, I. T. et al. **Concepções de professores de Física sobre inovação curricular e inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.** 22º Seminário de Iniciação Científica – Universidade do Estado de Santa Catarina. 2012.

LEACH, J.; SCOTT, P. **Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning.** *Studies in Science Education*, 38, 115–142. 2002.

LIJNSE, P. L. **La recherche-developpement: une voie vers une ‘structure didactique’ de La physique empiriquement fondee.** *Didaskalia*, 3, 93–108, 1994.

LIJNSE, P. L.; KLAASSEN, C. W. J. M. **Didactical structures as an outcome of research on teaching- learning sequences?** *International Journal of Science Education*, 26(5), 537–554. 2004.

MACHADO, D. I. **Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia.** 2006. 300 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2006.

MARQUES FILHO, E. C. **Crenças de futuros professores de Física em contexto de Inovação Curricular: O caso de um curso de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.** 2011. 418 f. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). IF – FEUSP, São Paulo, 2011.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. **Teaching-Learning Sequences: aims and tools for science education research.** *International Journal of Science Education*, vol. 26, n.5 p.635-652, 2004.

MÉHEUT, M. **Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In Research and Quality of Science Education** (Eds. Kerst Boersma, Martin Goedhart, Onno de Jong e Harrie Eijelhof). Holanda. Springer. 2005.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa.** São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências.** Coletânea de breves monografias sobre teorias de aprendizagem como subsídio para o professor pesquisador, particularmente da área de ciências. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf>>

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico.** Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1993.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. **A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los.** *Práxis Educativa*, Ponta Grossa, v.5, n.1, p. 9-29 , jan.-jun. 2010. Tradução de “The theory underlying concept maps and how to construct and use them”, disponível em: <<http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>>. Traduzido com a autorização dos autores. Tradução de Luis Fernando Cerri (PPGE/UEPG), com revisão técnica de Fabiano Morais. Acesso em: 01 ago. 2012.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Learning how to learn**. New York: Cambridge University Press, 1984.

OLIVEIRA, M. M.; FROTA, P. R. O.; MARTINS, M. C. **Mapas conceituais como estratégias para o ensino de educação ambiental**. Revista Electrónica de Investigación y Docencia (REID), 9, Enero, p. 61-72, 2013.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. **Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”**. Porto Alegre: Investigações em Ensino de Ciências, Vol. 5, No. 01, pp. 23-48, 2000a.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação de professores**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.18, n.2: p.135-150, ago. 2001.

PEREIRA, O. S. **RAIOS CÓSMICOS - Introduzindo física moderna no 2º grau**. 1997. 194 f. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). IF – FEUSP, São Paulo, 1997.

PINTO, A.C.; ZANETIC, J. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, V.16, n.1, p.7-34, abr. 1999.

PISA 2009 Results: **What Students Know and Can Do: Student Performance in Reading, Mathematics and Science (Volume I)** Disponível em:
<<http://browse.oecdbookshop.org/oecd/pdfs/free/9810071e.pdf>>. Acesso em 01 ago. 2012.

PSILLOS, D.; TSELFES, V.; KARIOTOGLOU, P. **An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: The case of fluids**. International Journal of Science Education, 26(5), 555–578. 2004.

RODRIGUES, C. M. **A inserção da Física Moderna no ensino médio aliada à tecnologia do Sistema de Posicionamento Global (GPS)**. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Educação em Ciências: Química de Vida e Saúde, Área de Concentração em Ensino de Física, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

RODRIGUES, A. G.; PIETROCOLA, M.; PIQUEIRA, J. R. C. **Elaboração de uma sequência didática de ensino-aprendizagem com tópicos de mecânica quântica para cursos de engenharia**. In: COBENGE, 2012, Belem. Atas do COBENGE, 2012. p. 1-10.

SARAN, M. C. B. **Astrofísica de partículas na sala de aula – uma sequência de ensino e aprendizagem sobre raios cósmicos para o ensino médio**. 2013. 129 f. Dissertação (mestrado profissional em ensino Física). Programa de Pós Graduação em Ciências Exatas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

SIMON, H. A. (1969) **The sciences of the artificial**. Cambridge, MA: MIT Press.

SIQUEIRA, M. R. P. **Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. 257p. Dissertação (mestrado em ensino de ciências). IF – FEUSP, São Paulo, 2006.

SOUZA, V. et al. **Cosmic Rays in the Classroom**. *Physics Education*, 48(2), 238–246. 2013.

TIBERGHIE, A. **Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy**. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe: Current issues and themes* (pp. 100–114). London: Falmer. 1996.

WANG, F.; HANNAFIN, M. J. **Design-based research and technology-enhanced learning environments**. *Educational Technology Research & Development*, Vol. 53, No. 4, pp. 5–23, 2005.

YANO, E. O.; AMARAL, C. L. C. **Mapas conceituais como ferramenta facilitadora na compreensão e interpretação de textos de Química**. *Experiências em Ensino de Ciências*, V6(3), pp. 76-86, 2011.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO A – Mapas conceituais dos alunos (originais)

Figura 6.1. Mapa conceitual do grupo 1 - 2ºano

Nome: Diego Chagas Nequeira
 Nome: Raphael Lucas Moreira
 Nome: Lucas Oliveira
 Nome: Leonardo Guimarães
 Nome: Eder Nunes
 Nome: Danilo Brito

N: 09/
 N: 32/
 N: 24/
 N: 21/
 N: 10/
 N: 07/

2º A

Figura 6.2. Mapa conceitual do grupo 2 - 2º ano

29.08.14

Mapa Conceitual -> Física

nomes:
 Caio Alves
 Francieli N. dos Santos
 Juliana Gomes
 Juliana Alvarenga
 Lucas Raphael
 Patricia Cristina

no. série:
 04, 22A
 15
 19
 20
 25
 29

- Raios cósmicos
- Raios
- Galáxias
- Tanque
- Telescópio
- Energia
- Partículas
- Moléculas
- Atmosfera
- Velocidade
- Tempo
- Distância
- Direção
- Tênis
- Funcionamento
- Massa
- Água
- Detectores
- Trogoniê.

Figura 6.3. Mapa conceitual do grupo 3 - 2º ano

grupo: Carlos Almeida Nº 05
 Henrique Junior Nº 12
 Chris Ferreira Nº 08

Figura 6.7. Mapa conceitual do grupo 1 - 3º ano

3

Mapa Conceitual

Figura 6.8. Mapa conceitual do grupo 2 - 3º ano

Figura 6.9. Mapa conceitual do grupo 3 - 3ºano

(4)

Figura 6.10. Mapa conceitual do grupo 4 - 3ºano

Figura 6.11. Mapa conceitual do grupo 5 - 3º ano

Figura 6.12. Mapa conceitual do grupo 6 - 3º ano

Figura 6.13. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 1 - 3ºano

Figura 6.14. Mapa conceitual do grupo 2 - mapa 1 - 3ºano

07/11/13

③

Figura 6.15. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 1 - 3ºano

Julio n° 22 Bruno n° 05 Caio n° 07 Lucas n° 25 3:0
 Mapa conceitual

Título: O que são Raios Cósmicos

④

Conceitos

- Raios Cósmicos
- Partículas
- Energia
- núcleo atômico
- Terra
- Atmosfera
- Átomo
- Velocidade
- Hidrogênio

Figura 6.16. Mapa conceitual do grupo 4 - mapa 1 - 3ºano

nomes: Mariana, Carol, Jessica, Gilene números: 27, 08, 19, 14

Mapa conceitual

Questão focal: O que são raios cósmicos?

Conceitos: raios cósmicos

- Partícula
- energia
- núcleos de átomos
- terra
- atmosfera
- átomos
- velocidade
- hidrogênio

Figura 6.17. Mapa conceitual do grupo 6 - mapa 1 - 3ºano

Figura 6.18. Mapa conceitual do grupo 7 - mapa 1 - 3ºano

①

Figura 6.20. Mapa conceitual do grupo 1 - mapa 2 - 3º ano

Figura 6.22. Mapa conceitual do grupo 7 - mapa 2 - 3º ano

9.2. ANEXO B – Texto de apoio e questionário

Raios Cósmicos

Prof. Roger Willians Corrêa

Fontes: <http://www.lip.pt/experiments/trc/oqsao/oqsao1.html>, <http://www.ifi.unicamp.br/~turtelli/rc.html>

1. O que são raios cósmicos?

Os raios cósmicos são núcleos altamente energéticos que atravessam o nosso universo. Eles bombardeiam constantemente a terra, de todos os lados. Cerca de 87% dos raios cósmicos observados são núcleos de Hidrogénio. 12% são núcleos de Hélio e os restantes são elementos mais pesados como o Carbono e o Ferro. Os raios cósmicos mais energéticos observados até à data têm uma energia igual à de uma bola de ténis lançada com uma velocidade de 57 m/s. É uma quantidade de energia imensa para um corpo que é cerca de 0,00000000000001 vezes mais pequeno que uma bola de ténis! A cada segundo, cerca de 200 dessas partículas com energias de alguns milhões de elétron-volts (10^6 eV) atingem cada metro quadrado de nosso planeta. Existe um número enorme desses raios cósmicos de baixa energia, mas os de maior energia são em número muito menor. Acima de 10^{18} eV, chega apenas uma partícula por semana em uma área de 1 quilômetro quadrado. Acima de 10^{20} eV, esse número cai para uma partícula por quilômetro quadrado por século! Para encontrar e medir essas partículas, os físicos de raios cósmicos precisam esperar séculos ou então construir gigantescos detectores.

A origem dos raios cósmicos de muito alta energia não se encontra ainda esclarecida porque se desconhecem fenômenos naturais que possam acelerar os núcleos às energias observadas. Alguns fenômenos naturais de aceleração de partículas são os ambientes extremos como a explosão de uma estrela.

2. O espectro de energia dos raios cósmicos

A energia dos raios cósmicos varia entre 10^6 eV e mais de 10^{20} eV. Quanto menor for a energia dos raios cósmicos maior é a frequência com que estes atingem o nosso planeta.

O gráfico deve ser interpretado da seguinte forma: o eixo horizontal representa a energia dos raios cósmicos em eV (electron-volt); o eixo vertical representa o fluxo correspondente. O fluxo é uma grandeza física que representa o número médio de raios cósmicos com uma certa energia que atravessam uma superfície com 1 m^2 de área por segundo.

3. Cascatas de partículas na atmosfera terrestre

Quando um raio cósmico penetra a atmosfera terrestre reage com os núcleos dos vários elementos em estado gasoso. Nesta reação origina-se um grande número de partículas secundárias. É muito pouco provável que um raio cósmico sobreviva até atingir a superfície terrestre. As partículas secundárias que se formam na reação constituem o início de uma cascata de partículas. Ao

atravessarem a atmosfera, as partículas da cascata podem também interagir com os núcleos da atmosfera. Por este processo criam-se novas gerações de partículas. O processo repete-se enquanto a energia das partículas for suficientemente elevada.

Uma cascata de partículas iniciada por um raio cósmico de energia 10^{15} eV tem à superfície da Terra uma extensão de cerca de 100 m^2 . Uma cascata de partículas iniciada por um raio cósmico de 10^{18} eV tem à superfície da Terra uma extensão de cerca de 1 km^2 !

4. Detecção de cascatas de partículas

A detecção de cascatas de partículas à superfície da terra pode ser feita por dois métodos distintos: usando redes de detectores de partículas ou monitorizando o céu com telescópios de radiação de fluorescência. Medindo este chuva atmosférico por estes dois processos, os cientistas do Observatório Pierre Auger podem determinar a direção e a energia da partícula primária que chegou à alta atmosfera. A primeira parte da detecção é feita com 1800 estações detectoras que formam um gigantesco retículo cobrindo uma área de 3500 km^2 . Essas estações estão a $1,5 \text{ km}$ uma da outra e cada uma tem o tamanho de uma garagem para um carro médio. Cada uma delas é completamente autónoma, com sistemas individuais de localização via satélite (GPS) e de geração de energia elétrica com painéis solares. Os instrumentos nelas colocados medem o número de partículas que as atravessam. As partículas produzidas por um primário de alta energia chegam a várias estações praticamente no mesmo tempo (a diferença de tempo entre uma estação e outra depende da inclinação com elas chegam à terra). Quando elas chegam à estação, um pequeno computador dedicado conferirá via rádio com as outras estações vizinhas se ali também chegaram partículas, para ver se fazem parte de um grande chuva. Caso afirmativo, a informação sobre o chuva será transmitida via rádio para o centro de coleta de dados. Nesse centro, os computadores combinarão as medidas realizadas pelas várias estações sobre o número de partículas e seu tempo de chegada, para determinar a direção e a energia da partícula primária que deu origem ao chuva. Um segundo sistema de detecção utilizará uma fraca luz difusa produzida pelas colisões das partículas com as moléculas do ar durante o desenvolvimento do chuva. A forma e direção do raio de luz ajuda a determinar a direção de onde veio o raio cósmico e também que tipo de partícula era ele.

5. Síntese

Os raios cósmicos são:

- ✓ núcleos altamente energéticos que percorrem o nosso universo
- ✓ maioritariamente núcleos de Hidrogénio
- ✓ formados em ambientes extremamente energéticos como explosões de supernovas
- ✓ caracterizados por um espectro que decresce muito rapidamente com a energia
- ✓ absorvidos pela atmosfera terrestre convertendo-se a sua energia numa cascata de partículas
- ✓ detectados diretamente em estações espaciais
- ✓ detectados indiretamente usando detectores de cascatas de partículas

A observação de raios cósmicos é outra forma de fazer Astronomia: em vez de observarmos a luz emitida pelas estrelas observamos a matéria que nos chega delas!

6. Questões

1. O que são raios cósmicos? Qual sua composição?
2. Qual a origem dos raios cósmicos?
3. Com que frequência os raios cósmicos de baixa energia atingem a Terra? E os de alta energia?
4. O que acontece com um raio cósmico quando ele chega à Terra?
5. Um raio cósmico pode atingir a superfície terrestre? Por quê?
6. Para determinar certas características dos raios cósmicos os cientistas utilizam o observatório Pierre Auger. Este observatório conta com estações detectoras e telescópios de fluorescência. Como funciona cada um destes tipos de detecção?

9.2. ANEXO C – Mapas conceituais avaliados em sala de aula (etapa de pós implementação)

Questão Focal: Como funciona a novela

Conceitos:

Atores
 Diretor
 Cenas
 Câmeras
 Cenário
 Figurante
 Maquiador
 Telespectadores