

**ESTUDO DOS MODELOS MENTAIS ELABORADOS POR ALUNOS  
DO PROEJA SOBRE TEMAS DE FÍSICA MODERNA:  
CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANEJAMENTO DO ENSINO E COMO  
FERRAMENTA DE META-COGNIÇÃO**

**RENATA LACERDA CALDAS MARTINS**

Tese de doutorado apresentada ao Centro de  
Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do  
Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das  
exigências para a obtenção do título de Doutor em  
Ciências Naturais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília Paixão Linhares

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
OUTUBRO – 2011

**ESTUDO DOS MODELOS MENTAIS ELABORADOS POR ALUNOS  
DO PROEJA SOBRE TEMAS DE FÍSICA MODERNA:  
CONTRIBUIÇÕES PARA O PLANEJAMENTO DO ENSINO E COMO  
FERRAMENTA DE META-COGNIÇÃO**

**RENATA LACERDA CALDAS MARTINS**

Tese de doutorado apresentada ao Centro de  
Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do  
Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das  
exigências para a obtenção do título de Doutor em  
Ciências Naturais.

Campos dos Goytacazes, 11 de outubro de 2011.

Aprovado em 11 de outubro de 2011.

Comissão Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup> Glória Regina Pessoa Campello Queiroz (Doutora, Física/Educação) - UERJ

---

Prof<sup>a</sup> Evelyse dos Santos Lemos (Doutora, Ensino de Ciências) - FIOCRUZ

---

Prof<sup>a</sup> Rosalee Santos Crespo Istoe (Doutora, Ciências) - UENF/CCH

---

Prof<sup>a</sup> Marília Paixão Linhares (Doutora, Física) - UENF (orientadora)

*“Quem não compreende um olhar,  
tampouco compreenderá uma longa explicação”*

*Autor desconhecido.*

Esta tese é a concretização de uma jornada acadêmica de dez anos e, ao mesmo tempo, o começo de uma viagem, agora mais madura, rumo a novas descobertas. Bem mais que uma realização acadêmica. Nela, está a certeza de que fiz a escolha certa quando decidi abandonar um trabalho burocrático, para seguir aquilo que gosto de fazer, ensinar. A convicção de que à sombra do Deus do Impossível e ao lado de pessoas especiais, a caminhada se torna mais prazerosa.

Muitas pessoas foram fundamentais. Minha gratidão é imensa e, certamente, ainda que pudesse, não saberia me expressar.

Agradeço à minha família meu maior e mais valioso tesouro. Sem vocês, essa conquista não teria cor.

Ao meu apoio de todas as horas, amado esposo Isnaldo Martins de Souza, presente, fiel, minha força nos momentos de fraqueza. Lutou junto comigo e venceu. Juntos somos mais!

A minha amada Rebeca Caldas Martins, você nasceu para unir. Meiga, companheira, compreensiva, amorosa. Você é um milagre em minha vida.

Ao meu amado Samuel Caldas Martins, você renovou nossas esperanças. Dinâmico, intenso, amoroso, sensível, companheiro. Você é um milagre em minha vida.

Minha eterna gratidão a você Marília Paixão Linhares, orientadora, incentivadora, amiga. Sonhou comigo e me apontou caminhos que antes não enxergava. Sem me conhecer, deu crédito a minha formação e desde meu primeiro dia na UENF, abriu portas para que eu tivesse oportunidade de amadurecer cientificamente. Sou grata por Deus te colocar em meu caminho. Meu respeito e admiração por seu trabalho crescem a cada dia. Conte sempre comigo.

Agradeço ao quarteto fantástico, Maria Helena, João Paulo, Karla Cynthia e Nilcimar, colegas que se transformaram em amigos. Nossos encontros, seminários, aulas, reuniões, me inspiraram e encorajaram. Vocês são especiais.

Na UENF, encontrei também pessoas especiais que, apesar do pouco tempo de convivência, se mostraram amigos, Ronaldo, Cassiana, Lucas, Valéria, Emílio, Roberta, Juliana, Aline Rangel. Professores que tiraram de seu tempo para me ouvir, trazendo contribuições ao meu trabalho, Marcelo Souza, Marcelo Sthel, Glauco, Carlos Eduardo Gatts, Fernando Luna, Simone, Rosallee Istoe.

Agradeço pelas palavras de incentivos aos colegas da caminhada docente, Ernesto, Boldo, Wander, Selmo Pires, Frank Pavan, Simone, Estéfane, Valéria, Emílio, Maurício Ferrarez, Adelson, Rodrigo Maciel, João Rangel.

Não deixarei de agradecer a meu distante amigo Cássio Laranjeiras. Mesmo longe, suas palavras aquecem o coração e me fazem ser grata pela vida.

Serei também eternamente grata aos professores que plantaram a semente da Ciência em meu coração, Ricardo Gauche, Gérson Mol, Wildson, Célia Maria, e em especial, a professora Érika Zimmerman, que apesar de ter partido dessa vida, deixou além da saudade, um grande legado com suas pesquisas.

Nunca deixarei de agradecer a você, Marlene Lacerda Caldas, guerreira, persistente no que almeja, cuidadosa, e mesmo distante, não deixa de me incentivar a prosseguir. Sofre comigo e me escuta quando preciso de colo. Mamãe eu te amo tanto!

Daniela e Charles, meus amados irmãos. Mesmo estando longe, não deixo de sentir o amor de vocês. Obrigado por existirem. Amo vocês.

Meus maravilhosos sobrinhos, eu amo vocês. Tetheus, forte, meigo, homem feito, responsável, amoroso. Você canalizou minhas primeiras sementes de amor quando chegou neste mundo. Kaká e Than, a meiguice e o amor de vocês alegam meus dias em Goiânia. E agora, Charlim, você ainda não sabe, mas a tia te ama muito. Sinto falta de vocês.

Derneval, Vilma, Pamela, Marilucy, e agora, Jerônimo e Davi, família que eu ganhei de Deus. Meu sustento, apoio, fonte de incentivo e carinho. Vocês não sabem, mas aprendo muito com o amor que flui de suas vidas. Amo vocês.

Ao casal que me ensinou muito da vida, Amaury e Helaine Faria, a maturidade nos distanciou e aproximou. Sei que vocês sempre me desejaram o melhor. Amo vocês.

A vocês dois, André e Priscila Dias, nos momentos de luta estivemos mais unidos. Isso me deu força pra continuar. Amo vocês.

Ao casal que justificou o início de nosso ministério em Campos, José Norival e Maria Helena. Valeu a pena! Amo vocês.

Agradeço aos demais alunos, professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da UENF. Em especial, ao secretário acadêmico Edson, que me ajudou sempre com boa vontade, nos trâmites burocráticos.

Sou eternamente grata a todos.

Dedico esta tese,  
a meu amado Deus,  
que me sustentou nas horas em que pensei, não vou conseguir.

## RESUMO

Esta tese é fruto da necessidade da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação de Jovens e Adultos, modalidade profissionalizante (PROEJA). O trabalho consistiu da elaboração e implementação de atividades diferenciadas para análise dos modelos mentais dos alunos acerca de temas modernos, isto é, contemplados no estudo da FMC.

Com o objetivo de verificar as contribuições do conhecimento dos modelos mentais de alunos, para fins de se enfatizar a relevância do estudo da Física Moderna em turmas de PROEJA, foram implementadas atividades em duas turmas de Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF). Especificamente, foram analisados esses modelos para que subsidiassem as estratégias didáticas com o fim de facilitar a aprendizagem e a metacognição.

A intenção foi introduzir alguns conceitos da FMC a partir de uma seqüência de atividades de ensino e de avaliação que permitisse apresentar aos estudantes a dualidade onda-partícula, revelando assim, características estranhas acerca da natureza da luz, e, a energia nuclear, desvendando dúvidas adquiridas cotidianamente sobre as radiações e a radioatividade.

A metodologia utilizada para a implementação das atividades foi baseada nos ciclos reflexivos da pesquisa-ação. Adotou-se para isso o referencial proposto por Tripp (2005), entendendo a pesquisa-ação como uma forma de investigação-ação, ou seja, um processo corrente, repetitivo, no qual o que se alcança em cada ciclo fornece o ponto de partida para mais melhora no seguinte.

A análise foi realizada à luz da teoria dos Modelos Mentais, de Johnson-Laird, e da teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud, dois instrumentos eficientes para analisar o processo de modelagem mental, no qual o modelo conceitual se transforma naquele que está contido na mente dos alunos.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que os modelos mentais inferidos de invariantes operatórios, explicitados em atividades diferenciadas de ensino e de avaliação, podem ser úteis para se verificar a aprendizagem da FMC, bem como evidenciar a progressão conceitual exigida pela metacognição. Podem servir de excelentes ferramentas diretivas para se planejar e implementar atividades facilitadoras da aprendizagem significativa.

**Palavras-chave:** Modelos Mentais; Física Moderna; Campos Conceituais; Estratégias de Ensino; Proeja

## **ABSTRACT**

This thesis is the result of the need for the inclusion of topics in Modern and Contemporary Physics Education, Youth and Adult, professional (PROEJA). The work consisted on design and implementation of different activities for the analysis of students' mental models about modern themes.

The main objective of this study was to evaluate the contributions from the knowledge of mental models from students for the purpose of emphasizing the relevance of the study of modern physics in classes of PROEJA.

More specific objectives, implemented in two classes of Electronics, Fluminense Federal Institute of Education, Science and Technology (IFF), the analysis was to determine if these mental models would offer subsidies to teaching strategies that facilitate learning and the same time motive of metacognition.

The intention was to introduce some concepts of FMC from a sequence of teaching activities and assessment that allow students to have wave-particle duality, thus revealing, strange discovering characteristics about the nature of light, and nuclear energy, revealing doubts acquired on the daily about radiation and radioactivity.

The methodology used for the implementation of the activities was based on the reflective cycles of the research action. It was adopted the Tripp (2005) as referencial, understanding the research-action as an inquiry-action form, that is, a current, repetitive process, in which what it is reached in each cycle it supplies the starting point more improvement in the following one.

The analysis was conducted in the idea of mental models theory by Johnson-Laird, and the theory of conceptual fields by Gérard Vergnaud, two efficient tools to analyze the process of the student's mental model, in the conceptual model created by scientists transforms into the contained in the minds of students.

From the results we can conclude that the mental models inferred invariants operative, as explained in the different activities of teaching and avaluation, can be effective tools to verify the learning of concepts related to the FMC, as well as show the progression required conceptual by metacognition. They can be use as excellent tools for policy planning and implementing facilitate's activities of learning.

**Keywords:** Mental models; Modern physics; Conceptual fields; Strategies of Education; Proeja





## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de um modelo mental sobre a explicação do que é um <i>iceberg</i> .....	69
Figura 2 - Imagem de um livro “específico” sobre uma mesa. investigação-ação .....	71
Figura 3 - Um modelo das concepções de modelo mental elaborado por Borges (1997) .....	72
Figura 4 - Representação em quatro fases do ciclo básico da investigação-ação .....	141
Figura 5 - Mapa conceitual elaborado para referenciar as relações explicitadas pelos alunos na correção da atividade final. ....	187
Figura 6 - Esquema representativo de uma usina nuclear retirado da apostila educativa CNEN: Energia Nuclear .....	202

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias da Revisão e Descrição (Adaptado de Quinto e Ferracioli, 2008) .....	93
Quadro 2 - Conteúdo abordado em cada atividade, com seu respectivo objetivo, desenvolvida no estudo do tema dualidade da luz, com os alunos do Proeja durante o semestre 2/2010. ....	149
Quadro 3 - Resumo dos conteúdos estudados na segunda etapa e dos objetivos a serem alcançados em cada atividade desenvolvida no ciclo II (semestre 1/2011). ....	155
Quadro 4 - Resumo dos conteúdos abordados na segunda etapa e dos objetivos a serem alcançados nas atividades finais desenvolvidas no ciclo II (semestre 1/2011). ....	157
Quadro 5 - Resumo dos conteúdos abordados e das estratégias para avaliar o ensino-aprendizagem. ....	163
Quadro 6 - Respostas dos alunos às questões sobre natureza da luz, referente a primeira atividade. ....	166
Quadro 7 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a primeira atividade. ....	167
Quadro 8 - Modelos mentais dos alunos PROEJA inferidos a partir das respostas à atividade 1. ....	168
Quadro 9 - Respostas dos alunos às questões referente a segunda atividade. ....	169
Quadro 10 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a segunda atividade. ....	170
Quadro 11 - Modelos mentais dos alunos PROEJA, inferidos das respostas à segunda atividade. ....	171
Quadro 12 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a terceira atividade. ....	172
Quadro 13 - Modelos mentais (modelos de trabalho) explicitados por cada dupla de alunos PROEJA, inferidos a partir dos mapas conceituais e de sua apresentação – Atividade 4. ....	175
Quadro 14 - Respostas dos alunos às questões referente a quinta atividade. ....	177

Quadro 15 - Invariantes operatórios inferidos das questões 4, 5 e 6 referente à quinta atividade. ....	177
Quadro 16 - Modelos mentais dos alunos PROEJA inferidos a partir das respostas à quinta atividade. ....	178
Quadro 17 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a sexta atividade. ....	181
Quadro 18 - Modelos mentais dos alunos PROEJA inferidos a partir das respostas à oitava atividade. ....	183
Quadro 19 - Respostas dos alunos do PROEJA referente às cinco primeira questões da atividade final. ....	185
Quadro 20 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente às cinco primeira questões da atividade final. ....	186
Quadro 21 - Invariantes operatórios dos alunos do PROEJA na atividade final de avaliação. ....	187
Quadro 22 - Modelos mentais inferidos das relações no mapa conceitual sobre a luz - Atividade final. ....	188
Quadro 23 - Invariantes operatórios inferidos das respostas à atividade de pré-concepções sobre energia nuclear. ....	203
Quadro 24 - Modelos mentais de trabalho sobre usina nuclear inferidos a partir dos invariantes operatórios relacionados na atividade inicial. ....	204
Quadro 25 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade de elaboração de mapa conceitual. ....	207
Quadro 26 - Modelos mentais de trabalho sobre usina nuclear inferidos a partir dos invariantes operatórios relacionados na atividade final de elaboração de mapa conceitual. ....	209
Quadro 27 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade de pré-concepções sobre a energia hídrica. ....	211
Quadro 28 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade de elaboração de texto sobre a hidrelétrica. ....	214
Quadro 29 - Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade final de elaboração de mapa conceitual sobre energia nuclear. ....	218
Quadro 30 - Resumo da evolução dos modelos mentais dos alunos do PROEJA sobre energia nuclear. ....	222

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das respostas ao questionário sócio-educacional aplicado no início e no final do curso. ....	160
Tabela 2 - Resumo das respostas ao questionário sócio-educacional aplicado no início e no final do curso. ....	195

## ÍNDICE DE SIGLAS

AS – Aprendizagem Significativa

Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEFET - Centro de Ensino Federal e Tecnológico de Campos (atual IFF)

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

EJA - Educação de Jovens e Adultos

EM – Ensino Médio

EMR – Ensino Médio Regular.

Enpec – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

EPEF - Encontro de Pesquisa em Ensino de Física

EPR – Paradoxo elaborado por Einstein, Podolsky e Rosen, em 1935

ERIC - Educational Resources Information Center

EVA - *Espaço virtual de aprendizagem*

FMC – Física Moderna e Contemporânea

IFF - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

INEP - Instituto Nacional de Ensino e Pesquisa

LDB - Lei de Diretrizes e Base do Governo Federal

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN+ - Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros  
Curriculares Nacionais

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PROEJA - Educação de Jovens e Adultos, modalidade profissionalizante

SBF – Sociedade Brasileira de Física

SBPC – Sociedade Brasileira de Pesquisa em Ciências

TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa

TER - Teoria da Relatividade Restrita

UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNB – Universidade de Brasília

WEB - World Wide (que em português significa, "Rede de alcance mundial")

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	19
------------------	----

## CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. Física Moderna e Contemporânea no PROEJA: novos rumos a serem seguidos .....	41
1.2. A compreensão da Física Moderna .....	45
1.3. Um breve relato do desenvolvimento da Física Moderna .....	47
1.4. Teorias cognitivas e de aprendizagem: evolução conceitual e Histórica das representações mentais .....	58
1.5 Modelos Mentais e Modelagem: idéias fundamentais .....	66
1.6. A Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird .....	70
1.7. Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud .....	79
1.8. A teoria dos Modelos Mentais e a teoria dos Campos Conceituais como complementares .....	83
1.9. Meta-cognição: uma visão na perspectiva das teorias dos Modelos Mentais e dos Campos Conceituais .....	87

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Modelos e Modelagem.....	93
2.2 Pesquisas que utilizam a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud .....	118
2.3 Pesquisas que utilizam ambas as teorias: Modelos Mentais e Campos Conceituais.....	121
2.4. Pesquisas que tratam de ensino e aprendizagem da Física Moderna em nível médio: EJA/PROEJA.....	125



## CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pesquisa Qualitativa .....	132
3.2 Pesquisa-ação.....	136
3.3 Reconhecimento geral: o contexto da pesquisa e do ensino-aprendizagem .....	143
3.4 Planejamento geral.....	145

## CAPÍTULO 4 - O PRIMEIRO CICLO DA PESQUISA

4.1 Reconhecimento do público .....	159
4.2 Planejamento das ações .....	161
4.3 Plano de ação .....	162
4.4 Implementação das ações .....	163
4.5 Resultados obtidos e Análise dos modelos mentais de trabalho .....	164
4.6 Análise dos modelos mentais de aprendizagem .....	189
4.7 - Avaliação sobre a ação .....	191

## CAPÍTULO 5 - O SEGUNDO CICLO DA PESQUISA

5.1 – Reconhecimento do público .....	194
5.2 – Planejamento das ações .....	197
5.3 - Implementação das ações .....	199
5.4 – Resultados obtidos e Análise dos modelos mentais de trabalho .....	201
5.5 - Análise dos modelos mentais e os indícios de metacognição .....	220
5.6 - Avaliação sobre a ação .....	229
5.7 - Considerações neste ciclo.....	229

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	231
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	243
APÊNDICES .....	253
ANEXOS .....	277

# INTRODUÇÃO

## 1.1 ASPECTOS HISTÓRICOS

A trajetória científica foi motivada durante a Licenciatura em Física na Universidade de Brasília (UNB), pelo estudo de disciplinas que abordaram a avaliação da aprendizagem. Em uma dessas aulas pode-se descobrir que o próprio Albert Einstein teve dificuldade na aprendizagem da matemática em séries iniciais. Essa dificuldade “assombrava”, a todo tempo, tanto alunos da própria Licenciatura em Física, como alunos de física desses licenciandos, quando professores.

A procura por caminhos que apontem melhores resultados de aprendizagem em física culminou na pesquisa de Mestrado sobre estratégias de ensino, aprendizagem e avaliação. Viu-se na estratégia cognitiva de mapas conceituais uma ferramenta facilitadora da aprendizagem e, também, eficaz na representação de conceitos físicos (MARTINS, 2006).

Depois de iniciado o mestrado, foram desenvolvidos estudos que utilizavam os mapas conceituais como instrumentos de ensino e avaliação da aprendizagem. Estes instrumentos, ancorados na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel *et al.* (1980), têm a finalidade de facilitar a organização e a integração de conteúdos ensinados nas aulas de Física, isto é, promover a mudança conceitual para aprender significativamente. Segundo Moreira (2006), “*Para ser bom professor é preciso ser construtivista, promover a mudança conceitual e facilitar a aprendizagem significativa*”.

Dois estudos realizados no final do Mestrado objetivaram verificar a aprendizagem significativa de conceitos físicos, ao analisarem os mapas conceituais elaborados por alunos do Ensino Médio (EM) e do Ensino Superior (ES). Naquela ocasião, foram focalizados particularmente conceitos sobre a mecânica do voo dos aviões, tema que comemorava, à época, o centenário da aviação de Santos Dummond. Os resultados foram apresentados em encontros regionais.

O primeiro estudo<sup>1</sup> foi desenvolvido com uma turma de 36 alunos do primeiro ano do segundo grau, turno vespertino do Centro de Ensino Federal e Tecnológico – CEFET, e o segundo<sup>2</sup>, com uma turma de 16 alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Norte Fluminense, ambas instituições na cidade de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

Por meio da análise dos mapas conceituais elaborados, em ambos os casos foi verificado que os alunos (ensino médio e licenciandos) apresentaram dificuldades em explicitar, organizar, estruturar e relacionar ideias já estudadas e discutidas em sala de aula. Mesmo os futuros professores (licenciandos) reagiram com certa insegurança ao afirmar ou relacionar duas ou mais ideias de um mesmo tema. Ideias e conceitos se apresentaram fragmentados nos mapas, levando-nos a acreditar que tal fragmentação estaria presente também na estrutura cognitiva dos alunos. Fato que não surpreendeu, tendo em vista o ensino fragmentado a qual, desde tenra idade, vem sendo submetidos nas diferentes disciplinas acadêmicas.

Da análise comparativa de ambos os estudos, foram apresentadas conclusões nos artigos de Martins *et al.* (2007a<sup>3</sup>; 2007b<sup>4</sup>; 2008<sup>5</sup>). Neles foram destacados, dentre outros aspectos, a contribuição da estratégia de mapas conceituais para o estudo da aprendizagem do aluno; sua forma de relacionar, diferenciar, hierarquizar e interligar idéias e conceitos. Ficou evidenciado também nestes estudos, que um mesmo assunto estudado com indivíduos de níveis de escolaridade diferente pode explicitar deficiências conceituais que ficam ocultas durante as séries iniciais e que podem ser despertadas mesmo na universidade por meio de estratégias que favorecem a explicitação das estruturas de conhecimento dos alunos.

Contrapondo com as idéias de Greca e Moreira (2003) esta dificuldade de explicitar o conhecimento é muito comum no comportamento dos

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado no IV Workshop de Extensão, realizado no período de 16 a 20 de outubro de 2006, na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), com o título "*Integrando mapas conceituais a ações didáticas baseadas em estudos de casos e desenvolvidas no espaço virtual de aprendizagem- EVA*".

<sup>2</sup> Artigo apresentado no V Workshop de Extensão, realizado no período de 02 a 03 de outubro de 2007, na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), com o título "*Mapas conceituais no estudo da física do voo: aplicação no ensino médio e na licenciatura*".

<sup>3</sup> Artigo intitulado "*Integrando mapas conceituais a ações didáticas baseadas em estudos de casos e desenvolvidas no espaço virtual de aprendizagem*", apresentado no VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, realizado de 27 de novembro a 01 de dezembro de 2007, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC.

<sup>4</sup> Artigo apresentado no V Workshop de Extensão, realizado no período de 02 a 03 de outubro de 2007, na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), com o título "*Mapas conceituais no estudo da física do voo: aplicação no ensino médio e na licenciatura*".

<sup>5</sup> Artigo intitulado "*Mapas Conceituais no estudo da Física do voo: aplicação no Ensino Médio e na Licenciatura*", apresentado na 7ª Mostra de Pós-Graduação, realizado em junho de 2007, na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ.

estudantes e foi verificada na década de 1983 no âmbito da psicologia cognitiva por pesquisadores como Johnson-Laird, Gentner e Stevens e Vergnaud. Para esses autores, em geral, os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural, os teoremas e conceitos que eles utilizam para resolver os problemas, para a identificação dos elementos pertinentes e para o estabelecimento das seqüências de cálculos que devem ser efetuados. Este conhecimento permanece implícito e, desta forma, resulta difícil de ser modificado. Por isso, um dos objetivos do ensino seria proporcionar aos estudantes ferramentas para a construção de conceitos e teoremas explícitos e gerais.

Essa trajetória acadêmica iniciada no mestrado e fortalecida pelos estudos e investigações realizados, fez despertar cada vez mais o interesse em conhecer as estruturas de pensamento do estudante de física. Consciente da necessidade de se entender como o conhecimento se processa na mente do aluno, para se conseguir melhores resultados de aprendizagem, buscou-se aprimoramento em pesquisa de doutorado.

Para formular o projeto de tese, além de toda a bagagem trazida da experiência como docente do EM e ES, foram lembrados e valorizados os questionamentos advindos da pesquisa de mestrado. De forma geral, as idéias iniciais para a investigação de doutorado surgiram a partir de reflexões e questionamentos feitos da experiência, enquanto professora de física, em escolas de nível médio na cidade Brasília-DF, nos últimos cinco anos, em escolas particulares de nível médio e superior, e mais recentemente, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense/IFF campus Campos/RJ.

Entre as experiências mais importantes nas escolas e universidades públicas, ficaram aquelas que, de alguma forma, denunciavam as dificuldades de alunos do Ensino Médio e Superior no aprendizado em Física.

Foram também fundamentais as inserções em turmas de Licenciatura em Física da Universidade do Norte Fluminense (UENF), enquanto bolsista de extensão e depois como aluna de doutorado, a fim de utilizar a estratégia de mapas conceituais como ferramenta facilitadora da aprendizagem. Estas ajudaram a amadurecer as primeiras idéias.

Paralelamente a essas inserções, a participação em eventos relacionados ao ensino da Física como congressos, seminários, workshops, cursos e encontros da área, contribuíram para o estudo inicial das representações mentais dos alunos em temas diversificados da Física.

Um número considerável de mapas conceituais foi produzido pelos alunos de ES durante as primeiras investigações. Como já relatado, a formatação e a análise desses mapas deu origem a publicações em congresso da área, e como consequência, fortaleceu tanto o grupo de pesquisa que estávamos inseridos, quanto o conhecimento sobre o tema pesquisado no doutorado.

Seguindo a linha investigativa da aprendizagem conceitual e das representações do conhecimento em Física, a partir de 2008, deu-se início ao doutorado. Como preocupação inicial, buscou-se estudar teorias que pudessem alicerçar a compreensão acerca dos processos mentais dos alunos. O interesse era conhecer como os alunos entendem o que lhes é ensinado. Será que realmente compreendem, isto é, aprendem significativamente? Elaboram modelos que dão conta de explicar o que foi ensinado? Ou será que elaboram modelos superficiais que dura o tempo de uma avaliação?

Para isso, durante o segundo semestre de 2009 foram realizadas inserções numa turma de Ensino Médio (EM) da Educação de Jovens e Adultos (EJA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF). Esta turma participava do projeto (Capes/IFF/UENF)<sup>6</sup> desenvolvido pelo grupo de pesquisadores UENF, o qual estávamos inseridos.

Com o objetivo de utilizar a estratégia de mapas conceituais como um instrumento articulador, que facilita progressivamente a generalização de um conceito físico, foi investigada a aprendizagem dos alunos. O tema Energia foi escolhido, por ser considerado mais abrangente e inclusivo, promovendo a interdisciplinaridade conceitual.

O relato dos resultados e sua análise culminou com a apresentação do artigo de Martins *et al.* (2009)<sup>7</sup>, em congresso da área e na realização de um

---

<sup>6</sup> Projeto "Educando Jovens e Adultos para Ciências com Tecnologias de informação e Comunicação" (Linhares e Reis, 2006), constituído por meio de parceria entre pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) e da Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

<sup>7</sup> Artigo intitulado "Mapas Conceituais em aulas de Biologia, Física e Química: uma abordagem integrada do conceito de Energia", apresentado no VII Enpec – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, realizado de 08 a 13 de novembro de 2009, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC.

mini-curso<sup>8</sup>, ministrado também pela autora da presente tese. Dentre os aspectos pontuados nesses trabalhos, destaca-se o fato de que os alunos pesquisados (PROEJA) conseguiram relacionar especificamente o tema estudado, Energia, no contexto das disciplinas de física, química e biologia. Entretanto, esses alunos apresentaram dificuldades conceituais quanto à sua generalização como um tema mais abrangente e inclusivo.

Os resultados sugeriram por um lado, que o estudo disciplinar introduz limitações para construção de significados mais abrangentes, mas por outro lado, apontou a aptidão e a compreensão desses alunos ao estudo de temas atuais e interdisciplinares. Desse último aspecto, despertou o desejo de investigar como “responderiam” esses alunos ao estudo de temas contemporâneos e específicos da física. Estariam “aptos” para aprender a física mais abstrata, ensinada enfaticamente no ensino superior?

Quanto ao aspecto da compreensão sobre as estruturas de pensamento do estudante para representar seu conhecimento assimilado, ou sua forma de aprender, sua maneira de representar o que aprendeu ou seu modelo de aprendizado explicitado, buscou-se por referenciais que pudessem desvendar, contribuir, sugerir maneiras de se enveredar por esse complexo mundo, a mente do aluno.

Da psicologia sócio-histórica, que tem como base a teoria de Vygotsky e que concebe o desenvolvimento humano a partir das relações sociais que a pessoa estabelece no decorrer da vida, o processo de ensino-aprendizagem também se constitui dentro das interações que vão acontecendo em diversos contextos sociais. A sala de aula deve ser considerada um lugar privilegiado de sistematização do conhecimento e o professor um articulador na construção do saber. Um interessante ponto dessa teoria aponta que os processos mentais superiores tem origem em processos sociais (Moreira, 1999).

No ano de 2010, após ter cursado as disciplinas do doutorado, realizada uma extensa revisão da literatura e definido o referencial teórico da pesquisa, foram realizadas as primeiras investigações em sala de aula sobre as estruturas de pensamento do aluno na aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea (FMC), tema a ser abordado na pesquisa.

---

<sup>8</sup> Mini-curso intitulado “*Mapas conceituais no Ensino e Aprendizagem de Ciências*”, no VI Encontro da área de Ciências Naturais, de 24 a 26 de novembro de 2010, no IFF, Campos, RJ.

Com base no conhecimento inicial sobre as teorias construtivistas de Johnson-Laird (1983) e Vergnaud (1983), foi realizado um estudo piloto para se verificar quais modelos os alunos do PROEJA apresentavam para demonstrar sua compreensão dos conceitos de FMC. A análise dos resultados foi apresentada e discutida em encontro de pesquisa.

Martins e Linhares (2010)<sup>9</sup> foi o relato do primeiro contato com esse campo do conhecimento, a mente do aluno e sua maneira de representar. Nele, tentou-se analisar os modelos elaborados pelos alunos para a compreensão de fenômenos clássicos e modernos no âmbito da FMC. Esse contato, aliado às discussões e inserções junto ao público PROEJA levou a inquietações referentes ao tímido ensino da FMC em turma de EJA.

De questionamentos levantados como integrante desde 2009, juntamente com o grupo de pesquisadores envolvidos no projeto “Educando Jovens e Adultos para Ciências com Tecnologias de informação e Comunicação” (Linhares e Reis, 2006), decidiu-se enquanto pós-graduanda, propor inclusões de conceitos da FMC no planejamento didático da EJA para se verificar o processo de aprendizagem desses alunos. O fato de já atuar como docente de física na EJA e de estar integrada às pesquisas com este público facilitou o acesso às investigações de doutorado.

Focalizaram-se estratégias didáticas diferenciadas para o ensino-aprendizagem de temas de física moderna. O objetivo era conhecer se os sujeitos-alunos do PROEJA estariam “aptos” para a aprendizagem da FMC. E como consequência dessa possível aptidão, talvez encontrar caminhos para se entender o porquê da não inclusão da FMC nesse nível de escolaridade.

Reconhecendo que o problema que incitou os questionamentos foi a “fraca” abordagem da Física Moderna em nível médio e a quase inexistente abordagem em nível da EJA, tomou-se como pontos a serem focalizados: as situações que envolvem o ensino e a aprendizagem da FMC e suas estratégias para a estruturação do conhecimento.

Enfim, propõe-se na presente pesquisa de doutorado o desenvolvimento de ações para o estudo de temas atuais da física no contexto do PROEJA. Essas ações resultarão na explicitação de modelos mentais dos

---

<sup>9</sup> Artigo apresentado no XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), em outubro de 2010, Águas de Lindóia/SP, com o título “Modelos Mentais de alunos do PROEJA sobre fenômenos clássicos e modernos e a dualidade da luz”.



alunos durante a realização das atividades em sala de aula. Os modelos explicitados por esses alunos podem justificar, referendar ou até mesmo enfatizar a relevância da inserção da FMC nesse nível de escolarização. Tais modelos, chamados de modelos mentais, poderiam (a nosso ver) apontar ou não para “aptidões” dos alunos a esse nível de conhecimento; responder aos questionamentos do porquê da não inserção de conteúdos desse tipo no referido currículo.

O contexto da coleta de dados da, então pesquisa, se deu no segundo semestre de 2010, com o estudo do tema da dualidade onda-partícula e no primeiro semestre de 2011, com o tema energia nuclear.

Todo estudo está situado dentro de uma abordagem qualitativa no campo do Ensino da Física e das teorias mais recentes da psicologia cognitiva. Como já dito, dois principais referenciais teóricos foram eleitos para este estudo: a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird e a teoria dos campos conceituais do pesquisador francês Gérard Vergnaud.

A teoria dos modelos mentais parece ter um bom potencial para a área de pesquisa em ensino de Física, afirma Sousa *et al* (2004), exatamente porque o raciocínio envolvido na aprendizagem nesta área é muito baseado em modelos causais, isto é, modelos que relacionam eventos nele representados.

Entende-se que, de maneira geral, na aprendizagem de modelos conceituais da Física, uma diversidade de modelos mentais são elaborados pelos alunos diante de situações problemáticas, concretas ou abstratas. Para essa autora, talvez exista ao longo do processo de aprendizagem uma progressividade inconsciente desses modelos mentais, que pode ser explicitada pelo aluno ao se deparar com atividades problemáticas desenvolvidas em situações diferenciadas de ensino (IBID, 2004).

Em sua teoria Johnson-Laird propõe de maneira informal dois tipos de modelos mentais: os *modelos físicos*, que representam o mundo físico e os *modelos conceituais*, que são os que representam abstrações. Os conteúdos de Física envolvem, em geral, relações entre os modelos físicos e os conceituais. Isto indica que os modelos mentais elaborados pelos alunos devem explicitar tais relações e devem ser muito úteis na busca do entendimento dos processos inerentes à aprendizagem em Física.

Outro importante referencial apontado nas pesquisas em ensino de Física é o de Vergnaud (1990) que propõe a teoria dos campos conceituais (Moreira, 2002). Este pesquisador busca caminhos para o estudo da cognição por meio de suas pesquisas na área da Educação Matemática. Sugere que o conhecimento está organizado em campos conceituais. E ainda, que o que rege a realização de tarefas são os esquemas que o sujeito possui. Estes esquemas estão reunidos em um repertório de esquemas que correspondem às estratégias de ação que os indivíduos desenvolvem para solucionar determinadas situações-problema. E estas estratégias são baseadas no que ele chama de invariantes operatórios que abrangem os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação.

Os invariantes operatórios são do indivíduo e devem corresponder aos conceitos e teoremas científicos envolvidos no processo de aprendizagem em Física. Entretanto, muitas vezes isso não acontece. O indivíduo não explicita invariantes operatórios que estão de acordo com o que é cientificamente aceito.

Assim, a aprendizagem, nessa ótica, se dá a partir do momento em que os invariantes operatórios do indivíduo aproximam-se cada vez mais dos conceitos e leis cientificamente aceitos e tornados explícitos de tal forma que o sujeito possa explicá-los e discuti-los com outras pessoas.

Desta forma, como o ensino está baseado na conceitualização dos conteúdos e na troca de significados, o professor deve conduzir o aprendiz à construção das estratégias corretas a partir dos seus invariantes operatórios (SOUSA *et al.*, 2004).

Nessa trajetória investigativa percebe-se também como Pozo (2002) que para que os estudantes aprendam ciências/física é necessária uma mudança representacional que o leve a trabalhar, fundamentalmente, com representações explícitas cientificamente compartilhadas. E também como Greca e Moreira (2003), que os estudantes na maioria das vezes, conseguem resolver, mas muitas vezes não sabem explicar o que significa ou para que serve aquilo que resolveram:

O processo de aquisição das competências necessárias para fazer Física - por exemplo, no processo de aprendizagem da montagem de uma experiência, ou no processo de aprendizagem da resolução de equações

diferenciais - é basicamente um processo implícito; aprendemos a fazê-lo, embora muitas vezes não saibamos dizer o que estamos a fazer. (IBID, 2003, p.5)

Acredita-se que um sujeito, ao enfrentar uma situação nova de conhecimento, escolherá cognitivamente construir um modelo mental mais abrangente do que tinha a respeito do assunto ou construir um modelo totalmente diferente do que anteriormente acreditava. Em qualquer um dos caminhos deverá conseguir explicitar esse modelo.

Ao explicitar seu modelo “científico” o sujeito consegue compartilhar seu conhecimento com outros atores, avaliá-lo, tornar público e submetê-lo a questionamentos para que possa ser aprimorado ou refutado que é papel importante do ensino de ciências.

Contudo, essa “modelagem mental” é geralmente difícil para os alunos, por sua natureza representacional externa, ainda que no papel de professor/mediador, sejam utilizados recursos facilitadores como figuras, gráficos ou desenhos associados a conceitos. Sem um modelo mental adequado, diferenças aparentemente pequenas entre conceitos podem representar sérios obstáculos para construção de um modelo científico. Esse modelo deve então ser elaborado por meio de relações coerentes e significativas entre conceitos relativos ao tema científico abordado.

Quando o sujeito consegue explicitar tais relações dá evidências de que possui um modelo mental sobre o modelo científico. Esses modelos mentais são chamados por Moreira (2005) de “modelo mental de trabalho”, que está na mente de quem compreende alguma coisa. Então, o modelo mental é do sujeito. Nessa visão, se o sujeito não conhece algo ou o assunto é novo, ele usa seus conhecimentos prévios para construir um primeiro modelo mental, o qual vai sendo alterado por meio de inferências até que ele seja satisfatório ou que consiga dar conta do novo conhecimento (do modelo científico).

A relação entre os modelos mentais e os esquemas para Greca e Moreira (2002b) é uma relação dialética. Por uma parte, a leitura da realidade a partir do conhecimento-em-ação do sujeito determina os modelos mentais, mas o processo de "comparação" entre os resultados desses modelos (explicações, predições) e a solução, o resultado efetivo da situação em si pode levar a modificações nos invariantes do sujeito devido a inconsistências entre o

modelo mental e a situação, ou na procura de coerência entre seu pensamento e os dados do mundo exterior.

Para esses autores, quando um sujeito enfrenta uma situação nova, a discordância entre as inferências decorrentes do modelo mental que constrói a partir dos invariantes existentes em seus esquemas e a situação em si, pode levá-lo à modificação dos modelos. A detecção de invariantes nesses modelos mentais levará à construção de esquemas apropriados para a resolução dessas classes de situações, que então já não serão novas.

Na detecção de discordâncias que permitem aprimorar recursivamente os modelos mentais e, eventualmente, os esquemas subjacentes, a interação entre sujeitos (pares ou professor) tem um papel fundamental. A necessidade de compartilhar significantes e significados com estes "outros" permitiria detectar as discordâncias, atuando assim como apoios metacognitivos para a apropriação dos significados necessários para a formação dos verdadeiros conceitos.

Para Greca e Moreira (2002b), esta relação permite também entender porque a aprendizagem de novos esquemas, surgidos da reestruturação, é uma tarefa difícil. Para que isto aconteça, possivelmente seja exigido o desenvolvimento de ferramentas metacognitivas que monitorem as inconsistências e incoerências dos modelos mentais e associem as mesmas a determinados teoremas ou conceitos-em-ação.

Em suma, essa discussão tentou apresentar o percurso acadêmico e também cognitivo para se chegar à presente pesquisa, a qual num contexto mais geral, se justifica para fins de contribuição ao desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem a nível de PROEJA.

Nesse sentido, opta-se em abordar tanto o aspecto do planejamento didático do professor para a inserção de temas de física moderna, como as estratégias de aprendizagem usadas pelos alunos para compreenderem os conceitos ensinados. Por esse motivo decidiu-se investigar as contribuições dadas pelos possíveis modelos mentais explicitados pelos alunos do PROEJA nas atividades de ensino da Física Moderna. Esses modelos poderão fornecer subsídios para o planejamento recursivo de estratégias cognitivas de ensino e atuam como ferramentas de meta-cognição.

Por sua grande contribuição para análise dos resultados nesse processo foi adotado uma fundamentação teórica que articula os referenciais de Johnson-Laird (modelos mentais) e de Vergnaud (campos conceituais) segundo propõe Greca e Moreira (2002b):

*“(...) enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com teoremas e conceitos-em-ação (sendo que estes teoremas e conceitos-em-ação contêm informação tanto de propriedades do mundo físico como de relações matemáticas), no momento de enfrentar-se com uma situação nova os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, modelos de trabalho para a resolução da tarefa”. (IBID, 2002b, p. 12)*

## **1.2 ASPECTOS GERAIS**

De modo geral, as pesquisas na área de ensino de ciências têm se incumbido de propor maneiras de facilitar a aprendizagem dos alunos. Existe um amplo consenso de que no planejamento da facilitação da aprendizagem em ciências, particularmente em Física, três aspectos são prioritários: aprendizagem de conceitos, resolução de problemas e atividade práticas de laboratório (COSTA e MOREIRA, 1998).

Na área do ensino de ciências existe uma separação entre a pesquisa em resolução de problemas e a pesquisa sobre a aprendizagem conceitual. Segundo Greca e Moreira (2003) as linhas de pesquisa, ou os temas de pesquisa, que se podem identificar na resolução de problemas estão, na prática, exclusivamente orientados para estudar os mecanismos de resolução de problemas ou para o estudo de estratégias didáticas que facilitem a resolução de problemas (GANGOSO, 2000; COSTA e MOREIRA, 2002).

As linhas mais importantes que se têm estudado em relação à aprendizagem conceitual dizem respeito, basicamente, às concepções dos estudantes sobre conceitos em diferentes áreas ou às dificuldades de aprendizagem de determinados conceitos. Tem-se instituído de fato, duas correntes paralelas de pesquisa, resolução de problemas e aprendizagem de conceitos (GRECA e MOREIRA, 2003).

Contudo, tanto em relação à aprendizagem conceitual como ao aprimoramento dos estudantes para a resolução de problemas, os êxitos

alcançados não são animadores, levando em conta os pobres resultados da linha mais desenvolvida, nesta perspectiva, que é a da mudança conceitual.

Para Greca e Moreira (2002b; 2003), pensar as duas questões de forma integrada, quiçá venha a ser uma alternativa interessante. Nesse contexto integrado, a presente pesquisa propõe, de forma inovadora, tentar compreender esses esquemas mentais elaborados pelos alunos em situações diferenciadas de ensino, os quais buscam dar conta não só de soluções problemáticas, mas da compreensão de conceitos e fenômenos e até de possíveis mudanças conceituais.

### **1.3 ASPECTOS TEÓRICOS**

A fundamentação teórica foi naturalmente escolhida a partir da sintonia e da coerência entre a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, Novak e Hanesian (1980) que subsidiou nosso estudo anterior e duas das teorias que referendam a investigação sobre a estrutura cognitiva dos estudantes Johnson-Laird, (1983) e Vergnaud (1983).

Partindo da referida fundamentação que é diferenciada e centrada no plano psicológico, se apoiará nas bases do modelo integrado desenvolvido por (Greca e Moreira, 2002b; 2003). Utilizando como referência para esta investigação a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1993, 1996a; 1996b; 1996c; 2003) e a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983; 1987; 1989), adotou-se a definição de Greca e Moreira (2002a; 2002b; 2003) para modelos mentais como estruturas idiossincráticas, determinadas e concretas que sucedem na memória de trabalho do indivíduo que quer compreender, explicar ou prever uma situação ou processo específico, atuando como análogos estruturais dessa situação física modelada ou processo de modelagem.

Entende-se o conceito de modelagem como um termo genérico que envolve modelos *físicos*, *conceituais* e *mentais*. Sendo um modelo físico a descrição resultante das proposições da teoria referente a um sistema ou fenômeno físico simplificado e idealizado. O modelo conceitual, aquele projetado por pesquisadores ou professores para facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas físicos (MOREIRA, 1999).

A relação entre modelos e situações de ensino permite também entender porque a aprendizagem de novos esquemas, surgidos da reestruturação, é uma tarefa difícil. Como indica Greca e Moreira (2002b), mudanças nos modelos mentais, destinadas a compatibilizar as predições e explicações dos sujeitos em relação a certas circunstâncias, não levam necessariamente a uma reestruturação de esquemas. Segundo esses autores, para que isto aconteça, os modelos gerados devem ser repetidamente não satisfatórios para que possam ser detectados invariantes nos mesmos e, com isso, possibilitar a mudança dos esquemas. Possivelmente isto exija o desenvolvimento de ferramentas metacognitivas que monitorem as inconsistências e incoerências dos modelos mentais e associem as mesmas a determinados teoremas ou conceitos-em-ação.

Dessa forma, a presente pesquisa perpassa situações distintas e progressivas no processo de modelagem mental do aluno. Modelos exteriorizados numa determinada situação, poderão instantaneamente ser modificados em outras. Tais modificações poderão alimentar construtos mais elaborados, contribuindo para o processo educativo. *“Saber modelar ou representar o que aprendeu é o resultado esperado na Educação”* (GRECA E MOREIRA, 2003).

#### **1.4 O PROEJA E O CONTEXTO DA PESQUISA**

A educação de jovens e adultos (EJA) é vista como uma forma de alfabetizar quem não teve oportunidade de estudar na infância ou aqueles que por algum motivo tiveram de abandonar a escola. A EJA representa uma oportunidade para uma parcela de interessados que não conseguiu cumprir sua escolaridade.

Para Oliveira (1999), a Educação de Jovens e Adultos não está restrita ao atendimento do indivíduo no aspecto escolar, para aqueles que não concluíram os estudos escolares. Pois esses indivíduos, não são simplesmente definidos por determinada faixa etária, mas principalmente por características culturais:

O adulto da EJA não corresponde ao estereótipo ocidental, não é o estudante universitário, o profissional qualificado que frequenta cursos de formação continuada ou de especialização e não busca

aperfeiçoar seus conhecimentos em áreas como artes, línguas estrangeiras ou música. É o migrante que chega às grandes metrópoles provenientes de áreas rurais empobrecidas, filho de trabalhadores rurais não qualificados e com baixo nível de instrução escolar. O jovem da EJA não é o adolescente no sentido natural de pertinência de uma etapa biopsicológica da vida. É aquele com um histórico escolar regular, vestibulando ou um aluno de cursos extracurriculares em busca de enriquecimento cultural. Assim como o adulto supracitado, ele também é um excluído da escola, porém, geralmente incorporado aos cursos supletivos em fases mais adiantadas da escolaridade, com maiores chances, portanto, de concluir o ensino fundamental e médio (IBID, 1999, p. 59).

Pode-se afirmar, então, que o sujeito-aluno da EJA é constituído por homens e mulheres; trabalhadores e desempregados. São sujeitos marginalizados nas esferas sócio-econômicas e educacionais, privados do acesso à cultura letrada e aos bens culturais e sociais. Pessoas que se comprometeram com o mundo do trabalho, em geral trabalhando em ocupações não qualificadas. Elas trazem a marca da exclusão social (OLIVEIRA, 1999).

Em relação ao processo ensino-aprendizagem o adulto da EJA traz consigo uma história mais longa de experiências, conhecimentos acumulados e reflexões sobre o mundo externo, sobre si mesmo e sobre outras pessoas. Com relação à inserção em situações de aprendizagem, essas peculiaridades da etapa de vida em que se encontra o adulto fazem com que ele traga consigo deferentes habilidades e dificuldades e, provavelmente, maior capacidade de reflexão sobre o conhecimento e sobre seus próprios processos de aprendizagem (IBID, 1999).

De acordo com Arroyo (2005), a particularidade da EJA remete a uma flexibilização tanto curricular como de organização e validação dos tempos escolares. É uma organização que precisa se constituir com práticas e tempos singulares, como uma escola efetivamente dos sujeitos jovens e adultos.

A EJA de acordo com a Lei 9.394/96 é uma modalidade do ensino fundamental e médio; com isso, passa usufruir as propostas curriculares dos mesmos seguimentos dentro dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Não existe até o momento uma proposta curricular específica para a EJA do ensino fundamental e médio.

O Decreto nº. 5.840 de 13 de julho de 2006 surge como resposta aos questionamentos e solicitações referente à inclusão do sujeito-aluno da EJA. O



Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos-PROEJA, expôs a decisão governamental de atender à demanda de jovens e adultos pela oferta de educação profissional técnica de nível médio, da qual, em geral, são excluídos, bem como, em muitas situações, do próprio ensino médio.

Com base nessa proposta uma das finalidades mais significativas dos cursos técnicos integrados deve ser a capacidade de proporcionar educação básica sólida, em vínculo estreito com a formação profissional, ou seja, a formação integral do educando. Isto é, proporcionar a formação de cidadãos-profissionais capazes de compreender a realidade social, econômica, política, cultural e do mundo do trabalho, para nela inserir-se e atuar de forma ética e competente, técnica e politicamente, visando à transformação da sociedade em função dos interesses sociais e coletivos especialmente os da classe trabalhadora.

Há de se atentar para um programa de ensino-aprendizagem que possa atender as reais necessidades de todos os envolvidos, e oferecer respostas condizentes com a natureza da educação que buscam.

Com essa preocupação o governo federal tem oportunizado às instituições de ensino o financiamento de pesquisas acadêmicas, a fim de buscar respostas e também dialogar com as concepções formadas sobre o campo de atuação profissional, sobre o mundo do trabalho, sobre a vida desse público PROEJA.

E o projeto contemplado e intitulado “Educando Jovens e Adultos para Ciências com Tecnologias de informação e Comunicação” (2006), constituído por meio de parceria entre IFF, integrou alunos de mestrado e doutorado com o objetivo de *“contribuir para transformar a escola em espaço de trabalho, pesquisa e formação em Ciências de jovens e adultos”* (LINHARES E REIS, 2006).

Neste contexto se ancora a presente pesquisa de doutorado. Conhecer como o aluno da EJA compreende conceitos e fenômenos relacionados às recentes tecnologias e descobertas, abordados pela FMC.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O interesse desde o início da presente pesquisa de doutorado foi o de se trabalhar temas de FMC em turmas de alunos do PROEJA, um público diferenciado. Investigar se os modelos mentais por eles explicitados refletem uma aprendizagem significativa.

O ensino de conceitos modernos no contexto do PROEJA se apresenta como um grande desafio, tendo em vista tratar-se de estudantes de um curso profissionalizante e que, de certa forma, “experimentam” um currículo “mais enxuto” e com um menor aprofundamento que o currículo regular do nível médio.

Sob essa perspectiva, a verificação do tipo de representações mentais se faz importante na medida em que poderá fornecer subsídios para propor novas direções para um ensino mais significativo da FMC.

Inicialmente a escolha do tema dualidade da luz foi feita devido à sua relevância para o estudo da Física. A discussão de temas científicos modernos e contemporâneos deve merecer especial atenção para que sejam ensinados de forma cada vez mais significativa.

O segundo tema escolhido, energia nuclear, foi inserido na última fase da pesquisa dado à importância de se discutirem assuntos atuais em aulas de física. No ano de 2011, ocorre no Japão um grande vazamento radioativo proveniente de danos causados em usinas nucleares, após uma série de terremotos e *tsunames*. É certo que a compreensão de temas como este acrescentam o conhecimento dos alunos no âmbito da FMC.

Outro motivo para essa escolha é que geralmente temas de FMC são tratados ou de maneira superficial e insatisfatória (Ostermann e Moreira, 2000) no nível médio, ou de maneira formal (muitas vezes, apenas matemático) e sem contextualização, no nível superior. Essa superficialidade pode gerar dificuldade na compreensão do aluno e contribuir para seu distanciamento e desinteresse pelo seu estudo.

É possível que o distanciamento desse enfoque nas séries iniciais se justifique pela dificuldade dos alunos em compreenderem os conceitos envolvidos no estudo da FCM e pela necessidade, muitas vezes, de se

despojarem de conceitos clássicos para que a aprendizagem significativa ocorra.

Essa mudança do pensamento clássico para o pensamento moderno, necessário para a compreensão da FMC, não é um processo trivial. Silva (2007) mostra em seu texto sobre a evolução da teoria ondulatória, que para se chegar à compreensão que se tem, nos dias de hoje, sobre a dualidade da luz, a Ciência teve que evoluir muito. Por exemplo, a passagem da explicação mecânica de Huygens para uma perturbação ou uma tendência ao movimento, que se transfere por meio de choques de um corpúsculo ao outro, para a explicação do eletromagnetismo para um campo variável que se propaga através do espaço (Maxwell), ocorreu somente depois de uma mudança de paradigmas no campo das ciências.

Outro exemplo ainda, para a compreensão da dualidade, estudo que envolve os conceitos de ondas, amplitude, velocidade, corpúsculo, luz etc, é necessário que o aluno se habitue a uma nova maneira de pensar, que ele elabore modelos mentais cada vez mais evoluídos até que os mesmos “dêem conta” dos modelos científicos da Física Moderna.

Entende-se que o estudo da FMC oportuniza o aluno a participar da constante evolução da Física a cada nova descoberta, a cada quebra de paradigma. Não é certo, então, que os alunos fiquem alheios a essa evolução, sejam eles de quaisquer níveis de escolaridade. É preciso que façam parte desse processo e que entendam as idéias por traz das novas tecnologias, isto é, por traz da nova física.

A opção de se trabalhar com os temas dualidade da luz e energia nuclear se justifica também pelo fato do público pesquisado pertencer ao curso de Eletrônica do IFF e já estar estudando disciplinas que abordam, de certa forma, o estudo da luz, suas características como frequência, comprimento de onda, oscilações, etc. Muitos recursos utilizados por disciplinas já cursadas pelos alunos em módulos anteriores, como aulas de laboratório, simulações computacionais, leitura de textos e discussões em sala de aula, poderiam contribuir para a elaboração de modelos mentais sobre a compreensão do que seria a luz.

A ênfase à questão da dualidade da luz e a energia nuclear se deve ao fato do papel articulador que possui estes temas. Comporta o estudo dos

fenômenos, da natureza da luz, sua interação com a matéria e a transformação da energia, às discussões geradas entre as idéias clássicas e modernas.

A inserção de temas da FMC em nível médio pode ser feita por meio de temas como a dualidade como afirma Silva e Kawamura (2001 *apud* Fagundes & Zanetic, 1997):

A abordagem conceitual do comportamento dual da natureza da luz pode ser um caminho para propor a inserção da Física Quântica no Ensino Médio, pois contextualiza as suas principais características e fornece um amplo panorama deste século. (IBID, 2001, p. 325)

Os Parâmetros Curriculares Nacionais, na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias apontam o estudo da Matéria e Radiação como um tema estruturador no ensino da Física em nível médio. A promoção e construção dessa abordagem são frutos de um contínuo processo que ocorre por meio de ações e intervenções concretas, no dia-a-dia da sala de aula, em atividades envolvendo diferentes assuntos, conhecimentos e informações. (BRASIL, PCN+, 2002, p. 69)

Aspectos da chamada FMC são 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, microprocessadores, combustíveis nucleares, rastreamento por satélite e cabos de fibra óptica.

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. Mas, é também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo de matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico.

Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas das propriedades trabalhadas no ensino médio (e também do Superior-grifo nosso), tais como condutividade e transparência, mas permite também promover, como síntese, uma concepção mais abrangente do universo físico. (BRASIL, PCN+, 2002, p. 77)

Essa pesquisa se justifica também pela contribuição que poderá trazer da utilização de teorias cognitivistas e de aprendizagem para o estudo dos modelos dos alunos sobre temas ou conceitos da FMC.

Contrária a estratégias formais de ensino e aprendizagem, onde a aprendizagem é avaliada por uma menção obtida no final de cada bimestre, a proposta busca analisar o processo de assimilação do conhecimento por meio dos modelos mentais inferidos a partir dos esquemas explicitados pelos alunos em atividades diferenciadas progressivamente. E para isso, analisa a modelagem mental por meio dos invariantes operatórios explicitados por esse aluno no processo de compreensão do conceito.

Nessa perspectiva, cada atividade desenvolvida é considerada como um caso distinto, a partir do qual é possível, ou não, identificar e compreender o raciocínio dos estudantes.

É clara a relação entre aprendizagem significativa, por meio da exteriorização de modelos mentais coerentes com os modelos conceituais ensinados e, a melhoria nos resultados de avaliação. Entretanto, “*os modelos mentais das pessoas, ao invés de serem precisos consistentes e completos, como os modelos científicos, são simplesmente, funcionais*” (MOREIRA, 1996, p. 20).

Sabe-se que, na pesquisa com modelos mentais, ao invés de se buscarem modelos claros e elegantes, deve-se, tentar entender os modelos confusos, poluídos, incompletos, instáveis que os alunos realmente têm. Talvez por esse aspecto, Moreira (1996) considere a teoria sobre modelos mentais, proposta por Johnson-Laird (1983), como a mais completa e articulada. Ela define que as pessoas raciocinam com modelos mentais e que estes são como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados conforme seja necessário.

Nessa ótica, aprender é construir modelos mentais do que está sendo ensinado e ensinar é facilitar a construção e revisão de modelos mentais, como expressa a citação:

O professor ensina modelos conceituais, que podem ser representações precisas, consistentes e completas de estados de coisas do mundo, projetadas para facilitar seu entendimento e ensino. E, espera que o aluno construa modelos mentais, consistentes com esses modelos conceituais. (IBID, 1996, p. 8)

Entende-se finalmente que a presente pesquisa se justifica, por um lado, pela importância de se estabelecer uma rotina pedagógica que se preocupe com a aprendizagem significativa do aluno (Ausubel *et al*, 1980). Essa aprendizagem será refletida pela capacidade em explicitar um modelo mental que se relacione coerentemente com modelos conceituais (neste contexto, também tratados como científicos) ensinados pelo professor em suas aulas.

Essa relação acontece progressivamente, à medida que o aluno consegue esquematizar seus conceitos nas situações problemáticas enfrentadas. Seus esquemas exteriorizados e compartilhados podem se acomodar como modelos mentais coerentes com os modelos científicos ensinados.

Por outro lado, pesquisas sobre a inserção e discussão de temas de física moderna em nível de PROEJA, bem como pesquisas sobre os modelos mentais elaborados por tal categoria de alunos, têm caráter de ineditismo, uma vez que são inovadoras e desafiadoras na área de Ensino de Ciências, Ensino de Física, Psicologia e Pedagogia Educacional.

## **1.6 QUESTÃO DA PESQUISA**

A questão principal da pesquisa focaliza a problemática da fraca abordagem de temas de Física Moderna nas aulas de física ministradas em turmas de nível médio/PROEJA. Consiste em descobrir de que forma a inserção de temas de física moderna por meio de atividades investigativas numa abordagem qualitativa aliada aos pressupostos dos modelos mentais, pode contribuir para um processo de aprendizagem efetivo.

Talvez a pífia abordagem desses temas no currículo pode estar relacionada com diversos fatores, como a dificuldade dos alunos na aprendizagem, falta de tempo para os estudos, desinteresse (nesse caso, do aluno ou do professor), contexto diferenciado em relação ao ensino médio regular, etc. Em nosso estudo de doutorado decidimos focalizar o aspecto da aprendizagem dos alunos do Proeja quando submetidos ao ensino de temas da física moderna: dualidade onda-partícula e energia nuclear. A questão norteadora da pesquisa pode ser assim enunciada:

**“Os modelos mentais explicitados por alunos do PROEJA poderão fornecer subsídios para se incluir e enfatizar o estudo de temas de Física Moderna nesse nível de escolarização?”**

Duas outras questões subjazem a questão geral:

**1. Os modelos mentais explicitados pelos alunos poderão auxiliar/fornecer subsídios ao planejamento didático do docente do PROEJA?**

**2. Os modelos mentais explicitados pelos alunos poderão atuar como ferramenta meta-cognitiva durante a apropriação de novos significados, ou/e a reformulação de seus invariantes operatórios?**

### **1.7 OBJETIVO**

Sob os alicerces da teoria dos modelos mentais e da teoria dos campos conceituais o objetivo geral da presente pesquisa será:

**“Verificar as contribuições advindas do conhecimento dos modelos mentais de alunos, para fins de enfatizar a relevância do estudo da Física Moderna em turmas de PROEJA.”**

Para isso, objetiva-se especificamente:

- **Implementar atividades de ensino para se verificar as contribuições dos modelos mentais de alunos como subsídios para planejamento didático de temas da Física Moderna;**
- **Verificar a evolução e as contribuições dos modelos mentais dos alunos como ferramenta meta-cognitiva para a aprendizagem de temas da Física Moderna.**

As hipóteses investigativas relacionadas aos objetivos da presente pesquisa são:

- Por meio dos modelos mentais, explicitados pelos alunos de PROEJA, pode-se verificar a relevância ou não de se estudar temas relacionados à física moderna;
- Conhecendo os modelos mentais dos alunos, pode-se traçar um caminho facilitador para o planejamento didático e ensino de modelos conceituais da física moderna;
- Ao se depararem com atividades variadas de explicitação de seus modelos mentais os alunos poderão, mesmo que implicitamente, se dar conta de que um modelo atual pode ser usado em situações diferenciadas como ferramenta meta-cognitiva, ou seja, suporte para auxiliar na solução

de uma situação problemática. Se isso ocorrer, um novo modelo mental, mais elaborado e coerente poderá ser construído.

- Percebendo seus modelos mentais e/ou a necessidade de alteração dos mesmos, os alunos do PROEJA, comparados com alunos do Ensino Médio Regular ou do Superior, demonstram ser um público para se investir o ensino da Física Moderna.

E as ações a serem implementadas para o cumprimento dos objetivos propostos:

- Planejar estratégias diferenciadas em dois ciclos de pesquisa-ação, após o conhecimento do contexto do aluno PROEJA;
- Interagir com alunos a fim de que participem do planejamento didático das atividades em cada ciclo da pesquisa-ação;
- Planejar atividades que facilitem a explicitação dos invariantes operatórios sobre os temas estudados de física moderna;
- Analisar os invariantes operatórios explicitados a fim de inferir possíveis modelos mentais usados pelos alunos para a compreensão de conceitos e proposições sobre Física Moderna;
- Verificar se as estratégias de explicitação contribuíram para a facilitação da aprendizagem conceitual.
- Verificar se os modelos elaborados pelos alunos reforçam ou servem de obstáculos meta-cognitivos para a aprendizagem significativa da Física Moderna.



Neste capítulo será feita uma abordagem sobre a evolução teórica e histórica das teorias e dos modelos científicos adotados para a presente investigação.

#### **1.1 Física Moderna e Contemporânea no PROEJA: novos rumos a serem seguidos**

Fica a cada dia mais evidente que os conteúdos contemporâneos da ciência exercem influência no cotidiano das pessoas, exigindo que sua compreensão seja imprescindível para o entendimento do mundo moderno. As pessoas estão inseridas em uma sociedade cada vez mais tecnológica, fruto de uma industrialização que tomou proporções inimagináveis a partir do século XX, alavancada por novas descobertas científicas. A chamada Física Moderna que surgia, seria então, fundamental para a leitura do mundo que o homem viria a construir.

Várias rupturas teóricas do século passado foram responsáveis pela transformação de conceitos e significados clássicos. Talvez esse tenha sido um dos períodos de maior instabilidade para conceitos já cristalizados em toda a história da física. Novas teorias, como a Relatividade Geral e Mecânica Quântica, produziram conhecimentos que traçaram inesperados rumos nas pesquisas científicas e deram suporte para a criação de tecnologias que até então, só eram contempladas em filmes de ficção.

Tais mudanças na física foram além do domínio da comunidade científica e influenciaram diretamente toda a sociedade. Mudaram comportamentos, ditaram regras e geraram expectativas e dúvidas. Essa influência alcançou não só a pesquisa científica, mas a cultura, a arte, e com maior intensidade, o desenvolvimento tecnológico. Um bom exemplo dessa influência no mundo social é o uso da Internet para o compartilhamento de mensagens virtuais. Outro exemplo é o desenvolvimento de fibras ópticas para a transmissão de dados a distâncias muito grandes e sem perdas na informação.

Em meio a tantas novidades, as pessoas sentem-se cada vez mais atraídas por esse mundo tecnológico. No entanto, poucos são aqueles que conseguem ultrapassar os limites do uso direcionado por manuais. Um crescente número de usuários da tecnologia virtual consegue seguir as receitas para atender suas demandas pessoais. Contudo, não é possível ao cidadão comum (aquele não especializado nas áreas científicas e tecnológicas) entender o que realmente ocorre no interior de produtos dessas novas tecnologias. Falta-lhes conhecimento capaz de permitir leituras do mundo tecno-virtual no qual vivem. Então, como facilitar o acesso desse cidadão a esse desenvolvimento científico?

Essa questão ganha destaque na política educacional quando intenta-se aproximar os saberes científicos da vida das pessoas. O instrumento que legitimou essa aproximação foi a Lei de Diretrizes e Base do Governo Federal (LDB), cuja idéia central é garantir acesso aos conhecimentos para a formação de um cidadão crítico e consciente.

Modelos científicos foram gerados para compartilhar as novas descobertas da então Física Moderna e Contemporânea a fim de justificar a grande exposição às inovações diárias, que vão desde o entretenimento aos mais modernos e avançados aparelhos utilizados pela medicina.

Os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (PCNEM) explicitam os elementos e componentes essenciais de cada área do conhecimento, focalizam a aquisição de conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação. Já os *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais* (PCN+), enfatizam o novo sentido para se construir uma visão da física, voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade (BRASIL, 2002, p.1).

Agora, quando se fala em cidadão contemporâneo, deve-se incluir não só aquele que teve ou tem acesso linear ao mundo científico pela educação formal (no sentido de indivíduo com condição sócio-econômica para obter instrução regular), como aquele que não tem. Como já dito anteriormente, o Decreto nº. 5.840 de 13 de julho de 2006 dá legitimidade à inclusão do sujeito-aluno da EJA no PROEJA. Busca atender à demanda de jovens e adultos pela

oferta de educação profissional técnica de nível médio. Verifica-se assim a necessidade de se incluir também os cidadãos não oportunizados pela educação formal a um ensino de qualidade e contemporâneo.

Porém, como suprir esta necessidade atual com um currículo de Física embasado apenas em conhecimentos clássico? Como garantir ao cidadão uma verdadeira formação para a cidadania no mundo atual se os conhecimentos físicos mais modernos e contemporâneos encontram-se afastados da Educação Básica?

Hoje parece consolidada para Borges *et al.* (1997) e outros autores (Terrazzan, 1992; Orstermann e Moreira, 2000; Orstemann *et al.*, 1998), a certeza da necessidade de inserção desses temas nos programas escolares e de atualização ou até uma mudança curricular no ensino da Física no Ensino Médio:

Neste sentido é importante que o currículo busque incorporar os desenvolvimentos da Física que ocorreram neste século, trazendo a Física do segundo grau para mais próximo da Física que os físicos fazem atualmente. (BORGES, 1997, p. 215)

Porém, poucos trabalhos tem se voltado à tentativa de buscar formas de introduzir a FMC na Educação Básica em nível de EJA. Isto, quando comparados com os trabalhos efetuados em outras áreas da pesquisa em Ensino de Física, bem com os trabalhos de inserção da FMC em nível de Ensino Médio Regular-EMR.

Podem-se destacar algumas propostas voltadas ao EMR com o uso de simulações computacionais, como a proposta de construção de softwares educacionais em Física Moderna, focalizando o efeito fotoelétrico por professores do departamento de Física da UFRGS (Veit *et al.*, 1987); a utilização de material de divulgação científica sobre a dualidade da luz em sala de aula, no Ensino Médio (Silvia e Kawamura, 2001); inserção de tópicos de FMC no Ensino Médio, como a supercondutividade, interferência da luz por meio de experimentos virtuais com o Interferômetro de *Mach Zehnder* (Orstermann *et al.*, 1998; Ricci e Orstermann, 2008) etc.

Estas tentativas de inovação apontam, sim, para novos rumos a serem tomados pelo ensino de física. Contudo, ainda tem-se hoje, na grande maioria das salas de aula brasileiras, um ensino centrado na repetição, que não dá conta das diversidades de interesses e necessidades dos estudantes. Vê-se a

redução do número de aulas de Física, com pouco mais de 2 aulas semanais, onde nem mesmo se consegue ensinar os conceitos da Física Clássica. Assim, enquanto a pesquisa em Física avança vertiginosamente, a Física escolar retrocede ano após ano. Esse problema ganha proporções cada vez maiores quando se trata de alunos do PROEJA.

Está claro também que ainda não existe uma avaliação definitiva sobre a forma de se implementar estes conceitos no Ensino Médio, muito menos a nível de EJA. Há uma carência de estudos sobre metodologias, práticas e estratégias que busquem, de maneira eficiente, colocar tais conteúdos em sala de aula. Sendo assim, é preciso que se faça uma eleição de prioridades condizente com os anseios e necessidades da sociedade moderna.

Com relação a tópicos de FMC que devam ser ensinados no Ensino Médio, foi elaborada por Ostermann e Moreira (2000, p. 44), uma lista consensual em sua pesquisa com físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores do Ensino Médio, selecionando o 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, *Big Bang*, estrutura molecular e fibras ópticas como tópicos mais relevantes e solicitados para fins de inserção no Ensino Médio.

Entretanto, é preciso destacar a necessidade para além dessa inserção, com a implementação de estratégias para o estudo de conteúdos de FMC não só no Ensino Médio, mas também na EJA. Sobre esse aspecto, Terrazan (1992) considera o Ensino Médio, na maioria das vezes, a última oportunidade de contato com a ciência para a grande maioria dos estudantes. E o Ensino de Jovens e Adultos, em muitas vezes, a única oportunidade desses estudantes de se inserirem no mundo da ciência. Uma vez que sua formação prioriza o mercado de trabalho a nível técnico-científico.

Dessa forma, o Ensino Médio passa a ser a única forma de escolarização formal em Física, e por isso, ao não se tratar de FMC nessa fase educacional, priva-se o futuro cidadão, em face de tudo que foi discutido anteriormente, de tomar conhecimento desta nova maneira, criada pelo homem, de compreender e prospectar a realidade.

Com relação à forma de se ensinar a Física, os modelos adaptados ao ensino da Física Clássica ficam garantidos pela então tradição pedagógica. Porém, estes modelos perdem sua validade ao entrar no mundo das altas velocidades, no mundo do muito pequeno, do atômico. Para essas situações as referências do mundo perceptível são inadequadas. Necessita-se, assim, criar condições para o aluno (no caso da presente pesquisa, aluno do PROEJA), perceba o quanto a Natureza é mais sutil do que nossos sentidos são capazes de revelar.

É necessário, então, que o ensino de Física seja capaz de integrar o aluno do PROEJA ao invés de excluí-lo. A Física Moderna deve ser mostrada como uma construção humana, menos mística, e deve ser ensinada de forma que os alunos sejam seduzidos por ela, e não rejeitados. É imprescindível não apenas que ela seja acessível, mas, principalmente, que seu entendimento passe a ser desejado, descartando sua apresentação meramente informativa.

Por isso é primordial que o Ensino de Física consiga trazer para as salas de aula a discussão acerca da realidade como um todo e não apenas a realidade vista nos livros e práticas escolares. É necessário, assim, que o Ensino de Física possa fornecer os recursos suficientes para que os alunos possam refletir sobre o processo científico e compreender os diversos aspectos da realidade que o cercam.

Desta forma, entende-se como fundamental a implementação de estratégias de ensino que possibilitem trazer não só para o EMR, mas também para o EJA, discussões e explicações capazes de dar conta do mundo que foge dos sentidos imediatos: do mundo do muito rápido, do muito antigo ou do muito pequeno.

Para isso também é necessária a construção de modelos pedagógicos capazes de superarem os limites da representação do formalismo matemático que fazem somente com que as equações dêem sentido ao mundo. Com isso, estes modelos devem possibilitar aos estudantes, tanto do EMR como do EJA, utilizar outros recursos para a representação necessária do mundo quântico

## **1.2 A compreensão da Física Moderna**

Compreender uma coisa, ou conceito, significa encaixá-la em algo que já se sabe ou acredita, para que ela passe a ter significado. A ideia de

compreensão para Ausubel *et al.* (1980, p. 34) está intrinsecamente ligada à aprendizagem significativa, que ocorre quando uma nova informação se relaciona de maneira não-arbitrária e substantiva (não literal) a um aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do aluno.

Na Física, compreender está intimamente ligado a enxergar as intrincadas relações que existem entre fenômenos aparentemente distintos e elaborados sistemas conceituais. Porém, o que significa compreender quando se depara com algo realmente novo?

É fácil entender o quanto é difícil aceitar algo realmente novo, pois este não fará sentido já que não tem “onde se apoiar”, violando, algumas vezes, o senso comum. No dia-a-dia, as observações são pautadas, em sua maioria, pelo uso dos sentidos e da percepção. A visão passa a ser o sentido predominante nas observações, de forma que o senso comum atesta que, geralmente, sempre faz mais sentido aquilo que se vê.

Na verdade, o que a ciência exige é a reconstrução daquilo que se deseja conhecer. A partir da primeira metade do século XX as teorias modernas da física deram lugar a uma nova maneira de enxergar o mundo. A ciência passou a investigar um mundo “do muito pequeno”, imperceptível aos sentidos humanos. Por isso, as experiências sensíveis deixam de ser suficientes para esse tipo de compreensão. Há uma necessidade de se desconfiar daquelas representações apreendidas somente com os sentidos.

Surgia a Mecânica Quântica, que não só parecia estar em desacordo com toda a física construída até então, como se mostrava, e ainda mostra, em total desacordo com o senso comum. Essa nova física passa então a ser um desafio ao entendimento.

Os cientistas se questionavam sobre a existência ou não dessa realidade não observável diretamente, às vezes, até mesmo com o mais potente dos microscópios. Tratavam de questões que fugiam à percepção cotidiana do mundo. As descobertas revelavam um novo mundo infinitamente pequeno e com características e comportamentos diferentes dos vivenciados no cotidiano.

Essa nova visão teve implicações radicais para a ciência e mudou completamente a maneira de os homens perceberem a Natureza. Novos conceitos, novas formas de pensar e novos modelos científicos surgiram. Por

exemplo, a ideia da descontinuidade aplicada à matéria foi estendida também a outros conceitos, como a energia, resolvendo assim vários problemas da física e da química.

Quando se olha para os campos da FMC as representações do cotidiano não servem mais, sendo que agora é necessária a intermediação feita pela ciência. Na Física Moderna, os modelos familiares deixam de ser operantes, pois não se têm como construir representações a partir deles.

Novamente pergunta-se como compreender algo completamente novo? Como o aluno pode conceber o conhecimento de algo tão distante de sua realidade?

Com o intuito de talvez enunciar uma resposta e dar uma possível contribuição à pesquisa nesse campo investigativo, propõe-se focar no planejamento de situações de aprendizagem onde o aluno seja capaz de trabalhar, compreender, perceber suas representações mentais, para depois se apoderar das representações conceituais fornecidas pela ciência. Acredita-se na utilização de estratégias que permitam aos alunos fazerem uso de seus modelos mentais de forma que possam construir modelos que os façam acessar uma realidade desconhecida.

### **1.3 Um breve relato do desenvolvimento da Física Moderna**

Em meados do século XIX a ciência se dedicava ao estudo da radiação absorvida e emitida por corpos aquecidos. Os cientistas no final deste século estavam preocupados em explicar a estrutura atômica. Para esse fim, realizaram dois grandes feitos. O primeiro deles se concretizou nos esforços do físico Willian Roetgen (1845-1923) com a descoberta dos Raios X. O segundo foi marcado pela comprovação da existência do elétron dois anos mais tarde pelo físico britânico J. J. Thomson (1856-1940).

Um dos campos mais importantes da pesquisa científica nessa época era o que se dedicava ao estudo da radiação, mais especificamente, a radiação do corpo negro. Esta se tornou o marco histórico para o surgimento da chamada teoria quântica.

O surgimento e evolução dessa nova teoria se deu, dentre outros feitos, por meio das contradições explicitadas pelo modelo clássico na tentativa de explicar o corpo negro. Tais contradições acarretaram sérios problemas para

seu estudo formal quando comparado aos resultados experimentais encontrados na época.

Este problema só foi elucidado quando Max Planck (1858-1947) abandonou o modelo teórico (clássico) da emissão contínua da energia e em 14 de dezembro de 1900 assumiu que a energia era absorvida ou emitida de forma descontínua<sup>10</sup>, ou seja, em “pacotes de energia”, chamados “quanta” (PAIS, 1982). No modelo de Planck, então, é preciso considerar que em qualquer fenômeno, a energia é trocada em pacotes, ou seja, de forma discreta (descontínua).

A principal característica de um corpo negro é a absorção de toda a radiação térmica que incide sobre ele. Esse poder de absorção representa a quantidade de energia incidente absorvida, sendo que uma fração de energia é reemitida em forma de ondas eletromagnéticas. Qualquer corpo aquecido emite radiação que corresponde a uma determinada cor. Esta coloração é resultante da mistura de radiações eletromagnéticas de diferentes frequências, cada uma com sua própria intensidade. (EISBERG e RESNICK, 1986)

Um pedaço de metal aquecido, por exemplo, pode emitir uma luz de cor vermelha, na faixa do visível, e radiação infravermelha invisível ao olho humano. A radiação emitida por um corpo negro pode, então, ser examinada por um espectroscópio para se determinar cada intervalo de frequência que constitui essa mistura, de modo que as proporções das intensidades de cada cor podem ser medidas experimentalmente.

Contudo, ao se buscar uma lei que regesse a emissividade do corpo negro por meio dos pilares teóricos da física até aquele momento: o eletromagnetismo, a termodinâmica e a mecânica estatística, as tentativas teóricas eram incompatíveis com os resultados experimentais. (IBID, 1986)

Após inúmeras tentativas frustradas de obter os resultados experimentais conhecidos a partir de manipulações teóricas, Planck percebeu que a radiação do corpo negro dependia apenas da temperatura de suas paredes, e não de sua natureza. Sendo assim, ele considerou que as paredes do corpo negro eram constituídas de osciladores, elementos finitos de energia

---

<sup>10</sup> EISBERG, R. e RESNICK, R. 1986, 4ª ed. p.33



$\varepsilon$ , responsáveis pela emissão da radiação eletromagnética, e deduz a equação que iria marcá-lo para sempre como o descobridor da lei da radiação,  $\varepsilon = h \nu$ .

Entretanto, o fato desses osciladores poderem vibrar apenas com determinados valores de energia tornou-se uma questão problemática. Segundo as teorias da época, esperava-se que a energia dos osciladores pudesse assumir qualquer valor, considerando-a de forma contínua, de modo que emitissem radiação em qualquer frequência. (PAIS, 1982, p. 440)

Embora sua teoria não tenha tido grande repercussão na época, foi por meio da quantização da energia, por ele proposta, que se obtiveram previsões teóricas em pleno acordo com os resultados experimentais. Em 1926, com o uso da estatística quântica foi encontrada a solução teórica completa para o problema da radiação do corpo negro.

Albert Einstein se inspirou nos trabalhos de Planck, mas busca estudar a radiação do corpo negro por um caminho distinto. Ele formula a hipótese do quantum de luz a partir da relação entre a entropia da lei de radiação de Wien e o volume de um gás ideal clássico. Sua dedução parte de informações experimentais atreladas a ingredientes teóricos corretos. (IBID, 1982, p. 442)

Enquanto Planck acreditava que a energia eletromagnética, uma vez irradiada, se espalhava pelo espaço da mesma forma que ondas de água se espalham na água, Einstein propunha que a energia radiante estaria quantizada em pacotes concentrados, que mais tarde vieram a ser chamados fótons<sup>11</sup>.

Ele propõe, então, que a idéia de quantização deveria ser estendida também às ondas eletromagnéticas. Afirma que essa quantização é uma propriedade da radiação eletromagnética livre. E que a energia eletromagnética se concentra (se localiza) em uma pequeníssima região do espaço e seu valor seria  $\varepsilon = h\nu$ , sendo  $h$  a constante que Planck havia calculado.

Com esse feito, Einstein estende essa propriedade à interação da luz com a matéria, sugerindo um modelo corpuscular que contrariava os modelos teóricos do eletromagnetismo de Maxwell. Neles, a energia eletromagnética dependia do quadrado das amplitudes dos campos, de modo que as frequências não eram relevantes.

---

<sup>11</sup> EISBERG, R. e RESNICK, R. 1986, 4ª ed. p.54

Foi com a interpretação do efeito fotoelétrico<sup>12</sup> que Einstein ganhou o prêmio Nobel da Física. Contudo, a comunidade científica reagiu negativamente às idéias de Einstein, e preferiu por um lado, continuar considerando que a quantização proposta por Planck ocorreria apenas nos osciladores eletrônicos que formavam as paredes do corpo negro. E por outro lado, considerar que a energia irradiada pelo corpo seguia as leis do eletromagnetismo, propagando-se como energia eletromagnética livre.

Pais (1982), afirma que um dos fatores contribuintes para a manutenção da resistência dos cientistas da época à idéia de quantum de luz de Einstein foi a demora da constatação experimental dessas previsões. Dez anos mais tarde, o físico americano Robert Millikan, em 1914, confirmou as previsões de Einstein. E em 1923, Arthur Compton, detectou um fenômeno que veio a ser conhecido como efeito Compton, levando a outra importante confirmação da hipótese do quantum de luz de Einstein.

Neste contexto, as soluções encontradas para explicar o espectro da radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e o efeito Compton implicavam desconsiderar a concepção ondulatória da luz, defendida pelo eletromagnetismo de Maxwell, o qual dava conta de explicações como a interferência e a difração da luz. Esse desconforto teórico causado pela dualidade onda-partícula (1900-1924) marcou o início da Física Quântica.

Nessa segunda fase da física quântica entra em cena o dinamarquês Niels Bohr (1882-1970) com seus trabalhos voltados ao desenvolvimento do modelo atômico. Desde 1910, Ernest Rutherford vinha pesquisando um modelo que explicasse o átomo. Em seu modelo para a estrutura do átomo, todas as cargas positivas desse átomo, e conseqüentemente toda sua massa, estão concentradas em uma pequena região carregada positivamente no centro chamada núcleo. O elétron orbitava ao redor desse núcleo central, neutralizando o átomo como um todo.

De acordo com a teoria eletromagnética clássica, todos os corpos carregados e acelerados irradiam energia na forma de radiação eletromagnética. Desta forma, a energia seria emitida à custa da energia

---

<sup>12</sup> Na explicação do efeito fotoelétrico, um fóton é completamente absorvido por um elétron no fotocátodo. Quando um elétron é emitido da superfície do metal, sua energia cinética é  $K = h\nu - \phi$ , onde  $\phi$  é chamada função trabalho, a energia mínima necessária para um elétron atravessar a superfície do metal e escapar às forças atrativas que normalmente ligam o elétron ao metal. EISBERG, R. e RESNICK, R. 1986, 4ª ed. p.33.

mecânica do elétron, que se moveria em espiral até colapsar com o núcleo. O espectro contínuo da radiação que seria emitida durante esse processo não está de acordo com o espectro discreto, que se sabe ser emitido por átomos.

Devido a este difícil problema da estabilidade do átomo, Bohr formula em 1913, um modelo bem sucedido da estrutura atômica, o qual poderia estar relacionado ao estudo dos espectros desenvolvido por Joahann Jakob Balmer. Em 1885, Balmer identificou uma regularidade na frequência das linhas espectrais do átomo de hidrogênio e derivou uma fórmula capaz de fornecer estas frequências, de modo que ela tornou-se fundamental para a criação de qualquer estrutura relacionada ao átomo de hidrogênio.

De posse desses resultados e da ideia de quantização iniciada por Planck, Bohr percebe a necessidade da existência de órbitas privilegiadas (estados estacionários) e lança quatro postulados<sup>13</sup> com vistas a encontrar uma estabilidade eletrônica e explicar a origem das linhas espectrais do átomo de hidrogênio.

Seu trabalho incentivou os físicos ao estudo das camadas eletrônicas, o que resultou num rápido desenvolvimento do estudo sobre os espectros dos elementos químicos. Contudo, ainda que bem sucedido experimentalmente, o modelo idealizado por Bohr não abordava o problema da natureza da radiação eletromagnética.

Por esse motivo, Bohr decide utilizar um modelo que prevê órbitas estacionárias e a quantização do assim o momento angular dos elétrons. Além de explicar a estabilidade do átomo de hidrogênio, Bohr associa as linhas encontradas nas análises espectrais dos elementos químicos a transições descontínuas entre as órbitas, os conhecidos “saltos quânticos”. Com isso, seu modelo consegue explicar que a quantização do momento angular orbital do elétron implica na quantização de sua energia total, e, prever novas séries espectrais além da de Balmer, como, por exemplo, a série de Lyman.

Na busca por uma generalização teórica, Bohr passa a estudar os átomos com mais de um elétron. Contudo, foi Arnold Sommerfeld quem, em

---

<sup>13</sup> O primeiro postulado baseia o modelo de Bohr na existência do núcleo atômico. O segundo, introduz a quantização baseado no momento angular orbital de um elétron atômico que se move sob a influência de uma força (coulombiana) inversamente proporcional ao quadrado da distância ( $L = nh_{\text{cortado}}$ ). Essa ideia de quantização diferia da iniciada por Planck, onde um elétron executa movimento harmônico simples sob a influência de uma força restauradora harmônica:  $E = nh\nu$ ). O terceiro, afirma que o problema da estabilidade de um elétron se movendo em uma órbita circular não existe, pois os átomos são estáveis. E o quarto postulado, na realidade um postulado de Einstein, afirma que a frequência de um fóton de radiação eletromagnética é igual à energia carregada pelo fóton dividida pela constante de Planck,  $\nu = (E_i - E_f)/h$ . EISBERG, R. e RESNICK, R. 1986, 4ª ed. p.123-144.

1915, realizou o feito de fazer uma correção relativística e estender a teoria quântica para sistemas com mais de um grau de liberdade. Isso possibilitou a compreensão de efeitos descobertos no século passado, os quais afirmavam que por meio de um campo magnético externo era possível separar as linhas espectrais do hidrogênio várias componentes.

Um ano depois de explicitarem suas conclusões, Wilson e Sommerfeld enunciam um conjunto de regras para a quantização de qualquer sistema físico, para o qual as coordenadas eram funções periódicas do tempo. Essas regras incluíam tanto a quantização de Bohr como a de Planck como casos especiais e foram de grande utilidade na ampliação no campo de aplicação da teoria quântica.

Entretanto, o avanço mais importante no entendimento da estrutura atômica começou em 1924, com um físico francês de origem nobre, Louis de Broglie. Este cientista dá uma interpretação mais física da regra de quantização de Bohr, afirmando que as órbitas possíveis para os elétrons são aquelas nas quais a circunferência da órbita pode conter exatamente um número inteiro de comprimentos de onda de De Broglie.

Outra grande contribuição de de Broglie foi na consolidação da visão sobre a dualidade da luz, onde ele prevê que os elétrons deveriam exibir também propriedades ondulatórias, como a difração, afirmando então, que o comportamento dual da radiação também era aplicado à matéria. A confirmação experimental veio em 1927, com a difração obtida pelos físicos Davisson e L. H. Germer, nos laboratórios Bell, e G.P.Thomson.

A procura de uma relação simétrica<sup>14</sup> para a matéria (se ondas se comportam como partículas, partículas talvez se comportem como ondas), postula que uma partícula livre com massa de repouso  $m$ , deslocando-se com velocidade não-relativística  $v$ , deve ter um comprimento de onda  $\lambda$  associado a seu momento linear  $p=mv$ , do mesmo modo que um fóton. Essa associação foi expressa pela equação:  $\lambda = h/p = h/mv$ , introduzindo a ideia da “dualidade onda-partícula”, e marcando o advento de uma teoria detalhada chamada mecânica quântica.

---

<sup>14</sup> Sobre este aspecto seu pensamento, parafraseado livremente, foi o de que “a natureza ama as simetrias”. YOUNG, H. D. e FREEDMAN (SEARS & ZEMANSKY). Física IV – Ótica e Física Moderna. Editora Pearson Education do Brasil, 2ª reimpressão, jul, 2010.

Apesar da comunidade científica não ter dado muita atenção aos trabalhos de de Broglie, Einstein vê uma luz para os enigmas da então mecânica quântica (EINSTEIN *apud* PAIS, 1982, p.518).

Também foram esses trabalhos que estimulou Erwin Schrödinger a deduzir sua famosa equação de onda para o elétron ao perceber a sua importância para a compreensão da matéria. Estava assim, começando a ser erigida a base matemática sólida e rigorosa que sustentaria a “verdadeira” Mecânica Quântica (SEGRÉ, 1982).

Em 27 de janeiro de 1926, Schrödinger publica nos *Annalen der Physik*, a equação cujo formalismo era capaz de descrever o comportamento ondulatório de uma partícula. A partir das condições de contorno<sup>15</sup> impostas à equação de onda, o aspecto discreto surgia naturalmente, reproduzindo os resultados de Bohr para as energias do átomo hidrogênio. Para explicar o caráter corpuscular da matéria, Schrödinger introduz a idéia de “pacotes de onda.

Como a equação deduzida trata dos movimentos ondulatórios, não possibilita a determinação da trajetória de uma partícula. Seu formalismo foi bem recebido pelos físicos e matemáticos, contudo sua interpretação causou diversas polêmicas.

Era preciso determinar o significado físico da função de onda (ou campo escalar, como chamado por Schrödinger). Considerou-se inicialmente, que o elétron estivesse espalhado em uma nuvem ao redor do núcleo, de modo que o quadrado do módulo da função de onda seria a sua densidade de carga elétrica (SEGRÉ, 1982).

Em 1926, o físico Max Born, propõe uma interpretação diferente daquela proposta por Schrödinger, interpretando o quadrado da função de onda como uma densidade de probabilidade para um elétron ser detectado. O trabalho de Born (*apud* PAIS, 1982, p.526) teve uma recepção conturbada até mesmo por Einstein, já que sua visão probabilística renunciava o determinismo no mundo atômico e a causalidade. Sobre isso Einstein disse:

---

<sup>15</sup> Ibid, 2010, p. 228. A forma mais simples de uma equação de Schrödinger é aplicada a uma partícula de massa  $m$  que se desloca em apenas uma dimensão, paralela ao eixo  $Ox$ , de modo que a função de onda espacial  $\psi$  é uma função apenas de  $x$ . Supondo que a partícula se desloque na presença de uma força conservativa que tenha apenas um componente no eixo  $Ox$ , de modo que haja uma energia potencial  $U(x)$  correspondente. A equação de Schrödinger tem soluções permitidas para apenas certos valores, chamados de autovalores, ocorrendo a quantização de modo natural. Assim, associado ao modelo atômico, esse formalismo fornece os níveis de energia de modo semelhante às frequências emitidas por um instrumento musical vibratório.

A mecânica quântica é muito impressionante. Mas uma voz interior me diz que ainda não é coisa real. A teoria produz um bom resultado, mas dificilmente nos leva para mais perto do segredo do Velho Senhor. Para todos os efeitos, estou convencido que *Ele* não joga dados. (EINSTEIN *apud* PAIS, 1982, p.527).

Em 1922, Werner Heisenberg, mesmo impressionado com o modelo atômico desenvolvido por Bohr, propõe mudanças para interpretações relacionadas às órbitas e os raios orbitais, por entender não serem essas grandezas diretamente observáveis. Entendia que uma teoria atômica deveria incorporar somente grandezas possíveis de serem medidas diretamente, como as frequências e intensidades da luz.

Sua formulação deu origem a uma álgebra que fazia uso de grandezas não-comutativas e relacionadas à álgebra matricial. Heisenberg e outros cientistas como Max Born e Pascual Jordan desenvolveram um esquema matemático extremamente consistente, que daria início a mais uma controvérsia no âmbito da Física: a Mecânica Quântica Matricial. (SEGRÈ, 1982)

Enunciou o Princípio da Incerteza e mostrou ser impossível usar conceitos clássicos aplicados a objetos quânticos. Segundo este princípio, quanto maior for a precisão na determinação experimental de um observável, menor será a precisão na determinação de outro observável, como, por exemplo, na posição e no momento. (PESSOA Jr, 2003, p. 77)

Com esse Princípio surgem controvérsias como a da não-determinação da posição de um elétron numa região específica do espaço, mas apenas da probabilidade de encontrá-lo, abandonando o determinismo.

Heisenberg parece propor uma contradição ao supor que o elétron apesar de ter posição e momento simultaneamente bem definidos, estes são desconhecidos. Ou seja, ele mostra que há uma impossibilidade de se poder medir com exatidão as duas grandezas conjugadas, e daí conclui que um objeto nunca tem, simultaneamente, valores exatos para as duas grandezas. (IBID, 2003, p.78)

O trabalho de Heisenberg fora lido na Inglaterra por Paul Dirac, que rapidamente estabeleceu o elo entre a Mecânica Clássica e a Quântica, utilizando um formalismo “algébrico” que incorporava vários resultados da teoria clássica. (PESSOA JR., 2006)

Bohr e Heisenberg aprofundaram seus estudos sobre a interpretação da Mecânica Quântica, e em 1928, Bohr apresenta publicamente seu conhecido Princípio da Complementaridade<sup>16</sup>. Esta publicação dá origem a vários encontros entre renomados físicos para se discutir a teoria quântica. O mais importante destes encontros foi o realizado no Instituto de Física de Bohr, em Copenhague. (SEGRÈ, 1982, p.173)

Contudo, ainda que tenha sido largamente aceita pela comunidade científica e com grande sucesso experimental, físicos de peso como Einstein, Schrödinger e de Broglie não a aceitaram, passando a questionar duramente sua interpretação positivista. Não concordavam com a rejeição dos conceitos clássicos, nem com a forma de representação da realidade fornecida por esta teoria. Pessoa Jr (2003) salienta esse fato ao chamar a atenção sobre um comentário feito pelo cientista Wheeler ao discutir a visão “epistêmica” de Bohr em contraponto com sua “visão ontológica” na interpretação da complementaridade:

Apenas quando o “observador participante” decide se o fenômeno será corpuscular ou ondulatório é que a realidade passada adquire uma existência “atualizada”; antes disso é como se o passado não existisse! (PESSOA JR, 2003, p.21)

Essas divergências ganharam destaque com calorosos debates entre Einstein e Bohr. Einstein mantinha seu posicionamento realista, defendendo o determinismo e a causalidade. Por isso, com a ajuda dos físicos Boris Podolsky e Nathan Rosen, em 1935, ele elabora o conhecido paradoxo de EPR, na tentativa de mostrar a incompletude da Mecânica Quântica na descrição de um fenômeno físico.

O trabalho destes cientistas motivou intensas discussões sobre a possibilidade de se construir uma teoria quântica do tipo realista, isto é, uma teoria que além de ser capaz de fazer as mesmas previsões experimentais, fosse determinista e local. Bohr respondeu essas críticas fazendo uso de argumentos filosóficos para desqualificar os argumentos de EPR. Há de se atentar para o fato de que *“o debate Einstein-Bohr era um debate entre realistas contra anti-realistas”*. (FREIRE JR, 1999)

---

<sup>16</sup> O Princípio da Complementaridade elucida a questão controversa da época: Como poderia a luz ser uma onda e uma partícula ao mesmo tempo? Para compreender esta questão determina-se que os modelos, ondulatório e corpuscular sejam excludentes, porém complementares para que se possa ter uma descrição completa da realidade. Ou seja, precisa-se das duas descrições para completar o modelo da natureza, mas nunca se precisará usar ambas as descrições simultaneamente para descrever uma determinada ocorrência.

Com sérias controvérsias e mesmo tendo Einstein como principal opositor, a teoria probabilística da complementaridade erigida na interpretação anti-realista de Copenhague, alcançou um largo consenso na comunidade científica. (FREIRE JR, 2001)

Consenso esse que foi abalado pelo físico David Bohm. O modelo de Bohm<sup>17</sup>, que abandonava a necessidade de uma descrição probabilística dos fenômenos, a física recuperava para si o determinismo e o realismo. A existência de uma teoria capaz de prever os mesmos resultados da interpretação da complementaridade, porém utilizando uma interpretação determinística, reacendeu os ânimos, iniciando debates sobre os fundamentos da Mecânica Quântica.

O mais interessante resultado apareceu em meados da década de 1960 com os trabalhos do escocês John Bell, que motivado pelo trabalho de Bohm, transforma em um critério matemático e físico a noção de localidade. Ele notou que tanto o modelo de Bohm quanto a teoria quântica, apesar de estarem inseridos em visões muito diversas da realidade física, tinham em comum uma estranha propriedade: a não-localidade<sup>18</sup>. Então, formula um modelo de uma descrição completa para a Mecânica Quântica utilizando as variáveis escondidas (IBID, 2001, p. 37).

Surge assim o desafio de confirmar experimentalmente se as teorias que utilizam as variáveis ocultas apresentavam a não-localidade, confrontando a teoria de Bohr com teorias realistas que respeitavam o critério de localidade.

Por meio de manipulações matemáticas Bell deriva as conhecidas “desigualdades de Bell”, afirmando existir um conflito entre as previsões experimentais obtidas pela teoria quântica e teorias clássicas que preservassem o critério de localidade. Seus resultados despertaram a atenção de físicos teóricos e experimentais e causou furor na comunidade científica, visto que agora, as questões que fomentaram as discussões de Einstein e Bohr, poderiam ser submetidas a testes experimentais.

---

<sup>17</sup> Ibid, 2001. Bohm representava os elétrons como partículas que seguiam trajetórias bem definidas, conceito que havia sido abandonado pela interpretação probabilística da teoria quântica. Novos recursos de computação colocados à disposição da comunidade científica pela revolução da microinformática permitiram a físicos que trabalhavam com Bohm simular em 1979 as trajetórias.

<sup>18</sup> Ibid, 2001. A não-localidade quer dizer que dois sistemas (moléculas, átomos ou partículas subatômicas etc.) que interagem e se separam espacialmente continuam se comportando como um único sistema, mantendo certas propriedades mais fortemente correlacionadas que as correlações admitidas pelas teorias que compõem a física clássica (mecânica, eletromagnetismo, termodinâmica). E essa propriedade permanece até que ocorra um processo de medição sobre um dos sistemas, sem importar quão grande seja aquela separação.



No início dos anos 80, em especial como decorrência de experimentos conduzidos pelo físico francês Alain Aspect, a comunidade científica inclinou-se a aceitar a não-localidade como um fato físico previsto pela teoria e pela experimentação. Para Freire Jr (2001) *“Desde então, experimentos ainda mais sensíveis continuam a ser feitos, confirmando a não-localidade em detrimento de teorias chamadas, em contraposição, locais”*.

Na tentativa de responder que caminhos interpretativos têm-se hoje para a Mecânica Quântica, Pessoa Jr (2006) sugere que:

Hoje em dia vivemos em uma época de pluralidade de interpretações. Na Cosmologia, a interpretação dos estados relativos de Everett é levada a sério. O dualismo de David Bohm é utilizado por muitos físicos, em busca de novas perspectivas a respeito de algum problema (como o caos quântico ou o efeito túnel). Os conceitos trabalhados pela interpretação da complementaridade são ainda muito usados em Óptica Quântica, [...] dentre os físicos teóricos e experimentais que se preocupam com questões de fundamento, pode-se observar (ao menos no Brasil) uma ascendência da tese de que “a Teoria Quântica é uma teoria essencialmente estatística”, visão esta que foi fortemente defendida pela tradição conhecida como interpretação dos coletivos (ensembles) estatísticos [...] parece-me que o que temos hoje em dia como nova ortodoxia é uma versão descritiva da interpretação dos coletivos. (PESSOA JR, 2006, p. 110)

Por meio deste relato histórico apresentado, foi possível perceber os fundamentos da Mecânica Quântica ao se estabelecer como a teoria científica mais bem sucedida para desvendar o mundo microscópico. Verificou-se uma profunda ruptura com concepções clássicas, originando posições epistemológicas e filosóficas divergentes. O formalismo matemático possibilitou o surgimento de diversas interpretações que até hoje motivam hipóteses e discussões científicas.

A dualidade onda-partícula encontra-se, implícita ou explicitamente, na raiz da maioria dessas discussões devido à impossibilidade de construção de representações clássicas para os objetos do mundo microscópico<sup>19</sup>. Segundo Richard Feynman, a dualidade onda-partícula é um fenômeno absolutamente impossível de se explicar classicamente, e contém em si o coração da Física Quântica (FEYNMAN, 1969)<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Ibid, 2006. Qualquer teoria quântica realista possui inúmeros problemas que desaparecem do ponto de vista da interpretação da Complementaridade que, por sua vez, gera outros inúmeros problemas. A dualidade é representada por meio do formalismo da Mecânica Quântica como uma superposição de estados, sem equivalente na visão clássica, ocasionando uma série de problemas. Um dos mais importantes é o problema da medição ou o “colapso da função de onda”, gerador de profundos debates de cunho epistemológico.

<sup>20</sup> FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B., SANDS, M. *The Feynman lectures on physics*, v. 1. Addison-Wesley (1969).

Este tema tem marcado forte presença na transposição da Física Moderna e Contemporânea para a sala de aula. Para Ostermann e Ricci (2004), a dualidade onda-partícula permite o uso da óptica ondulatória como “porta de entrada” para o mundo microscópico.

Os modelos científicos (ou físicos), usados na ciência, sejam eles teóricos ou matemáticos, para representar a FMC são criações dos cientistas, propostos para explicar fenômenos numa dada área.

É um desafio para o ensino de ciências representar esses conhecimentos de modo que sejam compreensíveis ou acessíveis ao indivíduo que não tem uma “cultura científica”. Borges (1999) destaca o papel mediador dos modelos, ao comparar os modelos científicos com a capacidade que o indivíduo tem de representá-los, explícita ou implicitamente:

Contrastando com o caráter público dos modelos científicos, os modelos mentais são pessoais e só existem na mente de cada sujeito. Em ambos os casos, no entanto, o modelo é o mediador entre a realidade e a mente humana. Eles falam tanto de nós mesmos de nosso conhecimento prévio, de nossa experiência e forma de pensar como da realidade externa, fenômenos, objetos, processos, que está sendo modelada. Sua utilidade vem justamente do fato de que ele é uma representação simplificada do sistema representado. (BORGES, 1999, p. 1)

Vê-se o importante papel desempenhado pelas representações mentais do indivíduo na compreensão da FMC. Ele precisa representar mentalmente um conceito, fenômeno ou processo para aprendê-lo significativamente. (MOREIRA, 1996)

#### **1.4 Teorias cognitivas e de aprendizagem: breve relato da evolução conceitual e histórica das representações mentais**

O homem, desde longa data, tem buscado compreender sua mente e o mundo em que vive. Se valendo, para isso, de diferentes tipos de representações e de procedimentos. Nas palavras de Moreira (2003 *apud* Vygotsky, 1987, 1988):

Diferentemente dos animais, sujeitos aos mecanismos instintivos de adaptação, os seres humanos criam instrumentos e sistemas de signos, cujo uso lhes permite transformar e conhecer o mundo, comunicar suas experiências e desenvolver novas funções psicológicas. (IBID, 2003, p.3)

Desde os tempos de filósofos como Aristóteles o homem tenta entender dois universos, o interno (sua mente) e o externo (mundo em que vive). A busca para o entendimento de seu mundo exterior, bem mais promissora, levou ao nascimento de duas correntes filosóficas: o *racionalismo* (representado, entre outros, pelo filósofo Descartes), afirmando que tudo vem da razão e o *empirismo* (talvez, de Aristóteles, e certamente, entre outros, de filósofos como Locke, Hume), defendendo que tudo vem da experiência.

No século XVIII nasce uma linha intermediária entre as duas correntes (representada por Kant), que defende a idéia de que o conhecimento humano depende tanto da experiência como da capacidade da mente.

Segundo Santana *et al.* (2008, *apud* Groner, Groner e Bischof, 1983), a organização do pensamento aparece em descrições sobre a orientação dos estudos para soluções de problemas de geometria desde a antiguidade clássica grega. Conta que o filósofo Platão usava métodos de análise e de síntese para a solução de problemas geométricos.

Outro passo nos estudos sobre a organização do pensamento foi o uso de algoritmos, procedimento passo-a-passo que produz “mecanicamente” a solução de um dado problema. O próprio Descartes acreditou que algoritmos poderiam ser construídos para toda sorte de problemas matemáticos por meio de todo tipo de problemas a equações algébricas.

Em 1880, o filósofo e matemático G. W. Von Leibnitz, que era crítico de Descartes, criou símbolos que combinados de forma sistemática pressupunha cálculo para “substituir” o pensamento. Seus estudos deram origem à primeira máquina calculadora.

A busca por soluções de problemas através de métodos que orientam o pensamento, que era uma preocupação filosófica, resultou diretamente na psicologia. Para Santana *et al.* (2008, *apud* Gardner 1995), apesar de Immanuel Kant que influenciou fortemente o pensamento científico do século XIX, duvidar da existência de uma ciência psicológica, na psicologia, estudos sobre o pensamento humano estimularam o desenvolvimento teórico do que seria um modo de representação do pensamento.

Wilhelm Wundt, no final do século XIX, foi um dos responsáveis pelo surgimento da psicologia como uma disciplina separada, que culminou com a

criação, em 1879, do primeiro laboratório para investigar as operações mentais através de métodos experimentais e científicos na Universidade de Leipzig.

Idealizando uma possível interação entre duas ciências, Wundt, afirma que enquanto a física estuda os objetos do mundo exterior, a psicologia estuda a experiência consciente, por meio da observação interior e da introspecção (um tipo de psicofísica). Por essa razão acreditava que os métodos de investigação em psicologia não podiam diferir daqueles empregados nas ciências naturais, a saber, o experimento e a observação (MOREIRA, 1999).

Por volta de 1890 o americano Willian James, apesar de sua formação wundtiana, abandona as idéias de Wundt e elabora suas próprias. Dirige sua atenção para o estudo das atividades mentais como perceber, pensar ou lembrar. Contudo, antes mesmo de suas idéias se solidificarem um novo movimento surge, o behaviorismo (comportamentalismo), também contrário a psicologia européia wundtiana.

Na década de 1940, nem a forma fisiológica, nem a forma do behaviorismo eram viáveis. Foi necessário o advento dos computadores e o surgimento da teoria da informação para dar legitimidade aos estudos cognitivos.

Esse movimento foi iniciado com John B. Watson (1878-1958) em 1913 e continuado por psicólogos como Pavlov, Clark Hull, B. F. Skinner, Kenneth Spence e E. L. Thorndike. Estes cientistas ajudaram a assegurar que a psicologia americana fosse behaviorista, isto é, tratasse o comportamento em termos de ligações estímulo e resposta até meados de 1950 (SANTANA *et al.*, 2008 *apud* GARDNER, 1995).

Em 1956, o Projeto de Cognição da Universidade de Harvard publicou resultados da pesquisa de Jerome Bruner sobre classificação e categorização da habilidade do indivíduo. Esta pesquisa trouxe luz a uma nova postura: a psicologia cognitiva.

Neste mesmo ano, George A. Miller apresentou um importante resultado sobre o processamento humano de informação: a memória de curto-prazo que

pode processar simultaneamente, sete, mais ou menos duas unidades de informação<sup>21</sup>.

A publicação do livro de Noam Chomsky revoluciona o universo de estudos lingüísticos. Nele, Chomsky busca demonstrar o que existe de um universal na linguagem humana, como é estruturado o pensamento humano e como as estruturas sintáticas são acionadas na mente, sofrendo transformações e sendo registradas. (MOREIRA, 1999)

No desenvolvimento dos estudos sobre a mente humana, teorias psicológicas importantes ganharam destaque, como foi o caso da teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, por serem tratadas como teorias de aprendizagem.

Segundo essa teoria, cada indivíduo contempla a sua maneira o fluxo de eventos. Ele vê o mundo através de modos, gabaritos, construtos (interpretação que o homem faz e testa frente às realidades do universo). O ajuste desses construtos nem sempre é bom, mas sem eles, o homem não consegue dar sentido ao mundo (IBID, 1999, p.5).

O advento do computador e da teoria matemática da comunicação permitiu aos psicólogos pensarem na representação da informação dentro da mente, isto é, idealizar mecanismos análogos ao processamento da representação.

Essa corrente cognitivista foi representada, entre outros, por John Bransford e seus colegas da Universidade de Vanderbilt. Eles afirmavam que a capacidade do indivíduo em processar uma informação depende do que lhe foi fornecido no material para olharem, seja num título ou numa figura. Só assim o cérebro percebe, interpreta e incorpora uma imagem ou uma idéia. Ou seja, não se pode conhecer o todo através das partes, e sim, as partes por meio do conjunto.

Essas idéias apontaram para uma nova abordagem da psicologia, a *Gestalt*<sup>22</sup>. Iniciado por Max Werthimer (1880-1943), o movimento da Gestalt foi divulgado pelos trabalhos de outros dois psicólogos, Wolfgang Köhler (1887-

---

<sup>21</sup> Uma unidade de informação pode ser de diferentes tipos (dígitos, palavras, raças de animais,...) e depende do conhecimento prévio do sujeito. Uma vez trazida à memória de trabalho, esta informação é capaz de ativar a memória de longo prazo e evocar uma série outras informações.

<sup>22</sup> *Gestalt* é a palavra alemã para configuração, organização ou, numa tradução mais livre, forma, padrão, referindo sempre a um todo. Essa vertente atribuiu à organização cerebral a capacidade perceptiva de *input* ou *insigth*, uma espécie de curto circuito que ocorre nos campos fisiológicos do cérebro durante o desafio de uma ação. Nesse contexto, o que caracteriza a aprendizagem superior ou os 'processos inteligentes' é a capacidade de apreender as relações fundamentais básicas de uma situação.

1967) e Kurt Koffka (1886-1941). É uma psicologia às vezes chamada de fenomenológica, por se ocupar do fenômeno, “do que é dado”, isto é, do evento mental intacto. Chegou a ser pensada como uma tentativa de aplicar a teoria de campos<sup>23</sup> da Física a problemas de psicologia (MOREIRA, 1999, p. 45).

Para Santana *et al.* (2008 *apud* Gardner, 1995, p. 139), a psicologia da *Gestalt* é a ligação mais direta entre a psicologia e a orientação cognitiva desde o século XIX até os dias de hoje.

A cognição e a aprendizagem seriam, então, diretamente relacionáveis à maneira de interpretar e representar do ser humano. No âmbito das teorias cognitivistas, as teorias de aprendizagem são interpretadas de maneiras distintas.

Moreira (1999) dá destaque em suas publicações sobre a aprendizagem significativa de conceitos (bem como, de conceitos físicos), ao estudo das teorias de aprendizagem. Para ele, as teorias de aprendizagem são usadas para representar uma construção humana que visa interpretar a área de conhecimento chamada aprendizagem.

Identifica especificamente três tipos de aprendizagem. A aprendizagem *cognitiva*, resultado do armazenamento organizado na mente de quem aprende; a *afetiva*, adquirida das experiências vividas, como prazer e dor; e, a *psicomotora*, que envolve respostas musculares adquiridas pelo treino e prática.

Para que a aprendizagem ocorra, contudo, é necessário que se promova o ensino pautado em fundamentos filosóficos e teóricos. Em termos de ensino ou no contexto de quem ensina, Moreira (1999) aponta três abordagens filosóficas que subjaz o processo de aprendizagem.

A primeira delas é a abordagem comportamentalista, pois considera o aprendiz como um ser que responde aos estímulos que se lhe são apresentados. Como são importantes os eventos observáveis e mensuráveis no mundo exterior ao indivíduo, se provê uma base para o estudo de manipulações que produzem mudanças comportamentais.

Outra abordagem enfatiza exatamente aquilo que é ignorado pela visão comportamentalista (ou behaviorista), o processo de cognição. Nessa visão, o

---

<sup>23</sup> A ideia de campo tomada da Física é a de um sistema dinâmico inter-relacionado, no qual cada parte influencia todas as demais.

aluno estabelece relações de significação à medida que aprende. O foco é o ato ou processo de conhecer: a cognição<sup>24</sup>.

A abordagem humanista de aprendizagem tem ganhado destaque, desde o século XX, em trabalhos de cientistas como Novak e Gowin (1996), Moreira (1996, 1999, 2006), Freire (2003).

Os trabalhos do psicólogo Carl Rogers<sup>25</sup> deram destaque a essa visão humanista de pensamento. Foi o primeiro a chamar de Aprendizagem Significativa, a aprendizagem “pela pessoa inteira”, isto é, a aprendizagem que transcende e engloba as áreas cognitiva, afetiva e psicomotora.

Em oposição às idéias comportamentalistas<sup>26</sup> que se preocupava com o reforço ou punição para se alcançar a aprendizagem, a abordagem humanista, considera o aluno como uma pessoa que é livre para fazer escolhas. Prioriza o aprendiz, seus sentimentos, pensamentos e ações. *“Como o importante é a auto-realização e o crescimento pessoal do aluno, o ensino, deve facilitá-los”* (MOREIRA, 1999, p. 12).

Em tempos mais recentes, a pedagogia da libertação e a pedagogia da autonomia de Paulo Freire (1921-1997) têm sido destaques da linha humanista, defendendo uma educação dialógica, problematizadora, ao invés de uma educação bancária, que anula o poder criador dos educandos. Nessa visão o professor deve ser o mediador, os conteúdos são importantes, mas o mais importante é a significação, a aprendizagem significativa desses conteúdos.

Joseph Novak e David Gowin (1996) propõem um humanismo mais aplicável à realidade da sala de aula. Gowin vê o ensino se consumir no momento em que o aluno consegue “captar” o significado do material que o professor pretendia. Novak entende que para se alcançar a aprendizagem é necessário conhecer o aprendiz e “entender” como se processa o conhecimento em sua mente, no momento em que aprende (significativamente

---

<sup>24</sup> Ibid, 1999. A cognição pode ser definida como o conjunto de processos mentais que envolvem atenção, percepção, memória, raciocínio, juízo, imaginação, pensamento e linguagem. Com origem latina, derivada de *cognitione*, significa a aquisição de um conhecimento por meio da percepção. Dentre as teorias cognitivistas de aprendizagem mais antigas, Moreira (1999) destaca as teorias de Tolman, a da Gestalt, a de Lewin e a da corrente neuropsicológica de Hebb (vista como uma transição entre o behaviorismo e o cognitivismo). Como teorias cognitivistas mais recentes e de bastante influência no processo instrucional destacam-se as teorias de Bruner, Piaget (1896-1980), Vygotsky (1896-1934) e Ausubel (1980).

<sup>25</sup> Ibid, 1999, p. 107-108. A psicologia rogeriana deu origem em 1979 às escolas que proviam um ambiente de aprendizagem onde a criança tinha a liberdade de escolher o que “queria” aprender. Entretanto, suas idéias não foram bem sucedidas quando colocadas em prática em escolas americanas, onde desde aquela época já se sabia que o ensino usual (tradicional) era totalmente centrado no professor e no conteúdo, e não no aluno.

<sup>26</sup> Ibid, 1999, p. 17. As teorias behavioristas, também chamadas de conexionistas, podem ser representadas por Skinner, Pavlov, Watson (1878-1958), Guthrie (1886-1959), Thorndike (1874-1949) e Hull (1884-1952). Centradas em estabelecer leis que relacionassem estímulos, respostas e conseqüências (boas, más ou neutras), tais teorias surgem como uma reação à psicologia que até então se ocupava em estudar o que as pessoas pensavam e sentiam: a idéia foi ocupar-se do que as pessoas “fazem” sem se preocupar com sua consciência.

ou mecanicamente). De posse desse conhecimento o professor pode “interferir” e facilitar essa aprendizagem.

O ensino, então, deve ser planejado de modo a facilitar a aprendizagem significativa e a ensejar experiências afetivas positivas. O aprendiz é percebido como um ser que pensa, sente e age de maneira integrada ao aprender significativamente. Tal integração pode levá-lo à auto-realização (NOVAK, 1997).

A convergência de pesquisas nas diversas áreas do conhecimento (psicologia, linguística, neurociência, inteligência artificial, antropologia, filosofia etc), aliado ao desenvolvimento das tecnologias de informação, certamente influenciou tanto a evolução da ciência, como a maneira pela qual a própria psicologia considerava a mente humana. “*O funcionamento da mente pode ser mais bem entendido em termos de representações mentais e procedimentos computacionais que atuam sobre tais representações*” (MOREIRA, 1999).

Há um consenso entre pesquisadores da cognição de que “*as pessoas usam representações internas para ‘desenhar mentalmente’ o que captam do mundo exterior*” (IBID, 1999, p. 181).

Uma representação interna, também chamada de representação mental, pode ser definida como a maneira de se “re-presentar” internamente o mundo externo. O mundo que as pessoas não captam diretamente, mas constroem representações mentais dele. Pode ser qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que “re-presenta” alguma coisa para o indivíduo.

De um modo geral, as representações podem ser divididas em *representações externas* (coisas do tipo mapas, diagramas, pinturas, manuais, descrições escritas) e *internas ou mentais* (maneiras de “re-presentar” internamente o mundo externo).

Na literatura, ainda se dividem as representações internas ou mentais de duas maneiras: 1) *analógicas e proposicionais*; 2) *localizadas ou simbólicas e distribuídas*. As representações analógicas (como a imagem visual, auditiva, olfativa tátil e os modelos mentais) são concretas, organizadas por regras “frouxas” e específicas da modalidade por meio da qual a informação é recebida. As representações proposicionais (como uma fórmula matemática, por exemplo) são mais abstratas, organizadas através de regras rígidas e exclusivamente referenciais, por exemplo, uma fórmula matemática. É a



exposição dos conteúdos ideacionais da mente. Uma proposição representa a relação entre predicados e argumentos.

Predicados: qualquer coisa que aceita um argumento. Na frase “*O livro está sobre a mesa*”, o predicado é SOBRE.

Argumentos: o assunto, o tema ou o enredo. Na frase anterior, LIVRO e MESA são os argumentos.

Então, pode-se representar tal relação desta forma: SOBRE (LIVRO, MESA). O conjunto de um predicado e vários argumentos chama-se *proposição*.

As representações mentais localizadas (ou simbólicas) podem também ser analógicas e proposicionais. A idéia básica desse enfoque é a de que a cognição humana é totalmente dependente da manipulação de representações símbolos por meio de determinadas regras. A informação, então, está “localizada” em entidades simbólicas, como proposições e imagens. E a cognição humana depende da manipulação dessas entidades por meio de processos “tipo-regras”.

As representações distribuídas podem ser usadas para representar objetos ou eventos de uma maneira distribuída do “tipo-neurônio”. Por exemplo, a visão do frasco e a fragrância de um perfume podem ser “representados” por uma imagem ou uma proposição (perfume suave, no caso) e também podem ser “representados” por conexões entre unidades “tipo-neurônio” que permitirão “re-criar” tanto a imagem do frasco como o aroma do perfume.

Neste resumo sobre a evolução dos estudos das representações mentais, pode-se perceber tratar-se de um tema complexo, que vem sendo objeto de pesquisas tanto nas áreas da psicologia como em educação e ensino de ciências, como afirma Borges (1997):

Os processos pelos quais nós compreendemos uma situação nova tem sido objeto de intermináveis discussões entre filósofos e mais recentemente, psicólogos e estudiosos da cognição. Não há respostas simples para tal questão, embora seja aceito que nossa habilidade em falar sobre um fenômeno ou sobre um objeto está intimamente relacionada com a nossa compreensão dele (IBID, 1997, p. 207).

Por isso, não há como separar *O que se aprende* de *Como se aprende*. Há de se buscar recursos de teorias cognitivas para se estudar a aprendizagem do indivíduo.

Ganha destaque na presente pesquisa de doutorado, uma terceira forma de construto representacional, chamada *modelos mentais*.

### 1.5 Modelos Mentais e Modelagem: idéias fundamentais

Dentre os diferentes construtos sobre as representações internas, o conceito de modelo mental tem alcançado uma grande importância na pesquisa em ensino de ciências a partir da segunda metade do ano de 1990.

A primeira utilização do termo modelo mental que se tem notícia foi em 1943, com o livro “*A Natureza da Explicação*” de K. J. W. Craik, em seus estudos sobre a Ciência Cognitiva. Contudo, foi apenas nos anos 80 que ele passou a ser discutido.

O conceito de modelo mental se disseminou a partir da publicação de dois livros, ambos com o título *Mental Models*, publicados em 1983. O primeiro, editado por Gentner e Stevens<sup>27</sup> é uma coleção de contribuições de um seminário sobre o assunto onde várias visões do conceito são apresentadas.

O segundo livro, procura explicar o raciocínio dedutivo e a compreensão de texto na visão de Johnson-Laird (1983). A partir daí, o conceito de modelo mental começou a ser usado ao lado de outros conceitos como “*frame*”, “*schema*” e “*script*” e como resultado, a terminologia empregada nas diferentes áreas não se tornou uniforme.

A idéia de modelo mental tem sido incorporada à pesquisa em ensino de ciências de forma vaga e com sentidos variados. E a despeito de seu uso generalizado não há uma definição geral ou única (KRAPAS *et al*, 1997).

Na literatura, os termos modelos e modelos mentais, têm aparecido em pesquisas de áreas do conhecimento como em, Filosofia, Psicologia, no estudo de Sistemas Homem-Máquina, no estudo da Interação Homem-Computador, na Compreensão de Texto e Linguagem e em Educação.

Um modelo pode ser criado para representar algo. “*É um substituto para um objeto ou sistema, ou qualquer conjunto de regras e relações que descrevem algo*”. Para entender os modelos, o ser humano usa seus próprios modelos mentais. Isto significa que “*os conteúdos dos modelos mentais que o*

---

<sup>27</sup> Gentner, D. and Stevens, A.L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

*indivíduo desenvolve pode ser distinto uns dos outros e depende diretamente da instrução que recebem” (KURTZ DOS SANTOS, 2011)<sup>28</sup>:*

Todo o nosso pensamento depende de modelos. Conceitos mentais são abstrações baseadas em nossa experiência. Essa experiência foi filtrada e modificada por nossa percepção individual e processos de organização, para produzir modelos mentais que representam o mundo em torno de nós. Modelos de simulação matemática pertencem à ampla classe dos modelos abstratos. Esses modelos abstratos incluem imagens mentais, descrições literárias, regras de comportamento para jogos, e códigos legais (IBID, 2011, p. 69).

Os estudos sobre os modelos mentais ganham destaque na literatura internacional com nomes como Johnson-Laird, Norman, Gentner & Stevens, Kleer e Brown, dentre outros.

Johnson-Laird (1983) se firmou inicialmente na idéia intuitiva de Craik. Entendeu que um modelo mental seria uma réplica interna, na mente, que tem a mesma “relação-estrutura” com o fenômeno com o qual representa. Para isso, argumenta que a construção dos modelos mentais, a comunicação de seus conteúdos, e o raciocínio tendo como base tais representações, não são nada além de processos computacionais (IBID, 2011, p. 166).

Borges (1997 *apud* Norman, 1983) apresenta a ideia de que os modelos mentais são usados para caracterizar a forma pela qual as pessoas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem. Eles servem para explicar o comportamento do sistema, fazer previsões, localizar falhas e atribuir causalidade aos eventos e fenômenos observados.

Uma pessoa elabora um modelo mental para simular, mentalmente, uma estrutura simbólica de componentes interligados, para fazer previsões ou explicar o funcionamento de um sistema. E os tipos de componentes que formam esse modelo e as maneiras como são conectados, são variados. Esse processo de simulação mental é que permite ao usuário falar de situações de seu passado, e também sobre o futuro. Para Borges (1999 *apud* Kleer e Brown, 1981), o processo de criar e manipular mentalmente um modelo de um sistema envolve quatro fases:

- *representar o sistema;*

---

<sup>28</sup> KURTZ DOS SANTOS, 2011, p. 166. Kenneth James Williams Craik (K.J.W. Craik) (1914-1945) foi um filósofo da Universidade de Edimburgo, na Escócia, e se doutorou na Universidade de Cambridge em 1940. Em 1943 ele escreveu *A Natureza da Explicação*. Seu livro colocou os fundamentos do conceito de Modelos Mentais, considerando que a mente forma modelos da realidade e os usa para prever eventos futuros similares. Ele foi um dos praticantes pioneiros da Ciência Cognitiva. Craik morreu num acidente com a bicicleta com 31 anos de idade.

- *propor* um modelo de como o sistema poderia funcionar, considerando a sua estrutura e composição, isto é, um modelo dos componentes do sistema e de como eles estão inter-relacionados;
- *imaginar* o modelo funcionando, isto é, fazer a simulação mental;
- *comparar* os resultados da simulação com a realidade.

Nessa visão, o que distingue um modelo mental de conhecimento em geral é o fato de que o modelo pode ser rodado na imaginação para produzir descrições do estado de um sistema, explicações para o seu comportamento e previsões de eventos e estados futuros. Um aspecto importante é que a habilidade de um indivíduo em explicar e prever eventos e fenômenos que acontecem à sua volta, evolui à medida que ele adquire modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos (BORGES, 1999, p. 3).

Modelos mentais são representações internas construídas pelas pessoas para captar o mundo exterior. Seres humanos entendem o mundo construindo modelos mentais, isto é, “modelos de trabalho”, que predizem e explicam eventos (COSTA E MOREIRA, 2002, p. 2).

Como um modelo mental pode ser caracterizado como um modelo que existe na mente de alguém, não há meios de se conhecer, objetivamente, os modelos mentais de outros. E mesmo quando expostos a um modelo aceito pelos cientistas através de um livro, de uma discussão com colegas ou de uma aula, um modelo mental será individualmente construído daquilo que se entende, usando as habilidades e competências cognitivas, culturais, lingüísticas e sociais específicas do indivíduo que entende para (BORGES, 1997, p. 208).

O que se espera na educação, então, é que existam “mecanismos” para se conhecer os modelos mentais dos alunos, a fim de identificar a aprendizagem dos modelos ensinados, isto é, os modelos conceituais criados pelos cientistas.

A esse respeito, Greca e Moreira (2003) salientam que o estabelecimento da analogia entre modelos científicos com modelos externos ou acabados, e entre modelos internos com os modelos que as pessoas têm ou constroem nas suas cabeças, pode resultar problemático para a pesquisa,

na medida em que se confundem representações internas e externas. Parte daí, que o modelo mental é uma representação interna e resultante do processo de modelagem de um modelo científico.

Modelagem é um termo genérico que envolve modelos *físicos*, *conceituais* e *mentais*. É identificado como modelo físico, a descrição resultante das proposições da teoria, referente a um sistema ou fenômeno físico simplificado e idealizado. Já o modelo conceitual, é aquele projetado por pesquisadores ou professores para facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas físicos. E o modelo mental, trata-se de um análogo estrutural do sistema físico, ou seja, sua estrutura corresponde à estrutura da situação física modelada (MOREIRA, 1999).

Modelar algo é criar uma imagem ou proposição mental disso. A figura 1 a seguir, representa a idéia de modelagem para se compreender o que é um *iceberg*.



Figura1: Representação de um modelo mental sobre a explicação do que é um *iceberg*.

Costa e Moreira (2002 *apud* Johnson-Laird, 1983) afirmam que a compreensão é um processo construtivo, não só a partir do que está explícito no texto, mas da combinação desta com a informação armazenada na memória.

Nesse sentido, o indivíduo desenvolve um processo interativo ao construir o significado do texto. E o processo mental que dá coerência a esta interpretação é por esses autores chamado de *inferência*.

Johnson-Laird (1983) considera dois tipos de inferências em sua teoria dos Modelos Mentais: i) as *explícitas*, que exigem um esforço consciente e deliberado para integrar a informação - como os que ocorrem durante os processos dedutivos presentes nas atividades científicas e; ii) as *implícitas*, que sustentam os processos mais comuns e cotidianos de julgamentos como a

compreensão do discurso, exigindo um conhecimento consciente mais superficial. Ao interagir em sala de aula através da linguagem, são geradas e avaliadas inferências explícitas e implícitas entre as partes envolvidas.

São dois os domínios de aplicação apontados pela teoria dos modelos mentais. O primeiro diz respeito ao *processamento da linguagem*. Entender como os modelos mentais são construídos quando os indivíduos entendem o que lêem ou o que lhes é dito (COSTA E MOREIRA, 2002, p. 62).

O segundo domínio de aplicação da teoria dos Modelos Mentais está relacionado com o *pensamento* e o *raciocínio*. O enfoque é dado tanto para as representações como para os processos que manipulam estas representações na memória de curto-prazo.

## **1.6 A Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird**

A teoria de Philip Johnson-Laird (1983) focaliza as representações mentais. Para ele, a habilidade em dar explicações está intimamente relacionada com a compreensão daquilo que é explicado. E para se compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, é preciso ter um modelo funcional dele.

Johnson-Laird (1983; Souza e Moreira, 2000; Moreira, 1996) distingue três tipos de construtos representacionais: os *modelos mentais*, as *imagens* e as *proposições*.

Considera que os modelos mentais e as imagens são representações de alto nível, essenciais para compreender a cognição humana. Mas, enquanto os *modelos mentais* são representações analógicas, um tanto quanto abstraídas, de conceitos, objetos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais, as *imagens* são representações bastante específicas que retêm aspectos perceptivos particulares de determinados objetos ou eventos.

Já as *proposições* são representações de significados, totalmente abstraídas, que são verbalmente expressáveis. Elas captam o conteúdo ideacional da mente independentemente da modalidade original em que a informação foi encontrada. Elas descrevem vários possíveis estados de coisas, uma vez que a descrição proposicional de um estado de coisas complexo pode consistir de um elevado número de proposições (IBID, 1996).



Figura 2: Imagem de um livro “específico” sobre uma mesa.

Proposição:

“O livro está sobre a mesa”.

O terceiro construto representacional proposto por Johnson-Laird (1983), o modelo mental, é visto como um tipo de “tradução” dos eventos externos em modelos internos. Ou seja, os seres humanos raciocinam, manipulando estas representações simbólicas e podem traduzir em ações os símbolos resultantes dessa manipulação.

Um exemplo, similar ao apresentado por Moreira (1996), pode esclarecer a diferença entre *modelos mentais*, *imagens* e *proposições*: a situação “O livro está na estante” pode ser representada mentalmente como uma proposição (porque é verbalmente expressável), como um modelo mental (de qualquer livro em qualquer estante) ou como uma imagem (de um livro em particular em certa estante).

Estudos sobre a forma de tais representações e as maneiras pelas quais são manipuladas foram realizados pela teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983).

Para Moreira (1996), assim como a década de setenta pode ser considerada a das Concepções Alternativas e a de oitenta a da Mudança Conceitual, muito possivelmente os anos noventa venham a ser a década dos Modelos Mentais:

O aparecimento de um número cada vez maior de artigos e pesquisas sobre modelos mentais pode ser visto como uma consequência da grande ênfase na mudança conceitual que pautou muito da pesquisa em ensino de ciências na década passada. E talvez tenha sido uma etapa necessária, pois foram os resultados (no mínimo modestos) dessa pesquisa que levaram os pesquisadores a buscar outros referenciais teóricos e, nessa busca, chegar aos modelos mentais (IBID, 1996, p. 36).

A teoria psicológica de Johnson-Laird é considerada por alguns autores, como Moreira (1996), a mais completa e articulada teoria sobre modelos mentais. Ela pretende dar conta do raciocínio em geral, incluindo a inferência na compreensão da linguagem, o raciocínio indutivo e, é claro, o dedutivo.

Sua maior contribuição foi apontar uma saída para a controversa discussão no âmbito da Psicologia Cognitiva, entre proposicionalistas e imagistas, no que se refere à criação do conceito de modelos mentais e de uma teoria que os descreva e os explique.

Vale a pena ressaltar a interessante esquematização feita por Borges (1997) que hierarquiza as diversas conceituações de modelo mental, a partir de um núcleo central. As camadas mais externas acumulam as definições conceituais das camadas mais internas e acrescentam outras. Nesse modelo, as camadas mais externas trabalham com um conceito mais restrito de modelo mental.

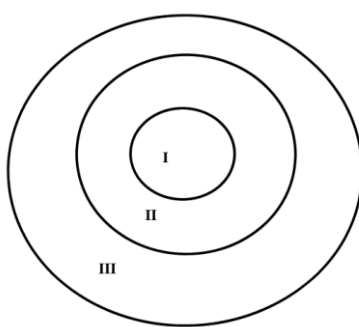


Figura 3: Um modelo das concepções de modelo mental elaborado por Borges (1997)

I - O comportamento de uma pessoa é melhor explicado em termos do conteúdo de sua mente, dos conhecimentos e das crenças de tal pessoa, independente de quaisquer mecanismos mentais (Gentner e Stevens, 1983<sup>29</sup>; Shipstone, 1985<sup>30</sup>; Osborne, 1983<sup>31</sup>).

II - Acrescenta-se o pressuposto de que uma pessoa faz inferências e previsões manipulando seus modelos mentais, numa forma de simulação mental (de Kleer e Brown, 1981<sup>32</sup>; Williams, Hollan & Stevens; 1983<sup>33</sup>).

III - Supõe que os modelos mentais são estruturalmente análogos aos sistemas que eles representam e que os mesmos tipos de modelos podem ser construídos através da percepção, da imaginação ou de leitura (Johnson-Laird, 1983).

<sup>29</sup> Gentner, D. and Stevens, A.L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

<sup>30</sup> Shipstone, D. M. (1985). *Electricity in simple DC circuits*. In R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes, England: Open University Press (pp. 33-51).

<sup>31</sup> Osborne, R. (1983). *Towards modifying children's ideas about electric current*. *Research in Science and Technology Education*, v.1, n.1, (pp. 73-82).

<sup>32</sup> De Kleer, J. and Brown, J.S. (1981). *Mental model of physical mechanisms and their acquisition*. In J.R. Anderson (Ed.). *Cognitive Skills and Their Acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum (pp. 258-310).

<sup>33</sup> Williams, M.D., Hollan, J.D. & Stevens, A.L. (1983). *Human reasoning about a simple physical system*. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.



Para Johnson-Laird (1983), o ponto central da compreensão de qualquer aspecto do mundo real ou imaginário está na existência de um modelo mental de trabalho na mente de quem compreende alguma coisa.

É necessário, então, pensar que se o indivíduo não conhece algo, ele deverá usar seus conhecimentos prévios para construir um primeiro modelo mental sobre o que está aprendendo. Outra pessoa, que detém outro tipo de conhecimento, poderá construir outro modelo mental mais elaborado.

Um modelo vai sendo alterado por meio de inferências até que ele seja satisfatório ou dê conta do novo conhecimento. Não se trata de um construto, nem de um esquema, mas de um *modelo de trabalho* (SOUZA e MOREIRA, 2005).

Desta forma, quando um modelo começa a se repetir, poderá evoluir para um esquema. Ou seja, antes de assimilar ou fazer um construto, o indivíduo constrói implicitamente um modelo mental daquilo.

Em resumo, os modelos mentais são recursivos e, sobretudo, funcionais para o aprendiz. Mas podem se estabilizar e evoluir para esquemas de assimilação (IBID, 2005, p. 49).

Outro ponto importante a ser salientado é que os modelos podem ter várias dimensões, dependendo das capacidades mentais das pessoas. Uns podem ser muito proposicionalistas, ou seja, baseado em proposições, por exemplo, matemáticas ou lingüísticas.

Outros modelos podem ser imagísticos, isto é, relacionados com imagens, desenhos, figuras. Como já dito, a imagem é uma visualização de um modelo específico. Por exemplo, ao pensar num triângulo, vou sempre pensar num triângulo específico, nunca num triângulo geral que dá conta do conceito como um todo.

Aplicando esses princípios ao contexto do ensino da física, entender um fenômeno físico, então, é saber o que o causa, o que resulta dele, como iniciá-lo, influenciá-lo ou evitá-lo. Na linguagem de Johnson-Laird, é ter um modelo mental de trabalho do fenômeno.

Para se ensinar um novo fenômeno ou conceito físico são delineados, projetados, modelos conceituais consistentes com os sistemas físicos, para facilitar a compreensão. No ensino, o professor faz uso de modelos conceituais

e espera que o aprendiz construa modelos mentais consistentes com esses modelos conceituais. Para Moreira (1996):

O objetivo do ensino é, através de modelos conceituais, levar o aprendiz a formar modelos mentais adequados (i.e., consistentes com os próprios modelos conceituais) de sistemas físicos. Quer dizer, a mente humana opera só com modelos mentais, mas modelos conceituais podem ajudar na construção de modelos mentais que explicam e predizem consistentemente com o conhecimento aceito em certa área (IBID, 1996, p. 9).

Como mediador desse processo, o professor precisaria verificar se o aluno está conseguindo construir modelos mentais para aprender significativamente. Os modelos que os alunos estão construindo, seus referenciais teóricos ou suas concepções prévias, a potencialidade significativa do material instrucional, são pontos a serem considerados para se aprender significativamente. A construção de modelos mentais é o primeiro passo da interação cognitiva que caracteriza a aprendizagem significativa. Dar significados a conhecimentos novos implica a construção de modelos mentais.

Contudo, é uma dura tarefa tentar conhecer um modelo mental elaborado por um indivíduo. Johnson-Laird aponta nove princípios que impõem vínculos a possíveis modelos mentais. Estes princípios serão apresentados com base na leitura de Moreira (1996, p. 152-158):

1. Princípio da computabilidade: modelos mentais são comutáveis, devem ser descritos de maneira que possam ser executados por uma máquina.
2. Princípio da finitude: modelos mentais são finitos, não podem representar diretamente um domínio infinito.
3. Princípio do construtivismo: modelos mentais são construídos a partir de alguns elementos básicos (*tokens*) organizados em uma certa estrutura para representar um estado de coisas. Apesar de existir um número infinito de estados de coisas que poderiam ser representados, os modelos serão construídos a partir de um número finito de mecanismos.
4. Princípio da economia: uma descrição de um estado de coisas é representada por um só modelo mental, mesmo se a descrição é incompleta ou indeterminada. Cada nova asserção (*token*) pode implicar revisão de modelo para acomodá-la.

5. Princípio da não indeterminação: modelos mentais podem representar indeterminações diretamente se e somente se não existir um crescimento exponencial em complexidade. Caso sejam acomodadas cada vez mais indeterminações em um modelo mental, isso o levará rapidamente a um crescimento intratável de interpretações, o que, na prática, o descaracterizará como um modelo mental.
6. Princípio da predicabilidade: um predicado pode ser aplicável a todos os termos aos quais um outro predicado é aplicável, mas eles não podem ter âmbitos de aplicação que não se interceptam. Um conceito que fosse definido por predicados que não tivesse nada em comum violaria o vínculo da predicabilidade e não estaria, normalmente, representado em modelos mentais.
7. Princípio do inatismo: todos os primitivos conceituais são inatos e subjazem de nossas experiências perceptivas, habilidades motoras, estratégias cognitivas, enfim, de nossa capacidade de representar o mundo. Os primitivos procedimentais são acionados automaticamente quando o indivíduo constrói um modelo mental.
8. Princípio da finitude de princípios conceituais: existe um número finito de primitivos conceituais que dá origem a um conjunto correspondente de campos semânticos e um outro conjunto finito de conceitos, ou “operadores semânticos”, que ocorre com cada campo semântico e serve para construir conceitos mais complexos, a partir dos primitivos subjacentes. Um campo semântico se reflete no léxico por um grande número de palavras que compartilham no núcleo de seus significados um conceito comum. Por exemplo, verbos associados à percepção visual com avistar, olhar, espiar, escrutinar e observar compartilham um núcleo subjacente que corresponde ao conceito de ver. Os campos semânticos nos provêm de nossa concepção sobre o que existe no mundo, sobre o mobiliário do mundo, enquanto os operadores semânticos nos provêm de nosso conceito sobre as várias relações que podem ser inerentes a esses objetos.
9. Princípio da identidade estrutural: as estruturas dos modelos mentais são idênticas às estruturas dos estados de coisas, percebidos ou

concebidos, que os modelos representam. Não deve haver na estrutura do modelo nenhum aspecto sem função ou significado.

No contexto da teoria dos modelos mentais são considerados dois tipos de modelos mentais: os *modelos mentais físicos* e os *modelos mentais conceituais*<sup>34</sup>.

Os modelos mentais físicos representam o mundo físico. São identificados seis tipos principais:

1. Modelo relacional é um quadro (*frame*) estático que consiste de um conjunto finito de elementos (*token*) que representam um conjunto finito de entidades físicas, de um conjunto finito de propriedades desses elementos que representam propriedades físicas de tais entidades e de um conjunto finito de relações entre os elementos (*tokens*) representando relações físicas entre as entidades.
2. Modelo espacial é um modelo relacional no qual as relações entre as entidades são somente espaciais e estão nele representadas pela localização dos elementos (*tokens*) em um espaço dimensional (bi ou tridimensional).
3. Modelo temporal é o que consiste de uma sequência de quadros (*frames*) espaciais (de dimensão constante) que ocorre em uma ordem temporal correspondente à ordem temporal dos eventos (embora não necessariamente em tempo real).
4. Modelo cinemático é o que consiste de um modelo temporal que é psicologicamente contínuo; representa mudanças e movimentos nas entidades representadas sem descontinuidades temporais.
5. Modelo dinâmico é um modelo cinemático no qual existem também relações entre certos quadros (*frames*) representando relações causais entre os eventos representados.
6. Imagem é uma representação, centrada no observador, das características visíveis de um modelo espacial tridimensional ou cinemático subjacente. Corresponde a uma vista (ou projeção) do objeto ou estado de coisas representado no modelo subjacente.

---

<sup>9</sup> Os modelos conceituais de Johnson-Laird não são os modelos precisos, consistentes e completos inventados por professores, pesquisadores, engenheiros, e projetados como instrumentos para a compreensão e o ensino. São modelos que as pessoas têm nas suas cabeças e que representam estados de coisas abstratos em relação aos estados de coisas físicos, representados pelos modelos físicos.

Já os modelos mentais conceituais, por não terem o referencial do mundo físico, exigem mais do que os modelos físicos, ou seja, exigem um mecanismo de auto-revisão recursiva. São divididos em quatro tipos principais:

1. Modelo monádico é o que representa asserções sobre entidades individuais, suas propriedades e identidades entre eles. Tem três componentes: um número finito de elementos (*tokens*) que representam as entidades individuais; duas relações binárias, identidade (=) e não-identidade ( $\rightarrow$ ); e alguma notação espacial que indique que é incerto se existem determinadas identidades. Por exemplo, o modelo conceitual monádico da asserção “Toda força é uma grandeza vetorial” poderia ser o seguinte:

Força = grandeza vetorial

O elemento (*token*) força é uma notação para indicar que o correspondente elemento (*token*) mental representa uma entidade física que é força. A notação que inclui um elemento entre parêntesis é a notação especial dos modelos conceituais que indica que é incerto se a individualidade correspondente existe ou não no domínio do modelo elaborado pelo indivíduo. Quer dizer, qualquer força é uma grandeza vetorial.

2. Modelo relacional é o que inclui um número finito de relações, possivelmente abstratas, entre as entidades representadas no modelo monádico, como por exemplo, existe um número maior de grandezas vetoriais do que de forças.
3. Modelo meta-lingüístico é o que contém elementos (*tokens*) correspondentes a expressões lingüísticas e certas relações abstratas entre elas e elementos do modelo (de qualquer tipo). Por exemplo, uma asserção como “Um dos homens chama-se João” requer um modelo do seguinte tipo:

“João”	( $\rightarrow$ )	homem
		homem
		homem

As aspas são usadas para significar um elemento que representa uma expressão lingüística (um signo, no caso) e a flecha denota referência: a expressão lingüística “João” se refere ( $\rightarrow$ ) a tal homem.

4. Modelo conjunto-teórico é o que contém um número finito de elementos (*tokens*) representando conjuntos diretamente; este tipo de modelo pode também conter um número finito de elementos representando propriedades abstratas do conjunto e um número finito de relações entre os elementos que representam conjuntos. Por exemplo, a asserção “Algumas bibliografias listam a si mesmas, outras não”; um modelo mental da forma (representa uma bibliografia de três nomes incluindo o próprio):

$$b_1 \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{array} \right.$$

Em resumo, a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird afirma que os seres humanos não captam o mundo diretamente, eles fazem representações mentais do mundo. Portanto, compreender alguma coisa implica ter um modelo mental, um “modelo de trabalho”, dessa coisa. Eles são construídos através da percepção, através do discurso ou da concepção. E a percepção é a fonte básica de modelos cinemáticos e dinâmicos tridimensionais do mundo. Esses modelos são análogos estruturais do mundo e não precisam ser completos, lógicos ou “corretos”; eles podem ser permanentemente revisados. Há vários tipos de modelos e sua construção tem uma série de restrições, implícitas nos princípios sugeridos por este teórico.

Pode-se concluir de tudo o que foi dito até agora, que os modelos mentais da teoria de Johnson-Laird se diferem de outras formas postuladas de representações mentais como os esquemas de Piaget, os esquemas de Vergnaud, os subsunçores de Ausubel e os construtos pessoais de Kelly, pela proposição de alguns princípios e restrições.

Assumindo a interpretação de Johnson-Laird para embasar o estudo e a análise dos modelos mentais inferidos na presente pesquisa, será feito, a seguir, um breve relato da teoria contemporânea de Gérard Vergnaud, a qual associa a ideia de esquemas no estudo das representações mentais. Essa associação dá destaque e viabiliza a utilização de ambas as teorias no escopo desta investigação.

## 1.7 Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud

Em sua teoria dos Campos Conceituais Gérard Vergnaud (1993, 1996a, 1996b, 1996c, 2003) afirma ser a conceitualização o problema central da cognição. Não diferencia o conhecimento procedimental (saber fazer) do conhecimento declarativo (verbal e escrito). Ambos fazem parte de um campo de conhecimento a ser apreendido pelo estudante.

Para Vergnaud (1996a), o fator essencial da dificuldade dos estudantes encontra-se vinculado às "operações do pensamento". O conhecimento encontra-se organizado em campos conceituais de que o sujeito se apropria ao longo do tempo e que podem ser definidos como grandes conjuntos, informais e heterogêneos, de situações e problemas, cuja análise e tratamento requerem diversas classes de conceitos, procedimentos e representações simbólicas, inter-relacionados.

Durante o processo de apreensão desses campos conceituais, os estudantes vão adquirindo, ao longo de vários anos, concepções e competências. Como a maior parte de nossos conhecimentos são competências (ou seja, o saber fazer), para Vergnaud (1996c), em relação ao conhecimento científico, as competências parecem estar mais vinculadas à resolução de problemas e as concepções às expressões verbais ou escritas dos sujeitos.

Na definição de campo conceitual aparece o conceito de situação. É a partir do confronto com essas situações, e do domínio que progressivamente alcança sobre elas, que o sujeito molda os campos conceituais que constituem seu conhecimento (IBID, 1996c, p. 113).

Outro conceito fundamental na teoria de campos conceituais se refere à organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações, chamado de esquema.

São quatro os elementos que constituem os esquemas: objetivo do esquema, regras de ação e controle, invariantes operatórios e possibilidades de inferência, dentre estes, somente os invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) são indispensáveis na articulação entre uma situação que o sujeito enfrenta e o esquema que possui para poder resolvê-la.

Um teorema-em-ação é uma proposição que se supõe verdadeira sobre a situação e um conceito-em-ação é um objeto, um predicado ou uma categoria de pensamento tida como relevante a ela (IBID, 1996c, p. 113-114).

Para Moreira (2004 *apud* Vergnaud, 1993, 1996a, 1996b, 1996c) teoremas e conceitos em ação se aplicam a classes de situações às quais as situações em pauta pertencem. A percepção, a procura e a seleção de informação baseiam-se, no sistema de conceitos-em-ação, disponíveis pelo sujeito e nos teoremas-em-ação, subjacentes à sua conduta. Ou seja, os conceitos-em-ação que o sujeito possui permitem-lhe identificar elementos conhecidos nas situações que enfrenta. Os teoremas-em-ação fornecem-lhes as regras que vinculam esses elementos e que lhes permitem resolver uma dada situação e agir em consequência. Este conhecimento para a ação permanece em geral totalmente implícito, pois se orienta para o desenvolvimento de competências, para o saber fazer, que constitui a maior parte do repertório do nosso conhecimento, em vez do desenvolvimento de conceitualizações. Por isso os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação não são nem verdadeiros conceitos nem verdadeiros teoremas.

Na ciência, conceitos e teoremas são explícitos e se pode discutir sua pertinência e veracidade, o que não é necessariamente o caso dos invariantes operatórios. Ou seja, o conhecimento-em-ação permite agir frente a uma dada situação, independentemente de ser verdadeiro ou apropriado segundo algum critério científico.

É proposto um exemplo: quando movemos a antena da nossa televisão para “sintonizar” melhor, dificilmente o fazemos baseados em um conhecimento sobre o eletromagnetismo; “sabemos” que dessa forma conseguimos muitas vezes estabilizar a imagem, sendo muito difícil que consigamos explicar, do ponto de vista científico ou técnico, a razão pela qual, fazendo-o, conseguimos esse resultado. No entanto, esse saber fazer é fundamental para depois dar “sentido” às leis do eletromagnetismo (IBID, 2004, p. 21).

Por isso, Moreira (2004 *apud* Vergnaud, 1996c) compara os conhecimentos explícitos com a ponta de um *iceberg* da conceitualização: sem a parte oculta dos invariantes operatórios esta nada seria. Para ele, é claro que podemos explicitar conhecimentos, expressar conceitos ou teoremas que não



sejam apropriados, mas, ao fazê-lo, estamos, de alguma forma, submetendo-os ao controle da sua veracidade. Assim, a partir do conhecimento explícito, demonstrado no uso de proposições e conceitos, podemos inferir os invariantes operatórios integrados aos esquemas.

Para esse autor o sujeito, muitas vezes, tem dificuldade ou, até mesmo, impossibilidade de “saber dizer” o seu “saber fazer”. Esta impossibilidade de explicitar o conhecimento-em-ação é muito clara nos comportamentos dos estudantes. Em geral, os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural, os teoremas e conceitos-em-ação que eles utilizam para resolver os problemas, para a identificação dos elementos pertinentes e para o estabelecimento das sequências de cálculos que devem ser efetuados. Este conhecimento permanece implícito e, desta forma, resulta difícil de ser modificado (IBID, 2004, p. 57).

Por isso, um dos objetivos do ensino para Vergnaud (1996c) seria proporcionar aos estudantes ferramentas para a construção de conceitos e teoremas explícitos e gerais. Dito de outra forma:

Como a maior parte de nossos conhecimentos são competências que adquirimos, os quais estão disponíveis na forma de esquemas, a Educação deve dar maior importância a formação dos esquemas e às situações onde estes esquemas são elaborados (IBID, 1996c, p. 202).

No entanto, Vergnaud (1993) adverte que a transformação de invariantes operatórios em palavras e textos ou em qualquer outro sistema semiótico (gráficos, diagramas, notação algébrica,...) não é direta, nem simples. Existem importantes lacunas entre aquilo que é representado na mente do indivíduo e o significado usual dos signos. Os verdadeiros conceitos são basicamente relacionais e referem-se a um conjunto de situações, invariantes operatórios e suas propriedades, que podem ser expressas por diferentes representações linguísticas e outras representações simbólicas (Vergnaud, 1993, p. 8; 2007; Moreira, 2002). Um conceito pode, então, ser definido como um triplete de conjuntos  $C = (S, R, I)$ , onde:

- **S** é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;

- *I* é um conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito que permitem ao sujeito analisar e dominar as situações do primeiro conjunto;
- *R* é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc), que servem para representar de forma explícita os invariantes operatórios.

O primeiro conjunto (de situações) é o *referente* do conceito, o segundo (de invariantes operatórios) é o *significado* do conceito, enquanto o terceiro (de representações simbólicas) é o *significante*.

Como vimos, resumidamente, a teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1993; 1996b; 1996c; 2007; Greca e Moreira; 2002a; 2002b; 2003) é uma teoria psicológica cognitivista que se ocupa do estudo do desenvolvimento e da aprendizagem de conceitos e competências complexas. Ela permite explicar o modo como se gera o conhecimento (em qualquer nível). Entende conhecimento tanto como saberes que se expressam com procedimentos, como categorias de conteúdos - o saber dizer ou o saber fazer. A conceitualização é o núcleo do desenvolvimento cognitivo. São as situações que dão sentido aos conceitos. E a aquisição, ou domínio, de um corpo de conhecimentos (i.e, um campo conceitual) é um processo lento, não linear, com rupturas e continuidades.

Segundo Greca e Moreira (2002) há um contínuo entre aprendizagem mecânica e significativa. O objeto de estudo é o sujeito na situação-problema; sua forma de organizar a conduta e seu modo de conceituar diante essa situação. Para isso, utiliza o conceito de esquema, constituído de invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) que refletem uma representação mental.

A interessante proposição de Greca e Moreira (1996; 1998; 2002a; 2002b; 2003), utiliza as teorias dos modelos mentais e dos campos conceituais como “ferramentas” para o estudo da aprendizagem. Foi, então, nessa perspectiva abrangente e integradora que se desenvolve a presente pesquisa de doutorado.

## 1.8 A teoria dos Modelos Mentais e a teoria dos Campos Conceituais como complementares.

A visão integrada entre as teorias dos modelos mentais e dos campos conceituais tem sido amplamente discutida em pesquisas como Greca e Moreira (1996; 2002a; 2002b), Vergnaud (1996a; 1996b; 1996c; 2003), Moreira e Vergnaud (2003; 2007), Costa e Moreira (2002).

O enfoque da teoria dos modelos mentais, sua relação com os modelos conceituais e a modelização em Ciências, está na aprendizagem dos conceitos. Greca e Moreira (2002a) acreditam que para a aprendizagem significativa de qualquer área da Ciência (como, Física, Química, Biologia) é necessário que o aluno “aprenda” as regras da modelagem, uma vez que as descrições das Ciências são construções simplificadas e idealizadas, produto de teorias e crenças, e por tanto, de modelos.

Quando os estudantes operam com determinados conceitos, por exemplo, quando sabem calcular o campo magnético gerado por uma espira condutora, muitas vezes o que utilizam são somente invariantes operatórios. Sabem que elementos considerar, que propriedades aplicar (por exemplo, que integrais, que propriedades geométricas, etc.), muitas vezes não sabendo explicitar porque o fazem (o que se observa quando se lhes pergunta especificamente sobre isso e não conseguem expressar-se). Ou seja, os conceitos necessários para resolver essas situações são instrumentos da ação do sujeito. Em outras palavras, o sujeito está usando apenas a parte operacional dos significados do conceito. Mas o significado não é só isso, nem o conceito é só significado. Existe aí um “operacionalismo” ou “operativismo” que pode, inclusive, ser indicador de uma aprendizagem mecânica (GRECA e MOREIRA, 2003).

No entanto, segundo Vergnaud (1996c), saber dizer o que está fazendo, explicar qualitativamente o problema ou expressar um conceito, como p. e., de campo, que tanto trabalho custa aos estudantes, resulta de uma passagem do conceito como *instrumento* ao conceito como *objeto de pensamento*.

Não requer o mesmo nível de conceitualização saber calcular a velocidade, dividindo um espaço por um tempo, expressar em forma lingüística a idéia de que a velocidade é proporcional à distância quando a duração se mantém constante, ou que a distância é uma função

bilinear da duração e da velocidade, e expressar esta idéia por uma fórmula (IBID, 1996c, p.204).

Quando um conceito passa a ser um *instrumento de pensamento*, ele “liberta-se” das amarras das situações originais e pode ser aplicado em contextos mais amplos. Segundo Vergnaud (1996b, p. 13), na instrução dá-se continuamente essa relação dialética entre o desenvolvimento da forma operatória do conhecimento e da forma predicativa desse conhecimento, ou seja, saber explicitar os objetos, os conceitos e suas propriedades. A teoria de Vergnaud permite, em princípio, compreender alguns comportamentos dos estudantes no processo de aquisição e domínio de um campo conceitual.

Por outra parte, os resultados das pesquisas em modelos mentais desenvolvida por Greca e Moreira (2002b, p. 35) levam esses autores a acreditar que também a ideia de modelo mental deveria ser considerada para a compreensão dos processos de aprendizagem. Para isso articulam ambos os referenciais. Para esses autores a questão do ensino baseado em modelos é hoje uma estratégia muito discutida na área de ensino de Ciências e, em particular, no ensino de física e matemática.

Entretanto, para que o estudante aprenda um determinado modelo, não basta, então, que este lhe seja apresentado de forma clara, organizada e rigorosa, o que Vergnaud (1986) identifica como “ilusão pedagógica”. De acordo com essa perspectiva, para Greca e Moreira (2002b) a aprendizagem de modelos físicos e matemáticos poderia ser entendida da seguinte forma. Um determinado modelo físico é útil para resolver certa classe de situações a que se refere. Se a classe de situações que, do ponto de vista científico, seria resolvida com a utilização desse modelo físico, é apresentada aos estudantes em uma seqüência que lhes permita “extrair” os invariantes que fazem com que a explicação deles decorra desse modelo físico, os teoremas e conceitos-em-ação que os estudantes “abstraíssem” dessas situações poderiam corresponder-se com as propriedades do modelo em questão.

Costa e Moreira (2002) entendem que se devem levar em conta que os modelos físicos, que servem para explicar os fenômenos físicos e cuja compreensão é um dos objetivos do ensino de Física, são simplificações extremas da realidade à luz dos princípios de uma dada teoria. Poder detectar invariantes nas situações a que eles se aplicam é um processo muito

complexo. O repertório de esquemas que o estudante possui, e que é a base para a construção dos modelos mentais iniciais, é derivado da sua interação sobre o mundo desde o nascimento e, portanto, muito rico. Isso pode fazer com que, para eles, cada situação explicada a partir de determinado modelo físico seja uma situação diferente e, assim, aplique, a situações idênticas, esquemas diferentes.

Entretanto, enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo com teoremas e conceitos em ação (que contêm informação de propriedades do mundo físico e de relações matemáticas), Greca e Moreira (2002a) esclarecem que no momento de enfrentar uma situação nova, os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, para a resolução da tarefa. Partem da idéia de considerar os modelos mentais como representações mediadoras entre a nova situação e o conhecimento que o sujeito possui. Os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação guiam o processo de construção dos modelos mentais, na medida em que determinam os elementos da situação que resultam relevantes para o sujeito (ou seja, os elementos da situação que devem ser representados) e as propriedades que sobre eles podem ser aplicadas. O modelo mental pode resultar de invariantes operatórios de diferentes esquemas usados pelo sujeito para a compreensão de uma situação nova e sua ação sobre ela.

Os teoremas-em-ação, na proposta de Greca e Moreira (2002b, p. 33), determinam as relações fundamentais estabelecidas no momento da “rodagem” dos modelos mentais. Na linguagem computacional, esses teoremas-em-ação corresponderiam com as sentenças ou comandos que em uma simulação guiam sua “rodada”. E uma vez que os modelos mentais são gerados, manipulados e “rodados”, eles fornecem as regras de ação e controle que determinam as seqüências de ações do sujeito. Ou seja, os modelos mentais resultam no espaço em que os invariantes operatórios dos indivíduos manipulam as representações da realidade com o objetivo de agir sobre ela.

Mas, segundo esses autores, estas representações mediadoras somente aparecem frente a situações novas, desconhecidas, cuja conduta não está automatizada e que requerem *inferências novas* e a *formação de modelos mentais*; e também em situações já conhecidas que requeiram a elaboração de

*inferências novas* e, portanto, a elaboração de *novas regras de ação*. As situações já conhecidas pelo sujeito, que exigem dele uma ação automatizada (algorítmica), não demandando do sujeito novas inferências, não requerem a formação de modelos mentais. Diretamente é possível aplicar as regras “*se...então*” que estão armazenadas nos esquemas do sujeito (IBID, 2002b, p.43).

A relação entre os modelos mentais e os esquemas é, então para Greca e Moreira (2002b), uma relação dialética. Por uma parte, a leitura da realidade a partir do conhecimento-em-ação do sujeito determina os modelos mentais, mas o processo de “comparação” entre os resultados desses modelos (explicações, predições) e a solução, o resultado efetivo da situação em si, pode levar a modificações nos invariantes operatórios do sujeito, devido a inconsistências entre o modelo mental e a situação, ou à procura de coerência entre seu pensamento e os dados do mundo exterior. Quer dizer, quando um sujeito enfrenta uma situação nova, a discordância entre as inferências decorrentes do modelo mental que constrói a partir dos invariantes operatórios existentes em seus esquemas e da informação por ele percebida da situação em si, pode levá-lo à modificação dos modelos.

A detecção de invariantes nesses modelos mentais pode levar à construção de novos esquemas, mais apropriados, para a resolução de classes de situações que, então, já não serão novas. Para esses autores, este seria um dos processos de mudança do conhecimento implícito. Exemplificam essa mudança: suponhamos que o aluno enfrenta uma situação em que lhe é perguntado se um corpo em movimento se deterá em algum momento. Como resultante dos modelos mentais que ele gera, construídos a partir de seu conhecimento-em-ação e da percepção, o estudante pode dizer que sim, que chegará um ponto no qual o corpo pára. Na verdade, o sujeito gera um modelo mental e recursivamente o modifica até atingir a funcionalidade que o satisfaça; nesse sentido pode-se falar em modelos mentais. No entanto, quando o professor lhe indicar que essa resposta está errada, pois sobre o corpo não está atuando força alguma, o aluno poderá modificar seu modelo, para conseguir chegar à resposta certa. Isto não quer dizer que automaticamente mude seus invariantes operatórios, pois esse processo pode ser muito lento. Possivelmente, o aluno deve enfrentar muitas outras situações semelhantes

até que consiga incorporar, em seus novos esquemas, o conhecimento decorrente do princípio de inércia. A prova destas dificuldades encontra-se em toda a literatura sobre concepções alternativas, em que os sujeitos, embora obtendo aprovação, sucessivamente, em disciplinas com conteúdos de Física, continuam cometendo os mesmos erros (MOREIRA, 2002b).

Embora os modelos mentais possam ser modificados de forma relativamente fácil, tendendo a eliminar as diferenças entre suas previsões e os acontecimentos do mundo para uma dada situação, em determinado contexto, isso não é um processo que automaticamente modifique os conceitos e teoremas-em-ação dos sujeitos, aplicáveis a toda uma gama de situações. Dependendo da estabilidade desses conhecimentos-em-ação, eles poderão ser mudados de forma mais ou menos rápida. (IBID, 2002b, p. 45)

Em resumo, para Greca e Moreira (2002b) o conhecimento encontra-se organizado em campos conceituais, cujo domínio, por parte do aprendiz, acontece ao longo do tempo. Este domínio está vinculado em parte ao repertório de esquemas operatórios que o sujeito pode construir para resolver distintas situações; estas situações formam, em boa medida, o campo conceitual. A explicitação dos invariantes operatórios do sujeito, em alguma linguagem simbólica, determina o que se define como conceito, sendo que o conceito adquire significação a partir das situações que o sujeito enfrenta e que lhe permitem detectar os invariantes. Este processo de detecção e mudança dos invariantes acontece no âmbito dos modelos mentais, que são o espaço em que os esquemas operatórios dos indivíduos manipulam as representações da realidade com o objetivo de agir sobre ela.

### **1.9 Meta-cognição: uma visão na perspectiva das teorias dos Modelos Mentais e dos Campos Conceituais**

Muitas vezes os alunos mostram resistência para atualizarem ou modificarem o conhecimento que possuem. Para Campanario *et al.* (1998) isto pode se traduzir numa suposta incapacidade dos alunos quanto a percepção de que suas idéias prévias não são válidas. Os alunos parecem ficar satisfeitos com o poder explicativo de suas idéias, apesar de que a informação que recebem dos professores e dos livros com freqüência as contradizem.

Para esse autor, uma melhor compreensão do papel da metacognição na aprendizagem em Ciências pode ajudar a entender algumas dificuldades dos alunos e a melhorar sua aprendizagem. Isto se deve pelo entendimento de que as concepções<sup>35</sup> dos alunos sobre Ciências são parte de seu conhecimento metacognitivo, na medida em que implicam conhecimentos sobre suas próprias idéias e sobre seu próprio conhecimento, podendo então, orientar sua atuação nas tarefas de aprendizagem.

Campanario e Moya (1999) afirmam que a metacognição pode conceber-se numa ajuda à aprendizagem, mas também pode e deve constituir-se num objetivo legítimo da Educação.

Neste contexto, um dos objetivos do ensino de Ciências seria que os alunos desenvolvessem idéias adequadas sobre os conceitos envolvidos no conhecimento científico e sobre a sua utilidade no dia a dia. Sob outro ponto de vista, o ensino de Ciências deveria traduzir-se em atitudes positivas nas disciplinas e no hábito de raciocínio científico.

Sobre esse aspecto da aprendizagem em Ciências, Campanario (1998, p. 4) explicita algumas características de alunos que se dão conta de sua aprendizagem (ou seja, aprendizagem metacognitiva) e sobre o papel da metacognição para o ensino e aprendizagem em Ciências.

Quando os alunos utilizam estratégias de *aprendizagem autorreguladora* (ou, metacognitiva), eles consideram a aquisição do conhecimento como um processo sistemático e controlável e de grande responsabilidade. Preocupam-se com os resultados de sua tarefa de aprendizagem. São capazes de avaliar seu próprio progresso em relação aos objetivos propostos pela atividade que os desafia. Enfrentam essas tarefas acadêmicas com confiança e diligência, conscientes de possuir ou não as destrezas necessárias para abordar determinadas tarefas. E finalmente, se diferenciam dos alunos mais passivos, pois buscam a informação relevante para a aprendizagem e tem a disposição para vencer os obstáculos que se apresentam no desenvolvimento das tarefas.

Uma das estratégias metacognitivas mais importantes é o controle da própria compreensão por meio da *avaliação* e da *regulação da compreensão*. Outra estratégia apontada como importante seria a *formulação de perguntas*

---

<sup>35</sup> Ibid, 1998, p. 3. Estas concepções se referem às concepções epistemológicas dos alunos sobre a natureza da Ciência, o conhecimento científico e sobre sua própria aprendizagem da Ciência.



por parte dos alunos, quando estes se dão conta de que têm problemas de compreensão de algum conceito.

Dois fatores podem ainda ser destacados no estudo da metacognição: o domínio dos alunos na resolução de problemas (neste caso, problemas no sentido mais amplo, como atividades ou tarefas diversificadas), e o papel da motivação na execução das atividades de aprendizagem. Ou seja, a atenção do aluno pode se desviar para outras áreas no momento em que busca solução para um problema. Por exemplo, quando o aluno desconhece a eficácia das diferentes formas de atuação para se alcançar a solução de um problema, provavelmente se desmotivará para solucioná-lo.

De forma geral, uma aprendizagem metacognitiva exige um esforço adequado tanto por parte do aluno e do professor, como do sistema educativo. Para os alunos, o domínio das estratégias metacognitivas (chamadas de alto nível) não é trivial, por isso é tão perceptível no alunato o uso estratégias memorísticas, pelas quais também se consegue êxito acadêmico.

Entretanto, é sabido também que este suposto êxito não é duradouro, nem consegue suprir deficiências futuras quanto à aplicabilidade dos conhecimentos científicos. Ou seja, uma aprendizagem memorística pode perdurar no momento da execução da atividade e depois ser “descartada”. Esse é exatamente o oposto do que se deseja com a Educação em Ciências.

Por esse motivo a aplicação de estratégias metacognitivas pode ajudar a entender algumas condutas dos alunos, como sua resistência à atualização do conhecimento e, sua satisfação com o poder explicativo de suas ideias prévias, apesar de que a informação que recebem de seus professores e dos livros didáticos as contradizerem.

Para Campanário *et al.* (1998), “*A maior parte da responsabilidade no desenvolvimento das capacidades metacognitivas dos alunos recaem sobre a atuação dos professores em sala de aula*”. Isto se deve em grande parte ao fato de não se compreenderem bem os processos cognitivos associados a este tipo de estratégias.

Com a proposta de implementar uma didática que reforça de forma prática e atrativa o papel do professor-investigador em Ciências, Campanário (2000) sugere um tipo de “multilivro”. Este material seria composto de partes de livros textos de determinados cursos e serviria para auxiliar o professor em sua

didática, substituir capítulos problemáticos do ponto de vista didático, possibilitar a redação de diferentes autores, e disponibilizar diferentes versões de um mesmo capítulo, tópico ou assunto.

No âmbito de um ensino metacognitivo, deve-se pensar num material curricular que contenha instrumentos para explorar:

- a) As idéias prévias e o grau de alcance dos pré-requisitos de aprendizagem e das representações dos estudantes;
- b) A comunicação dos objetivos e a representação que os alunos fazem dos mesmos;
- c) O domínio dos alunos, quanto aos critérios de realização da tarefa;
- d) Se os alunos se favorecem dos critérios de avaliação da aprendizagem;
- e) A capacidade dos estudantes em realizarem atividades metacognitivas e de auto-regulação da aprendizagem.

Moya e Campanario (1999) propõem que as estratégias próprias de aprendizagem como investigação devem vir acompanhadas por atividades de síntese que dêem lugar a elaboração de produtos como esquemas, memórias, mapas conceituais etc, e que permitam conceber novos problemas. Para esses autores, uma forma possível de se desenvolver a metacognição consiste no emprego de atividades que seguem o esquema: predizer, observar e explicar.

Neste contexto categoriza algumas atividades que de forma ordenada pode resultar num bom desempenho dos alunos:

- a) *Atividades de iniciação*, úteis para que os alunos explicitem e exteriorizem suas idéias prévias.
- b) *Atividades de desenvolvimento e aprofundamento*, úteis para que os estudantes apliquem seus novos conhecimentos a outras situações ou contextos;
- c) *Atividades de avaliação*, úteis para que os alunos conheçam o grau de aprendizagem que adquiriram, percebam a utilidade dessa aprendizagem, verbalizem e contrastem seus conhecimentos sobre o tema, detectem erros, reforcem sua aprendizagem.

Gunstone e Northfield (1994) reafirmam a necessidade de se promover o debate em sala de aula. Essa atividade favorece a metacognição, no sentido

de desempenhar um papel central na mudança conceitual. Isso pode ser percebido na hora em que os alunos comentam, comparam e decidem sobre a utilidade, pertinência e consistência de suas próprias concepções. Nesse momento, estão na verdade, explicitando seus critérios de compreensão sobre o assunto ou tema abordado na discussão. A insatisfação do aluno com suas próprias concepções implica no reconhecimento de suas dificuldades, enquanto que a avaliação de suas novas concepções, para decidir sobre a utilidade e consistência, implica na comparação entre seus estados de compreensão.

A metacognição é também objeto de discussão no âmbito das teorias dos modelos mentais e dos campos conceituais, quanto ao seu papel de apoio para a aprendizagem (GRECA E MOREIRA, 2002b):

Na detecção de discordâncias que permitem aprimorar recursivamente os modelos mentais e, eventualmente, os esquemas subjacentes, a interação entre sujeitos -- pares ou professor -- tem um papel fundamental. A necessidade de compartilhar significantes e significados com estes "outros" permitiria detectar as discordâncias, atuando assim como apoios "metacognitivos" para a apropriação dos significados necessários para a formação dos verdadeiros conceitos (IBID, 2002b, p.43).

## Capítulo 2

### Revisão da Literatura

---

Foi realizado um levantamento bibliográfico nos periódicos da literatura científica da área de ensino de física, referente aos últimos dez anos. Os temas de interesse, para fins dessa revisão, trataram da aprendizagem de conceitos físicos com base no estudo da cognição, estudos sobre os modelos mentais e os campos conceituais e o uso de estratégias diferenciadas na aprendizagem significativa em Física Moderna e Contemporânea (FMC).

As fontes consultadas para essa pesquisa abarcam periódicos, dissertações e teses disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Ensino e Pesquisa (INEP) do MEC, revistas científicas mensais/trimestrais, como a *Investigações em Ensino de Ciências*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* (antigo *Caderno Catarinense de Ensino de Física*), *Revista Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências*, *Revista de Educação Científica*, *Revista Química Nova*, *Revista Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Ciência e Cultura*, *Revista de Ensino de Física (SBF)*, *Science Education*, *Brazilian Journal of Physics*, *Revista Educação e Realidade*, dentre outras, sítios virtuais e livros.

Foram encontradas nessa varredura, pesquisas desenvolvidas com base nas teorias dos modelos mentais e campos conceituais, investigações sobre o estudo da FMC em nível Ensino Médio e Superior e algumas pesquisas, com aplicações em nível de PROEJA. Foram selecionados artigos a partir das palavras-chaves *modelos*, *campos conceituais*, *física moderna*, *PROEJA*, pesquisando a página da WEB de cada periódico, sendo analisado volume por volume, para seleção dos artigos que tivessem a palavra em seus títulos, resumos e palavras-chaves. Inicialmente foram selecionados artigos e, após leitura detalhada, foram sendo reduzidos em número ou eliminados por não abordarem adequadamente o tema *modelos* na perspectiva da pesquisa. Após a leitura, os artigos selecionados foram organizados nas cinco categorias descritas a seguir.

#### Quadro 1

Categorias da Revisão e Descrição (Adaptado de Quinto e Ferracioli, 2008).

Categoria	Descrição
Modelos e Modelagem	(58 artigos)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisão da Literatura dos termos Modelo e Modelagem</li> <li>• Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird.</li> <li>• Modelagem Computacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artigos que apresentam revisões de literatura sobre a conceituação dos termos modelos e modelagem baseados em periódicos nacionais e internacionais.</li> <li>• Artigos que adotam a publicação <i>Mental Models</i> de Johnson-Laird (1996) como referencial teórico no relato de seus estudos, ou simplesmente referenciam a referida publicação, via de regra, através de referências secundárias.</li> <li>• Artigos que tratam da Modelagem Computacional.</li> </ul>
Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud	Artigos que utilizam a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud no ensino de ciências/física. (08 artigos)
Integração das teorias dos Modelos Mentais e Campos Conceituais	Artigos que propõem e utilizam as teorias dos modelos mentais e dos campos conceituais conjuntamente no ensino de ciências/física. (06 artigos)
Ensino da Física Moderna no Ensino Médio/PROEJA	Artigos que tratam de ensino e aprendizagem da Física Moderna em nível médio/EJA/PROEJA. (21 artigos)

## 2.1 Modelos e Modelagem

### 2.1.1 Revisão da Literatura dos termos Modelo, Modelo Mental e Modelagem

Os artigos discutidos abordam o tema Modelos Mentais, seus usos e sentidos variados. Destacam-se, nessa categoria, artigos que tratam da revisão bibliográfica sobre Modelo e Modelagem, sua evolução e diferentes conceitualizações (Krapas *et al.*, 1997; Borges, 1997; Quinto e Ferracioli, 2008 etc). A seguir são resumidamente discutidas as ideias constantes nesses artigos.

Krapas *et al.* (1997) realizaram uma revisão de literatura onde foram analisados 130 artigos de quatro periódicos de língua inglesa, baseada no critério de existência da palavra *modelo* nos artigos considerados. A revisão abrangeu o período de 1986-1996 e foi realizada através do banco de dados ERIC - *Educational Resources Information Center*, demonstrando assim que o tema *modelos* estaria recebendo uma atenção especial pela comunidade acadêmica internacional que realiza pesquisa na área de Ensino em Ciências.

Uma definição preliminar entende o termo *modelo*, como uma representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema. A *modelagem* é definida, inicialmente, como o processo de construção de modelos. São estabelecidas cinco categorias de modelos, a fim de mostrar sua

evolução com o tempo: *modelo mental*, *modelo consensual*, *modelo pedagógico*, *meta-modelo* e *modelagem* com objetivo educacional. Dos artigos analisados pelos autores, foram encontradas um total de 143 referências ao termo *modelo*:

- Modelo mental: modelo pessoal, construído pelo indivíduo e que pode se expressar através da ação, da fala, da escrita, do desenho.
- Modelo consensual: modelo formalizado rigorosamente, compartilhado por grupos sociais com o propósito de compreender/explicar idéias, objetos, eventos, processos ou sistemas. Exemplos relevantes para a educação em ciências são os modelos científicos contemporâneos e do passado.
- Modelo pedagógico: modelo construído com o propósito de promover a educação. No sentido amplo, um modelo pedagógico inclui os processos de mediação didática, isto é, os processos de transformação de conhecimento científico em conhecimento escolar.
- Meta-modelo: modelo formalizado rigorosamente, compartilhado por grupos sociais, e construído com o propósito de compreender/explicar o processo de construção e funcionamento de modelos consensuais ou de modelos mentais.
- Modelagem como objetivo educacional: enfatiza a promoção da competência em construir modelos como propósito central do ensino de ciências.

Dentre os autores destacados no trabalho de Krapas (1997), vale a pena salientar e comentar algumas das diferentes concepções encontradas acerca do conceito de modelo mental, a fim de traçar uma linha evolutiva desse conceito.

- Krapas (1997, *apud* Duit e Glynn, 1996<sup>36</sup>): um modelo pode substituir ou ocupar o lugar de alguma coisa que ele representa. A elaboração de um modelo inclui um domínio-fonte e um domínio-alvo, que compartilham atributos e partes de estruturas. No mapeamento feito entre os dois domínios, buscam-se relações em comum entre seus elementos, gerando uma representação que constitui um modelo mental. É enfatizado o papel das analogias na construção de modelos mentais,

---

<sup>36</sup> Duit, R. & Glynn, S. (1996) Mental Modelling. In Welford, G.; Osborne, J.; Scott, P. (Eds) Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes. London, Falmer Press (166-176).

considerando-as como ferramentas de aprendizagem a serem utilizadas em áreas como no ensino de ciências.

Modelos mentais se refere ao conhecimento pessoal dos estudantes, construído através de processos de modelagem ou formação de representações mentais. E, modelos conceituais, se referem a produto resultante de um processo de modelagem que passa a ser compartilhado por certa comunidade e que pode ser, em determinadas situações, transformado em um objeto concreto. Modelos mentais e modelos conceituais são, portanto, representações de processos ou objetos do mundo real, construídos basicamente através do estabelecimento de relações analógicas.

- Krapas (1997, *apud* Nersessian, 1995<sup>37</sup>): uma teoria científica é entendida como um tipo de sistema representacional que é discutido criticamente com base na psicologia cognitiva de Johnson-Laird. Existem três formas básicas de representação: *representações proposicionais*: "cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural"; *modelos mentais* que são "análogos estruturais do mundo"; e *imagens* que são "modelos vistos de um determinado ponto de vista".

Pesquisas comparativas sobre a maneira de abordar um problema entre um novato e um *expert* têm demonstrado que estes últimos desenvolvem a habilidade de trabalhar com modelos mentais genéricos, que podem ser transferidos a situações novas. Por isso, *"teremos mais sucesso treinando estudantes a pensar cientificamente se eles forem ensinados, explicitamente, a como se engajar nas práticas de modelagem daqueles considerados experts em física"* (KRAPAS, 1997 *apud* NERSESSIAN, 1995).

Nersessian (1995) traça um paralelo entre *experts* e *novatos*. Ser *expert* em física requer facilidade em práticas de modelagem construtiva, de domínio independente, além de conhecimentos de conteúdos específicos. Ter a habilidade de raciocinar com modelos genéricos em domínios específicos, faz parte da capacidade de modelar construtivamente, ou seja, uma modelagem construtiva genérica. Desta forma, os novatos costumam falhar justamente na "transferência" do que já conhecem para novas situações-problema. A

---

<sup>37</sup> Nersessian, N. (1995) Should physicists preach what they practice constructive modelling in doing and learning physics. *Science & Education*, n. 4, p. 203-226.

*modelagem construtiva* difere da *simples modelagem* (Duit e Glynn, 1996) pelo fato de ser um processo de raciocínio dinâmico que envolve modelagem analógica e visual em simulações mentais, para criar modelos do domínio-alvo. Não existe possibilidade de nenhuma analogia direta entre atributos e partes estruturais dos dois domínios.

Os modelos mentais estão no centro dos processos cognitivos. Como exemplo da modelagem construtiva cita-se a realizada por Maxwell que, a partir dos modelos herdados de Faraday, introduz na física uma importante representação matemática para o conceito de força, traduzida nas equações de campo.

- Krapas (1997 *apud* Moreira, 1997) analisa as metodologias usadas nas pesquisas voltadas para os modelos mentais em educação em ciências, e aponta as dificuldades apresentadas nesse campo. Destaca o referencial de Johnson-Laird. Relata pesquisas de onde Moreira aponta as diferenças e relações entre modelagem conceitual (aquela que se pode ensinar) e modelagem mental (aquela que se tenta investigar). Onde vale o princípio de que:

"A aprendizagem do aluno é tanto mais significativa quanto maior for sua capacidade de modelar. Física é uma ciência de modelos e a modelagem é uma atividade sistemática dos físicos para construir e aplicar o conhecimento científico. Aprender Física implica, então, aprender a jogar o jogo da modelagem". (MOREIRA, 1997, p. 28)

Ainda em relação à revisão feita por Krapas (1997) são expostas as argumentações de Gilbert e Boulter (1996)<sup>38</sup> sobre o tema modelos e modelagem. Para esses autores a pertinência do tema se explica pelas seguintes razões:

- o reconhecimento do papel central de modelos e modelagem na investigação científica e nas práticas dos cientistas;
- a adoção de uma perspectiva construtivista da aprendizagem, segundo a qual a dinâmica de interações em sala de aula envolve um entrelaçamento de modelos;

---

<sup>38</sup> Boulter, C. & Gilbert, J. (1996) Texts and Contexts: Framing Modeling in the Primary Science Classroom. In Welford, G.; Osborne, J.; Scott, P. (Eds) Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes. London, Falmer Press (177-188).



- as evidências já acumuladas relativamente ao papel substantivo de modelos pedagógicos na educação em ciências.

Estes autores propõem, então, que modelos sejam definidos como "a representação de uma idéia, um objeto, um evento ou um sistema" e diferencia cinco tipos de modelos:

- o modelo mental (uma representação pessoal, privada de um alvo).
- o modelo expresso (aquela versão de um modelo mental que é expressa por um indivíduo através da ação, fala ou escrita).
- o modelo consensual (um modelo expresso que foi submetido a teste por um grupo social, por exemplo a comunidade científica, e que é visto, pelo menos por alguns, como tendo mérito).
- o modelo pedagógico (um modelo especialmente construído para auxiliar na compreensão de um modelo consensual)."

Neste contexto, as práticas científicas se baseiam no desenvolvimento e na testagem de modelos, a educação em ciências, quando focaliza o tema de modelos, deveria incluir tanto o estudo da aprendizagem dos modelos quanto uma reflexão sobre o papel dos modelos, e ainda a aprendizagem dos processos de modelagem. Para eles o uso de modelos pedagógicos visa promover "caminhos intelectuais" específicos de compreensão dos modelos consensuais pelos estudantes, de tal modo que "o modelo pedagógico se torna a fonte a partir da qual se desenvolve um modelo mental aceitável do modelo consensual".

As questões que surgem no âmbito da pesquisa em educação em ciências em relação aos modelos mentais são:

- a identificação dos usos e sentidos do termo modelo na literatura da área;
- a descrição e compreensão de como os estudantes formam e desenvolvem seus modelos em ciências;
- como os estudantes adquirem competência para modelar;
- como investigar e comparar os tipos de modelos usados nas ciências e na educação em ciências, de modo a contribuir para as práticas educacionais nestas áreas de conhecimento.

De forma geral o artigo de Krapas (1997) apresenta um levantamento acerca do uso do termo modelo mental e dos conceitos relacionados, como modelagem e modelo conceitual. Segundo apresentado, o conceito de modelo mental vem sendo aplicado em sentidos variados, como o estudo das representações do indivíduo, sua “leitura” mental do mundo, uma representação pessoal e privada de um alvo, a representação de uma idéia, um objeto, um evento ou um sistema, um modelo proposicional, uma analogia e análogos estruturais do mundo.

O que se observa com a leitura desse artigo/revisão é que apesar dos usos e sentidos variados do termo “modelo mental”, muito há que se pesquisar acerca do processo de modelização ou das estratégias para se promover a explicitação de modelos.

A compreensão dos modelos elaborados pelo indivíduo depende fundamentalmente de variáveis como o contexto, a situação, as atividades para explicitação dos modelos, dentre outras. E como ainda não se percebe uma definição para o que vem a ser o melhor tipo de metodologia ou estratégia, é certo que muita pesquisa ainda deverá ser realizada.

Compartilhando do pensamento de Gilbert e Boulter (1996), acerca da necessidade de se pesquisar nessa área, e da convicção de Moreira (1997), em salientar as dificuldades encontradas, intenta-se nesta pesquisa trazer contribuições para a investigação de modelos mentais.

Borges (1997) discute o termo modelo mental segundo a visão de pesquisadores como Gentner, Kleen e Brown. Em seguida, compara tais visões com a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird.

Caracterização um modelo mental como aquele que existe na mente de alguém. Isso significa que não há meios de se conhecer os modelos mentais de outros e sim falar a respeito, a partir da própria concepção, dos modelos mentais usados por outras pessoas. Os próprios usuários não têm consciência dos modelos que utilizam.

Pensar envolve a construção e o uso de modelos simplificados da realidade. E mesmo quando expostos a um modelo, aceito pelos cientistas através de um livro, de uma discussão com colegas ou de uma aula, o indivíduo constrói um modelo mental daquilo que entende. Usa suas

habilidades e competências cognitivas, culturais, linguísticas e sociais e também os conhecimentos específicos que já tem sobre o assunto.

Os modelos mentais usados na Ciência Cognitiva, segundo esse autor, servem para caracterizar as formas pelas quais as pessoas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem. Aponta o importante papel das analogias e supõem que os modelos mentais são construídos por analogia com sistemas mais familiares. O conceito de modelo mental não é considerado como unitário, pois diferentes limitações e pressupostos são impostos a seu significado. Borges (1997) comenta alguns trabalhos para enfatizar essa afirmação:

- Borges (1997 *apud* Kleer e Brown, 1981<sup>39</sup>): afirmação de que ao fazer previsões ou explicar o funcionamento de um sistema, cada pessoa simula, mentalmente, uma estrutura simbólica de componentes interligados. E os tipos de componentes que formam o modelo e a maneira como eles estão conectados contribuem para o resultado. A simulação mental é que permite ao usuário fazer previsões, simulando como num computador, o modelo com condições iniciais hipotéticas para inferir estados futuros do sistema. Então, o que distingue um modelo mental do conhecimento em geral, é que o modelo pode ser rodado na imaginação para produzir descrições do estado de um sistema, explicações para o seu comportamento e produzir previsões de eventos e estados futuros.
- Borges (1999 *apud* Johnson-Laird, 1983): os modelos mentais são estruturalmente análogos aos sistemas que eles representam e que os mesmos tipos de modelos podem ser construídos através da percepção, da imaginação ou de leitura. O raciocínio se processa através da construção de modelos de eventos e estados de coisas no mundo e, então, procuramos exemplos que se ajustem a um dado modelo ou contra-exemplos que os falsifiquem. Não envolve uma lógica mental, a não ser quanto às habilidades de testar a adequação de instâncias específicas aos

---

<sup>39</sup> de Kleer, J. and Brown, J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner and A.L. Stevens (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum (pp. 155-190).

modelos construídos. Alguns desses modelos são adquiridos apenas através de transmissão cultural ou ensino, enquanto que outros são adquiridos da interação cotidiana com outras pessoas e com o mundo. E as imagens correspondem a instanciações específicas dos modelos mentais.

- Borges (1997 *apud* Brewer, 1987<sup>40</sup>): sugere que os modelos do tipo que aparecem no livro de Gentner e Stevens são, na realidade, modelos de causalidade em sistemas físicos e propõe denominá-los modelos mentais causais. Dizem respeito ao conhecimento prévio do usuário de natureza genérica e são semelhantes a outros conceitos usados na Psicologia, tais como *schema* e *frame*.

Enfim, Borges (1997) acredita que, enquanto os modelos mentais causais de Brewer dizem respeito a estruturas cognitivas genéricas e mais duradouras, os modelos mentais, na concepção de Johnson-Laird, são estruturas específicas e construídas no momento em que o usuário necessita delas, sendo depois descartadas. Em contrapartida, enquanto os modelos do tipo Gentner e Stevens (1983)<sup>41</sup> dizem respeito ao conteúdo dos modelos dos sujeitos, enquanto que, na concepção de Johnson-Laird, modelos mentais são usados para se referirem às próprias representações.

Esse autor também entende que uma posição mais produtiva para a pesquisa educacional é a de buscar um referencial mais amplo que dê conta da diversidade de manifestações do pensamento humano. Considera ambas as concepções de modelo mental como complementares e não como concorrentes. Pois, em todas as áreas de pesquisa em modelos mentais, há a preocupação em entender o significado dos sistemas investigados para os usuários. Dependendo da área de pesquisa, tal orientação pode ser mais pragmática, envolvendo descrições genéricas, de constituição ou de propósitos, dos sistemas ou das previsões e explicações acerca do seu funcionamento.

---

<sup>40</sup> Brewer, W.F. (1987). Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris (Ed.), *Modelling Cognition*. Chichester: John Wiley (pp. 187-197).

<sup>41</sup> Gentner, D. and Stevens, A.L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Borges (1999 *apud* Carroll e Olson, 1988<sup>42</sup>): um modelo mental é entendido como uma estrutura rica e elaborada, que reflete a compreensão do usuário do que o sistema contém, de como ele funciona e de por que ele funciona daquela forma. Ele pode ser imaginado como conhecimento sobre o sistema suficiente para permitir ao usuário experimentar ações mentalmente antes de executá-las.

As definições relatadas sugerem para Borges (1997) que:

1. Um modelo mental é diferente de uma representação de informações isoladas sobre o sistema: é uma estrutura rica e elaborada.
2. Um modelo mental representa diferentes tipos de informação: o que o sistema contém, como ele funciona, como é a sua estrutura e por que se comporta de uma determinada maneira. Esses aspectos estão relacionados com a ontologia dos objetos e eventos que existem ou são imaginados existir no mundo.
3. Um modelo mental, para algumas pessoas pelo menos, é diferente de outras formas de conhecimento, pois ele pode ser 'rodado' com entradas exploratórias, de forma a imaginar o resultado.
4. Um modelo mental envolve certo grau de sistematicidade e coerência.

Pietrocola (1999) discute o movimento construtivista, que segundo ele supervalorizou o papel das construções individuais, em detrimento da dimensão ontológica do conhecimento científico. Apresenta a ideia de Mário Bunge sobre o papel dos modelos na ciência e sua vinculação com a realidade. Para Bunge os modelos são a essência do próprio trabalho científico. Acredita que eles devem também o ser para o ensino de ciências, pois ao construir modelos exercita-se a capacidade criativa com objetivos que transcendem o próprio universo escolar. A busca de construir não apenas modelos, mas modelos que incrementem nossa forma de construir a realidade acrescenta uma mudança de “qualidade” ao conhecimento científico escolar.

---

<sup>42</sup> Carrol, J.M. & Olson, J.R. (1988). Mental models in human-computer interaction. In M. Helander (Ed.) Handbook of Human-Computer Interaction. Amsterdam: Elsevier.

Os modelos teóricos são representações hipotéticas e aproximadas da realidade, embora racionais e não arbitrárias. Tais “modelos alternativos” (ou vulgares segundo Bunge) não têm o mesmo estatuto epistemológico daqueles científicos, mas se constituem em formas de apreensão da realidade, explicando aquilo que percebemos do mundo através de suposições criativas.

A tarefa que o ensino da ciência assume traz grandes desafios no sentido de produzir estratégias de natureza didático-pedagógica capazes de permitir o acesso de indivíduos leigos aos processos e produtos da atividade representativa da ciência.

Numa concepção bungeana, os modelos construídos pela ciência são os intermediários entre a teorização generalizante e ideal contida nos domínios mais abstratos do conhecimento científico e o empírico específico e concreto presente em toda experiência sensitiva. A atividade de modelização seria o verdadeiro motor atividade científica, por canalizar estas duas instâncias do humano. E ao introduzirmos a modelização como objeto do ensino de Física estaremos instrumentalizando os alunos a representarem a realidade a partir das teorias gerais. A preocupação com o contexto de construção do conhecimento científico não deve ser deixado de lado, mas submetido ao objetivo maior da educação científica que é o de assegurar ao indivíduo uma melhor relação com o mundo em que vive.

Quinto e Ferracioli (2008) em seu trabalho de revisão bibliográfica, constataram que a grande maioria dos artigos que tratavam sobre modelos e modelagem apresentava um enfoque específico no referencial teórico da Teoria de Modelos Mentais de Johnson-Laird.

### ***2.1.2 Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird***

Enquadram-se nessa categoria, os artigos que adotam este referencial como marco teórico para a proposição e análise de um experimento específico, e artigos que apenas citam esse referencial juntamente com outros referenciais.

#### ***a) Artigos que adotam a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird como Referencial Teórico***

Moreira (1996) apresentou uma revisão do tema modelos mentais com principal enfoque na teoria de Johnson-Laird, incluindo também a visão de outros autores, tais como Willians, Hollan e Stevens (1983)<sup>43</sup>, Kleer e Brown (1983)<sup>44</sup>, Ibrahim Halloun (1996)<sup>45</sup>. O autor descreve de maneira abrangente a visão de Johnson-Laird sobre o conceito de *modelos mentais*, definindo-os como representações proposicionais articuladas ao conceito de *proposições* e *imagens*, além de abordar uma tipologia informal com categorias de modelos físicos e modelos dinâmicos. Moreira (1996) analisando as metodologias de pesquisa empregadas na área de estudo de modelos mentais até então, afirma que estas são baseadas nas representações verbais individuais e na análise de protocolos.

O autor enfatiza que há dificuldades em se aplicar tais metodologias por duas razões básicas: a primeira, devido ao fato de não ser possível simplesmente perguntar a uma pessoa qual o modelo mental que ela tem para determinado estado de coisas, pois ela pode não ter plena consciência desse modelo; a segunda, pelo fato de não adiantar buscar modelos mentais claros e nítidos, uma vez que os modelos que as pessoas, de fato, tem são estruturas confusas.

O autor conclui em 1996 que referenciais baseados em modelos podem vir a constituir em um referencial teórico promissor para a área de pesquisa em educação em ciências, porém de difícil emprego metodológico devido à dificuldade de identificar representações mentais pessoais.

Greca e Moreira (1996) realizaram pesquisa com 50 estudantes de engenharia na disciplina de Física Geral, para investigar o tipo de representação mental (modelos, proposições ou imagens, ou com alguma combinação destes tipos de representações mentais) era usada pelos alunos, ao resolver problemas e em questões conceituais no domínio do eletromagnetismo. Concluíram que a maioria dos alunos pesquisados trabalhava com proposições não integradas ou não interpretadas em um

---

<sup>43</sup> Willians, M.D., Hollan, J.D. and Stevens, A.L. (1983). Human reasoning about a simple physical system. In Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. · Artigo arbitrado pela Comissão Organizadora do “Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências - Linguagem, Cultura e Cognição, Reflexões para o ensino de Ciências”, Faculdade de Educação da UFMG, de 05 a 07 de março de 1997.

<sup>44</sup> KLEER, J.; BROWN, J.S. (1981). *Mental model of physical mechanisms and their acquisition*. In J.R. ANDERSON (Ed.), *Cognitive Skills and Their Acquisition*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum. p. 258-310.

<sup>45</sup> Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of research in Science Teaching*, 33(9):1019-1041.

modelo mental. As proposições que usavam eram definições e fórmulas manipuladas mecanicamente para resolver problemas ou questões. Entretanto, perceberam que alguns alunos deram evidência de construção de modelos, o que para os autores, pode caracterizar indícios de uma aprendizagem mais significativa.

Em outro estudo, Greca e Moreira (1997) obtiveram evidências de que os mapas conceituais poderiam ser usados como indicadores do grau de modelização mental dos alunos em tarefas de Física. Estes resultados apontaram caminhos para o uso dessa estratégia de mapas conceituais no levantamento dos modelos mentais de alunos do PROEJA. Pode-se perceber, dentre as estratégias para se investigarem os modelos mentais de alunos, como verbalizações, desenhos, representações gráficas e simbólicas, proposições formais etc, destacado a estratégia de mapas conceituais como uma eficiente ferramenta de explicitação das relações mentais.

Lagreca e Moreira (1998) investigaram modelos mentais de alunos universitários sobre mecânica newtoniana. Basearam o estudo na Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Estudantes de nível universitário foram observados, em sala de aula, durante dois semestres com o objetivo de determinar o tipo de representação mental que eles teriam utilizado durante o curso, quando resolviam os problemas e as questões propostas nas tarefas instrucionais. Foi realizada uma entrevista no final do curso com o objetivo de encontrar elementos adicionais que permitissem inferir modelos mentais sobre conceitos físicos usados pelos estudantes na elaboração de suas respostas. Os resultados desta pesquisa sugeriram a importância dos modelos mentais na compreensão e uso dos conceitos físicos. Os autores concluíram que quanto mais "elaborados" os modelos mentais, mais facilmente os alunos poderiam compreender situações e contextos distintos daqueles trabalhados em sala.

Lagreca e Moreira (1999) investigam estudantes de nível universitário observados durante dois semestres letivos com a finalidade de determinar o tipo de representação mental quando resolviam os problemas e as questões propostas nas tarefas instrucionais. Realizaram uma entrevista no final do curso com o objetivo de encontrar elementos adicionais que nos permitissem inferir modelos mentais sobre conceitos físicos usados pelos estudantes na elaboração de suas respostas. Estabelecem categorias para os modelos



verificados e exteriorizados pelos alunos: proposicionalistas, modelizadores proposicionalistas, e modelizadores imagísticos.

A pesquisa foi realizada em sala de aula, durante o primeiro e segundo semestres letivos de 1996, na disciplina de Física Geral I do Departamento de Física da UFRGS, destinada a estudantes de engenharia. Nas duas oportunidades, a disciplina foi conduzida na modalidade “Método Keller<sup>46</sup>”.

Os autores, por um lado, reconhecem a dificuldade de se identificarem modelos mentais, por se tratarem de representações internas do indivíduo. A identificação “*se o aluno é modelizador ou não*”, concluem não ser tão difícil. Referindo-se a alunos modelizadores, aqueles que dão evidência de uma aprendizagem mais significativa. Eles, então, formam modelos mentais mais elaborados, com algum poder explicativo e preditivo, e com alguma congruência com o conhecimento cientificamente aceito. É nessa modelagem que, para esses autores, que se devem ajudar os alunos nas aulas de Física.

Costa e Moreira (2002) focalizam as dificuldades que alunos de Mecânica Geral-Engenharia, apresentam para modelar mentalmente o enunciado de um problema. Foi usada uma metodologia qualitativa baseada nos depoimentos verbais (durante aulas específicas de resolução de problemas) e escritos (nas verificações de aprendizagem), de alunos das turmas de um dos autores, durante o período 1º semestre de 1998 a 1º semestre de 2000. O tema abordado foi Cinemática de um ponto material. Os resultados parecem corroborar a hipótese dos autores, de que a representação mental do enunciado de um problema, apresentado através de um discurso linguístico, acompanhado ou não de representação pictórica, pode ser favorecida pelo ensino explícito da modelagem física das situações enfocadas no enunciado.

Greca e Moreira (1999) investigam o nível de representação mental que estudantes e físicos usam sobre o conceito de campo eletromagnético quando resolvem problemas e questões teóricas. Em conclusões preliminares apontam que a técnica utilizada serve para detectar o tipo de representação mental dos alunos; os modelos resultam de uma articulação de distintos conceitos que

---

<sup>46</sup> Método proposto por Fred Simmons Keller, em 1964, um pioneiro em psicologia experimental. Keller veio para a Universidade de Brasília no Brasil, onde ajudou a fundar o departamento de psicologia e onde ofereceu o primeiro curso usando seu método de instrução personalizada. Os estudantes, após receberem um guia de estudo impresso para a primeira unidade do curso, podiam trabalhar em qualquer lugar-inclusive a sala de aula-para alcançarem os objetivos propostos.

permitiriam entender significativamente o fenômeno, explicar, prever, e resolver os problemas eficientemente; quando não se constroem modelos, os conceitos não seriam aprendidos significativamente; não existiriam diferenças qualitativas na forma de utilização de modelos entre os alunos que conseguiram construir e os físicos; em geral, o material instrucional - livros, listas de exercícios, centrados na utilização de fórmulas, não facilitaria a construção de modelos.

Krey e Moreira (1999) analisam as respostas de 74 alunos universitários a questões referentes a lei de Gauss para a eletricidade em uma disciplina de Física Geral. Da análise, identificam três categorias de dificuldades apresentadas pelos alunos: na interpretação da lei; na sua operacionalização matemática e, nos conceitos de superfície gaussiana e fluxo de campo elétrico.

Estas dificuldades foram analisadas sob o referencial teórico dos modelos mentais de Johnson-Laird. A causa apontada como geradora destas dificuldades seria a de que os alunos não teriam sido capazes de construir modelos mentais e esquemas de assimilação que dessem significado aos conceitos envolvidos e, menos ainda, na própria lei. Provavelmente, a instrução (aulas e livro de texto) recebida não teria sido adequada para facilitar a construção de tais modelos.

Palmero e Moreira (1999) investigaram a concepção de estudantes de 17 e 18 anos acerca do funcionamento de uma célula em um experimento baseado no referencial de Johnson-Laird. A investigação ocorreu no contexto de sala de aula, focalizando a não intervenção dos pesquisadores e o desconhecimento da pesquisa por parte dos alunos. A coleta de dados foi a partir da confecção de mapas conceituais sobre funcionamento de uma célula, construção de "V" de Gowin<sup>47</sup>, exames compostos de um questionário inicial e final com questões abertas e fechadas, entrevistas e desenhos que representavam o esquema de uma célula. A partir da análise das verbalizações dos estudantes a respeito do tema, os autores afirmaram que a raiz da

---

<sup>47</sup> É um instrumento heurístico proposto, originalmente, por D.B. Gowin em 1981, que aponta para o evento a ser estudado, sobre o qual a questão de pesquisa é formulada. O lado direito do Vê ilustra os elementos metodológicos da pesquisa, registros, transformações de registros em dados e asserções de conhecimento e de valor resultantes da interpretação dos dados. O lado esquerdo é conceitual, descrevendo conceitos, princípios, teorias e filosofias que guiam a formulação da questão, o planejamento do evento e as atividades do lado direito. *Existe uma contínua interação entre os componentes de ambos os lados, ajudando a clarificar e integrar a estrutura do conhecimento.* (MOREIRA, 1997, p. 36)

dificuldade da compreensão da estrutura de células seria explicada pelo fato de que os estudantes não entendiam o papel vital da célula.

Krapas *et al* (2000) propuseram a detecção das dificuldades apresentadas por estudantes universitários de Física Básica na aprendizagem da Lei de Gauss. A coleta de dados foi baseada na aplicação de testes escritos com quatro questões: duas qualitativas, uma questão típica de física básica e uma questão a respeito de uma situação experimental. Os autores afirmam que falta aos alunos modelos mentais adequados para o entendimento da Lei de Gauss e que esse resultado seria previsível se for considerado que o formato das provas normalmente adotadas para a avaliação do desempenho do estudante é baseado em técnicas de resolução de problemas.

Sousa e Moreira (2000) pesquisaram de que forma os modelos mentais causais poderiam servir de interface entre o referencial de Piaget e o referencial de modelos mentais de Johnson-Laird. Utilizaram como objeto de estudo o funcionamento do giroscópio. A coleta de dados foi realizada com uma amostra de seis estudantes de licenciatura em Física, a partir de entrevista de duração média de trinta minutos sobre o funcionamento de um Giroscópio. Nas entrevistas, era solicitada a leitura sobre o movimento de precessão, retirado do livro-texto das disciplinas de física básica. Após a leitura, era solicitada a explicação do funcionamento, identificação das grandezas físicas e a explicação da função de cada uma das grandezas identificadas. Os autores concluíram que os modelos mentais causais podem ser uma espécie de ponte entre a causalidade piagetiana e o novo construtor da psicologia cognitiva contemporânea, que é o modelo mental. São modelos que apresentam afirmações causais em suas explicações.

Palmero *et al.* (2001) investigaram modelos mentais de estudantes universitários acerca das suas concepções sobre uma célula. A coleta de dados foi baseada em questionários discursivos iniciais e finais, cinco provas ao longo de um curso, três mapas conceituais sobre concepções acerca de células, elaboração de um estudo relativo à estrutura e funcionamento de uma célula. Os autores concluem que o modelo mental de um aluno pode ser utilizado como um intermediário para interpretação de representações que os mesmos constroem para simbolizar a informações que recebem.

Silva e Amador (2002) propuseram a identificação de modelos mentais de 38 estudantes de ensino médio em relação à origem, armazenamento, circulação das águas subterrâneas e a investigação de eventuais modificações destes modelos resultantes das diversas intervenções. A coleta de dados foi realizada com questionários de questões abertas e desenhos para responder a questões proposta. Os autores afirmam que os modelos gerados a partir da articulação de respostas ao questionário com as entrevistas são mais consistentes que os modelos gerados somente nas entrevistas e sugerem o desenvolvimento de proposta de materiais didáticos inspirados na história da geologia e teoricamente fundamentados nesse tipo de estudo.

Costa e Moreira (2002) investigaram as dificuldades em Mecânica Geral que estudantes de Física e Engenharia têm na modelagem mental de resolução de problemas. A coleta de dados foi baseada em depoimentos verbais no decorrer de aulas de resoluções de problema, e de material escrito em uma verificação da aprendizagem acerca do tema Cinemática de um ponto material. Os autores concluem que a representação mental do enunciado de um problema, apresentado através de imagens ou não, pode ser favorecida pelo ensino da modelagem física das situações enfocadas no enunciado.

Pinto e Moreira (2003) propuseram a identificação das dificuldades mais frequentes que estudantes universitários na aprendizagem da Lei de Ampère. O estudo foi desenvolvido com uma amostra de 230 estudantes de Engenharia e Matemática e a coleta de dados foi baseada nas respostas a questões e problemas envolvendo a Lei de Ampère ao longo de dois semestres letivos com estudantes da disciplina Física II-C do Departamento de Física da UFRGS. Segundo os autores ficou evidente que os alunos resolvem os problemas de forma mecânica o que resulta na não compreensão da Lei de Ampère.

Finaliza-se essa categoria da revisão, dando destaque ao pesquisador responsável por boa parte da divulgação e disseminação das ideias de Johnson-Laird no Brasil, o professor Marco Antônio Moreira. Como se observou, vários trabalhos que foram citados receberam sua importante contribuição. Em suas publicações discute a teoria dos modelos mentais, sua relevância e aplicação na área do Ensino de Ciências.

Moreira (1996) destaca e discute um estudo desenvolvido por Mani e Johnson-Laird (1982), o qual investiga os modelos mentais elaborados por dois grupos de pessoas ao receberem conjuntos de informações diferenciadas. Ao primeiro grupo é dado um conjunto bem determinado de descrições de uma distribuição espacial (indicando a posição exata de cada objeto no arranjo espacial). Ao segundo grupo é dado um conjunto, não bem determinado, de descrições da mesma organização espacial (dando localizações ambíguas, pouco precisas, dos objetos no arranjo espacial).

Como resultados dessa investigação, (Moreira, 1996 *apud* Mani e Johnson-Laird, 1982), verificam que os sujeitos que receberam informações bem determinadas foram capazes de inferir informações espaciais adicionais não incluídas nas descrições que receberam, mas tiveram dificuldades em lembrar literalmente das informações recebidas. Esta constatação foi interpretada como indicadora de que esses sujeitos formaram um modelo mental da informação recebida e, por isso mesmo, foram capazes de fazer inferências. Além disso, por terem formado o modelo passaram a confiar nele ao invés de ficarem dependendo de recordar descrições verbais literais detalhadas.

Por outro lado, os sujeitos que receberam informações pouco precisas, raramente foram capazes de inferir informações espaciais não incluídas nas descrições recebidas, porém recordavam melhor das informações recebidas. Os sujeitos não construíram um modelo mental devido às inúmeras possibilidades de modelos mentais que poderiam ser inferidos a partir das informações (indeterminadas) recebidas. Em ambos os casos os sujeitos representaram mentalmente o arranjo espacial, mas no primeiro formaram um modelo mental que lhes permitiu fazer inferências e no segundo trabalharam apenas com um conjunto de proposições descritivas.

#### ***b) Artigos que citam o referencial de Johnson-Laird, juntamente com outros referenciais***

Borges (1996) conclui que a habilidade de um indivíduo em explicar e prever eventos e fenômenos que acontecem à sua volta evolui à medida que ele adquire modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos. Tais

modelos evoluem com o desenvolvimento psicológico e com a instrução, num processo conhecido como mudança conceitual. Para esse autor, há evidências de que as crianças desenvolvem representações de objetos e fenômenos naturais bem antes de estudar sobre eles na escola, e de que tais representações mudam, às vezes, dramaticamente, quando elas são expostas à ciência escolar.

Borges (1996 *apud* Driver et. al, 1994<sup>48</sup>) aponta a existência dessa tendência na evolução das concepções dos estudantes sobre tais tópicos. Em particular, eles apontam que as concepções dos estudantes tendem a evoluir através da construção de novas entidades para a descrição de eventos e fenômenos bem como através do desenvolvimento de estratégias de raciocínio.

Estudo conduzido por Borges (1999) sobre modelos mentais de eletromagnetismo sugere a mesma idéia de progressão e identifica os aspectos que mudam à medida que os sujeitos adquirem conhecimento conceitual e experiência com a área. O estudo procura identificar os modelos mentais de eletromagnetismo e descrever as mudanças em tais modelos à medida que os usuários adquirem conhecimento e experiência com a área.

Foram entrevistados, individualmente, enquanto faziam várias atividades experimentais simples, envolvendo circuitos elétricos com pilhas e lâmpadas, ímãs e amostras de materiais de uso cotidiano, seis grupos de indivíduos. Estes grupos eram constituídos dentre estudantes da primeira e terceira séries do ensino médio, estudantes do terceiro ano do curso técnico em eletrônica, engenheiros elétricos, professores de física e eletricitas, num total de 56 sujeitos.

Inicialmente, o entrevistando fazia previsões sobre os resultados de cada atividade e explicava as razões que o levavam a esperar por tal resultado. Depois realizava o experimento e, por fim, explicava o acordo ou desacordo entre previsão e resultado. Essa sequência de Previsão, Observação e Explicação foi reconhecida (Borges, 1999 *apud* White e

---

<sup>48</sup> Driver, R., Leach, J., Scott, P. and Wood-Robinson, V. ( 1994). Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, Vol. 24, pp. 75-100.

Gunstone, 1992<sup>49</sup>) como uma forma eficaz de produzir informações sobre os modelos mentais usados pelos indivíduos.

Observa que o grupo dos eletricitistas não diferencia corrente elétrica, energia ou eletricidade, eles referem-se a aquilo que flui pelo circuito. Contudo, eles não apresentam dificuldades na montagem do circuito para acender a lâmpada. Baseiam-se sua explicação sobre o funcionamento do circuito elétrico no procedimento de montagem dos mesmos, ou seja, na prática. Já os indivíduos de nível médio, usam algumas idéias gerais, como a idéia de que os opostos se atraem como se fossem causais e tendem a descrever as situações observadas em termos de seqüência temporal de eventos discretos.

Em suas conclusões Borges (1999) afirma que quando um estudante consegue revisar e enriquecer os modelos que usa para pensar e falar sobre um fenômeno significa que ele aprendeu a ver aquele fenômeno de outra perspectiva, que inclui novos elementos ausentes no antigo modelo. Desta maneira, qualquer estratégia de ensino deve ter como objetivo ajudar os estudantes na tarefa de construir melhores modelos e deve considerar as dimensões ao longo das quais os modelos individuais evoluem.

Os artigos de Borges (1996, 1999) trouxeram contribuições importantes para o presente trabalho de doutorado, no que se referem à diversidade de estratégias que podem ser usadas para se incentivar a explicitação de modelos mentais, e ao fato de que a implementação de estratégias progressivamente, oportuniza ao pesquisador verificar a evolução dos modelos explicitados pelos sujeitos.

Apoiando-se nas hipóteses de Borges (1999), a perspectiva da pesquisa foi encontrar modelos mais elaborados pelos alunos do PROEJA, à medida em que realizavam as atividades de ensino e de avaliação. Contudo, conscientes de que apesar dos alunos muitas vezes, após uma instrução, explicitarem modelos incluindo novos elementos, não significa que conseguiram esquematizar modelos mais elaborados (BORGES, 1999).

O que se percebe é que em algumas oportunidades os alunos explicitam modelos idênticos aos ensinados em sala ou utilizados nos livros-texto. Por

---

<sup>49</sup> White, R. & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London: Falmer Press.

isso, Borges (1999) aponta para a necessidade de se buscar estratégias que ajudem, incentivem, motivem e não que “obriguem” o surgimento de modelos mais elaborados. Há de se levar em conta que mesmo os modelos científicos são incompletos e que modelos mais elaborados são dependentes do arcabouço de elementos que um indivíduo já possui em sua estrutura cognitiva.

Vosniadou (1994) discute em seu trabalho sobre a estrutura de teorias ingênuas, que desde a infância são formadas a estrutura de conhecimento sobre um determinado campo conceitual, como por exemplo, o campo da física. Para essa autora, as pressuposições dessa estrutura teórica atuam como restrições à maneira dos indivíduos interpretarem suas observações e informações que recebem da cultura para construir teorias específicas sobre o mundo físico. As teorias específicas formadas através desse processo (de modelagem) são continuamente enriquecidas e modificadas. Algum tipo de evolução conceitual requer a simples adição de nova informação à estrutura conceitual já existente. Outras são realizadas apenas quando crenças e pressuposições são alteradas.

Compartilha com Johnson-Laird (1993) ao apresentar a ideia de que a mudança conceitual é particularmente difícil de ser alcançada. É mais fácil originar erros conceituais, quando necessário, do que alterarem as pressuposições fundamentais da estrutura teórica. Os erros conceituais são interpretados como o resultado do esforço individual de assimilar uma nova informação dentro de uma estrutura conceitual existente que contém informações contraditórias à visão científica.

Villani e Carvalho (2005) analisaram algumas entrevistas didáticas com dois estudantes do Ensino Médio sobre colisões em Mecânica, procurando mostrar como as condições subjetivas e a relação com o conhecimento e com a professora-entrevistadora têm um papel importante no desenvolvimento do processo de busca e na conseqüente produção de modelos mentais. Adotaram como modelo provisório para analisar as seqüências das entrevistas três tipos fundamentais de elementos: de um lado os diferentes esquemas evocados pela entrevistadora e pelo aluno para enfrentar impasses e conflitos; de outro lado, os *desejos implícitos* de entrevistadora e alunos em relação a estes mesmos esquemas, inferidos a partir de sua fala e comportamento.



A relação *implícita* entre a entrevistadora e os alunos pode ser interpretada mediante a referência a quatro discursos: discursos do *Professor*, onde o tipo de laço ou de efeito que pode ser produzido, varia com a posição implícita que o professor mantém em relação ao conhecimento científico ou didático-pedagógico; o discurso do *Mestre*, caracterizado por uma relação de domínio do professor sobre o conhecimento em jogo, nas vertentes científica, pedagógica e/ou disciplinar; o discurso da *Universidade*, quando adotado implicitamente pelo professor e o coloca como mediador entre o aluno e algum tipo de conhecimento produzido pelos especialistas, e; o discurso da *Histórica* que é caracterizado pela insatisfação do professor em relação à situação atual e por sua tendência à provocação contínua no campo científico, pedagógico ou dialógico para uma aproximação a um ideal.

A interação didática que se realizava através de entrevista individual de duração entre 60 e 90 minutos era estruturada de maneira a garantir a possibilidade de levantar as ideias dos estudantes e simultaneamente favorecer sua evolução. Em síntese, de alguma maneira procuravam influenciar a elaboração de modelos mentais por parte dos alunos, orientando-os com questões ou informações que os tornassem mais coerentes, mais abrangentes e, finalmente, mais próximos dos modelos conceituais da Mecânica.

Da análise dos resultados os autores explicitaram duas considerações: as idéias iniciais dos alunos sobre o tema em jogo, as colisões, eram diferentes. Apesar de nenhum dos dois ter um domínio efetivo do modelo newtoniano, o aluno X estava muito mais próximo de seus princípios do que o aluno Y, inclusive por ter estudado por mais tempo a Mecânica e por ter uma vivência na área. Uma evidência importante que emergiu da análise das entrevistas foi a diferente relação entre a entrevistadora e os esquemas explicativos apresentados pelos alunos. Rapidamente entendeu as idéias do aluno X sobre choques, mas ficou por muito tempo intrigada com as do aluno Y, não conseguindo perceber sua articulação.

Um aspecto relevante a comentar da análise e conclusão deste trabalho foi a verificação dos autores na primeira fase das entrevistas, na qual a dificuldade maior para a aprendizagem foi a relação dos alunos com suas próprias concepções. Segundo Villani e Carvalho (2005) os alunos não estavam muito interessados em aprimorar seu conhecimento, isto é, ambos

não queriam fazer “grandes esforços mentais”, preferiam mostrar seus conhecimentos a apreender novidades. Contudo, a estratégia construtivista da entrevistadora, mesmo com o diferente conhecimento acerca dos modelos dos alunos, conseguiu dar conta desse desafio.

Krapas *et al.* (2000) estudam as dificuldades apresentadas por estudantes no aprendizado da lei de Gauss e interpreta a partir do referencial dos modelos mentais. Apresentam a hipótese de que os erros dos alunos têm a ver com o treinamento na utilização da lei de Gauss em situações muito especiais, isto é, em situações de alta simetria. Em outras palavras, na tentativa de sedimentar o conhecimento do aluno, professores e livros textos dão ênfase a exercícios que se referem a situações muito particulares, o que pode resultar em sérias restrições à aprendizagem.

Para compreender os processos envolvidos na aprendizagem da lei de Gauss, estes autores realizaram um trabalho de campo que envolveu o exame de testes escritos, de uma população de estudantes de física básica da universidade.

Para a análise dos resultados definiram as categorias: só fórmula, cálculo usual, articulada, isolante, macete e corretas. Pela análise dos dados encontrados concluem que falta aos alunos modelos mentais adequados para o entendimento da lei de Gauss, resultado que para eles era previsível considerando a forma das provas que são normalmente adotadas em cursos de física básica que, via de regra, avaliam o desempenho do aluno em técnicas de resolução de problemas formais e descontextualizados.

Encerram suas considerações com os seguintes questionamentos: o ensino, tal como é tradicionalmente concebido, não privilegia representações mentais bem comportadas, isto é, que possuem grande estabilidade? Interessa ao professor trabalhar com alunos cujas representações mentais tenham certa instabilidade? Em caso afirmativo, como ficam as avaliações? Finalizam afirmando que sua posição é coincidente com a construtivista, a qual privilegia as representações do tipo modelos mentais.

Stathopoulou e Vosniadou (2007) relatam três estudos onde investigam alunos do ensino secundário no estudo da Física. Investigam a relação entre as crenças epistemológicas e a compreensão conceitual da física. Foram selecionados os 10% de 38 alunos com as maiores pontuações na disciplina de

epistemologia e os 10% de 38 alunos com as notas mais baixas nessa disciplina. Em seguida, mediram a compreensão desses alunos acerca das três leis de Newton. Foi abordado o tema Força e Movimento para avaliação do conhecimento. Os resultados mostraram que o grupo com notas mais altas na disciplina de epistemologia apresentou maiores escores na avaliação sobre o tema. Para as autoras, as crenças a respeito da construção e estabilidade do conhecimento da física e da estrutura do conhecimento da física foram bons indicadores de compreensão da física. Concluem com o entendimento de que o conhecimento da física está relacionado, em boa medida, com as crenças epistemológicas.

Chiou e Anderson (2009) utilizaram uma abordagem nova, que combinava crenças ontológicas e explicações do processo de modelização, para analisar os modelos mentais de alunos sobre a condução de calor e, em seguida, analisar as relações entre seus modelos mentais e suas previsões. Com entrevistas clínicas para investigar os modelos e as previsões sobre a condução de calor. O público investigado foram 30 alunos de graduação em física mental de uma universidade americana. Adotaram um método comparativo para descobrir os padrões de respostas dos participantes em diversas fontes de dados, tais como expressões verbais, escritas e desenhos.

Foram identificadas cinco analogias no processo de como o calor é conduzido e três crenças ontológicas sobre a base material para a condução de calor. Segundo os autores, a combinação destes dois aspectos (crenças e previsões-analogias) pode melhor representar os modelos mentais dos alunos em termos dos mecanismos subjacentes e emergentes para a compreensão dos processos de condução de calor. Isso quando comparadas a utilização de tais abordagens separadamente, como por vezes tem sido feito em pesquisas citadas e analisadas pelos autores.

Em suas conclusões também ponderam que, enquanto um modelo mental cientificamente aceito, tem uma chance melhor de ser acompanhado de uma previsão correta, uma previsão correta pode não resultar de um modelo mental cientificamente aceito. Para eles, independentemente de quais modelos mentais, que os participantes possuíam, eles tenderam a utilizar automaticamente as novas regras “aprendidas” ou trazidas de experiências

anteriores, em vez de manipular seus modelos mentais para gerar novas previsões para os problemas encontrados.

### **2.1.3 Modelagem Computacional**

A utilização de ambientes de modelagem computacional no contexto de ensino de Física e no estudo dos modelos mentais tem despertado interesse da comunidade acadêmica devido às inúmeras possibilidades no estudo de objetos, sistemas ou fenômenos.

Em sua revisão da literatura sobre os termos modelo e modelagem, Quinto e Ferracioli (2008) discutem várias dessas abordagens, as quais não serão analisadas nesta etapa por não terem relevância direta com a presente investigação. Contudo, em futuras pesquisas sobre modelos mentais, pretende-se fazer uso das mesma para referenciar trabalhos no campo da modelagem mental.

Otero (1999) apresenta uma contribuição à fundamentação teórica para a investigação em ensino de ciências, por meio da análise de algumas teorias cognitivas relacionadas ao enfoque computacional e às representações mentais que se propõem a explicar os processos cognitivos. Discute possíveis vínculos entre a Psicologia Cognitiva e o construtivismo. Traça um paralelo entre as teorias que postulam uma lógica de raciocínio, como a teoria de Piaget e a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. Enfatiza que as primeiras não conseguem dar conta dos raciocínios logicamente errados ou não-lógicos, no sentido de uma lógica proposicional. Coloca as representações mentais no centro de sua análise, discutindo as abordagens de diferentes autores. E explica que o sistema cognitivo se desenvolve explorando as informações que tem armazenadas (inatas ou adquiridas).

Para essa autora, uma contribuição fundamental a investigação para o ensino de ciências é o raciocínio supor mais que a lógica formal. Discute o processo de mudança na formulação de teorias não-racionalistas como a teoria dos Modelos Mentais para o Racionalismo de Johnson-Laird, que estabelece que raciocinamos de modo analógico e não lógico. Esta última tem como objetivo descrever as formas de organização do raciocínio cognitivo. Johnson-

Laird defende a necessidade de se levar em conta o caráter fortemente analógico de nossos pensamentos, por isso postula que o sistema cognitivo do indivíduo pode ter um desempenho lógico sem utilizar nenhuma regra lógica em um processo de inferência.

Nersessian (2005) focaliza também a aprendizagem baseada em modelagens por computador. Para ela, o potencial das simulações em computador está na capacidade de ajudar os estudantes a se familiarizar com a modelagem construtiva genérica, reconhecendo que este estudo ainda necessita aprofundamento. Indica que simulações em computador, tomadas como um sistema de ferramentas de quem pensa, podem levar os estudantes a analisar os fenômenos num nível de abstração suficiente para compreender a estrutura genérica dos modelos, podendo então transferir sua compreensão de um problema para outro.

## **2.2 Pesquisas que utilizam a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud**

Dentre os artigos citados a seguir, serão enfatizados e mais detalhadamente analisados àqueles que foram considerados relevantes para a presente pesquisa.

Greca e Moreira (2003) discutem inicialmente a aprendizagem procedimental e a aprendizagem conceitual, de acordo com a perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Os autores defendem, a partir de uma perspectiva epistemológica, que para proporcionar aos estudantes uma visão correta da pesquisa científica real, em que estes aspectos (procedimental e conceitual) estão imbricados, eles devem ser tratados de forma integrada, e que a separação existente (na pesquisa em ensino e na prática docente) termina convertendo-se num obstáculo para a aprendizagem de Ciências. Argumenta a favor de uma postura que considera os problemas tradicionais e os problemas abertos como sendo ambos indispensáveis e complementares para a compreensão de conceitos físicos.

Para estes autores, torna-se difícil detectar regularidades nas situações ou regularidades nas inconsistências entre seus modelos mentais e o mundo sem estas estratégias. Quanto mais perto da vida cotidiana forem as situações apresentadas aos estudantes, mais esquemas e hábitos eles devem ter para

tais situações, sendo nestes casos muito difícil conseguirem chegar a formar um conceito científico. Assim reiteram como aparecem novamente imbricados em um processo dialético, a resolução de problemas e o processo de formação dos conceitos. Consideram que, desta forma integrada, podemos não só estudar melhor os processos de compreensão da aprendizagem científica de conceitos e proposições, por parte dos estudantes, como também desenhar estratégias de ensino mais apropriadas, as quais venham a ser mais bem sucedidas quando utilizadas no processo de facilitação do ensino-aprendizagem em Física.

Irene e Greca (2006) investigaram as noções que alunos do nível médio de uma escola Argentina tinham sobre conceitos fundamentais de física clássica e sua adequação para o estudo da teoria da relatividade restrita (TER). Pretendiam identificar alguns invariantes operatórios em relação aos conceitos de sistema de referência, observador, simultaneidade e medição elaborados pelos alunos durante a resolução de situações no âmbito da mecânica. Da análise dos resultados alcançados, verificaram a necessidade de se modificar formas de ação, ênfases, interpretações e operacionalização das situações propostas em sala de aula, para que os alunos pudessem conseguir progressivamente se apropriar dos esquemas necessários para a aquisição do campo conceitual da TER. Concluíram que os alunos envolvidos na pesquisa não conseguiram desenvolver invariantes operatórios sobre a teoria da relatividade restrita (TER), por isso seus esquemas de ação não foram apropriados para se abordar a TER sem tratar de forma detidamente. Finalizam seu trabalho apresentando uma proposta didática para a abordagem da TER a partir dos resultados obtidos em outras investigações, a qual pretende abordar a epistemologia de Bachelard, a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e aportes teóricos da didática francesa, particularmente os propostos pelos chamados *obstáculos de Martinand*.

Vergnaud (2007) analisa em que sentido a teoria dos Campos Conceituais pode ajudar na facilitação da aprendizagem significativa. Para ele, Piaget e Vygotsky se interessavam pelo desenvolvimento a longa duração e suas convergências são grandes. Enquanto Piaget enfatiza mais a atividade do sujeito, Vygotsky prioriza o peso da cultura e dos processos de mediação assegurados ao adulto e é um dos pais da linguagem e do simbolismo.

Contudo, Piaget não se interessou pelo conhecimento escolar e Vygotsky não abordou suficientemente os conteúdos conceituais. A ciência é feita de textos, e estes só dão conta imperfeitamente do conhecimento operatório que coloca em ação uma situação. O primeiro ato de mediação do ensino é a eleição de uma situação a se propor aos alunos para que se desestabilize o que ele já sabe. Sem esquemas ou situações não se pode compreender o desenvolvimento do pensamento. Aponta as razões que o motivaram a estudar os campos conceituais:

- Não se pode estudar o desenvolvimento de um conceito de maneira separada, porque sempre está tomado de um conjunto, formando um sistema;
- A conceitualização é um processo que forma parte da atividade, e é necessário captar as conceitualizações que operam nos esquemas, tanto explícitas como implícitas; isto foi o que conduziu Vergnaud a dar tanta importância ao conceito de invariante operatório;
- Numa perspectiva de desenvolvimento, um conceito é um triplete de conjuntos: um conjunto de situações, um conjunto de invariantes operatórios e um conjunto de formas linguísticas e simbólicas.

Escudero e Jaime (2009) analisam algumas dificuldades de estudantes iniciantes de engenharia ao resolver um problema de movimento de um corpo rígido em termos do conhecimento-em-ação que usam. Pretendiam encontrar regularidades no uso convencional e funcional que os alunos fazem da noção de interação e os aspectos energéticos associados, no campo conceitual da Mecânica Clássica-Dinâmica de Corpos Rígidos. Verificaram que alguns significados introduzidos pelos alunos podem ser caracterizados como invariantes operatórios e que os conhecimentos-em-ação, conhecimentos tão pessoais e funcionais para os indivíduos que os constroem, são resistentes a mudanças. Os resultados empíricos encontrados sugeriram para os autores a possibilidade de mobilidade de conceitos e de teoremas-em-ação, e conseqüentemente a responsabilidade dos docentes em equilibrar sua ênfases

conceituais e proposicionais no momento da exposição dos conteúdos em sala de aula.

### **2.3 Pesquisas que utilizam ambas as teorias: Modelos Mentais e Campos Conceituais**

Palmero e Moreira (1999) propuseram a investigação das dificuldades em se ensinar o tema células bem como os elementos que as compõem e suas funções, tema amplamente abordado no ensino de Biologia. Os autores explicitam a Teoria de Modelos Mentais de Johnson-Laird e a Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud, discutindo como elas poderiam ser usadas para auxiliar no processo de ensino/aprendizagem.

O estudo foi realizado no contexto de uma aula de Biologia em um curso específico na Universidade de Laguna em Tenerife. A coleta de dados foi baseada na aplicação de questionário e em uma entrevista e os modelos construídos pela amostra foram classificados em quatro categorias: *Modelo Mental Estrutural*, modelo de estrutura celular mais não de funcionamento, imagem única e estática; *Modelo Mental Dual*, modelo de estrutura de célula e modelo de funcionamento, ambos independentes, ou seja, um modelo duplo; *Modelo Mental Discursivo*, modelo integrado de estrutura e funcionamento da célula, estabelecendo inferências e deduções elaboradas entre estruturas e processos; *Modelo Mental Imagístico*, modelo integrado de estrutura e funcionamento da célula.

Os autores concluem com este estudo, que os estudantes agregaram um conhecimento relativo sobre célula e que a aprendizagem de conceitos científicos é um processo mental complexo que pressupõe a construção de representações. Estas devem ter elementos e relações com conexão entre si, para que assim o processo de aprendizagem seja eficaz.

Greca e Moreira (2002) discutem algumas limitações do referencial teórico dos modelos mentais e a possibilidade de se avançar em relação às propostas até agora elaboradas para a pesquisa em Ensino de Ciências. A partir da análise da teoria dos campos conceituais de Vergnaud, os autores propõem uma abordagem que, integrando elementos de ambos referenciais, poderia permitir uma melhor compreensão de alguns processos cognitivos na



aprendizagem de conceitos científicos. Indica possíveis implicações desta abordagem para a pesquisa e para o ensino de Ciências.

Apresentam exemplos de algumas aplicações desta abordagem em pesquisas já realizadas com alunos do ensino superior. Para tal, enfatizam especificamente cada um dos seguintes conceitos: campo conceitual, situações, esquemas, invariantes operatórios (conhecimento-em-ação e teorema-em-ação) e o desenvolvimento de um conceito.

Os autores propõem que enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com os teoremas e conceitos em ação (sendo que estes teoremas e conceitos em ação contêm informação tanto de propriedades do mundo físico como de relações matemáticas), no momento de enfrentar-se com uma situação nova os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, modelos de trabalho para a resolução da tarefa.

Para eles, o modelo mental (este, pode ser analógico ou parcialmente analógico e parcialmente proposicional) pode ser resultante de invariantes operatórios de diferentes esquemas que, ao mesmo tempo, podem ser usados pelo sujeito para a compreensão de uma situação e sua ação sobre ela. Assim, propõem a existência de dois grandes tipos de representações, necessárias para a apreensão do mundo por parte do sujeito: os esquemas e os modelos mentais. Indicam o que se pode ganhar com esta proposta (campos conceituais + modelos mentais) em relação às abordagens já existentes na área. E enumeram avanços obtidos em relação a alguns tipos de problemas já estudados por outras propostas:

- Identifica, de forma clara, distintos níveis de representação e diferentes classes de representações, estabelecendo os mecanismos que guiarão o uso e a mudança dos mesmos.
- Localiza no espectro das representações, aquelas que guiam a compreensão dos procedimentos matemáticos, os algoritmos e fórmulas, que os estudantes usam, o que nenhum dos enfoques antes descrito atende de forma explícita.
- Define melhor o que seja um conceito, pelo menos, conceitos científicos. Apresenta de forma explícita o que se está entendendo por conceito, separando o saber o que um conceito significa (mediante a expressão

em algum sistema simbólico) da competência que pode se ter para aplicá-lo, problema largamente detectado no ensino de ciências, assim como são explicitados os mecanismos de aprendizagem destes conceitos e de mudança dos mesmos.

- Consegue compatibilizar dois dados aparentemente contraditórios e ver o porquê da necessidade de separação entre estruturas dinâmicas e estruturas mais fixas. Enfatiza que os modelos mentais podem ser modificados de forma relativamente fácil, tendendo a eliminar as diferenças entre as suas predições e os acontecimentos do mundo. No entanto, isso não é um processo que automaticamente modifique os conceitos e teoremas-em-ação dos sujeitos. Dependendo da estabilidade desses conhecimentos em ação, eles poderão ser mudados de forma mais ou menos rápida. Por isso, as duas evidências não são contraditórias, senão que se referem a processos de mudança em classes diferentes de representações.
- Permite entender porque a aprendizagem de novos esquemas, surgidos da reestruturação, é uma tarefa difícil. Mudanças nos modelos mentais, destinadas a compatibilizar as predições e explicações dos sujeitos em relação a certas circunstâncias não levam necessariamente a uma reestruturação de esquemas.
- Enfatiza que o fato que situações semelhantes desde o ponto de vista científico podem ser vistas a partir de diferentes esquemas pelo sujeito e, portanto, podem levá-lo a construir diferentes modelos mentais e a fazer diferentes inferências. Pode também explicar a falta de coerência encontrada nas respostas dos alunos, ante situações aparentemente semelhantes (propostas pelos pesquisadores).
- Em contraposição à grande tendência na pesquisa em ensino de ciências, têm encontrado evidências de que certos conhecimentos intuitivos dos estudantes servem de âncora para novos desenvolvimentos e, portanto, enfatiza a insistência na evolução dos mesmos e não na sua mudança. Acredita que os esquemas podem ser úteis e a base de desenvolvimentos posteriores.

Para esses autores, devem-se levar em conta que os modelos físicos, que servem para explicar os fenômenos físicos e cuja compreensão é um dos

objetivos do ensino de Física, são simplificações extremas da realidade à luz dos princípios de uma dada teoria. Quanto mais perto da vida cotidiana sejam as situações apresentadas aos estudantes mais esquemas e hábitos eles devem ter, sendo nestes casos muito difícil conseguir que eles cheguem a formar um conceito científico.

Exemplificam, embora não dentro desta proposta, uma estratégia didática elaborada para a aprendizagem de conteúdos de Mecânica Quântica, cuja característica principal residia na apresentação sequenciada de diferentes situações passíveis de serem resolvidas com o mesmo conjunto de conceitos-chaves, com o objetivo de ensiná-los a visualizar os fenômenos microscópicos desde o modelo cientificamente aceito. Dentro desta perspectiva, entende a modelização como um dos possíveis mecanismos de explicitação dos conceitos e teoremas-em-ação, estágio indispensável para a aquisição dos verdadeiros conceitos científicos. A partir dos resultados, concluem que fica expressa em forma explícita a maneira como o estudante percebe e entende o fenômeno, ele pode detectar inconsistências entre seu modelo e o modelo cientificamente aceito.

Nessa proposta ainda enfatizam que as duas estratégias, utilização de problemas abertos e problemas tradicionais em Física, bastante difundidas no ensino de Física, podem ser complementares em tempos diferentes, pois seus objetivos são diferentes. Em resumo, enfatiza que a ideia de modelo mental que os parece adequada é a de *modelo de trabalho*, isto é, algo construído na memória de trabalho: uma representação interna construída, recursivamente, a partir de conhecimentos prévios e novas percepções, cujo único compromisso é a funcionalidade segundo critérios de seu construtor. Uma vez atingido o objetivo da compreensão funcional, o modelo mental torna-se descartável, dispensável, pois já cumpriu seu papel.

Souza e Moreira (2005) investigam sobre como fazer os alunos modelarem mentalmente soluções para problemas de Mecânica num curso de Engenharia sem usar procedimentos tradicionais de busca de “fórmulas”. Conclui que a representação mental dos enunciados pode ser facilitada pelo ensino explícito da modelagem física das situações envolvidas. Os conhecimentos-em-ação que os estudantes usam podem ajudar com que os professores entendam os processos que eles usam durante a resolução do

problema, com possíveis consequências para o procedimento usado pelo professor em relação ao ensino.

## **2.4 Pesquisas que tratam de ensino e aprendizagem da Física Moderna em nível médio: EJA/PROEJA**

Serão descritos a seguir alguns artigos que tratam de questões relacionadas ao público da EJA/PROEJA, bem como os que tratam de ensino e aprendizagem em Física Moderna em nível médio, classificados como relevantes para a presente revisão.

Durante a presente revisão bibliográfica verificamos um número pouco representativo de pesquisas desenvolvidas no âmbito da Educação de Jovens e Adultos (EJA/PROEJA) no que se refere a aplicações de estratégias para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa. E no que tange ao ensino da disciplina Ciências, de extrema importância pelo aspecto da contextualização do aluno do PROEJA no ambiente de trabalho, essa deficiência segundo Martins (2008) também fica evidente:

Poucos esforços vêm sendo feitos no sentido de explicitar ou discutir seus contornos e especificidades neste campo pedagógico. Por sua vez, trabalhos desenvolvidos junto a estudantes jovens e adultos são praticamente inexistentes na literatura do campo da Educação em Ciências (IBID, 2008, p. 332).

Ainda ressaltam que:

Dos 731 trabalhos inscritos, apenas três eram referentes ao tema Educação em Ciências na EJA. Em consequência, questões que dizem respeito aos objetivos e às formas de abordar temas relacionados às ciências naturais junto a grupos de estudantes jovens e adultos permanecem obscuras (IBID, 2008, p. 332).

Ostermann *et al* (1998) escrevem artigo dirigido a professores de Física do Ensino Médio com o objetivo de tratar um tópico de Física Contemporânea, a supercondutividade não só no contexto dos conteúdos trabalhados na escola média, mas também a partir de temas não abordados nesse nível de ensino: conceitos básicos de Mecânica Quântica e Física do Estado Sólido. Para os autores, existe consenso em nível nacional e internacional quanto à necessidade de introduzir conteúdos de Física Contemporânea no currículo. No entanto, normalmente a Física ensinada nas escolas avança no máximo

até o início do nosso século. Neste contexto, os autores traçam um histórico da descoberta e estudo sobre a supercondutividade, propriedades dos supercondutores, suas leis e teorias envolvidas, pretendendo com isso contribuir para a atualização curricular em Física e para a formação do professor.

Valadares e Moreira (1998) apresentam sugestões, conceituais e práticas, de como introduzir tópicos de Física Moderna relacionados com o cotidiano dos alunos do nível médio. É dada uma ênfase especial a experiências de baixo custo e que permite uma vivência direta de alguns dos princípios subjacentes à tecnologia atual. Para ilustrar seu enfoque, consideram três tópicos, a saber, o efeito fotoelétrico, o laser e a emissão do corpo negro, enfatizando algumas de suas aplicações através de experiências simples e acessíveis a escolas com modestos financeiros.

Ostermann e Moreira (2000) apresentam uma revisão da literatura sobre a linha de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio” realizada com consulta a artigos em revistas, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e navegações pela internet, que abordam essa questão. A pesquisa concentrou-se em publicações direcionadas ao ensino da Física e engloba os primeiros trabalhos publicados nessa linha (final da década de 70). Os trabalhos encontrados foram classificados em seis grandes grupos.

Foi possível verificar, por exemplo, que há uma grande concentração de publicações que apresentam temas de FMC, em forma de divulgação, ou como bibliografia de consulta para professores do ensino médio. Por outro lado, existe uma escassez de trabalhos sobre concepções alternativas de estudantes acerca de tópicos de FMC, bem como pesquisas que relatam propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem. Enquadraram onze trabalhos ao todo que tratavam de propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem, sendo: nove direcionados à Mecânica Quântica, um sobre armas nucleares e outro sobre raios cósmicos. Para os autores, é possível que isto demonstre uma necessidade de amadurecimento da linha de pesquisa “FMC no ensino médio”.

Silva e Kawamura (2001) salientam a verificação de um aumento na procura de informações do tipo “divulgação científica” por parte dos educadores. Notam uma crescente preocupação com a difusão dos

conhecimentos científicos para um público cada vez mais amplo e diversificado, o chamado público-leigo: crianças, jovens e adultos. Centralizaram sua análise no banco de dados sobre óptica do FISBIT, um banco de dados de referências e publicações com conteúdos relacionados à Física, dirigido especialmente a professores do Ensino Médio, na forma de um software. Classificaram esse material em cinco grandes categorias: mundo sensível e curiosidades, aplicações tecnológicas e conceitos óticos no cotidiano, natureza da luz, a luz nas outras ciências e outros. Dessas cinco, a categoria natureza da luz ocupa lugar de destaque dentre os assuntos mais abordados no material de divulgação analisado.

Neste contexto, discutem os resultados da utilização de material de divulgação científica em sala de aula, no Ensino Médio, por meio da análise dos dados de um conjunto de atividades especialmente planejadas em função desse tipo de material. Nessas atividades, abordam a questão da natureza da luz, dentro do espaço curricular tradicional de ótica.

Optaram pela elaboração de perguntas feitas em conjunto por aluno e professor, chamados de “estratégias de perguntas”. Contudo, elaboraram também um conjunto mais amplo de atividades para elaborarem um número significativo de perguntas pertinentes aos temas do conteúdo. Essas atividades foram bastante diferenciadas. Abrangiam experiências, aulas expositivas, leitura de livros didáticos e, especialmente importante para nós, a leitura de textos de divulgação, incluindo respostas de perguntas de leitores. Pretendendo problematizar a dualidade, partiram dos fenômenos resolvidos pela ótica geométrica (reflexão e refração, por exemplo), passando-se pelas suas limitações e o conseqüente estabelecimento da ótica física (difração e interferência).

Fizeram dois tipos de análise, primeiro, interpretaram os dados que ressaltavam as possíveis mudanças de concepções dos alunos decorrentes desse conjunto de atividades, em seguida, analisaram as principais vantagens e desvantagens que essa maneira de trabalhar apresentou a partir da descrição da participação dois alunos nas atividades. Constataram que a utilização do material de divulgação produziu mudanças significativas nas concepções gerais dos alunos do Ensino Médio. Essas mudanças foram observadas na modificação das idéias ou da chamada cultura dos alunos

(demonstrada em seus interesses iniciais), em direção a uma postura que se aproxima mais da cultura científica (demonstrada nas indagações por eles colocadas ao final da atividade).

Para os autores, a utilização do material de divulgação desempenhou resumidamente diferentes funções: representou uma forma de estender o conteúdo trabalhado para além do âmbito usualmente considerado pela Física escolar; desempenhou também um papel essencial em outra esfera, talvez afetiva e motivacional, despertando e, depois, contribuindo para a manutenção do interesse dos alunos, sempre vivo, ao longo do período em que o tema foi trabalhado propiciando uma maior identificação dos alunos com o tema e contribuindo para modificar algumas de suas concepções e visões da abordagem da Física; o material representou um instrumento importante no estabelecimento do diálogo em sala de aula, entre professor, alunos e conhecimento, diálogo esse pelos autores, considerado como essencial ao processo de ensino-aprendizagem.

Greca e Moreira (2001) apresentam os resultados de uma revisão da literatura referente ao ensino de conteúdos introdutórios de Mecânica Quântica. Os artigos foram classificados em três grandes grupos: concepções dos estudantes, críticas à abordagem tradicional e propostas de inovações didáticas. Encontraram artigos sobre estes temas em relação às disciplinas introdutórias tanto em nível médio e universitário, como em um curso de formação de professores.

Como melhorar o ensino da Mecânica Quântica foi o ponto central dos artigos que analisaram na seção de propostas e inovações didáticas. Segundo os autores, para o ensino médio as propostas parecem enquadrar-se em quatro abordagens bem diferenciadas: histórico-filosófica, estabelecimento de elos com a Física Clássica, apresentação da Mecânica Quântica sem elos com os conceitos clássicos e abordagem experimental. Para ele, se é difícil apresentar a descrição quântica nas disciplinas introdutórias das carreiras científicas, as dificuldades pareceriam aumentar quando o ensino é dirigido a estudantes de outras áreas.

De modo geral, os autores constataram que pesquisas sobre concepções dos estudantes, embora muito desenvolvidas em áreas como Mecânica, Termodinâmica, Ótica ou Eletromagnetismo, são muito escassas em

relação a conceitos quânticos. Entendem que o interesse a respeito do tema cresceu muito nos últimos anos. E que os resultados obtidos pelos artigos investigados neste trabalho parecem confirmar as suspeitas dos professores de que os estudantes não compreendem os conceitos quânticos propostos, ainda que as pesquisas não sejam conclusivas em indicar quais em particular, ou por que, em parte devido a que poucos deles têm sido pesquisados até hoje, e que os alunos limitam-se, em geral, a manipular o formalismo ou, pior, evitam qualquer estudo posterior que envolva tais conceitos. Por isto, as abordagens tradicionais têm sido criticadas sob vários ângulos. Como respostas a essas críticas têm surgido diversas tentativas, muitas delas visando enfatizar aspectos conceituais da Mecânica Quântica, porém seus resultados estão ainda longe de ser conclusivos.

Pereira e Ostermann (2009) apresentam uma revisão da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea realizada através da consulta a artigos publicados nas principais revistas de ensino de ciências do Brasil e do exterior no período de 2001 a 2006. Os trabalhos consultados foram classificados em quatro grandes categorias: propostas didáticas testadas em sala de aula, levantamento de concepções, bibliografia de consulta para professores, análise curricular. Foi possível constatar que, apesar do notável aumento relativo de publicações sobre o ensino de física moderna e contemporânea que apresentam resultados de pesquisa, a maioria dos artigos ainda se refere à bibliografia de consulta para professores. Os autores concluem que embora haja um número considerável de estudos envolvendo propostas didáticas inovadoras, há poucos trabalhos que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos relativo a temas de física moderna e contemporânea em sala de aula.

Reis e Linhares (2010) apresentam resultados de uma experiência de inovação curricular no ensino presencial de Ciências, a qual foi realizada com uma turma de educação profissional de jovens e adultos (PROEJA). A proposta pedagógica foi apoiada na metodologia de Aprendizagem Baseada em Casos e no Espaço Virtual de Aprendizagem (EVA). O objetivo da pesquisa foi analisar a adequação dos recursos tecnológicos adotados, a partir da participação dos estudantes em estudos de temas que favoreciam, segundo a visão dos autores, a aprendizagem para o trabalho e a cidadania. Foram analisadas a



evolução das concepções dos estudantes e a aquisição de atitudes e habilidades adequadas, durante a realização de um Estudo de Caso sobre nanotecnologia. Da análise dos resultados encontrados, os autores concluem que os espaços virtuais podem contribuir para a aprendizagem significativa, constituindo-se em importante recurso para o ensino de Ciências, de modo particular, na Educação Profissional de Jovens e Adultos.

E finalmente, como já salientado na introdução deste trabalho, nossas pesquisas têm contemplado o público PROEJA desde o início de 2009, culminando na submissão de artigo apresentado em congresso na área, onde Martins et. al (2010)<sup>50</sup> relatam pesquisa realizada com uma turma de oito alunos do curso eletrônica integrado ao Ensino Médio na modalidade PROEJA. Utilizaram os mapas conceituais como um instrumento articulador que, segundo proposta dos autores, facilitaria progressivamente a generalização do conceito de energia, como tema mais abrangente e inclusivo, e que poderia promover a interdisciplinaridade conceitual. Baseado num planejamento prévio, ao final da explanação de cada conteúdo os professores em suas respectivas aulas, solicitariam aos alunos a elaboração de um mapa conceitual que relacionasse os conceitos estudados disciplinarmente sobre o tema Energia.

Da análise dos mapas conceituais elaborados, os autores concluíram que os mesmos contribuíram para que os alunos conseguissem apresentar suas idéias sobre a temática energia estudada no âmbito das aulas de Física, Química e Biologia. Os mapas conceituais demonstraram ser eficientes instrumentos de representação conceitual. E no tocante às ligações estabelecidas nos últimos mapas elaborados, onde os alunos relacionaram cerca de 30 conceitos num único mapa, os mesmos se apresentaram como eficazes instrumentos não somente de integração e generalização conceitual, mas que explicita a linearidade da aprendizagem, conseqüência de um ensino enfaticamente disciplinar.

---

<sup>50</sup> Artigo submetido em 02 de fevereiro de 2010 à Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências – RBPEC. Trabalho já apresentado no VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC, sob o título “*Mapas conceituais em aulas de Ciências da Natureza: uma abordagem integrada do tema energia*”, em novembro de 2009, Florianópolis, SC.

Neste capítulo são apresentados os referenciais metodológicos da presente pesquisa de doutorado. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, realizada sob os fundamentos de ciclos reflexivos da pesquisa-ação.

Nos tópicos a seguir, será melhor discutido a base teórica de cada uma, sua definição e aplicações, bem como suas contribuições no âmbito da pesquisa em ensino.

#### 3.1 - Pesquisa Qualitativa

Por tratar de uma investigação aonde se leva em conta além do conhecimento adquirido pelo aluno, os aspectos idiossincráticos relacionados a sua cognição, sua maneira de interpretar, pensar, explicitar o conhecimento, a abordagem qualitativa foi escolhida para o desenvolvimento das ações e para o tratamento dos dados.

Essa escolha se justifica pela percepção de que a medida que se diversificam as áreas da pesquisa educacional, também ocorrem mudanças nas abordagens metodológicas. Os estudos chamados qualitativos (Andre, 2007) englobam um conjunto heterogêneo de métodos, de técnicas e de análises. Abarca, também (Gatti, 2001, p. 73), desde os estudos antropológicos e etnográficos, pesquisas participantes, estudos de caso até a pesquisa-ação e análises de discurso, narrativas, histórias de vida. Sobre essa metodologia qualitativa e sua utilização, explicita Moreira (2009 *apud* JACOB, 1987):

Pesquisa qualitativa é um termo que tem sido usado alternativamente para designar várias abordagens à pesquisa em ensino, tais como pesquisa etnográfica, participativa observacional, estudo de caso, fenomenológica construtivista, interpretativa, antropológica cognitiva. Cada uma dessas abordagens forma um todo coerente, englobando suposições internamente consistentes sobre natureza humana, sociedade, objeto de estudo e metodologia, porém compartilham muitas semelhanças e por questão de simplicidade são comumente chamadas de pesquisa qualitativa (IBID, 2009, p.1).

Para alguns autores, como Andre (1998), na literatura existente não se percebem informações técnicas a respeito de princípios capazes de permitir que tais metodologias, possam apresentar-se com uma identidade bem mais definida, mas apenas enfoques dentro da pesquisa denominada qualitativa.

De forma geral, para Moreira (2009, *apud* Eisner 1981) qualquer forma de pesquisa qualitativa deve necessariamente preocupar-se com a qualidade. A distinção que se deve procurar fazer, não deve ser entre formatos qualitativos e não qualitativos de pesquisa, mas sim, entre o que é estudado de uma maneira científica e o que é estudado artisticamente.

O uso da abordagem da pesquisa educacional qualitativa na área de ensino é um movimento considerado atual por Moreira (2009), pois foi iniciado há pouco mais de duas décadas e vem crescendo acentuadamente. Na década de 1990, embora fosse comum usar o termo pesquisa qualitativa e distingui-la da pesquisa quantitativa, essa terminologia causava desconforto em muitos autores. Eles, até acreditavam que numa perspectiva mais abrangente, a metodologia da pesquisa qualitativa guardava semelhanças com a da quantitativa, mas em termos da natureza de seus procedimentos elas eram bem diferentes. Moreira (2003) faz essa distinção:

O pesquisador quantitativo faz uso de instrumentos de medida (ex., testes, questionários), seleciona amostras, aplica tratamentos, procura correlações, faz inferências, usa testes estatísticos, busca validade interna e externa. O investigador interpretativo observa participativamente, de dentro do ambiente estudado, imerso no fenômeno de interesse, anotando cuidadosamente tudo o que acontece nesse ambiente, registrando eventos – talvez através de audiotapes ou de videotapes -- coletando documentos tais como trabalhos de alunos, materiais distribuídos pelo professor, ocupa-se não de uma amostra no sentido quantitativo, mas de grupos ou indivíduos em particular, de casos específicos, procurando escrutinar exaustivamente determinada instância tentando descobrir o que há de único nela e o que pode ser generalizado a situações similares. (IBID, 2003, p. 24)

Na metodologia qualitativa, o pesquisador chamado interpretativo registra eventos, obtém dados, transforma-os e faz asserções. Isto é, ele observa participativamente, de dentro do ambiente estudado, imerso no fenômeno de interesse, anotando cuidadosamente tudo o que acontece nesse ambiente, registrando eventos, coletando documentos tais como trabalhos de alunos, materiais distribuídos pelo professor. Ocupa-se não de uma amostra no

sentido quantitativo, mas de grupos ou indivíduos, em particular, de casos específicos, procurando escrutinar exaustivamente determinada instância tentando descobrir o que há de único nela e o que pode ser generalizado a situações similares.

Além disso, o pesquisador qualitativo também transforma dados e eventualmente pode fazer uso de sumários, classificações e tabelas. A estatística que usa é predominantemente descritiva. Não fica preocupado em fazer inferências estatísticas. Seu enfoque é descritivo e interpretativo ao invés de explanatório ou preditivo. E os dados obtidos por meio da participação ativa são de natureza qualitativa e analisados correspondentemente. As hipóteses são geradas durante o processo investigativo e “o *pesquisador busca universais concretos alcançados através do estudo profundo de casos particulares e da comparação desse caso com outros estudados também com grande profundidade*” (MOREIRA, 2009, p. 7).

A interpretação dos dados é o aspecto crucial do domínio metodológico da pesquisa qualitativa. Interpretação, do ponto de vista de significados atribuídos pelos sujeitos às suas ações, em uma realidade socialmente construída, através da observação participativa. Como já dito, o pesquisador fica imerso no fenômeno de interesse. Essa análise interpretativa dos dados gera asserções de conhecimento, as quais o pesquisador torna pública sob a forma de um relatório ou artigo de pesquisa.

Na narrativa repousa a etapa final da pesquisa qualitativa: a narrativa. Nela estão registrados os resultados analisados e para Moreira (2003) repousa a credibilidade do trabalho do pesquisador:

Ao invés de usar gráficos, coeficientes, tabelas estatísticas para apresentar resultados e asserções de conhecimento, o pesquisador interpretativo narra o que fez e sua narrativa concentra-se não nos procedimentos, mas nos resultados. Suas asserções dependem de sua interpretação e só terão validade para o leitor (que pode ser um colega pesquisador, um professor, um administrador, o próprio sujeito da pesquisa) na medida em que este concordar com essa interpretação. Para isso, o pesquisador enriquece sua narrativa com trechos de entrevistas, excertos de suas anotações, vinhetas, exemplos de trabalhos de alunos, entremeados de comentários interpretativos procurando persuadir o leitor, buscando apresentar evidências que suportem sua interpretação e, ao mesmo tempo, permitam ao leitor fazer julgamentos de modo a concordar ou não com as asserções interpretativas do pesquisador (IBID, 2003, p. 24)

A pesquisa qualitativa é chamada também *naturalista* porque não envolve manipulação de variáveis, nem tratamento experimental (é o estudo do fenômeno em seu acontecer natural); *fenomenológica* porque enfatiza os aspectos subjetivos do comportamento humano, o mundo do sujeito, suas experiências cotidianas, suas interações sociais e os significados que dá a essas experiências e interações; *interacionista simbólica* porque toma como pressuposto que a experiência humana é mediada pela interpretação, a qual não se dá de forma autônoma, mas na medida em que o indivíduo interage com outro, é por meio de interações sociais como vão sendo construídas as *interpretações*, os significados, a visão de realidade do sujeito (MOREIRA, 2009 *apud* André, 1998, p. 17-18).

Algumas características básicas que orientam a pesquisa qualitativa são sugeridas por Godoy (1995):

- a pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento, via de regra, através de um intensivo trabalho de campo;

- os dados coletados são predominantemente descritivos. Todos os dados da realidade são considerados importantes, incluindo-se as transcrições de entrevistas e de depoimentos, assim como outros tipos de documentos que comunicam informações valiosas para legitimar a investigação;

- a preocupação com o processo é muito maior que com o produto. O interesse do pesquisador está em retratar como um determinado problema se manifesta nas atividades e nas interações cotidianas;

- o significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção do pesquisador. Nesses estudos há sempre uma tentativa em capturar a maneira como os informantes encaram as questões que estão sendo focalizadas;

- a análise dos dados tende a seguir um processo indutivo. Os estudos se consolidam basicamente de baixo para cima, por isso, é dispensável hipóteses antecipadas, mesmo assim, deve existir um quadro teórico que oriente a coleta e análise dos dados.

Essa breve discussão sobre a pesquisa qualitativa procurou esclarecer a viabilidade dessa abordagem para a condução da presente pesquisa de doutorado. Pois além de enfatizar tanto o processo do conhecimento como seu produto (ou seja, o conhecimento), fornece a possibilidade de abarcar a técnica reflexiva da pesquisa-ação.

A seguir, então, serão apresentados e discutidos alguns dos referenciais que fundamentam os procedimentos metodológicos da pesquisa-ação.

### **3.2 Pesquisa-ação**

A prática reflexiva foi um alicerce para a construção das ações metodológicas necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

Constatou-se que esse tipo de prática tem sido incentivada na literatura por meio de várias estratégias, como, análises de casos, de narrativas, portfólios reflexivos e a pesquisa-ação. Compartilhando com a ideias de Jordão (2005 *apud* Alarcão, 2003), a escolha da pesquisa-ação se respaldou no grande potencial reflexivo por ela oferecido, capaz de estruturar os saberes resultantes.

A metodologia da pesquisa-ação apesar de ter ganhando destaque no cenário educacional (Tripp, 2005), nasceu no contexto de investigações relacionadas aos problemas sociais, mais especificamente, na área da sociologia.

Em geral, atribui-se a origem do conceito de pesquisa-ação ao psicólogo Kurt Lewin, que em 1944 desenvolve uma metodologia de pesquisa e intervenção baseada em ciclos de espirais auto-reflexivas acerca de questões sociais no dia-a-dia (ANDRÉ, 2007).

Percebe-se que a pesquisa-ação de Lewin visa à transformação dos comportamentos. Dentro dessa lógica, esse pesquisador parece mostrar que, para otimizar essa transformação no sentido pretendido, é necessário obter a participação dos sujeitos do processo de mudança e que a organização de discussões coletivas centradas no problema a resolver constitui um procedimento de bons resultados.

No modelo de Kurt Lewin, apresentado em Jordão (2005), cada ciclo se constitui em uma série de passos constituídos de: planejamento, ação e evolução da ação. O ciclo é iniciado com uma ideia geral sobre um tema de

estudo, no qual é elaborado um plano de ação, de modo a atingir um objetivo pré-estabelecido. O momento da avaliação oportuniza ao pesquisador o aprendizado sobre os procedimentos e a eficácia da ação, e dá suporte ao planejamento do próximo passo, iniciando um novo ciclo, e assim, sucessivamente.

De forma geral, os trabalhos com pesquisa-ação sempre envolvem um plano de ações baseado em objetivos, um acompanhamento, o controle das ações planejadas e o relato concomitante desse processo. Existem na literatura diferentes enfoques no uso da pesquisa-ação, bem como variadas definições. Apesar disso, há um consenso entre os autores ao relacioná-la com a prática e com as ações ou ciclos reflexivos. Por isso, tem sido considerada no âmbito educacional como um método essencial para a reflexão sobre a prática dos professores (IBID, 2005, p. 56).

Duas das principais interpretações advindas do modelo de Lewin sobre a pesquisa-ação podem ser observadas nos modelos de Kemmis e de Elliot. Suas ideias são enfaticamente discutidas em Jordão (2005), Latorre (2007), Barbier (2002; 2007), Moreira (2009) e Tripp (2005).

Em sua proposta de aplicação do modelo de Kurt Lewin na área educacional, Kemmis (1988) define a pesquisa-ação como uma forma de investigação auto-reflexiva, realizada por professores para melhorar a compreensão, a racionalidade e a injustiça de suas próprias práticas, bem como as situações sociais nas quais elas ocorrem.

Em Jordão (2005 *apud* Kemmis, 1993) “o objetivo básico da pesquisa-ação é ajudar as pessoas a se visualizarem como agentes e como produtos da história, oferecendo-lhes caminhos para a melhoria da sociedade”. E para se atingir esse objetivo é necessário para Barbier (2002, p. 58) atender a cinco exigências:

- Rejeitar as noções positivistas da racionalidade, de objetividade e de verdade;
- Empregar as categorias interpretativas de todos os participantes do processo educativo;
- Encontrar formas de distinguir as ideias e as interpretações deformadas pela ideologia, avaliar e buscar maneiras de superar essas deformações;

- Empenhar para descobrir o que existe na ordem social vigente que bloqueiam as mudanças racionais, permitindo aos participantes tomar consciência de como superar esses bloqueios;

- Fundamentar-se a uma ação alicerçada a uma teoria e associada a uma estratégia de transformação.

Uma definição de pesquisa-ação para Moreira (2009), considerada mais aberta, seria a identificação de estratégias de ação planejada que são implementadas e, a seguir, sistematicamente submetidas à observação, reflexão e mudança.

Nesse contexto, a pesquisa-ação deve estar sempre conectada a ação social numa dimensão crítica. Deve possibilitar uma forma de aprendizagem colaborativa, onde os grupos aprendem a mudar a partir do próprio processo de efetuar transformações. Deve ainda estudar o processo e suas consequências, elaborando a cada conclusão reflexiva, novas tentativas de mudanças (IBID, 2009, p. 17).

Kemmis e McTaggart (1988) definem a pesquisa-ação como uma forma de investigação-ação que utiliza técnicas de pesquisa consagradas para informar a ação que se decide tomar com vistas à melhoria da prática. Eles ainda acrescentam que as técnicas de pesquisa devem atender aos critérios comuns a outros tipos de pesquisa acadêmica (isto é, enfrentar a revisão pelos pares, quanto a procedimentos, significância, originalidade, validade etc).

Na visão desses autores, a atuação ampliada da pesquisa-ação para o ensino vem como uma resposta à articulação entre a teoria educacional e a prática da sala de aula. Surge da necessidade de ajudar os professores na solução de seus problemas em sala de aula. O próprio nome já sugere a união entre a pesquisa à ação ou à prática. “*É um instrumento ideal para uma pesquisa relacionada à prática*” (ENEGEL, 2000).

Moreira (2009, *apud* Kemmis, 1988, p. 174) comenta que a definição de pesquisa-ação como uma pesquisa *coletiva* auto-reflexiva empreendida por participantes de situações sociais para melhorar a produtividade, racionalidade e justiça de suas próprias práticas sociais ou educativas, assim como sua compreensão em relação a tais práticas e às situações em que ocorrem. Os participantes podem ser professores, alunos, diretores, pais e outros membros da comunidade, isto é, qualquer grupo que partilha uma preocupação, um



objetivo. A pesquisa-ação é vista como uma “*indagação da prática realizada pelos professores, de forma colaborativa, com a finalidade de melhorar sua prática educativa através de ciclos de ação e reflexão*” (LATORRE, 2007, p. 24).

Para outro importante pesquisador, Elliot (1993), a ideia de pesquisa-ação vem aliada ao trabalho e ao crescimento profissional do professor, sendo expandida e integrada aos planos de reforma do sistema educacional.

Moreira (2010 *apud* Elliot 1993, p. 67) afirma que o objetivo fundamental da pesquisa-ação consiste em melhorar a prática em vez de gerar conhecimentos. E que a produção e utilização do conhecimento se subordinam a este objetivo e estão condicionadas por ele. Então, a melhora na prática consiste em implantar aqueles valores que constituem seus fins, por exemplo, a educação no ensino. Quando se pretende melhorar a prática, na Educação têm que se considerar conjuntamente os processos e os produtos (IBID, 2010, p. 68).

Jordão (2005 *apud* Elliot 1993) por sua vez, entende que no modelo de pesquisa-ação, é considerado marcante o fato dessa estratégia estar associada à formação das pessoas nela envolvidas e nas situações sociais percebidas pelos professores como problemáticas e passíveis de mudanças.

De forma geral, o processo de pesquisa-ação, segundo apontam esses autores (Kemmis, 1993; Kemmis e McTaggart, 1988; Elliot, 1993; Tripp, 2005), se caracteriza por uma espiral de ciclos de reconhecimento (descoberta de fatos). Moreira (2009) enumera alguns passos a serem seguidos neste reconhecimento em ciclos:

- a) reconhecimento de uma situação que se quer mudar;
- b) planificação geral da ação objetivando a mudança;
- c) desenvolvimento, implementação e avaliação dessa ação;
- d) reflexão à luz da evidência recolhida na implementação;
- e) revisão do plano geral; planificação de nova ação; implementação, avaliação, reflexão, revisão do plano; e assim sucessivamente.

Este caráter cíclico não significa um processo linear, automático, ou mecânico. Essa espiral de ciclos tem por objetivo a melhoria das práticas e da compreensão de situações, e o envolvimento tanto quanto possível de todos os afetados intimamente pelas ações em todas as fases do processo investigativo.

No entendimento de Tripp (2005, *apud* Kemmis; McTaggart, 1990), o ciclo da pesquisa-ação apresentado por Kemmis, apesar de incluir todas as atividades do ciclo básico de investigação-ação e frequentemente ser representado do mesmo modo, não é inteiramente preciso em sua distinção e em seu seqüenciamento da ação e do monitoramento das fases.

Para ele, a pesquisa-ação começa com um *reconhecimento*. O reconhecimento é uma análise situacional que produz ampla visão do contexto da pesquisa-ação: as práticas atuais dos participantes e envolvidos. Paralelamente a projetar e implementar a mudança para melhora da prática, o reconhecimento segue exatamente o mesmo ciclo da pesquisa-ação. Planeja-se como monitorar e avaliar a situação atual. A seguir, interpreta e avalia os resultados, a fim de planejar uma mudança adequada da prática no primeiro ciclo de pesquisa-ação.

Diante dessas visões e definições, Tripp (2005) entende que ainda exista certo impasse em se definir a pesquisa-ação por duas razões: primeiro, por ser um processo que de tão natural se apresenta, sob muitos aspectos, diferente; e segundo, por ela ter se desenvolvido de diferentes maneiras para distintas aplicações.

Para ele, a pesquisa-ação deve ser encarada como um termo genérico de investigação-ação, que é qualquer processo que siga um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela. Este ciclo se configura em torno de quatro momentos, onde *planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se uma mudança para a melhora de sua prática*. Aprende-se mais, no correr do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação.

Essa definição generalizada por Tripp (2005) entende a pesquisa-ação educacional como “*uma estratégia metodológica utilizada para o desenvolvimento de professores e pesquisadores de modo que eles possam utilizar suas pesquisas para aprimorar seu ensino e, em decorrência disso, o aprendizado de seus alunos*” (IBID, 2005, p. 445).

A figura 2 demonstra como se relacionam os ciclos durante o processo da pesquisa-ação sob o ponto de vista de Tripp (2005): planejar, agir, monitorar e avaliar.

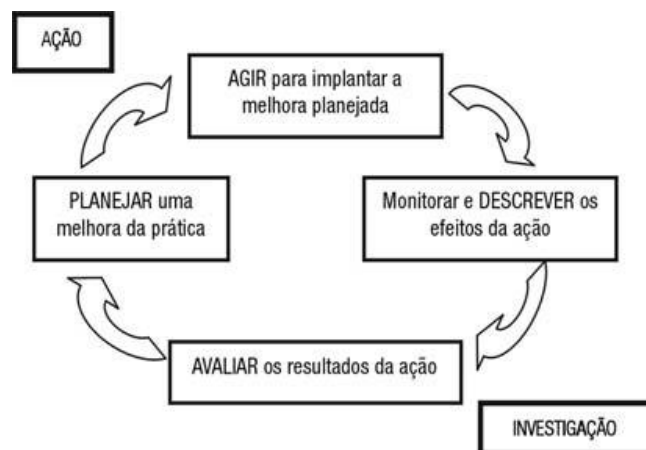


Figura 4: Representação em quatro fases do ciclo básico da investigação-ação.

Dentro do contexto de *um ciclo iterativo*, Tripp (2005) entende a pesquisa-ação como uma forma de investigação-ação, ou seja, um processo corrente, repetitivo, no qual o que se alcança em cada ciclo fornece o ponto de partida para mais melhora no seguinte. Ou seja, a investigação-ação é usada em cada fase. Chama de *epiciclos de pesquisa-ação*, uma vez que se proceda mediante, talvez, muitos ciclos de investigação-ação quando se atua em cada uma das fases do ciclo de pesquisa-ação. Por exemplo, ao planejar, planeja-se o que planejar, começa-se a planejar, monitora-se o progresso do plano e avalia-se o plano antes de ir adiante para implementá-lo.

Nesse contexto a *reflexão* é essencial para o processo de pesquisa-ação. Por esse motivo, Tripp (2005) não coloca a reflexão como uma fase distinta no ciclo da investigação-ação. Entende que ela deve ocorrer durante todo o ciclo. O processo começa com a reflexão sobre a prática comum a fim de identificar o que melhorar.

A reflexão também é essencial para o planejamento eficaz, implementação e monitoramento, e o ciclo termina com uma reflexão sobre o que sucedeu. Para ele, isso se perde quando o processo é reduzido a “planeje, faça, reflita”, como acontece muitas vezes em educação (IBID, 2005, p. 447).

A pesquisa-ação tende a ser participativa, embora Tripp (2005) considere impossível dizer como as pessoas participam de uma pesquisa ou projeto. Para ele, as pessoas podem participar de um projeto de pesquisa-ação por obrigação (quando é imposto por um superior), por cooptação (indivíduo concorda em ajudar; prestar serviços), por cooperação (indivíduo concorda em

participar) ou por colaboração (indivíduos trabalham juntos como co-pesquisadores).

Um aspecto muito importante e questionado no uso da pesquisa-ação é o critério de validade. Andre (2007 *apud* Anderson e Herr, 1999), entende que a pesquisa-ação não pode ser julgada pelos mesmos critérios de validade das pesquisas positivistas, nem das pesquisas naturalistas, mas exige uma nova definição de rigor. Um conjunto de critérios é sugerido para julgar a pesquisa-ação: *validade externa*, que diz respeito ao valor dos resultados alcançados em função do projeto; *validade de processo* refere-se aos métodos e técnicas utilizadas, assim como às evidências obtidas para sustentar as afirmações feitas; *validade democrática* que indaga se as múltiplas perspectivas e interesses dos participantes foram contemplados; *validade catalítica* que leva os participantes a conhecerem melhor a realidade para transformá-la; *validade dialógica* que consiste na busca do diálogo com os pares para discussão do problema e dos resultados da pesquisa.

Após essa breve reflexão sobre a pesquisa-ação, resta pontuar as metas que devem ser estabelecidas para assegurar um processo de pesquisa dessa natureza. O esquema descrito a seguir, demonstra os passos que devem ser implementados em cada ciclo na visão de Tripp (2005), os quais serviram de base para a presente pesquisa de doutorado:

Introdução: intenções do pesquisador e benefícios previstos

Reconhecimento (investigação de trabalho de campo e revisão da literatura)

- da situação
- dos participantes (o próprio e outros)
- das práticas profissionais atuais
- da intencionalidade e do foco temático inicial

Planejamento: da preocupação temática (ou ciclo anterior) ao primeiro passo de ação.

Implementação: relato discursivo sobre quem fez o quê, quando, onde, como e por quê.

Relatório de pesquisa sobre os resultados da melhora planejada:

- resumo e base racional do(s) método (s) de produção de dados
- apresentação e análise dos dados
- discussão dos resultados: explicações e implicações

### Avaliação

- da mudança na prática: o que funcionou ou não funcionou e por quê
- da pesquisa: em que medida foi útil e adequada

### Conclusão

- Sumário de quais foram as melhorias alcançadas, suas implicações e recomendações para a prática profissional do próprio pesquisador e de outros.
- Sumário do que foi aprendido a respeito do processo de pesquisa-ação, suas implicações e recomendações para fazer o mesmo tipo de trabalho no futuro.

A seguir serão comentados de forma geral dois dos seis passos da pesquisa-ação implementados na presente investigação: *reconhecimento geral e planejamento geral e planejamento das ações em cada ciclo*.

### **3.3 – Reconhecimento geral: o contexto da pesquisa e do ensino-aprendizagem**

Realizada no âmbito do projeto “Educando Jovens e Adultos para Ciências com Tecnologias de informação e Comunicação” (Linhares e Reis, 2006), constituído por meio de parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) campus Centro e a Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), ambas as instituições em Campos dos Goytacazes, RJ, essa pesquisa foi desenvolvida em duas turmas do curso de Eletrônica do profissionalizante da EJA (PROEJA/IFF).

Foram ministradas aulas semanais na primeira turma, durante todo segundo semestre letivo de 2010 (Ciclo I) e, na segunda turma, durante o primeiro semestre de 2011 (Ciclo II), todas as quintas-feiras de 20:20 h às 22:30 h. As aulas estiveram sob a responsabilidade da docente do IFF, autora da presente pesquisa, e serviram de base para a coleta de dados.

O curso de Eletrônica do IFF é dividido em módulos de estudos. No caso da física são ao todo quatro módulos que procuram abarcar alguns dos tópicos mais importantes estudados no Ensino Médio. No módulo I, estudam-se partes da Cinemática e Dinâmica, no módulo II, a Estrutura da Matéria e suas aplicações ao Trabalho e Energia, no módulo III, Tópicos de Eletricidade e Magnetismo e no módulo IV, o estudo da luz e energia. A pesquisa esteve inserida no estudo do último módulo, Luz e Energia.

## Questionários de reconhecimento

Dando início aos passos reflexivos da pesquisa-ação, como o reconhecimento dos problemas, a situação dos participantes e suas práticas atuais, foi elaborado e aplicado um questionário (Apêndice A) para o conhecimento do contexto sócio-educativo dos alunos.

Este questionário foi constituído de itens de múltipla escolha para se conhecer a disponibilidade para estudo do aluno PROEJA, o contexto social que vivia e sua visão sobre a disciplina de física. Também, nele, era solicitado a concordância do aluno para participar da pesquisa durante o semestre.

Após o reconhecimento sócio-educativo do aluno, foi elaborado e aplicado um segundo questionário (Apêndice B) adaptado de Romero (2007) e baseado na escala de Likert, a fim de se conhecerem as concepções dos alunos sobre a aprendizagem.

A escala baseou-se na premissa de que a atitude geral se remete às crenças sobre o objeto da atitude, à força que mantém essas crenças e aos valores ligados ao objeto (nesse caso, o processo de ensino-aprendizagem).

Por meio do questionário, o aluno poderia, então, demonstrar seu grau de concordância ou discordância com as afirmativas sobre o papel do professor e do aluno na transmissão e aquisição do conhecimento. Algumas questões foram levantadas: Será que o aluno acredita ser o ensino uma mera transmissão de conhecimentos? Se assim for, não se esforçará para construir modelos próprios, mas modelos “idênticos” aos ensinados pelo professor.

A fim de motivar a explicitação de seus modelos mentais sobre um determinado tema ou conceito, seria fundamental conhecer como esse aluno concebia tanto o ensino quanto a aprendizagem. A intenção desde o começo da pesquisa foi de mostrar para o aluno que ele seria livre para aprender e construir seus modelos. E que gostaríamos de participar dessa construção como mediadores, colaboradores e facilitadores.

Para cada item o aluno marcaria uma alternativa que melhor se aproximava da sua escolha, com a seguinte equivalência: CF (concordo fortemente), C (concordo), I (indiferente), D (Discordo), DF (discordo fortemente).

### 3.4 – Planejamento geral

A pesquisa foi organizada em dois ciclos, de maneira que o resultado das reflexões no primeiro ciclo serviu de subsídio para planejamento e implementação do ciclo seguinte. Em ambos os ciclos foram planejadas, implementadas, observadas, refletidas e analisadas as ações com vistas a buscar soluções ao problema que incitou os questionamentos: a abordagem da FMC em nível médio/PROEJA.

A fim de propor essa abordagem dentro do contexto que a presente pesquisa-ação estava inserida (projeto Capes/IFF/UENF)<sup>51</sup>, buscou-se verificar as contribuições das teorias cognitivas dos campos conceituais de Vergnaud e dos modelos mentais de Johnson-Laird no desenvolvimento das ações em cada ciclo.

Foi proposto um tema da física moderna para o estudo em cada ciclo sucessivamente, dualidade onda-partícula (Ciclo I) e, energia nuclear (Ciclo II). Foram extraídos os dados para o cumprimento dos objetivos propostos. As ações metodológicas, a seguir discriminadas cronologicamente, buscaram focalizar a pergunta: Os possíveis modelos mentais inferidos dos invariantes operatórios explicitados nas atividades de ensino em sala de aula, poderão fornecer subsídios para planejamento de atividades de ensino e como ferramenta meta-cognitiva para o aluno PROEJA?

A coleta de dados foi por meio de questionários, atividades diversificadas em sala de aula, experimentos em laboratório, leitura e produção de texto, mapas conceituais, bem como as observações em sala de aula e as anotações do caderno de campo da pesquisadora.

O Capítulo Quatro desta tese apresentará a trajetória completa de cada ciclo, os dados resultantes das atividades desenvolvidas, a análise dos dados com base nas teorias dos campos conceituais e dos modelos mentais e a conclusão da pesquisa respondendo os questionamentos e o atendimento dos objetivos propostos.

A seguir, são resumidamente apresentados os passos metodológicos em cada ciclo reflexivo de pesquisa-ação, implementados em aulas de física do

---

<sup>51</sup> Projeto “Educando Jovens e Adultos para Ciências com Tecnologias de informação e Comunicação” (Linhares e Reis, 2006), constituído por meio de parceria entre pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense-IFF a Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF.

PROEJA: o foco de cada ciclo, o objetivo, as estratégias utilizadas para o cumprimento do objetivo, os conteúdos abordados, a ênfase dada à análise dos resultados e à avaliação reflexiva com vistas a tomada de decisão e conclusões finais.

## **CICLO I - DUALIDADE DA LUZ**

Seguindo a abordagem da pesquisa-ação foram semanalmente coletados e anotados no caderno de campo os dados durante os momentos de aprendizagem. Para cada nova coleta de dados, se refletiu e se discutiu a melhor abordagem.

### **Implementação das ações**

O planejamento das atividades procurou levar em conta os assuntos levantados nos primeiros encontros, os quais eram objeto de constantes dúvidas para o aluno. Dentre eles, destacam-se o estudo da natureza da luz (de onde vêm, do que é “feita”, como é “feita” a luz), para que servirá o estudo da luz etc.

Para Vergnaud (2003) é muito claro que os estudantes têm necessidade de assimilar aquilo que o professor pede que eles façam. Por isso, sugere o autor, deve-se, como professores, propor situações nas quais uma soma ou uma subtração, por exemplo, façam sentido para este aluno.

Quando o professor vê seu aluno errar, mas não entende o percurso que está trilhando, todo o seu trabalho se perde, não funciona. Agora, quando o professor testa caminhos para um ensino que confronte os alunos com situações nas quais eles precisem desenvolver conceitos, ferramentas, limites, etc, passa a compreender melhor o que faz em classe e dá uma razão para esse aluno aprender. Por isso neste ciclo da presente pesquisa foram levantadas as seguintes hipóteses:

- A utilização de estratégias diferenciadas poderá facilitar a explicitação de modelos cada vez mais elaborados e que dêem conta do conhecimento a ser adquirido. Cada estratégia apresenta sua contribuição para a facilitação da aprendizagem:

- aulas expositivas: motiva a aquisição do conhecimento por meio da mediação do professor.



- leitura de textos: motiva a aquisição do conhecimento por meio de iniciativa individual ao ler e interpretar o que leu, sem a mediação do professor.
- discussão e elaboração de textos: induz o aluno a argumentar, conseqüentemente, a explicitar os modelos de trabalho que tem em sua estrutura cognitiva.
- experimentos: aguça a curiosidade, podendo levar a reformulação invariantes operatórios e a evolução de modelos mentais.
- elaboração de mapas conceituais: estabelece relações conceituais resultantes dos modelos mentais; desafia o estudante a confrontar e/ou reformular seus modelos.

- O estudo dos fenômenos clássicos característicos da luz motivará a aprendizagem dos conceitos envolvidos no tema dualidade onda-partícula, uma vez que parte-se de conceitos mais “concretos” ou observáveis para conceitos mais abstratos e de difícil explicitação.

- Os modelos explicitados poderão demonstrar o nível de conhecimento adquirido até o momento ou a situação de ensino. Esses modelos serão constantemente reelaborados.

Para alcançar o objetivo proposto neste ciclo, foram planejadas atividades diferenciadas para o ensino e avaliação do tema dualidade da luz. Neste planejamento intentava-se, sempre que possível, motivar a participação dos alunos na sugestão de novos e abrangentes temas a serem discutidos, a fim de reforçar o conhecimento e interesse pelo tema geral. A proposta didática focalizou três aspectos:

1ª Enfoque: Estudo da luz por meio dos fenômenos óticos, enfatizando os aspectos ondulatórios neles explicitados. Foram estudados os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Inicialmente abordou-se tais fenômenos de maneira geral, ou seja, aplicado ao estudo das ondas. Depois, especificou-se a aplicação para o contexto da luz. O comportamento ondulatório da luz, estudado por meio de uma abordagem qualitativa, com aulas expositivas, experimentos demonstrativos dos fenômenos da reflexão e refração, simulações virtuais sobre a difração e interferência das ondas e quantitativa, por meio da resolução de problemas formais (como, por exemplo,

o cálculo de  $v = \lambda f$ ;  $f=1/T$ , classificação das radiações eletromagnéticas em função de  $\lambda$  e da  $f$ ). O mapa conceitual também foi um instrumento utilizado. Sempre que o conteúdo era apresentado e ao término do estudo, os alunos tiveram a oportunidade de elaborar mapas conceituais dos assuntos estudados.

2ª Enfoque: Estudo do comportamento corpuscular e ondulatório, com atividades voltadas para o estudo do fóton e sua interação com a matéria. Realizou-se nessa etapa, um experimento sobre o efeito fotoelétrico, onde os alunos observaram um feixe de luz proveniente de uma lâmpada de mercúrio incidindo em folha neutralizada de um eletroscópio. Também foi realizado um experimento com banco ótico, onde um *laser* incidia em prismas, espelhos e lentes, para se perceber num anteparo um padrão de interferência da luz e se analisar seu caminho óptico (Experimento similar ao Interferômetro de Michelson).

3ª Enfoque: Estudo da luz por meio dos enfoques ondulatório e corpuscular. Desenvolvimento de atividades experimentais e conceituais para motivar a explicitação dos modelos mentais sobre cada fenômeno. Análise dos modelos explicitados pelos alunos.

Foram ao todo planejadas sete atividades diferenciadas para fins de coleta de dados, as quais englobaram desde respostas a perguntas formais, interpretação de experimentos demonstrativos, leitura e discussão de textos e mapas conceituais. Foram as seguintes:

- Atividade 1 – Questões sobre a natureza da luz.
- Atividade 2 – Questões (Apêndice C) sobre a luz e os fenômenos óticos.
- Atividade 3 – Atividade de elaboração de mapa conceitual sobre a luz. Após listados no quadro branco os conceitos sugeridos, solicitar a sua organização por meio de mapa conceitual.
- Atividade 4 – Atividade de apresentação e discussão do mapa conceitual elaborado.
- Atividade 5 - Questões (Apêndice D) com enfoque na dualidade da luz após pesquisa virtual sobre natureza da luz e sua tecnologia. Pesquisa na internet realizada pelos alunos em sala de aula acerca aplicações do

conhecimento estudado sobre a luz na tecnologia. Estudo dos aspectos conceituais e históricos com enfoque no comportamento dual da luz

- Atividade 6 – Questões (Apêndice E) sobre a difração da luz e o efeito fotoelétrico após realização de experimento em laboratório de física. Aula no laboratório de física para realização de dois experimentos:
  1. Experimento do Efeito Fotoelétrico: evidencia a natureza corpuscular da luz.
  2. Experiência do Interferômetro de Michelson (experiência da Dupla Fenda). E experiência da difração num fio de cabelo: evidencia a natureza ondulatória da luz.
- Atividade 7 - Avaliação final (Apêndice F) abordando os temas: efeito fotoelétrico, natureza da luz, dualidade. Elaboração de mapa conceitual individual sobre a dualidade.

No quadro 2 a seguir são discriminados os conteúdos estudados antes da realização de cada uma das atividades e seu objetivo.

### Quadro 2

Conteúdo abordado em cada atividade, com seu respectivo objetivo, desenvolvida no estudo do tema dualidade da luz, com os alunos do Projea durante o semestre 2/2010.

	Conteúdos	Objetivos
1ª	Natureza ondulatória da luz	- Motivar a elaboração de invariantes operatórios sobre a luz, após a discussão de sua constituição, natureza, origem e caracterização como radiação eletromagnética em aulas anteriores.
2ª	Reflexão e refração da luz	- Motivar a elaboração de invariantes operatórios após a abordagem dos fenômenos da reflexão e refração da luz. Formação de imagens, discussão da natureza da luz sob o ponto de vista da refração. - Mostrar as rupturas e correspondências entre as teorias nas explicações da natureza da luz, nas visões de cientistas como Newton, Huygens, Young, Maxwell. - Promover a discussão da luz como onda eletromagnética que se propaga no vácuo com velocidade $c$ . - Promover a interação dos conceitos de reflexão, refração da luz com os conceitos ondulatórios da difração e interferência.
3ª	Fenômenos característicos da luz e a implicação no estudo da física.	Motivar a explicitação do conhecimento sobre a luz e seus fenômenos estudados pela abordagem da física clássica.
4ª	Luz, suas características e fenômenos.	Motivar o confronto dos modelos individuais sobre a luz com os modelos explicitado pelo mapa apresentado pela dupla.
	Aspectos históricos do desenvolvimento das teorias corpuscular e ondulatória.	- Motivar a contextualização/integração do conhecimento obtido em sala de aula sobre a luz e o cotidiano dos alunos, e sua prática no âmbito do curso de Eletrônica.

5ª		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover a discussão sobre o advento da Física Moderna, grande responsável pelo desenvolvimento tecnológico de hoje; Renascimento da teoria corpuscular; Concepção da luz como onda e partícula.</li> <li>- Motivar a elaboração de invariantes operatórios sobre a luz, após a discussão de sua constituição, natureza, origem e caracterização nas visões da ótica geométrica, física e com o advento dos modelos modernos e suas tecnologias.</li> </ul>
6ª	Efeito fotoelétrico Difração e Interferência da luz	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aguçar a curiosidade dos alunos ao observarem o comportamento corpuscular do feixe de luz (lâmpada de mercúrio) incidindo em folha neutralizada do eletroscópio.</li> <li>- Aguçar a curiosidade dos alunos ao observarem o comportamento ondulatório da luz (laser) incidindo em espelhos refletores, lentes e finalmente formando uma figura de interferência. E quando incidia num fio de cabelo, mostrar que o mesmo atuava como uma fenda em função de sua espessura.</li> </ul>
7ª	Dualidade da luz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motivar a elaboração de invariantes operatórios sobre a luz, sua natureza, características, fenômenos <u>a partir de perguntas dissertativas e objetivas.</u></li> <li>- Motivar a elaboração de invariantes operatórios sobre a luz, sua natureza, características, fenômenos <u>partir das relações estabelecidas nos mapas conceituais.</u></li> </ul>

## Resultados e análise

O foco da proposta nesta etapa foi planejar estratégias para se promover a explicitação de modelos mentais sobre a dualidade da luz, no contexto do estudo da ótica geométrica e ótica física. Os dados resultantes das atividades desenvolvidas nesse ciclo estão relatados e analisados no próximo capítulo com base nas teorias dos campos conceituais e dos modelos mentais.

A análise dos dados coletados serviu primeiramente para tentar encontrar nas invariâncias conceituais explicitadas pelas respostas dos alunos, em situações específicas de ensino, possíveis modelos mentais de trabalho.

O segundo objetivo da análise foi inferir modelos mentais e verificar indícios, nesses modelos, de aprendizagem do tema dualidade da luz no contexto do estudo da ótica geométrica e ótica física.

Como objetivo final, a análise neste ciclo serviu para se refletir sobre a eficácia das ações, com vistas ao cumprimento do objetivo proposto: verificar as contribuições dos modelos mentais de alunos como subsídios para o planejamento de atividades de ensino de temas da Física Moderna.

## **Avaliação sobre a ação**

As verificações obtidas na análise dos resultados subsidiaram as reflexões que levaram à mudanças e/ou continuidades tanto na prática quanto no foco da pesquisa para o ciclo seguinte (ciclo II).

## **Conclusão**

As conclusões parciais deste ciclo objetivaram responder as questões levantadas inicialmente sobre a eficácia da proposta didática utilizada para a explicitação dos modelos mentais sobre a dualidade da luz, as estratégias de avaliação, a postura dos alunos e professores diante de tais práticas.

## **CICLO II – ENERGIA NUCLEAR**

A proposta didática neste segundo ciclo foi desenvolvida em três etapas:

1ª Etapa: Verificação de modelos mentais espontâneos e gerais sobre o tema a ser abordado por meio da utilização de pseudo-organizadores prévios.

Para Ausubel (1980), organizadores prévios verdadeiros são aqueles destinados a facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos, ou de uma série de ideias relacionadas. Já os pseudos-organizadores prévios são definidos por Moreira (2008, p. 4) como materiais introdutórios utilizados para facilitar a aprendizagem de vários tópicos, capítulos ou unidades de estudo. Esse autor define os organizadores prévios como textos com um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade do que no material de aprendizagem.

Os organizadores prévios são propostos como um recurso instrucional potencialmente facilitador da aprendizagem significativa, no sentido de servirem de pontes cognitivas entre novos conhecimentos e aqueles já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (IBID, 2008, p. 3).

Foram, então, elaborados dois textos, sendo cada um referente ao tema a ser estudado nos bimestres. O primeiro texto abordou a problemática sobre o incentivo brasileiro à energia nuclear em contraponto com a discussão do acidente nuclear ocorrido no Japão em 2011. O segundo texto tratou da questão polêmica, a construção e funcionamento da Hidrelétrica brasileira de Belo Monte-PA, seus impactos e desafios ao meio ambiente. Após a leitura do

texto os alunos teriam que responder às questões gerais envolvidas no assunto.

2ª Etapa: Estudo dos modelos mentais inferidos acerca dos temas abordados nas aulas de física, sua evolução a cada atividade avaliativa aplicada e a contribuição para verificação da aprendizagem cognitiva.

- Planejamento e desenvolvimento de atividades com o objetivo de dar respostas ou elucidar questões levantadas pelos alunos durante a realização da primeira etapa de levantamento das concepções sobre o tema. Tais concepções podem servir de obstáculo à aprendizagem dos alunos.

- Realização de estudo sobre usina nuclear e usina hidrelétrica e o aplicação de quatro atividades em cada uma das abordagens (usina nuclear e hidrelétrica), a fim de se promover a explicitação dos modelos mentais sobre os temas estudados.

- Encerramento com a aplicação de duas atividades finais, sendo a primeira, a elaboração de um mapa conceitual pelos alunos sobre a energia nuclear, e a segunda, constituída de sete questões que trataram do conhecimento acerca das usinas e, especificamente, do processo de aproveitamento, transformação relacionado à energia nuclear.

3ª Etapa: Produção e apresentação de carta-sugestão, escrita durante todo o curso, com argumentos “técnicos-científicos” que justifiquem a importância, as vantagens e desvantagens nos processos de transformação de energia nas usinas nuclear e hidrelétrica.

Aplicação de questionário avaliativo da aprendizagem e das ações didáticas desenvolvidas no presente ciclo.

## **Implementação das ações**

### Atividades desenvolvidas para o estudo de uma usina nuclear

- **Atividade 1**

Foi elaborado texto (Apêndice G), um *pseudo-organizador* do tipo *comparativo* (IBID, 2008, p.3). Abordou os principais questionamentos e discussões levantadas sobre a energia nuclear, enfatizando algumas diferenças e similaridades entre as usinas nucleares brasileiras (Angra I e II) e as japonesas (onde ocorreu o acidente nuclear). A intenção foi trazer à tona

temas como o problema sofrido no Japão, o crescimento da energia nuclear no mundo, o medo da radiação e a repercussão no Brasil e no mundo, etc. Tratou de um comunicado emitido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT/Brasil) sobre os acidentes em usinas nucleares japonesas, de março/2011. O texto atuou como um instrumento para a verificação das concepções iniciais dos alunos. Ao final da leitura os alunos responderam uma série de questões, explicitando na respostas, modelos espontâneos sobre a energia nuclear.

- **Atividade 2**

Pesquisa de materiais (textos, artigos, comentários, pesquisas, etc) na internet, a fim de responder questões levantadas sobre as vantagens e desvantagens de uma usina nuclear.

- Estudo da usina nuclear; os processos físicos e químicos envolvidos na “produção” de energia nuclear. Foram utilizados textos dos materiais instrucionais cedidos pelo Governo Federal (apostilas do CNEN-acesso: [www.cnem.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnem.gov.br/ensino/apostilas.asp)), textos e vídeos educativos, artigos e textos em geral.

- Estudo da radioatividade e dos tipos de radiação existentes.

- Discussão e seleção em sala de aula de textos sobre energia nuclear para resenha.

- **Atividade 3**

Questões formais sobre a energia nuclear (Apêndice H): abordavam os temas sobre radioatividade, fissão nuclear, estabilidade dos elementos, isótopos, reação em cadeia, etc.

- **Atividade 4**

Elaboração de mapa conceitual sobre os conceitos relacionados à usina nuclear (Apêndice I).

### Atividades desenvolvidas para o estudo de uma hidrelétrica

- **Atividade 1**

Como o estudo do tema usina hidrelétrica já era um pouco familiar para os alunos devido às abordagens no curso de Eletrônica, utilizou-se um *organizador* do tipo *expositivo* (ibid, p.3), que foi apresentado em um nível mais

alto de abstração, generalidade e inclusividade do que no material de aprendizagem a ser estudado, aonde foram enfatizadas as principais vantagens e desvantagens, capacidade energética, custos, geração de empregos diretos e indiretos etc. Teve a finalidade de promover ou facilitar a ancoragem para o estudo dos textos subsequentes, relacionando-os à estrutura cognitiva dos alunos.

O texto (Apêndice J), pseudo organizador prévio (Moreira, 2008), traz à tona a questão polêmica da construção e funcionamento da Hidrelétrica brasileira de Belo Monte-PA; os problemas com a inundação de áreas habitadas tanto por seres humanos como por animais da flora brasileira, o crescimento da energia hidrelétrica no mundo e a repercussão no Brasil e no mundo, etc. Buscou-se verificar as concepções iniciais dos alunos por meio da análise das respostas às questões sobre o texto. Ao final da leitura os alunos responderam uma série de questões sobre a usina hidrelétrica e fenômenos e transformações físicas nela decorrentes.

- **Atividade 2**

Pesquisa de materiais (textos, artigos, comentários, pesquisas etc) na internet: materiais que consigam responder questões (Apêndice K) levantadas sobre as vantagens e desvantagens de uma usina hidrelétrica.

- Estudo de uma usina hidrelétrica e os processos físicos, mecânicos e elétricos envolvidos na “produção” de energia por meio de materiais instrucionais diferenciados no sítio do Ministério das Minas e Energia do Governo Federal, textos e vídeos educativos, artigos e textos.

- **Atividade 3**

Questões sobre a energia (Apêndice L): abordavam as três formas de energia, mecânica, cinética e elétrica, suas aplicações como o funcionamento de transformadores elétricos, geradores etc.

- **Atividade 4**

Leitura de texto para resenha que trata das vantagens e desvantagens de se investir em usinas nucleares e/ou hidrelétricas. Elaboração de resenha sobre os conceitos relacionados à ambas as usinas, após a leitura e discussão de dois artigos científicos.



No quadro 3 são apresentados os conteúdos já estudados para a realização de cada uma das atividades desenvolvidas e o objetivo proposto.

### Quadro 3

Resumo dos conteúdos estudados na segunda etapa e dos objetivos a serem alcançados em cada atividade desenvolvida no ciclo II (semestre 1/2011).

ATV	Conteúdos-Usina Nuclear	Objetivos
1ª	A problemática do uso da energia nuclear no mundo. Ênfase dada aos problemas vividos no Japão. Usina nuclear.	Interagir com os alunos a fim de contextualizar o estudo da energia nuclear. Motivar participações dos alunos a fim de explicitarem suas concepções sobre o tema.
2ª	Vantagens e desvantagens de se produzir (transformar) no Brasil energia pela usina nuclear.	Motivar a curiosidade pelo tema e a explicitação de invariantes operatórios sobre o funcionamento da usina nuclear; as etapas de transformação/utilização da energia nuclear.
3ª	Energia nuclear, radioatividade, fissão nuclear, estabilidade dos elementos, isótopos, reação em cadeia, etc.	Verificar por meio de questões formais e dissertativas os modelos mentais elaborados sobre a energia nuclear, sua transformação, “geração”, e utilização.
4ª	Energia nuclear, radioatividade, fissão nuclear, estabilidade dos elementos, isótopos, reação em cadeia, etc.	Verificar por meio das relações entre conceitos os modelos mentais elaborados sobre a energia nuclear, sua transformação, “geração”, e utilização. Elaboração de mapa conceitual sobre os conceitos relacionados à usina nuclear.
ATV	Conteúdos-Hidrelétrica	Objetivos
1ª	A problemática da construção de hidrelétricas e a crise energética no Brasil e no mundo. Ênfase na aprovação da construção da hidrelétrica de Belo Monte.	Interagir com os alunos a fim de contextualizar o estudo da hidrelétrica. Motivar participações dos alunos a fim de explicitarem suas concepções sobre o tema.
2ª	Vantagens e desvantagens de se produzir (transformar) no Brasil energia pela hidrelétrica.	Motivar a curiosidade pelo tema e a explicitação de invariantes operatórios sobre o funcionamento de uma hidrelétrica e as etapas de transformação/utilização da energia hídrica.
3ª	Energia obtida por fontes hídricas; usina hidrelétrica e os processos físicos, mecânicos e elétricos envolvidos na “produção” de energia.	Verificar por meio de questões formais o conhecimento sobre as formas de energia mecânica, cinética e elétrica; o funcionamento de dispositivos como gerador e transformador elétrico, turbinas etc.
4ª	Energia obtida por fontes hídricas e nucleares; usina hidrelétrica e os processos físicos, mecânicos e elétricos envolvidos na “produção” de energia em comparação com uma usina nuclear.	Verificar por meio das proposições conceituais expressadas na resenha, indícios de modelos mentais elaborados sobre a energia hídrica e nuclear, sua transformação e utilização.

### Resultados e análise

O foco principal nesse ciclo foi planejar estratégias diferenciadas para promover a explicitação de modelos mentais sobre a física moderna, na verificação da aprendizagem do tema energia nuclear.

Os dados resultantes das atividades desenvolvidas nesse ciclo estão relatados e analisados com base nas teorias dos campos conceituais e dos modelos mentais.

A análise dos dados coletados serviu primeiramente para tentar encontrar nas invariâncias conceituais explicitadas pelas respostas dos alunos em situações específicas de ensino, possíveis modelos mentais (ou, modelos de trabalho) sobre energia nuclear.

O segundo objetivo da análise foi verificar indícios nos modelos mentais de aprendizagem do tema energia nuclear.

Como objetivo final a análise serviu também como subsídio para se refletir sobre a eficácia das ações com vistas ao cumprimento do objetivo proposto: verificar as contribuições dos modelos mentais de alunos como subsídios para o planejamento de atividades e como ferramenta de metacognição. Ou seja, buscar indícios de que à medida que explicitam seus modelos os alunos possam se dar conta da necessidade de reformulação ou não dos mesmos.

Essa reformulação poderá demonstrar o papel de apoio meta-cognitivo modelos mentais explicitados pelos alunos.

### **Avaliação sobre a ação**

As verificações obtidas na análise dos resultados subsidiaram as reflexões que levaram à mudanças e/ou continuidades tanto na prática quanto no foco da pesquisa para ciclos seguintes, que poderão ser seguidos em futuras pesquisas.

### **Conclusão**

As conclusões parciais deste ciclo objetivaram responder as questões levantadas inicialmente sobre a eficácia da proposta didática utilizada para a explicitação dos modelos mentais sobre a energia nuclear, as estratégias de avaliação, a postura dos alunos e professores diante de tais práticas.

### Atividades finais desenvolvidas para a explicitação de modelos assimilados durante o estudo.

- Atividade 1 - Elaboração de mapa conceitual sobre Energia Nuclear (Apêndice M)
- Atividade 2 – Avaliação (Apêndice N) constituída de sete questões que trataram do conhecimento acerca das usinas e especificamente, do processo de aproveitamento, transformação relacionado à energia nuclear.

#### Quadro 4

Resumo dos conteúdos abordados na segunda etapa e dos objetivos a serem alcançados nas atividades finais desenvolvidas no ciclo II (semestre 1/2011).

ATV	Conteúdos Usina Nuclear <i>versus</i> Hidrelétrica	Objetivos
1ª	Características principais, funcionamento, vantagens e desvantagens de ambas as usinas.	- Elaborar mapa conceitual sobre os conceitos relacionados à energia nuclear. - Verificar por meio das relações entre conceitos os modelos mentais elaborados sobre a energia nuclear.
2ª	Energia Nuclear	- Categorizar os modelos mentais inferidos nessa avaliação, confrontando com os modelos mentais inferidos em cada uma das atividades anteriores, para verificação da aprendizagem conceitual. - Verificar a evolução conceitual dos modelos mentais para fins de verificação da aprendizagem. - Verificar indícios de aprendizagem metacognitiva nos modelos inferidos.

### Elaboração de Carta-Sugestão

Como planejado para a terceira etapa, no final deste segundo ciclo foi proposto aos alunos à elaboração de uma carta-sugestão às autoridades governamentais. Nela os alunos teriam que opinar e propor que tipo de investimento, do ponto de vista do grupo, deveria ser feito no Brasil para suprir a demanda de energia elétrica.

A atividade foi pensada para que ao se posicionarem acerca do tipo de investimento, os alunos se dessem conta dos modelos mentais que possuem sobre o assunto e os utilizassem para fins de argumentação. Desta forma, intenta-se com isso, verificar indícios de aprendizagem metacognitiva nos modelos mentais explicitados pelos alunos em sua argumentação.

Esta etapa foi finalizada com a aplicação de um questionário avaliativo da aprendizagem e das ações didáticas desenvolvidas no presente ciclo (Apêndice O).

A seguir, serão discriminadas no capítulo cinco cada uma dessas ações metodológicas, segundo os ciclos reflexivos da pesquisa-ação, apresentados os dados obtidos e, finalmente discutidos os resultados analisados com vistas à relevância e contribuição da presente pesquisa de doutorado.

Este capítulo descreve as etapas do primeiro ciclo reflexivo de pesquisa, implementado nas aulas de física do PROEJA e realizado no segundo semestre letivo de 2010 (agosto a dezembro), em aulas noturnas com duração de 45 minutos.

Apresentam-se as características do público pesquisado, as ações desenvolvidas e a análise dos resultados com base nas teorias dos campos conceituais e dos modelos mentais.

#### 4.1 – Reconhecimento do público

Foram aplicados dois questionários para reconhecimento da pesquisa neste ciclo.

Primeiramente, o questionário (Apêndice A) constituído de itens de múltipla escolha para se conhecer a disponibilidade para estudo, contexto social, sua visão sobre a disciplina de física e solicitar sua concordância para participar da pesquisa durante o semestre. Por meio desse levantamento pode-se conhecer a realidade dos alunos da primeira turma de PROEJA.

Trata-se de turma composta de 11 alunos. Destes, dez são trabalhadores em tempo integral (8 horas diárias aproximadamente), e um aluno, trabalha meio expediente como bolsista da escola. A faixa etária dos alunos está compreendida entre 21 a 47 anos, a maioria com pouco tempo para se dedicar aos estudos, possui família com filhos, reside longe da escola. São trabalhadores que chegam à sala de aula após um dia inteiro de trabalho, na maioria das vezes, trabalho braçal.

Um segundo reconhecimento buscou verificar quais concepções sobre o processo de ensino-aprendizagem tinham os alunos dessa turma e se estas concepções refletiam num interesse pela aprendizagem significativa. Ou seja, buscou-se descobrir se os alunos poderiam mais facilmente escolher a aprendizagem significativa ou mecanicamente sobre o que lhes seria ensinado.

Para isso foi utilizado um questionário (Apêndice B) constituído de quinze afirmações, adaptado de Romero (2006) e baseado na escala de Likert. Para cada item o aluno marcaria uma alternativa que melhor se aproximava da sua escolha, com a seguinte equivalência: CF (concordo fortemente), C (concordo), I (indiferente), D (Discordo), DF (discordo fortemente).

O questionário foi aplicado no início e no final deste ciclo a fim de verificar se haveriam variações nas concepções dos alunos a esse respeito. A análise qualitativa das respostas está resumidamente apresentada na tabela a seguir.

**Tabela 1**

Resumo das respostas ao questionário sócio-educacional aplicado no início e no final do curso.

QT	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4	A 5	A 5	A 6	A 6	A 7	A 7	A 8	A 8	A 9	A 9	A 10	A 10	A 11	A 11
1	C	C	CF	-	C	I	C	C	C	CF	C	D	C	CF	-	-	CF	C	CF	CF	CF	C
2	D	C	CF	-	C	C	C	C	C	CF	CF	C	CF	CF	-	-	C	C	CF	CF	CF	C
3	C	CF	CF	-	I	C	C	C	C	CF	CF	CF	CF	CF	-	-	C	C	CF	CF	CF	C
4	D	D	D	-	D	I	C	D	I	I	D	D	D	DC	-	-	D	D	DF	D	I	I
5	C	C	C	-	C	C	CF	C	C	CF	CF	CF	CF	D	-	-	C	C	CF	CF	C	C
6	C	D	I	-	DF	D	I	I	I	I	DF	DF	D	C	-	-	I	I	DF	D	D	I
7	C	C	CF	-	I	D		C	C	I	C	C	CF	C	-	-	I	C	C	C	CF	C
8	D	C	C	-	D	DF	C	C	I	I	C	C	C	C	-	-	C	I	C	C	I	C
9	C	C	CF	-	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	-	C	C	C	C	CF	C
10	C	D	C	-	CF	C	C	C	C	C	CF	CF	CF	C	-	-	I	C	CF	C	CF	C
11	C	C	C	-	C	C	C	C	I	DF	C	CF	C	C	-	-	I	C	CF	CF	CF	C
12	D	D	D	-	D	D	D	I	D	C	DF	DF	D	D	-	-	D	D	DF	DF	D	I
13	D	D	I	-	D	C	D	I	D	DF	DF	DF	DF	D	-	-	D	D	I	D	D	D
14	D	D	C	-	C	C	D	I	I	I	C	DF	C	C	-	-	CF	C	D	C	D	I
15	C	D	C	-	C	CF	CF	C	D	I	DF	D	D	D	-	-	D	I	CF	C	D	DF

Nas questões de 1 a 3, a maioria dos alunos concorda que um bom professor é aquele que ensina passo a passo como resolver um problema, discute a teoria para solucionar um problema e expõe o conteúdo de forma a promover uma discussão de idéias. Entendem também pela questão 4, que o aluno tem que participar da aula com perguntas sobre o conteúdo exposto.

Da análise das questões de 5 a 9, verifica-se que a quase totalidade dos alunos acredita que o aprendizado de um novo conteúdo faz refletir sobre o que já se sabe sobre o assunto, capacita para externalizar o que aprendeu com suas próprias palavras, fazer conexões com o cotidiano.

Os alunos discordam, com base na questão 6, que o aprendizado seja demonstrado quando se repete exatamente as palavras do livro. Ou seja, para eles decorar não é aprender.

Seu aprendizado é refletido pelas conexões e relações que faz entre o que aprende e o que já se sabe (questões 10, 11 e 12). Para esses alunos, o aprendizado nunca se esgota, não está baseado em decorar fórmulas, mas pode ser refletido pela facilidade de resolver problemas do livro, segundo as respostas dadas às questões dos itens 13 e 14.

Ficou explicitado pelas respostas à questão 15, que a metade dos alunos acredita que a física é uma disciplina difícil de aprender, porque tem muitos cálculos.

A aluna 2, precisou trancar a disciplina por motivos de aprovação em concurso público, o que acarretou aumento em sua carga horária de trabalho e impossibilitou sua frequência às aulas. Tratava-se de aluna da faixa etária entre 30 a 40 anos e muito interessada pelo estudo e realização das tarefas.

De certa forma, pode-se observar que os alunos desta turma, de acordo com suas respostas, acreditam que a aprendizagem depende tanto do aluno como do professor. O aluno, participando com perguntas e questionamentos sobre o que lhe é ensinado. O professor, ensinando conteúdos de modo a promover a discussão de idéias. Entende-se que a participação do aluno é fundamental no processo de aprendizagem. O desejo de aprender começa quando esse aluno entende o seu papel e o papel do professor.

Serão, a seguir, definidas as questões que guiaram o planejamento das ações da pesquisa, as hipóteses levantadas, o resultado da implementação das ações, a análise dos dados levantados e as conclusões resultantes da análise.

#### **4.2 – Planejamento das ações**

A partir do objetivo proposto para a pesquisa neste ciclo, de verificar as contribuições dos modelos mentais de alunos como subsídios para o

planejamento de atividades de ensino de temas da Física Moderna, surgiram as primeiras questões problemáticas:

- Que proposta didática utilizar para facilitar a explicitação desses modelos mentais?
- Quais estratégias de avaliação forneceriam modelos mentais relevantes para analisar a aprendizagem?
- Aulas e exercícios formais poderiam fornecer modelos mentais significativos? Ou forneceriam modelos mecânicos?
- Qual a postura do professor diante das práticas?
- Qual a postura esperada para os alunos diante das práticas?

Da reflexão sobre as questões levantadas, e partindo do pressuposto de que os modelos mentais dos alunos são explicitados no momento em que tentam esquematizar soluções para o problema, tomou-se como foco da proposta nesta etapa, o planejamento de estratégias para se promover a explicitação de modelos mentais em situações envolvendo o estudo da dualidade da luz, no contexto do estudo da óptica geométrica e da ótica física.

Em atividades diferenciadas e propostas dentro do campo conceitual específico, nesse caso, o estudo da luz, esses modelos seriam capazes de explicar o processo de estruturação do conhecimento dos alunos e ao mesmo tempo dar subsídios para se refletir sobre a adequação da proposta didática implementada.

#### **4.3 – Plano de ação**

Intentando pensar nas diversas situações que envolvem o ensino e a aprendizagem da física moderna no PROEJA, as atividades planejadas para a coletas de dados focalizaram o contexto da sala de aula, uma vez que os alunos não disponibilizavam de muito tempo para o estudo fora da escola.

As estratégias de ensino e avaliação para promover a explicitação dos modelos mentais inferidos dos invariantes operatórios envolveram desde o estudo da óptica geométrica, ótica física até o estudo introdutório da física moderna com o efeito fotoelétrico. Para isso foram planejadas atividades diferenciadas.



Sabe-se que a questão metodológica da pesquisa em modelos mentais lida com conhecimentos que são representados internamente, e da pesquisa focada na teoria dos campos conceituais está focada nos esquemas explicitados em situações de ensino. Sendo no primeiro caso, a metodologia mais indicada para se investigar os modelos mentais, a análise de protocolos verbais e, no segundo caso, a análise das proposições esquematizadas na resolução de problemas matemáticos formais.

Na tentativa de integrar ambas as teorias, o planejamento das atividades para a presente pesquisa, foi focado na análise das respostas escritas, fossem elas conceituais, proposicionais ou imagísticas, e das verbalizações dos alunos em sala de aula durante a realização das atividades.

O quadro 5 a seguir apresenta um resumo dos conteúdos estudados na turma, bem como as estratégias utilizadas para o planejamento das atividades de ensino.

### Quadro 5

Resumo dos conteúdos abordados e das estratégias para avaliar o ensino-aprendizagem.

	Conteúdo	Estratégia
I	Natureza da luz e os fenômenos óticos: Ótica geométrica, ótica física, ondas e ondas eletromagnéticas Difração/interferência – Experiência de Young	Mapa Conceitual sobre a luz Aula expositiva Leitura e discussão de textos Objetos de aprendizagem Experimento da fenda dupla
II	Efeito fotoelétrico	Experimento do efeito fotoelétrico
III	Dualidade da luz	Mapa conceitual

#### 4.4 - Implementação das ações

Foram ao todo planejadas e implementadas sete atividades diferenciadas no ciclo I, as quais englobaram desde respostas a perguntas formais, interpretação de experimentos demonstrativos, leitura e discussão de textos, mapas conceituais, dentre outras.

Atividade 1 - Questões sobre a natureza da luz

Atividade 2 - Questões sobre a luz e os fenômenos óticos.

Atividade 3 - Elaboração de mapa conceitual sobre a luz.

Atividade 4 - Apresentação e explicação do mapa conceitual elaborado.

Atividade 5 – Questões com enfoque na dualidade da luz após pesquisa virtual sobre natureza da luz e sua tecnologia

Atividade 6 - Questões sobre a difração da luz e o efeito fotoelétrico após realização de experimento em laboratório de física.

Atividade 7 - Avaliação final abordando os temas: efeito fotoelétrico, natureza da luz, dualidade. Elaboração de mapa conceitual individual sobre a dualidade.

A seguir serão descritas e comentadas as atividades realizadas com os alunos, suas as respostas explicitadas, os invariantes operatórios e modelos mentais inferidos em cada situação de aprendizagem.

Para direcionar a análise dos dados obtidos na aplicação das atividades em sala de aula, intentou-se responder as seguintes perguntas:

- Quais invariantes operatórios foram inferidos em cada atividade?
- Quais modelos mentais decorrem desses invariantes?
- Os modelos mentais apontam para aprendizagem significativa sobre dualidade da luz?
- As estratégias adotadas facilitaram a explicitação dos modelos mentais?

#### **4.5 – Resultados obtidos e Análise dos modelos mentais de trabalho**

A análise dos dados coletados permitiu encontrar nas invariâncias conceituais explicitadas pelas respostas dos alunos, em situações específicas de ensino, possíveis modelos mentais (ou, modelos de trabalho) sobre dualidade da luz.

Essas invariâncias fazem parte da formação de um conceito, segundo a teoria de Vergnaud, ou seja, um conceito seria um conjunto de invariantes utilizáveis na ação. Como já dito, Vergnaud define conceito como um triplete de três conjuntos (Moreira, 2002): de situações (referente), de invariantes operatórios (significado do conceito) e de representações simbólicas (significante).

No caso da pesquisa, as situações didáticas podem ser caracterizadas como o momento onde o aluno tenta solucionar ou responder uma questão problemática. Portanto, neste aspecto, constitui o referente. As respostas dadas pelos alunos para explicar o conceito demonstram os invariantes. E o conjunto de esquemas ou representações postos em ação pelos sujeitos nessas situações, o significativo.

São destacados por Greca e Moreira (2008, p. 8) quatro ingredientes de um esquema:

- 1- objetivo do esquema ou as metas e antecipações: um esquema se dirige sempre a uma classe de situações nas quais o sujeito pode descobrir uma possível finalidade da sua atividade;
- 2- regras de ação e controle: são regras do tipo " se ...então" que permitem a geração e a seqüência de ações do sujeito;
- 3- invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação): constituem os conhecimentos contidos nos esquemas, dirigem a busca da informação pertinente para a detecção de metas e das regras adequadas à ação;
- 4- possibilidades de inferência (ou raciocínios): permitem calcular as regras e antecipações em uma situação concreta.

Destes quatro elementos que constituem os esquemas, somente os invariantes operatórios são indispensáveis na articulação entre a prática e a teoria (Vergnaud, 1998), ou seja, entre uma situação que o sujeito enfrenta e o conhecimento-em-ação que possui para poder resolvê-la. A presente análise estará centrada nos invariantes operatórios, o conhecimento-em-ação contido nos esquemas.

Segundo Vergnaud (1998) são os invariantes operatórios, *conceitos-em-ação* (objeto, predicado ou categoria tida como pertinente e relevante a uma dada situação) e *teoremas-em-ação* (proposição tida como verdadeira sobre o real) parte integrante dos esquemas.

Entendendo, por um lado, que o esquema é a organização invariante do comportamento para uma dada classe de situações, e que ao se defrontar com uma situação nova o aluno irá construir um modelo mental para entendê-la, como prevê a teoria de Johnson-Laird, buscou-se analisar os modelos mentais

dos alunos usados para solucionar as situações problemáticas a eles submetidas.

Foi considerado ainda para fins de análise dos dados, que este modelo pode ser correto ou não (no sentido de que suas previsões não são corretas cientificamente), pode ser vago, confuso, incompleto, mas que pode ser, sobretudo, funcional para seu construtor e pode ser modificado recursivamente até atingir certa funcionalidade.

Finalmente, para fins de organização da presente análise, considerou-se a seguinte diferenciação: *modelos de trabalho*, como os modelos utilizados pelos alunos em cada situação de aprendizagem, resultado dos esquemas explicitados, isto é, dos invariantes operatórios e, *modelos mentais*, os modelos mais evoluídos conceitualmente, ou que apareceram com maior regularidade nos esquemas.

#### **Atividade 1 – Questões sobre a natureza da luz.**

Esta atividade foi realizada na segunda metade da aula, após a discussão com os alunos sobre o estudo da luz, sua constituição, natureza, origem e caracterização como radiação eletromagnética. Os alunos já haviam lido e discutido em duas aulas anteriores um texto (Apêndice) sobre o desenvolvimento do estudo da luz baseado em Barthem (2005) e Young & Freedman (2010).

O objetivo da atividade foi motivar a elaboração de invariantes operatórios sobre a luz. Nesta oportunidade tentou-se motivar os alunos a falar um pouco do que sabiam sobre esse tema. Foi gerado um ambiente de debate entre os alunos e a professora/pesquisadora. Os alunos puderam comentar as idéias uns dos outros e explicitar suas próprias concepções. Para dar um fechamento ao debate e a fim de verificar individualmente que concepções “reais” sobre a luz, sua constituição, os “tipos” de luz os alunos tinham, foi aplicado um questionário constando de cinco questões discursivas. São apresentadas, respectivamente, nos quadros a seguir, as respostas dos alunos, os invariantes operatórios delas retirados, os modelos mentais de trabalho inferidos para essa atividade e um resumo da análise realizada.

#### **Quadro 6**

Respostas dos alunos às questões sobre natureza da luz, referente a primeira atividade.

<i>Questão 1 – De que é constituída a luz?</i>	
Aluno 1	<i>“Fonte de energia”</i>
Aluno 3	<i>“É um movimento muito rápido pelos elétrons que tem corrente elétrica, que também pode ser motivada pelo algum material queimando e outros.”</i>
Aluno 4	<i>“É constituída de elétrons como sua base.”</i>
Aluno 6	<i>“De reações de elétrons com materiais físicos e gases”.</i>
Aluno 7	<i>“De ondas eletromagnéticas.”</i>
Aluno 11	<i>“É constituída por uma onda de radiação propagando pelo campo eletromagnético.”</i>
<i>Questão 2 – Luz é radiação?</i>	
Aluno 1	<i>“Sim”</i>
Aluno 3	<i>“Sim, tem algumas luzes que é produzida pela alguma radiação.”</i>
Aluno 4	<i>“Dependendo do ponto de vista si; ex: a luz solar; infravermelhas, raios X e há casos que ela não é radioativa.”</i>
Aluno 6	<i>“Sim, eu acredito que a luz é formada de ondas radioativas, mas de pequenas proporções de forma que não agride o ser humano.”</i>
Aluno 7	<i>“Sim”</i>
Aluno 11	<i>“Sim”</i>
<i>Questão 3 – De onde vem a luz?</i>	
Aluno 1	<i>“Energia elétrica”</i>
Aluno 3	<i>“Vem de uma lâmpada ou de alguma coisa brilhosa.”</i>
Aluno 4	<i>“Do sol, usinas hidrelétricas, do vento.”</i>
Aluno 6	<i>“De combinações de materiais diversos em junção de fontes de energia.”</i>
Aluno 7	<i>“Do movimento de elétrons.”</i>
Aluno 11	<i>“Tanto de um ponto de alta radiação quanto de uma lâmpada ou de uma explosão e curto circuito.”</i>
<i>Questão 4 – A luz é visível ou invisível?</i>	
Aluno 1	<i>“Visível”</i>
Aluno 3	<i>“Temos os dois tipos de luzes, a da lâmpada que é visível e a do controle remoto.”</i>
Aluno 4	<i>“A casos que sim, como a da lâmpada e outros não, como a dos fios elétricos que não se vê.”</i>
Aluno 6	<i>“Depende de onde é usado, pode ser tanto visível quanto invisível.”</i>
Aluno 7	<i>“A luz pode ser visível ou invisível.”</i>
Aluno 11	<i>“Podemos encontrar formas de luz tanto visíveis como invisíveis</i>
<i>Questão 5 – Existem vários tipos de luz? Justifique sua resposta.</i>	
Aluno 1	<i>“Não”</i>
Aluno 3	<i>“Sim, temos a luz natural que é pelo sol, o dia, a da lua, e temos que é produzida pelas correntes elétricas.”</i>
Aluno 4	<i>“Sim, solar, elétrica, lunar, etc.”</i>
Aluno 6	<i>“Sim, existe a luz incandescente, fluorescente, infravermelho, laser, ultravioleta, etc.”</i>
Aluno 7	<i>“Sim, existem as luzes visíveis como, a luz do sol, e as invisíveis como o infravermelho.”</i>
Aluno 11	<i>“Sim, visíveis, invisíveis e de várias cores, umas mais fortes e outras mais fracas.”</i>

### Quadro 7

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a primeira atividade.

Questão 1	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 1 Aluno 3	Energia, luz Luz; elétrons em movimento	Luz “produz” energia. Luz é constituída por elétrons em movimento.
Aluno 4 Aluno 6	Luz; elétrons Luz; elétrons	Luz é formada por elétrons. Luz vem das reações de elétrons com matéria.
Aluno 7	Luz; ondas eletromagnéticas	A luz é constituída de ondas eletromagnéticas.
Aluno11	Onda de radiação; campo eletromagnético	A luz é uma onda de radiação que se propaga dentro de um “campo” magnético.
Questão 2	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 1 Aluno 3 Aluno 4	Luz; radiação Luz produzida; radiação. Luz solar; infravermelhas; raios X; radioativa.	Luz pode ser radiação. A radiação vem da luz. Alguns tipos de luz podem ser radiação. Radiação=radioativo
Aluno 6	Luz; ondas radioativas de pequenas proporções; agressão ao ser humano.	A luz é radiação em pequenas proporções, que não agride o ser humano. Radiação=radioativo
Aluno 7 Aluno 11	Luz; radiação Luz; radiação	Luz pode ser radiação. Luz pode ser radiação.
Questão 3	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 1 Aluno 3 Aluno 4	Luz; energia elétrica Luz; algo brilhante Luz; vem do sol; vem de usinas hidrelétricas; vem do vento.	Luz vem da eletricidade. Luz vem de algo que brilha. A luz vem de outras formas de energia.
Aluno 6	Luz; vem de combinações de materiais diversos; junção de fontes de energia.	A luz vem das reações na/entre matéria.
Aluno 7	Luz; movimento de elétrons.	A luz vem do movimento de elétrons.
Aluno 11	Luz; radiação; lâmpada; explosão; curto circuito	A luz vem de algo que brilha.
Questão 4	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 1 Aluno 3 Aluno 4	Luz; visível Luz; lâmpada; visível; controle remoto Luz visível; da lâmpada; luz invisível; dos fios elétricos	Luz é visível. Luz visível vem de algo que brilha; A luz pode ser visível ou invisível
Aluno 6	Luz; utilização; pode ser visível; invisível.	A luz pode ser visível ou invisível.
Aluno 7	Luz; pode ser visível; invisível.	A luz pode ser visível ou invisível.
Aluno 11	Luz; visível; invisível	A luz pode ser visível ou invisível.
Questão 5	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 1 Aluno 3	Tipos de luz Tipos de luz; natural; produzida pelas correntes elétricas	A luz natural e a elétrica são tipos de luz
Aluno 4	Tipos de luz; solar; elétrica; lunar	As energias solar, elétrica, lunar, são tipos de luz
Aluno 6	Luz incandescente; fluorescente; infravermelho; laser; ultravioleta.	São tipos de luz, a fluorescente, infravermelha, laser e ultravioleta
Aluno 7	Luz visível; luz do sol; luz invisível; infravermelho.	A luz pode ser visível como a luz do sol, ou invisível, como o infravermelho.
Aluno 11	Luz; visível; invisível; forte; fraca; cores	A luz pode ser visível ou invisível e de várias cores, forte ou fraca.

## Quadro 8

Modelos mentais dos alunos PROEJA inferidos a partir das respostas à atividade 1.

Aluno	Modelo mental
1	A luz é fonte de energia e vem da eletricidade.
3	Luz é constituída por elétrons em movimento, vem da radiação, e é visível quando vem de algo que brilha.
4	Luz é formada por elétrons, pode ser visível ou invisível e vem de outras formas de energia.
6	A luz é radiação em pequenas proporções e vem das reações de elétrons com a matéria. A luz tem vários tipos, visível ou invisível.
7	A luz vem do movimento de elétrons, é constituída de ondas eletromagnéticas e pode ser visível ou invisível.
11	A luz pode ser uma onda de radiação, é algo que brilha, que se propaga dentro de um “campo” magnético e pode ser visível ou invisível e de várias cores, forte ou fraca.

Parece haver nessa atividade inicial uma tentativa de se construir um modelo mental de trabalho para a natureza da luz, nas respostas dos alunos 3, 4, 6 e 7. A exemplo disso, vemos nos dois teoremas-em-ação dos respectivos alunos 6 e 7, a explicitação de que a luz “*é uma radiação em pequenas proporções*”; “*a luz é constituída de ondas eletromagnéticas*”. Tais modelos poderão dar sustentação para a construção de um modelo de trabalho. Ou seja, um modelo que teria a capacidade de fazer inferências que guiarão suas futuras ações.

Sabe-se que a luz era vista inicialmente pelos cientistas da época de Newton, como constituída por um feixe de minúsculas partículas (chamadas de corpúsculos), emitidas por fontes de luz. Entretanto, com a previsão da existência das ondas eletromagnéticas por Maxwell e o cálculo da velocidade dessas ondas, juntamente com trabalhos experimentais de Hertz, ficou também evidenciado que a luz é uma onda eletromagnética.

Ambos os alunos (6 e 7) explicitaram modelos que demonstram sua visão frágil da natureza da luz, contudo, com possibilidade de evolução. Segundo Souza (2004), à medida que os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação se tornam mais claros e próximos dos teoremas e conceitos científicos, eles fazem com que o esquema seja mais eficaz e mais útil. Além disso, possibilita a criação, pelo indivíduo, de esquemas mais complexos, eficientes e úteis, o que proporciona progressivo avanço no campo conceitual correspondente, podendo ser caracterizado como aprendizagem na ótica de Vergnaud.

## Atividade 2 – Questões sobre a luz e os fenômenos ópticos.

O objetivo da atividade foi motivar a elaboração de invariantes operatórios após a abordagem dos fenômenos da reflexão e refração pela leitura de textos e estudo dos fenômenos em aula expositiva, como a formação de imagens nos espelhos, a natureza da luz sob o ponto de vista da refração. As respostas explicitadas resultaram da discussão entre os integrantes de cada grupo de dois ou três alunos, após aulas expositivas, discussão de textos e resolução de exercícios. Os alunos também tiveram aulas que possibilitaram a construção de imagens formadas por espelhos, representação da trajetória da luz na reflexão e na decomposição luminosa.

Essa atividade procurou enfatizar a luz sob o ponto de vista de seus fenômenos e características. Esperava-se que os alunos fossem capazes de explicitar modelos mentais que refletissem tanto a natureza quanto as características estudadas até o momento.

### Quadro 9

Respostas dos alunos às questões referente a segunda atividade.

Questão 1 – Quais fenômenos são característicos da luz?	
Alunos 1, 4 e 10	<i>“Reflexão difusa, refração da luz, decomposição luminosa, refração da luz na atmosfera.”</i>
Alunos 7 e 5	<i>“Reflexão, refração e decomposição luminosa.”</i>
Alunos 6 e 8	<i>“Reflexão, refração e decomposição.”</i>
Alunos 3 e 9	<i>“Reflexão difusa, refração da luz, decomposição luminosa, refração da luz na atmosfera.”</i>
Questão 2 – Como vemos a cor de um corpo?	
Alunos 1, 4 e 11	<i>“A luz é fonte de todas as cores que conhecemos e por isso a cor dos objetos depende da luz que neles incide. A luz branca (Sol) é constituída de uma infinidade de luzes monocromáticas, que podem ser divididas em sete cores primárias.”</i>
Alunos 7 e 5	<i>“Por reflexão, isto é, a cor dos objetos depende da luz que neles incide.”</i>
Alunos 6 e 8	<i>“Através da reflexão da luz, pois a cor de um corpo depende da luz que nele incide.”</i>
Alunos 3 e 9	<i>“Depende da luz que neles incide, como por exemplo, o Sol possui uma infinidade de luzes monocromáticas, assim quando é iluminado pela luz branca, vemos a cor azul nele, o corpo reflete difusamente a cor azul e absorve as demais cores.”</i>
Questão 3 – Porque a luz branca se decompõe?	
Alunos 1, 4 e 11	<i>“Devido a luz branca ser policromática, cada cor nela contida tem um comprimento de onda diferente pois após a luz atravessar o prisma cada cor tem uma velocidade diferente, adotando sentidos diferentes.”</i>
Alunos 7 e 5	<i>“Porque quando a luz branca atravessa um prisma ou um depósito com água ocorre separação das cores que a compõem, a velocidade de cada uma delas”</i>



	<i>muda de forma diferente.”</i>
Alunos 6 e 8	<i>“Por que ela é policromática (composta por infinitas luzes monocromáticas) e quando a luz branca atravessa um prisma ou um depósito com água, ocorre a separação das cores que a compõe, a velocidade de cada uma delas muda de forma diferente.”</i>
Alunos 3 e 9	<i>“Porque a luz branca é policromática, cada cor nela contida tem um comprimento de onda diferente, pois quando cada cor atravessa um prisma tem velocidade diferente.”</i>
<b>Questão 4 – A refração da luz na atmosfera produz quais fenômenos?</b>	
Alunos 1, 4 e 11	<i>“Miragem, arco-íris, o azul do céu.”</i>
Alunos 7 e 5	<i>“Os fenômenos são: a visão de um astro da Terra, miragens, arco-íris, o azul do céu.”</i>
Alunos 6 e 8	<i>“Arco-íris, aurora, miragem e azul do céu.”</i>
Alunos 3 e 9	<i>“Miragem no deserto, ilusão de poças d’ água no asfalto, arco-íris.”</i>
<b>Questão 5 – O que afinal, é a luz? Tente explicar com suas palavras.</b>	
Alunos 1, 4 e 11	<i>“É um fenômeno produzido por partículas de átomos e outros componentes de densidade luminosa a qual dão origem a tudo aquilo que vemos, formando as imagens. Um exemplo de fonte de luz, Sol, luz elétrica.”</i>
Alunos 7 e 5	<i>“A luz é uma forma de onda que se propaga em todos os meios variando a sua intensidade de acordo com o meio e seu fenômenos característicos.”</i>
Alunos 6 e 8	<i>“A luz é a fonte de todas as cores, é algo que se propaga de acordo com a velocidade encontrada no meio de propagação, podendo haver reflexão, decomposição e até mesmo refração. A luz é um fenômeno que na verdade só nos aparece em resultados dos seus fenômenos, devido à sua velocidade. Para formar a luz, depende dos elementos que estão sendo utilizados. As luzes artificiais dependem de elétrons, ligações metálicas, vidro, gases (mercúrio, por exemplo). São raios que refletem cor.”</i>
Alunos 3 e 9	<i>“É tudo aquilo que reflete em objetos, também como raios solares entre outros, e também o que se refratam.”</i>

### Quadro 10

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a segunda atividade.

Questão 2	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Grupo 1 (alunos 1,4, 11)	A luz; fonte de todas as cores. Cor dos objetos; luz que neles incide. A luz branca; infinidade de luzes monocromáticas; divididas em sete cores primárias	A luz é constituída de todas as cores e quando incide em objetos, refletirá somente a cor dele.
Grupo 2 (alunos 7 e 5)	Cor dos objetos; reflexão da luz que neles incide.	A luz reflete, por isso vemos a cor dos objetos.
Grupo 3 (alunos 6 e 8)	Cor dos objetos; reflexão da luz que neles incide.	A luz reflete, por isso vemos a cor dos objetos.
Grupo 4 (alunos 3 e 9)	Cor dos objetos; infinidade de luzes monocromáticas; corpo reflete e absorve cores.	Como a luz é constituída de outras cores e pode ser dividida, um objeto pode ser visto pela reflexão de algumas cores e absorção de outras.
Questão 3	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Grupo 1 (alunos 1,4, 11)	A luz branca é policromática e cada cor tem um comprimento de onda diferente. A luz se decompõe ao atravessar um prisma, pois cada cor tem uma	A luz branca é policromática, por isso quando incide num prisma se divide em outras cores com comprimentos de onda e velocidade diferente.

Grupo 2 (alunos 7 e 5)	<p>velocidade diferente, adotando sentidos diferentes.</p> <p>A luz branca atravessa um prisma e ocorre separação das cores que a compõem.</p> <p>A velocidade de cada cor muda de forma diferente.</p>	<p>A luz branca se decompõe quando atravessa um prisma.</p>
Grupo 3 (alunos 6 e 8)	<p>A luz branca é policromática e cada cor tem um comprimento de onda diferente.</p> <p>A luz se decompõe ao atravessar um prisma, pois cada cor tem uma velocidade diferente, adotando sentidos diferentes.</p>	<p>A luz branca é policromática, por isso quando incide num prisma se divide em outras cores com comprimentos de onda e velocidade diferente.</p>
Grupo 4 (alunos 3 e 9)	<p>A luz branca é policromática e cada cor tem um comprimento de onda diferente.</p> <p>A luz se decompõe ao atravessar um prisma, pois cada cor tem uma velocidade diferente, adotando sentidos diferentes.</p>	<p>A luz branca é policromática, por isso quando incide num prisma se divide em outras cores com comprimentos de onda e velocidade diferente.</p>
Questão 5	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Grupo 1 (alunos 1,4, 11)	<p>A luz é um fenômeno produzido por partículas de átomos e explica o que vemos.</p>	<p>A luz é constituída de partícula.</p>
Grupo 2 (alunos 7 e 5)	<p>A luz é uma forma de onda que se propaga em qualquer meio.</p> <p>A luz varia sua intensidade de acordo com o meio e o fenômeno característico.</p>	<p>A luz é uma onda que se movimenta com velocidade dependente do meio.</p>
Grupo 3 (alunos 6 e 8)	<p>A luz é a fonte de todas as cores.</p> <p>A luz é algo que se propaga com uma velocidade que depende do meio.</p>	<p>A luz é algo que se movimenta com velocidade dependente do meio.</p>
Grupo 4 (alunos 3 e 9)	<p>A luz é tudo aquilo que reflete e refrata em objetos.</p>	<p>A luz é algo que reflete e refrata na matéria.</p>

### Quadro 11

Modelos mentais dos alunos PROEJA, inferidos das respostas à segunda atividade.

Grupos	Modelos mentais de trabalho
1	<i>A luz é constituída de partículas</i> que refletem em objetos e por ser a luz branca formada por outras cores, pode ser dividida por um prisma, onde cada cor tem comprimentos de onda e velocidade diferentes.
2	<i>A luz é uma onda</i> que se movimenta com velocidade dependente do meio e reflete a cor dos objetos, por que pode ser dividida quando atravessa um prisma.
3	<i>A luz é algo que se movimenta</i> com velocidade dependente do meio e que reflete a cor dos objetos. A luz branca pode ser dividida por um prisma, onde cada cor tem comprimentos de onda e velocidade diferentes.
4	A luz é algo que reflete e refrata na matéria; é constituída de outras cores e pode ser dividida por um prisma, onde cada cor tem comprimentos de onda e velocidade diferentes.

Nessa atividade esperava-se que o aluno conseguisse explicitar um modelo de trabalho sobre o comportamento da luz ao interagir com a matéria e

os fenômenos característicos em cada tipo de interação. Os modelos explicitados pelos alunos dos quatro grupos demonstram compreensão da definição dos fenômenos da reflexão, absorção, dispersão e refração da luz.

Sobre o fenômeno da refração percebe-se que o modelo de trabalho do grupo 2, explicita a compreensão da dependência entre as grandezas velocidade e índice de refração do meio. Sobre a dispersão da luz, vê-se o modelo de que a luz branca pode ser dividida num prisma e que em função de seus diferentes comprimentos de onda pode variar a velocidade (grupos 1, 3 e 4). E acerca da absorção e reflexão, os alunos do grupo 3 parecem apresentar um modelo que explica a cor dos objetos.

### **Atividade 3 – Elaboração de um mapa conceitual sobre a luz**

O objetivo desta atividade foi motivar a elaboração de invariantes operatórios por meio das relações estabelecidas entre dois ou mais conceitos, após a abordagem sobre os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência.

Cada dupla de alunos elaborou um mapa conceitual (Anexo 1) com conceitos por eles sugeridos e enumerados pela professora em quadro branco.

Nesta atividade de elaboração do mapa, as duplas podiam discutir entre seus parceiros, mas não com outra dupla. Podiam se utilizar de materiais de consulta como livros, apostilas e até consultar a professora. A idéia era de que se familiarizassem com a elaboração do mapa conceitual e com a explicitação de seus invariantes, a fim de que em outra oportunidade pudessem ter maior segurança para usar essa ferramenta para explicitar modelos mais completos.

Da análise dos mapas elaborados pelas duplas de alunos, foram retiradas ligações que refletiam os esquemas conceituais sobre os fenômenos estudados. Esses esquemas se traduzem em pseudos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Por um lado, são relações elaboradas com base em material de consulta e da discussão entre os pares, e, por outro lado, refletem a interpretação, leitura com as “lentes mentais” dos alunos.

### **Quadro 12**

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a terceira atividade.

CONCEITOS-EM-AÇÃO Dupla 1 (Alunos 1 e 2)	TEOREMA-EM-AÇÃO
<p>Óptica geométrica- fenômenos- reflexão- refração- difração- interferência</p> <p>Reflexão-refração-índice de reflexão-frequência- velocidade-ângulo de incidência</p>	<p>A óptica geométrica estuda os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência.</p> <p>Tanto a reflexão como a refração tem a ver com o índice de reflexão, a frequência, a velocidade e o ângulo de incidência.</p>
CONCEITOS-EM-AÇÃO Dupla 2 (Alunos 3 e 11)	TEOREMA-EM-AÇÃO
<p>Luz-fenômenos de-refração, reflexão, difração e interferência</p> <p>Refração-depender do-ângulo de refração e de incidência</p> <p>O índice de refração-muda-velocidade da luz no meio (ar-água-vidro)</p> <p>Reflexão-depender do-ângulo de reflexão e de incidência</p> <p>Reflexão regular-superfície regular (superfície metálica)</p> <p>Reflexão difusa- superfície irregular</p> <p>Difração-mostrado na- fenda simples-desvia a luz-determina o comprimento de onda</p> <p>Interferência-mostrado na fenda dupla-dividindo em-interferência destrutiva e construtiva-devido-encontro das ondas</p>	<p>A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência.</p> <p>A refração depende do ângulo de incidência e de refração, criando um índice de refração faz mudar a velocidade da luz no meio.</p> <p>A reflexão depende do ângulo de reflexão e de incidência.</p> <p>A luz pode refratar, e quando refrata, se caracteriza pelos ângulos de incidência, de refração e pelo índice de refração, o qual faz mudar sua velocidade.</p> <p>A difração é um fenômeno da luz que pode ser observado quando a luz passa por uma fenda simples. E A interferência quando a luz passa por fendas duplas.</p>
CONCEITOS-EM-AÇÃO Dupla 3 (Alunos 5 e 7)	TEOREMA-EM-AÇÃO
<p>Luz-fenômenos-refração-refração-difração-interferência</p> <p>Raio de refração-ângulo de incidência-ângulo de refração-índice de refração do meio</p> <p>Reflexão-tipo-miragem-luz branca-reflexão interna total</p> <p>Difração-ondas-fenda simples-fenda dupla</p>	<p>A luz estuda os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência</p> <p>A refração se caracteriza pelo raio e ângulo de incidência e de refração e pelo índice de refração.</p> <p>A luz tem a ver com a difração das ondas nas fendas simples e dupla.</p> <p>A interferência tem a ver tanto com a teoria corpuscular como ondulatória.</p>
CONCEITOS-EM-AÇÃO Dupla 4 (Alunos 6 e 8)	TEOREMA-EM-AÇÃO
<p>A luz-fenômenos-reflexão-refração-difração-interferência</p> <p>Refração-reflexão-índice de refração-velocidade</p> <p>Difração-onda-Interferência</p> <p>Onda-ângulo-Young-fenda estreita-intensidade-construtiva-destrutiva-áreas claras-áreas escuras</p>	<p>A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência.</p> <p>A refração se caracteriza pelo raio e ângulo de incidência e de refração e pelo índice de refração</p>

Os mapas elaborados pelas duplas trataram dos fenômenos luminosos da reflexão, refração, difração e interferência. A organização, hierarquização e diferenciação das idéias foram aspectos observados para fins de análise.

Por ser a primeira vez que se deparavam com esse tipo de atividade, observou-se que alguns alunos se sentiam inseguros na realização da mesma quando afirmavam não conseguir “colocar no papel” o que estavam pensando. Pode-se perceber aí alguns aspectos importantes: os alunos poderiam estar inseguros por não terem familiaridade com a elaboração dos mapas conceituais, ou por não terem aprendido significativamente os conceitos abordados, ou ainda, por não terem familiaridade com atividades que os levassem a explicitar seu conhecimento ou seus modelos, sem que fosse formalmente, por meio de provas ou testes. Percebeu-se também que, de certa forma, suas idéias estavam sendo confrontadas.

De maneira geral, os alunos ficaram motivados para a execução da tarefa. Solicitavam a ajuda da professora e também sua aprovação quanto às relações explicitadas. Sobre esse aspecto, houve algumas “reclamações”, pelo fato da professora não se manifestar quanto a aprovação das relações que eles estabeleceram em seus mapas. A intenção era de que os alunos pudessem explicitar seus modelos, e não os modelos sugeridos ou corrigidos pela docente.

O fato de consultarem os materiais instrucionais estudados para a elaboração do mapa conceitual não resolveu o problema da insegurança no momento da construção, pois ainda assim percebeu-se grande dificuldade de alguns alunos quanto à diferenciação e hierarquização dos conceitos.

A dupla 1, por exemplo, apresenta algumas proposições sobre os fenômenos estudados pela ótica geométrica, mas não consegue diferenciar os fenômenos da reflexão e refração corretamente. Não consegue explicitar nenhum modelo mental para esses fenômenos. Já as duplas 2 e 3, parecem apresentar invariantes operatórios que apontam para modelos mentais de trabalho quando diferenciam e caracterizam os fenômenos luminosos, da reflexão, refração, difração e interferência. Sendo que a dupla 3 ainda explicita um teorema-em-ação que aponta para um modelo explicativo da dualidade da luz: “*A luz tem a ver com a difração das ondas nas fendas simples e dupla.*” “*A interferência tem a ver tanto com a teoria corpuscular como ondulatória.*” Os alunos da dupla 4 parecem explicitar modelos sobre os fenômenos da luz, mas as relações são pouco claras.

#### **Atividade 4 – Apresentação dos mapas conceituais elaborados. Cada dupla apresenta seu mapa.**

O objetivo desta atividade foi motivar o confronto dos modelos individuais explicitados nos mapas conceituais sobre a luz, com os modelos apresentados pela dupla. Como já foi dito, a atividade anterior objetivou familiarizar os alunos com a estruturação de seu conhecimento, por meio da elaboração de um mapa conceitual. E agora, depois de elaborados seus mapas, os alunos foram desafiados a apresentarem seus mapas, expondo para a turma suas idéias.

Foi realmente um momento de confronto de idéias. Ao apresentarem seus mapas, percebia-se muita insegurança dos alunos ao explicitarem as relações conceituais. Quando questionados pela turma ou pela professora, por vezes eram ditas frases que demonstravam falta de compreensão com a relação conceitual estabelecida. Outras vezes, se dando conta de que haviam relacionado conceitos incorretamente.

Em nossa experiência com o uso da estratégia cognitiva mapa conceitual, como já salientado na introdução desta tese, temos percebido que, no momento da apresentação de seus mapas os alunos são confrontados com as relações que explicitam, se sentindo por vezes impelidos a alterar relações entre conceitos, completar ou até mesmo mudar conceitos tidos até aquele momento como verdadeiros, significativos ou relevantes (Martins, 2006).

Da apresentação dos mapas conceituais de cada dupla de alunos e das relações neles explicitadas foram inferidos os modelos de trabalho do quadro 13 a seguir:

**Quadro 13**

Modelos mentais (modelos de trabalho) explicitados por cada dupla de alunos PROEJA, inferidos a partir dos mapas conceituais e de sua apresentação – Atividade 4.

Dupla	Modelo mental de trabalho
1	A luz é estudada pela ótica e tem fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Na difração e interferência temos a luz passando em fendas e na reflexão a luz reflete em espelhos. Na refração a luz atravessa um meio.
2	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. A difração é mostrada na fenda simples e a interferência na fenda dupla. A refração cria um índice de refração mudando a velocidade da luz.
3	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. A difração está

	ligada às ondas que passam numa fenda simples e a interferência evidencia as teorias corpuscular e ondulatória da luz.
4	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. A refração se caracteriza pelo raio e ângulo de incidência e de refração e pelo índice de refração. Na interferência e na difração da luz é uma onda.

As duplas 1 e 4 tiveram dificuldade em apresentar seus mapas. Por seguidas interrupções, a professora consegue fazer com que destaquem as relações que lhes fossem realmente significativas.

Parece que pelo fato dessa atividade ter sido resultado de uma elaboração que permitia a consulta às bases teóricas e também à mediação da professora, os alunos ficaram menos inseguros durante a elaboração de seu mapa e mais temerosos na hora de apresentarem suas ideias. Sentiram desconforto de terem que explicar o que elaboraram. Isto confirma o que Greca e Moreira (2003) observaram em suas pesquisas *“os alunos na maioria das vezes, conseguem resolver, mas muitas vezes não sabem explicar o que significa ou para que serve aquilo que resolveram”*.

Pela análise dos mapas elaborados na terceira atividade, em comparação com as explicitações verbais dos alunos durante a apresentação de cada dupla na atividade 4, ficou claro que eles se davam conta de que algumas das relações conceituais em seus mapas estavam incoerentes ou não eram significativas. Essa percepção parece demonstrar que os alunos alteravam mentalmente seus modelos de trabalho quando percebiam essas incoerências nas relações.

Como exemplo dessa percepção, destaca-se a primeira dupla, que parece explicitar um modelo mental mais elaborado após apresentar seu mapa, do que no ato da elaboração do mapa (na atividade 3). Isso pode ser percebido, analisando os teoremas-em-ação na atividade 3 em contraponto com o modelo inferido após a apresentação do mapa. (Nas apresentações as verbalizações eram anotadas no caderno de campo).

Teoremas-em-ação da dupla 1, explicitado no mapa conceitual:

“A óptica geométrica estuda os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência.” “Tanto a reflexão como a refração tem a ver com o índice de reflexão, a frequência, a velocidade e o ângulo de incidência.”

Modelo mental de trabalho da dupla 1, inferido após a apresentação do mapa:

“A luz é estudada pela ótica e tem fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência.”

“Na difração e interferência temos a luz passando em fendas, na reflexão a luz reflete em espelhos e na refração a luz atravessa um meio.”

Consegue diferenciar os fenômenos da luz e associá-los a experimentos e ao cotidiano, como a associação da difração e da interferência com a luz passando por fendas, a reflexão com espelhos e a refração com a luz atravessando um meio. Percebe-se aí uma evolução do modelo mental sobre os fenômenos da luz dessa dupla em relação ao modelo apresentado na terceira atividade. Naquela oportunidade seu modelo explicitado demonstrava que a dupla não conseguia diferenciar os fenômenos da reflexão e da refração.

Os modelos mentais de trabalho explicitados pela dupla 2 se destacam além da diferenciação dos fenômenos luminosos, pela relação entre o índice de refração e a velocidade da luz. Esse modelo mental parece dar conta do significado do fenômeno da refração como resultado da alteração na velocidade da luz ao atravessar meios com índices de refração diferentes.

Já as duplas 3 e 4 parecem apresentar um modelo mental que dá conta do conhecimento estudado até aqui sobre os fenômenos da luz. A dupla 3, também explicita relações que apontam para a compreensão de que as teorias corpuscular e ondulatória são evidenciadas por fenômenos da luz.

### **Atividade 5 – Questões sobre a natureza da luz e as implicações de seu caráter dual. Enfoque na dualidade da luz após pesquisa na internet sobre natureza da luz e sua tecnologia.**

Essa atividade constou de seis questões que versaram sobre os temas estudados ao longo das aulas. O objetivo foi verificar se houve evolução dos modelos de trabalho dos alunos sobre os temas abordados em aulas anteriores. Foi uma atividade considerada formal e objetiva, uma vez que solicita ao aluno que escolha dentre as afirmações, a que ele considera correta acerca dos seguintes conteúdos:

- características das ondas, como frequência, velocidade e comprimento de onda;
- tipos de ondas eletromagnéticas (radiações) e sua aplicação no cotidiano;
- interferência e o caráter ondulatório da luz;
- o fenômeno da refração da luz;
- o fenômeno da difração da luz.



De forma geral, nessa atividade tentou-se motivar a elaboração de invariantes operatórios sobre a luz, após a discussão de sua constituição, natureza, origem e caracterização nas visões da ótica geométrica, ótica física e com o advento dos modelos modernos.

### Quadro 14

Respostas dos alunos às questões referente a quinta atividade.

Questão 4 – A interferência da luz na experiência de Young	
Aluno 1	<i>“A interferência da luz mostra que a luz é uma onda longitudinal”</i>
Alunos 3, 4, 5,6,7,9 e 11	<i>“A interferência da luz mostra que a luz tem comportamento ondulatório”</i>
Questão 5 – A refração da luz	
Alunos 1,3,4 e 5	<i>“O fenômeno da refração da luz ocorre sempre que um raio de luz atravessa a superfície de separação de dois meios transparentes e de índices de refração diferentes.”</i>
Aluno 6	<i>“O fenômeno da refração da luz ocorre sempre que um raio de luz atravessa a superfície de separação de dois meios transparentes e de índices de refração diferentes.”</i> <i>“A refração ocorre sempre que a luz se propaga na água.”</i>
Aluno 7	<i>“O fenômeno da refração da luz ocorre sempre que um raio de luz incide sobre uma superfície espelhada de um espelho ideal.”</i>
Aluno 9	<i>“O fenômeno da refração da luz ocorre sempre que um raio de luz atravessa a superfície de separação de dois meios transparentes e de índices de refração diferentes.”</i> <i>“A refração ocorre sempre que a luz se propaga na água.”</i>
Aluno 11	<i>“A refração ocorre sempre que a luz se propaga na água.”</i>
Questão 6 – Sobre a difração da luz	
Aluno 1	<i>“A ocorrência da difração da luz visível está restrita a fendas estreitas.”</i> <i>“O fenômeno da difração ocorre somente para alguns tipos de ondas.”</i>
Alunos 3,6 e 7	<i>“A difração só é observável quando as dimensões do obstáculo ou da fenda são da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente.”</i> <i>“O fenômeno da difração ocorre somente para alguns tipos de ondas.”</i>
Alunos 4 e 5	<i>“A difração só é observável quando as dimensões do obstáculo ou da fenda são da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente.”</i> <i>“A ocorrência da difração da luz visível está restrita a fendas estreitas.”</i>
Aluno 9	<i>“A ocorrência da difração da luz visível está restrita a fendas estreitas.”</i> <i>“O grau de difração de uma onda independe da sua frequência.”</i> <i>“O fenômeno da difração ocorre somente para alguns tipos de ondas.”</i>
Aluno 11	<i>“A difração só é observável quando as dimensões do obstáculo ou da fenda são da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente.”</i> <i>“O grau de difração de uma onda independe da sua frequência.”</i>

### Quadro 15

Invariantes operatórios inferidos das questões 4, 5 e 6 referente à quinta atividade.

Questão 4	CONCEITO-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 1	Interferência da luz; onda longitudinal	A interferência mostra que a luz é uma onda longitudinal.
Alunos 3, 4, 5,6,7,9 e 11	Interferência da luz; comportamento ondulatório	A interferência mostra que a luz é uma onda.
Questão 5	CONCEITO-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
	Refração da luz; superfície de separação	A refração da luz ocorre quando a

Alunos 1,3,4 e 5	de dois meios; índices de refração diferentes	luz atravessa meios de índice de refração diferente.
Aluno 6	Refração da luz; superfície de separação de dois meios; índices de refração diferentes	A refração da luz está relacionada com a passagem entre meios com índice de refração diferente.
Aluno 7	Refração da luz; raio de luz incide; superfície espelhada	A refração da luz está relacionada com a incidência da luz num espelho.
Aluno 9	Refração da luz; superfície de separação de dois meios; índices de refração diferentes	A refração da luz está relacionada com a passagem entre meios com índice de refração diferente.
Aluno 11	Refração; luz se propaga na água	A refração está relacionada com a luz atravessando a água.
Questão 6	<b>CONCEITO-EM-AÇÃO</b>	<b>TEOREMA-EM-AÇÃO</b>
Aluno 1	Difração da luz; fendas estreitas; tipos de ondas.	A difração ocorre quando a luz e alguns tipos de ondas passam por fendas estreitas.
Alunos 3, 6 e 7	Difração da luz; dimensão das fendas; obstáculo comprimento de onda	A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz.
Alunos 4 e 5	Difração da luz; dimensão das fendas; obstáculo comprimento de onda	A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz.
Aluno 9	Difração da luz; dimensão das fendas; obstáculo comprimento de onda; frequência.	A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz, mas não depende da frequência.
Aluno 11	Difração da luz; dimensão das fendas; obstáculo comprimento de onda; frequência.	A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz, mas não depende da frequência.

### Quadro 16

Modelos mentais dos alunos PROEJA inferidos a partir das respostas à quinta atividade.

Alunos	Modelo mental de trabalho
1	A interferência mostra que a luz é uma onda longitudinal A refração da luz ocorre quando a luz atravessa meios de índice de refração diferente. A difração ocorre quando a luz e alguns tipos de ondas passam por fendas estreitas.
3	A refração da luz ocorre quando a luz atravessa meios de índice de refração diferente. A interferência mostra que a luz é uma onda. A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz.
4	A refração da luz ocorre quando a luz atravessa meios de índice de refração diferente. A interferência mostra que a luz é uma onda. A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz.
5	A refração da luz ocorre quando a luz atravessa meios de índice de refração diferente. A interferência mostra que a luz é uma onda. A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz.
6	A refração da luz está relacionada com a passagem entre meios com índice de refração diferente. A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda.
7	A interferência mostra que a luz é uma onda. A refração da luz está relacionada com a incidência da luz num espelho. A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz.
9	A interferência mostra que a luz é uma onda. A refração da luz está relacionada com a

	passagem entre meios com índice de refração diferente. A refração da luz está relacionada com a passagem entre meios com índice de refração diferente.
11	A interferência mostra que a luz é uma onda. A difração depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz, mas não depende da frequência. A refração está relacionada com a luz atravessando a água.

A partir dessa atividade percebem-se modelos mais elaborados e que apontam para a construção de um modelo mental, isto é, um modelo mais evoluído conceitualmente, ou que aparece com maior regularidade nas respostas.

Para discutir a idéia de como os modelos mentais evoluem, Borges (1998) procurou identificar os modelos mentais de um campo conceitual específico e descrever as mudanças em tais modelos, à medida que os usuários adquiriam conhecimento e experiência com a área.

Em contraponto com essa pesquisa, os modelos explicitados pelos alunos do PROEJA sobre a dualidade, foram apresentando características dessa evolução quando comparados em cada atividade. Essa progressão conceitual pode ser verificada, por exemplo, nos modelos dos alunos 6 e 7 a seguir discriminados:

#### Aluno 6

- Atividade 1: *Luz como pequenas proporções e que vem das reações de elétrons com a matéria.*
- Atividade 2: *Luz como algo que se movimenta, com velocidade, dependente do meio do comprimento de onda.*
- Atividade 3: *Luz que apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência.*
- Atividade 4: *Luz que se comporta como onda nos fenômenos da difração e interferência.*
- Atividade 5: *A difração da luz depende das dimensões da fenda (obstáculo) e do comprimento de onda da luz.*

#### Aluno 7

- Atividade 1: *Luz que é constituída de ondas eletromagnéticas e que vem do movimento de elétrons.*
- Atividade 2: *Luz que é onda que se movimenta com velocidade dependente do meio.*

- Atividade 3: *Luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. A interferência evidencia o comportamento corpuscular e ondulatório da luz.*
- Atividade 5: *A interferência mostra que a luz é uma onda.*

### **Atividade 6 – Questões sobre a difração da luz e o efeito fotoelétrico após realização de experimento em laboratório de física.**

Após duas aulas no laboratório de física para realização de experimentos sobre o efeito fotoelétrico e a difração, a atividade (Apêndice E) foi aplicada com os objetivos de motivar a elaboração de invariantes operatórios sobre o comportamento dual da luz; aguçar a curiosidade dos alunos ao observarem o comportamento corpuscular do feixe de luz (lâmpada de mercúrio), incidindo em folha neutralizada do eletroscópio; aguçar a curiosidade dos alunos ao observarem o comportamento ondulatório da luz (laser) incidindo em espelhos refletores, lentes e finalmente formando uma figura de interferência. E quando incidia num fio de cabelo, mostrar que o mesmo atuava como uma fenda em função de sua espessura.

Os invariantes operatórios foram inferidos das respostas às questões elaboradas nessa atividade. A título de exemplo são transcritas duas respostas dos alunos 3 e 5 dadas às perguntas 1, 3 e 8:

#### Questão 1: o que é um fóton?

A3: *“os fótons são partículas elementares que viajam com a velocidade da luz, e a massa deles existe apenas quando se movem à velocidade da luz.”*

A5: *“fóton é partícula de massa zero e sem carga.”*

#### Questão 3: onde se encontram os fótons?

A3: *“os fótons se encontram normalmente entre a faixa do microondas e do infravermelho.”*

A5: *“os fótons normalmente se encontram na faixa do infravermelho e ultravioleta.”*

Questão 8: quais diferenças importantes você consegue verificar e quais conclusões você tira ao assistir a esses dois experimentos: efeito fotoelétrico e interferômetro?

A3: “a diferença é que na difração a luz aparece com mais nitidez e o efeito fotoelétrico arranca os elétrons.”

A5: “no primeiro, quando a luz incide sobre uma placa carregada de elétrons, ela faz com que os elétrons saltem da placa, tirando elétrons livres, e no segundo, porque a luz difrata como num fio de cabelo e sai formando vários pontos de luz na parede.”

O quadro 17 a seguir apresenta quais conceitos e teoremas-em-ação ficaram explicitados nas respostas dos alunos e o quadro 18, os modelos mentais de trabalho deles inferidos.

### Quadro 17

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos referente a sexta atividade.

Q 1	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
A 1	Fóton; partícula luminosa.	Fóton é uma partícula luminosa.
A 3	Fótons; partículas elementares; velocidade da luz.”	Fótons são partículas elementares que viajam com a velocidade da luz.
A 4	Fóton; partícula; massa.	Fóton é uma partícula que não tem massa.
A 5	Fóton; partícula; sem massa; sem carga.	Fóton é partícula que não tem massa, nem carga.
A 6	Fótons; partículas; velocidade da luz; elétrica e magnética.	Fótons são partículas que se movimentam com a velocidade da luz e possuem partes elétrica e magnética.
A 7	Fóton; uma partícula de energia.	O fóton é uma partícula de energia.
A 9	Fóton; frequência. Fóton; ejetar elétron; superfície; camada	Fóton depende da frequência. Fóton pode ejetar um elétron da superfície ou da camada onde ele se encontra.
A 11	Fóton; partícula; massa.	Fóton é uma partícula sem massa.
Q 2	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
A 1	Elétron; partícula de carga negativa	Elétron é uma partícula de carga negativa.
A 3	Elétron; partícula; massa muito pequena e de carga negativa	Elétron é uma partícula de massa muito pequena e de carga negativa.
A 4	Elétron; energia que se propaga	Elétron é uma forma de energia que se propaga.
A 5	Elétron; partícula; subatômica; núcleo do átomo	Elétron é uma partícula subatômica que circula o núcleo do átomo.
A 6	Elétrons; partículas; movem; orbitas; núcleo do átomo	Elétrons são partículas que se movem em orbitas do núcleo do átomo.
A 7	Elétron; carga; energia negativa	Elétron é uma carga de energia negativa.
A 9	Elétron; partícula; ejetada; efeito fotoelétrico Elétron; energia; fóton	Elétron é a partícula que é ejetada no efeito fotoelétrico. Elétron é composto de energia, e para que seja ejetado é preciso que a energia do fóton seja maior que a do elétron.
A 11	Elétron; corpo energético	Elétron é um corpo energético.
Q 3	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
A 1	Fótons; nuvem de poeira; gás galáctico	Os fótons são encontrados dentro de uma

		nuvem de poeira e gás galáctico.
A 3	Fótons; microondas; infravermelho	Os fótons são encontrados entre a faixa do microondas e do infravermelho.
A 4	Fótons; luz	Os fótons são encontrados na luz.
A 5	Fótons; infravermelho; ultravioleta	Os fótons são encontrados entre a faixa do infravermelho e do ultravioleta.
A 6	Fótons; tipo de luz	Os fótons são encontrados em qualquer tipo de luz.
A 7	Fótons; ondas; luz	Os fótons são encontrados nas ondas que formam a luz.
A 9	Fótons; frequência; luz	Os fótons são encontrados na frequência da luz.
A 11	Fótons; radiação; luz	Os fótons são encontrados na radiação da luz.
Q 4	<b>CONCEITOS-EM-AÇÃO</b>	<b>TEOREMA-EM-AÇÃO</b>
A 1	Elétrons; orbitais fixas; energia definida	Os elétrons são encontrados ao redor do núcleo em órbitas fixas e com energia definida
A 3	Elétrons; última camada; átomo.	Os elétrons são encontrados na última camada do átomo.
A 4	Elétrons; partículas; átomos	Os elétrons são encontrados nas partículas de átomos.
A 5	Elétrons; orbitais; regiões; átomo; maior possibilidade	Como o orbital dos átomos é o lugar de maior probabilidade de se encontrar elétrons, então os elétrons são encontrados nos orbitais.
A 6	Elétrons; matéria; átomos; massa.	Como toda a matéria é formada por átomos e estes têm elétrons, então os elétrons são encontrados na matéria.
A 7	Elétrons; eletrosfera; núcleo do átomo	Os fótons são encontrados nas ondas que formam a luz.
A 9	Elétrons; superfícies; luz (fótons)	Os elétrons são encontrados nas superfícies a serem aplicadas a luz (fótons).
A 11	Elétrons; átomos	Os elétrons são encontrados nos átomos.
Q 5	<b>CONCEITOS-EM-AÇÃO</b>	<b>TEOREMA-EM-AÇÃO</b>
A 1	Energia de atrito; elétrons impulsionados	Os elétrons da placa são impulsionados da placa do eletroscópio por uma energia de atrito.
A 3	Átomo; expulsa o elétron	No efeito fotoelétrico o átomo expulsa o elétron.
A 4	Luz ultravioleta; placa; perde elétrons	A luz ultravioleta incide na placa, arrancando os elétrons. A placa perde elétrons.
A 5	Luz; placa carregada; elétrons livres; saltos	Quando a luz incide sobre a placa carregada de elétrons, ela faz com que os elétrons saltem de placa, tirando elétrons livres.
A 6	Corpo eletrizado; atrito; elétrons; luz ultravioleta; metal	Um corpo eletrizado por atrito recebe elétrons. A luz ultravioleta foi incidida sobre o metal e retirou elétrons.
A 7	Elétrons; placa metálica; energia; elétron	Elétrons são retirados de uma placa metálica devido a uma energia superior à existente na placa. A energia da placa diminui quando o elétron é retirado.
A 9	Raio ultravioleta; eletroscópio; carga negativa	Quando um raio ultravioleta incide num eletroscópio carregado negativamente, ele descarrega o eletroscópio.
A 11	Radiação luminosa; carga do corpo	Uma radiação luminosa descarrega um corpo.
Q 6	<b>CONCEITOS-EM-AÇÃO</b>	<b>TEOREMA-EM-AÇÃO</b>

A 1	Difração	-
A 3	Ondas da luz; paredes	Na difração as ondas da luz não conseguem ultrapassar as paredes.
A 4	Luz; fenda; difração	A luz passa pela fenda e sofre difração.
A 5	Luz difratada; fio de cabelo	Porque a luz difrata pelo fio de cabelo e sai formando vários pontos de luz na parede.
A 6	Efeito ondulatório; fenômeno da difração; luz; fenda; fio de cabelo	No efeito ondulatório ou fenômeno da difração ocorre quando a luz passa por uma fenda como num fio de cabelo.
A 7	Feixe de laser; fenda; ondas; pontos máximos; interferência construtiva; pontos mínimos; interferência destrutiva	A interferência da luz na fenda ou no fio de cabelo cria pontos máximos (interferência construtiva) e pontos mínimos (interferência destrutiva).
A 8	Obstáculo; retém a onda da luz; frequência	A parede é o obstáculo que retém a onda da luz.
A 11	Comportamento ondulatório; luz; duas fendas; ondas se chocam; pontos máximos; pontos mínimos; interferência	A luz tem um comportamento ondulatório e após passar por duas fendas, se chocam e criam pontos máximos e mínimos, isto é a interferência.
Q 8	<b>CONCEITOS-EM-AÇÃO</b>	<b>TEOREMA-EM-AÇÃO</b>
A 1	-	-
A 3	Difração da luz; nitidez Efeito fotoelétrico; arranca os elétrons	A diferença é que na difração a luz aparece com mais nitidez e no fotoelétrico arranca os elétrons e aparece as falhas das luzes.
A 4	Efeito fotoelétrico; elétrons retirados; placa; raio ultravioleta; interferência; franjas; feixe de luz; laser; fenda	A diferença é que os elétrons são retirados da placa através do raio ultravioleta no efeito fotoelétrico e na interferência é provocada pelas franjas do feixe de luz do laser na fenda.
A 5	Efeito fotoelétrico; difração; interferência	Na difração o raio de luz divide na fenda simples e na interferência ele divide na fenda dupla.
A 6	Efeito fotoelétrico; fóton; difração; interferência; efeito ondulatório	O efeito fotoelétrico está ligado com a partícula, o fóton e a difração/interferência está ligada ao efeito ondulatório do fóton.
A 7	Luz; efeito corpuscular; efeito ondulatório; grandeza onda-partícula; arranca energia; placa metálica; efeito fotoelétrico; pequenos pontos; anteparo; fenômeno da difração/interferência	A luz apresenta características de efeito corpuscular e efeito ondulatório, isto é, uma grandeza onda-partícula, podendo ora arrancar energia de uma placa metálica no efeito fotoelétrico, e ora se mostrar como pequenos pontos em um anteparo através do fenômeno da difração/interferência.
A 9	Efeito fotoelétrico; ejeção dos elétrons; fótons; difração/interferência; pequeno orifício; luz; franjas claras e escuras	No efeito fotoelétrico os elétrons são ejetados pelos fótons e na difração/interferência a luz passa por um pequeno orifício formando franjas claras e escuras.
A 11	Efeito fotoelétrico; efeito corpuscular; difração; interferência; efeito ondulatório; luz coexistir com um efeito dual; ao mesmo tempo	A luz apresenta dois comportamentos, ora corpuscular, ora ondulatório, dependendo do experimento realizado.

### Quadro 18

Modelos mentais dos alunos PROEJA inferidos a partir das respostas à sexta atividade.

Alunos	Modelos mentais de trabalho
1	Fóton é uma partícula luminosa e os elétrons partículas encontradas ao redor do núcleo do átomo, em órbitas fixas e com energia definida.
3	Fótons são partículas elementares que viajam com a velocidade da luz e elétron é uma

	partícula de massa muito pequena e de carga negativa, são encontrados na última camada do átomo. No efeito fotoelétrico o átomo expulsa o elétron. Na difração as ondas da luz não conseguem ultrapassar as paredes.
4	Fóton é uma partícula que não tem massa e é encontrado na luz; o elétron é uma forma de energia que se propaga. Na difração a luz passa pela fenda e sofre desvios. No efeito fotoelétrico os elétrons são retirados da placa através do raio ultravioleta e a interferência é provocada pelas franjas do feixe de luz do laser na fenda.
5	Fóton é partícula que não tem massa, nem carga, é encontrada entre a faixa do infravermelho e do ultravioleta. Elétron é uma partícula subatômica que circula o núcleo do átomo. Na difração o raio de luz divide na fenda simples e na interferência ele divide na fenda dupla.
6	Fótons são partículas que se movimentam com a velocidade da luz e possuem parte elétrica e magnética e, são encontrados em qualquer tipo de luz. Elétrons são partículas que se movem em orbitas do núcleo do átomo que formam a matéria. Um corpo eletrizado por atrito recebe elétrons que podem ser ejetados pela luz ultravioleta no efeito fotoelétrico. O efeito ondulatório ou fenômeno da difração ocorre quando a luz passa por uma fenda como num fio de cabelo. O efeito fotoelétrico está ligado com a partícula, o fóton, e a difração/interferência está ligada ao efeito ondulatório do fóton.
7	O fóton é uma partícula de energia. Elétron é uma carga de energia negativa. Os fótons são encontrados nas ondas que formam a luz. Elétrons são retirados de uma placa metálica devido a uma energia superior à existente na placa. A energia da placa diminui quando o elétron é retirado. A interferência da luz na fenda ou no fio de cabelo cria pontos máximos (interferência construtiva) e pontos mínimos (interferência destrutiva). A luz apresenta características de efeito corpuscular e efeito ondulatório, isto é, uma grandeza onda-partícula, podendo ora arrancar energia de uma placa metálica no efeito fotoelétrico, e ora se mostrar como pequenos pontos em um anteparo através do fenômeno da difração/interferência.
9	Fóton (que é luz) se caracteriza pela frequência e pode ejetar um elétron da superfície ou da camada onde ele se encontra. Elétron é a partícula composta de energia que é ejetada no efeito fotoelétrico, desde que a energia do fóton seja maior que a do elétron. Os fótons são encontrados na frequência da luz. Os elétrons são encontrados nas superfícies a serem aplicadas a luz (fótons). Quando um raio ultravioleta incide num eletroscópio carregado negativamente, ele descarrega o eletroscópio. A parede é o obstáculo que retém a onda da luz. No efeito fotoelétrico os elétrons são ejetados pelos fótons e na difração/interferência a luz passa por um pequeno orifício formando franjas claras e escuras.
11	Fóton é uma partícula sem massa e encontrados na radiação da luz. Elétron é um corpo energético encontrado nos átomos. No efeito fotoelétrico uma radiação luminosa descarrega um corpo. A luz tem um comportamento ondulatório, mostrado quando ela passa por duas fendas, se choca, e cria pontos máximos e mínimos, pela interferência. A luz apresenta dois comportamentos, ora corpuscular, ora ondulatório, dependendo do experimento realizado.

De forma geral, as respostas dos alunos explicitam modelos de trabalho relacionados aos procedimentos experimentais, realizados para se evidenciar o caráter corpuscular da luz, pelo efeito fotoelétrico e o caráter ondulatório da luz, pelo fenômeno da difração e interferência (percebida no experimento com o interferômetro). Seus modelos podem ser considerados de trabalho, pois explicitam a compreensão do processo experimental, das características de um fóton e de um elétron e, para alguns alunos, até da natureza dual da luz.

Alguns alunos conseguiram, satisfatoriamente compreender a diferença entre os experimentos, no que se refere ao comportamento dual da luz, como



se verifica nos modelos de trabalho dos alunos 6, 7 e 11. Também, os alunos parecem apresentar modelos mais consistentes sobre quais fenômenos da luz estão relacionados com o caráter ondulatório e qual fenômeno evidencia o caráter corpuscular da luz (alunos 3, 4, 5, 6, 7, 9 e 11).

### Atividade 7 – Avaliação final

Esta atividade (Apêndice F) constou de seis questões abordando os assuntos estudados na disciplina no decorrer do semestre.

Questão 1 – Explicação do efeito fotoelétrico segundo Einstein

Questão 2 – Natureza da luz

Questão 3 – Dualidade onda-partícula

Questão 4 – Definição de fóton e elétron

Questão 5 – Energia dos fótons incidentes para se arrancar elétrons numa placa metálica

Questão 6 – Elaboração de um mapa conceitual com os conceitos sugeridos (onda eletromagnética, fenômenos, luz, reflexão, difração, efeito fotoelétrico, refração, dual, onda, partícula, fóton, elétron, fenda, interferência)

Por ser avaliação final, foi dada uma menção a cada item considerado correto. No caso do mapa conceitual, foram corrigidos segundo os critérios de Novak usados em Martins (2006), dando menção aos itens da diferenciação, da hierarquia conceitual e da relevância nas ligações conceituais.

Dos nove alunos que fizeram a avaliação, cinco alunos alcançaram menção acima da média. Destes, em quatro mapas (alunos 4, 5, 6, 7) foram destacadas ligações conceituais corretas e relevantes para a inferência de um modelo mental coerente sobre a dualidade onda-partícula. A título de exemplo são apresentados no anexo os mapas dos alunos 7 e 11.

São transcritas as respostas no quadro 19 das cinco primeiras questões desta atividade e os invariantes operatórios delas inferidos no quadro 20.

### Quadro 19

Respostas dos alunos do PROEJA referente às cinco primeiras questões da atividade final.

Questão 1 – Melhor afirmação que se adapta a explicação do efeito fotoelétrico proposto por Einstein. (A luz pode ser imaginada como constituída por partículas sem massa cuja energia é dada pela equação de Planck, $E = hf$ )	
Alunos 1,3	<i>A intensidade de um feixe luminoso está relacionado à sua frequência.</i>
Alunos 4,5,10	<i>A luz é radiação eletromagnética.</i>
Alunos	<i>A luz pode ser imaginada como constituída por partículas sem massa cuja</i>

6,7,9, 11	<i>energia é dada pela equação de Planck, <math>E = hf</math>.</i>
Questão 2 – Natureza de qualquer luz. (São todas radiações eletromagnéticas e constituídas por fótons)	
Aluno 1	<i>São todas constituídas de fótons.</i>
Alunos 3,4,5,6	<i>São todas constituídas de fótons, mas somente a luz emitida pela lâmpada é radiação eletromagnética.</i>
Aluno 7	<i>São todas radiações eletromagnéticas, mas não são todas constituídas por fótons.</i>
Alunos 9,10,11	<i>São todas radiações eletromagnéticas e constituídas por fótons.</i>
Questão 3 – A respeito da dualidade onda-partícula da luz. (O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são equivalentes, mas um exclui o outro)	
Aluno 1,5,7,9,10,11	<i>O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são simultâneos.</i>
Aluno 3,4	<i>O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são simultâneos e equivalentes.</i>
Aluno 6	<i>O comportamento ondulatório da luz exclui seu comportamento corpuscular.</i>
Questão 4 – O que é um fóton e um elétron (Os elétrons têm massa e são constituintes da matéria; os fótons não têm massa e constituem a radiação eletromagnética).	
Alunos 1,4,6,7	<i>Os elétrons têm massa e são constituintes da matéria; os fótons não têm massa e constituem a radiação eletromagnética.</i>
Aluno 3	-
Aluno 5	<i>Os elétrons têm massa e são constituintes da matéria; os fótons não têm massa e constituem a radiação eletromagnética. Ambos formam a luz e tem massa.</i>
Aluno 9	<i>Os elétrons têm massa e são constituintes da matéria. Ambos formam a luz e tem massa.</i>
Alunos 10,11	<i>Os fótons não têm massa e constituem a radiação eletromagnética.</i>
Questão 5 – Energia dos fótons incidentes para se arrancar elétrons numa placa metálica. (Dados $\phi_{\text{elétron}}=4,2 \text{ eV}$ ; $K_{\text{fotoelétrons}}= 1,5 \text{ eV}$ , então $E_{\text{fóton}}= 5,7 \text{ eV}$ )	
Aluno 1	-
Aluno 3	$E= 4,2 \text{ eV} + 1,5 \text{ eV}$ $E= 5,7 \text{ eV}$
Aluno 4	$E= 4,2 \text{ eV} - 1,5 \text{ eV}$ $E= 2,7 \text{ eV}$
Aluno 5	$4,2 \text{ eV} = \phi + 1,5 \text{ eV}$ $\phi = 3,7 \text{ eV}$
Aluno 6	$E= 4,2 \text{ eV} + 1,5 \text{ eV}$ $E= 5,7 \text{ eV}$
Aluno 7	$E= 4,2 \text{ eV} + 1,5 \text{ eV}$ $E= 5,7 \text{ eV}$
Aluno 9	$E= 4,2 \text{ eV} + 1,5 \text{ eV}$ $E= 5,7 \text{ eV}$
Aluno 10	$E = \phi + E_{C, \text{ fóton}}$ $(h \cdot \text{freq}) = \phi + E_{C, \text{ fóton}}$
Aluno 11	$E= 4,2 \text{ eV} + 1,5 \text{ eV}$ $E= 5,7 \text{ eV}$

## Quadro 20

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos às cinco primeiras questões da atividade final.

	CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Alunos	<i>Luz; fóton; elétrons; massa;</i>	<i>A luz é radiação eletromagnética, constituída de</i>

1 e 4	<i>partícula; matéria; radiação eletromagnética</i>	partículas sem massa que são os fótons e a matéria é constituída de partículas com massa que são os elétrons.
Alunos 3, 6, 7, 9 10, 11	<i>Luz; fótons; comportamento ondulatório; comportamento corpuscular; energia do fóton; energia do elétron; energia cinética</i>	A luz é radiação eletromagnética, constituída de partículas sem massa que são os fótons e a matéria é constituída de partículas com massa que são os elétrons. A luz é constituída de fótons e tem comportamento ondulatório e corpuscular. Para conseguir remover um elétron, a luz precisa de ter energia maior que a dele.

Extrair invariâncias conceituais nas respostas às questões objetivas não é pratica comum nas pesquisas em campos conceituais e modelos mentais. Entretanto, acredita-se que tais respostas podem sim, contribuir para a inferência de modelos sobre os conceitos estudados, pois refletem de alguma forma relações entre os modelos implícitos dos alunos e os modelos conceituais apresentados como solução. A própria escolha do item considerado correto ou coerente pelo aluno reflete certa externalização de seu esquema mental. Por isso, optou-se em utilizar-se também de tais estratégias de avaliação para fins de inferência dos modelos mentais dos alunos.

Na primeira questão, parece que os alunos 3, 6, 7, 9, 10 e 11 conseguem explicitar um modelo de trabalho que dá conta de explicar o efeito fotoelétrico em relação à natureza corpuscular da luz, a constituição e a natureza da luz. Os alunos 1 e 4 apresentam parecem apresentar um modelo de trabalho sobre a constituição e a natureza das radiações.

Os alunos 3, 6, 7, 9, 10 e 11 conseguem explicitar proposições matemáticas que relacionam as energias do fóton, do elétron e a do fotoelétron ejetado no efeito fotoelétrico. Já os alunos 4 e 5 apresentam modelos frágeis, apontando para uma aprendizagem mecânica, o aluno 1, não consegue esquematizar relações e o aluno 10, apesar de conhecer a fórmula que relaciona as três grandezas, não consegue “modelar” uma solução.

Questão 6 – Mapa conceitual (Mapa de Referência)

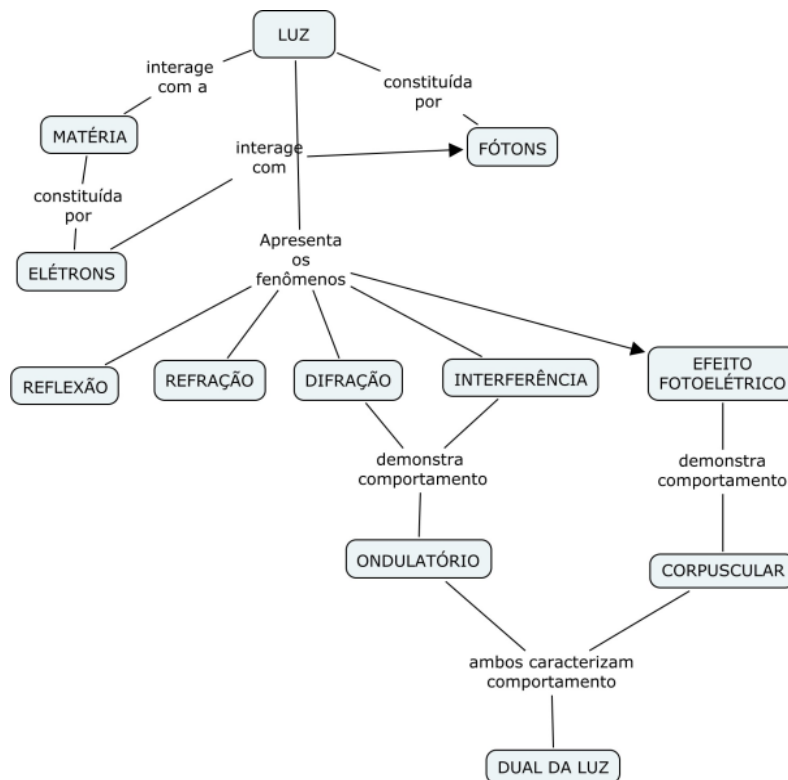


Figura 5: Mapa conceitual elaborado para referenciar as relações explicitadas pelos alunos na correção da atividade final.

### Quadro 21

Invariantes operatórios dos alunos do PROEJA na atividade final de avaliação.

CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 1 A luz-fenômenos-reflexão-refração-difração Reflexão-espelho plano-incide-reflete Efeito fotoelétrico-fóton-elétron-fenda-dual-onda/partícula	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração. A reflexão ocorre quando a luz incide e reflete num espelho plano. A luz ora é onda na fenda, ora é partícula no efeito fotoelétrico, onde o fóton se choca com o elétron.
Aluno 3 A luz-fenômenos-reflexão-refração-difração-interferência Efeito fotoelétrico-fóton-partícula-ejeção de elétron Difração-dual Interferência-fenda-onda	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. No efeito fotoelétrico o fóton lança partícula e ejeta elétron. Na interferência a luz passa na fenda e mostra a onda. A difração tem a ver com o caráter dual da luz.
Aluno 4 A luz-fenômenos-reflexão-refração-difração-interferência Difração-gera-fenda-interferência Efeito fotoelétrico-gerado por-fóton-elétron Luz-onda eletromagnética-dual-onda-partícula	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. O fenômeno da difração da luz que passa pela fenda gera a interferência. O efeito fotoelétrico é o fóton interagindo com o elétron A luz é uma onda eletromagnética dual, sendo onda e partícula.
CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO

Aluno 5	
A luz-fenômenos-reflexão-refração-difração-interferência Difração-interferência-gera onda eletromagnética Dual-fenda-onda-partícula-efeito fotoelétrico-fóton-elétron	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Os fenômenos da difração e interferência da luz evidenciam as ondas. O efeito fotoelétrico é o fóton interagindo com o elétron A luz é dual, sendo onda (fenda) e partícula, efeito fotoelétrico.
CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 6	
Luz-fenômenos-reflexão-refração-difração-interferência Reflexão-refração-antigos conceitos-visão de Newton Difração-interferência-atraves-fenda-dual-fóton-onda-onda eletromagnética-partícula-efeito fotoelétrico-retira-elétron	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Os fenômenos da difração e interferência da luz através da fenda mostra onda eletromagnética, que é a luz (fóton), pode ser onda ou partícula. N efeito fotoelétrico elétrons são retirados.
CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 7	
Luz-conceito-eletromagnética-forma dual-característica onda/partícula-fenômenos-reflexão-refração-difração-interferência Difração-interferência-acontece-fenda Efeito fotoelétrico-energia-fóton-arranca-elétron	A luz é uma onda eletromagnética que se apresenta de forma dual, onda-partícula e por meio dos fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Onde a difração e a interferência acontecem quando a luz passa fendas e o efeito fotoelétrico acontece quando o fóton tem energia suficiente para arrancar elétrons.
CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 9	
Luz-fenômenos-ocorre-reflexão-refração-difração Difração-interferência da onda-fenda Onda-dual-partícula Efeito fotoelétrico-fóton-elétron	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração. Ao difratar na fenda a luz sofre a interferência das ondas ao passar por fendas. A luz tem comportamento de onda-partícula (dualidade) No efeito fotoelétrico, o fóton tem que ter energia suficiente para ejetar o elétron.
CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 10	
Luz-onda-reflexão-refração-difração Efeito fotoelétrico-fóton	A luz é uma onda e apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração.
CONCEITOS-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
Aluno 11	
Luz-efeito dual-partícula-onda eletromagnética Luz-fenômenos-reflexão-refração-difração-interferência	A luz apresenta o efeito dual, onda eletromagnética e partícula, e os fenômenos a refração, reflexão, efeito fotoelétrico e difração. A difração ocorre quando a luz passa por uma fenda e as ondas podem se cruzar gerando a interferência.

## Quadro 22

Modelos mentais inferidos das relações no mapa conceitual sobre a luz - Atividade final.

Alunos	Modelos mentais de trabalho
1	A luz se mostra como uma onda quando passa por uma fenda, e como uma partícula, quando um fóton se choca com um elétron pelo efeito fotoelétrico.
3	A luz se mostra como partícula no efeito fotoelétrico e como onda, na interferência e na

	difração.
4	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. O fenômeno da difração da luz que passa pela fenda gera a interferência. O efeito fotoelétrico é o fóton interagindo com o elétron A luz é uma onda eletromagnética dual, sendo onda e partícula.
5	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Os fenômenos da difração e interferência da luz evidenciam as ondas. O efeito fotoelétrico é o fóton interagindo com o elétron A luz é dual, sendo onda (fenda) e partícula, efeito fotoelétrico.
6	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Os fenômenos da difração e interferência da luz através da fenda mostra onda eletromagnética, que é a luz (fóton), pode ser onda ou partícula. N efeito fotoelétrico elétrons são retirados.
7	A luz é uma onda eletromagnética que se apresenta de forma dual, onda-partícula e por meio dos fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência. Onde a difração e a interferência acontecem quando a luz passa fendas e o efeito fotoelétrico acontece quando o fóton tem energia suficiente para arrancar elétrons.
9	A luz apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração. Ao difratar na fenda a luz sofre a interferência das ondas ao passar por fendas. A luz tem comportamento de onda-partícula (dualidade) No efeito fotoelétrico, o fóton tem que ter energia suficiente para ejetar o elétron.
10	A luz é uma onda e apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração.
11	A luz apresenta o efeito dual, onda eletromagnética e partícula, e os fenômenos a refração, reflexão, efeito fotoelétrico e difração. A difração ocorre quando a luz passa por uma fenda e as ondas podem se cruzar gerando a interferência.

Analisando a compreensão dos alunos por meio dos modelos mentais explicitados sobre a dualidade da luz, percebe-se de forma geral, a ocorrência de uma evolução conceitual. Modelos explicitados em atividades distintas foram se tornando mais robustos e coerentes.

É certo, que boa parte dos alunos não se deu conta dessa evolução, mas as invariâncias nelas apresentadas refletem uma progressividade.

Sabe-se que o comportamento dual da luz confronta, de certa forma, concepções dos alunos no sentido de que: *“uma coisa não pode ter dois comportamentos”*, ou *“uma partícula sem massa não pode existir, nem tampouco ejetar uma partícula com massa”*. Essas concepções de certa forma, dificultam a elaboração de modelos mais completos, ou seja, dificultam a evolução dos modelos de trabalho, a fim de que se tornem modelos mentais. Isso foi percebido ao analisar a atividade final dos alunos.

Os alunos 1, 3 e 10 não conseguiram explicitar um modelo mental coerente. Entretanto, os modelos explicitados pelos alunos 4, 5, 6, 7, e 9, nas relações estabelecidas no mapa conceitual final, demonstram coerência com os modelos conceituais ensinados em sala de aula.

#### 4.6 – Análise dos modelos mentais de aprendizagem

O segundo objetivo da análise foi inferir modelos mentais e verificar indícios, nesses modelos, de aprendizagem do tema dualidade da luz no contexto do estudo da óptica geométrica e ótica física.

Como verificado na análise das respostas dos alunos às diferentes atividades desenvolvidas na pesquisa foram inferidos os modelos mentais a partir das invariâncias conceituais explicitadas. Esses modelos demonstraram, de forma geral, uma evolução conceitual que, a nosso ver, aponta para uma aprendizagem conceitual. Contudo, não se pode afirmar que esta evolução evidencia uma aprendizagem significativa, uma vez não ter sido foco de nossa análise buscar indícios de possíveis negociações de significados, condição para AS.

Ficou claro que os alunos do PROEJA conseguiram explicitar modelos de trabalho que deram conta do conhecimento estudado e abordado em sala de aula. E que, na maioria dos casos, esses modelos ficaram mais elaborados e coerentes a cada atividade.

Finalizando, será apresentada, de forma resumida, a evolução conceitual percebida na análise dos modelos mentais dos alunos do PROEJA, no que se refere à compreensão do tema dualidade onda-partícula da luz:

- Aluno 1
  - Fonte de energia elétrica
  - Constituída de partículas
  - Apresenta fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - Constituída de fótons
  - Pode ser onda ou partícula
  
- Aluno 3
  - Algo que brilha
  - Constituída por elétrons em movimento
  - Algo que reflete e refrata na matéria
  - Apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - No fenômeno da interferência se vê a onda
  
- Aluno 4
  - Formada por elétrons
  - Constituída de partículas
  - Apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - Constituída de fóton
  - É uma onda eletromagnética dual, sendo onda e partícula

- Aluno 5
- Uma onda que se movimenta com velocidade dependente do
  - Apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - A interferência mostra que a luz é uma onda
  - Constituída de fóton
  - É dual, sendo onda (fenda) e partícula, efeito fotoelétrico
- Aluno 6
- Radiação em pequenas proporções
  - Algo que se movimenta com velocidade dependente do meio
  - Apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - Constituída de fóton
  - A luz (fóton), pode ser onda ou partícula
- Aluno 7
- Ondas eletromagnéticas que vem do movimento de elétrons
  - Uma onda que se movimenta com velocidade dependente do meio
  - Apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - Constituída de fóton, uma partícula de energia
  - É uma onda eletromagnética que se apresenta de forma dual, onda-partícula
- Aluno 9
- Algo que reflete e refrata na matéria
  - Apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - A interferência mostra que a luz é uma onda
  - Tem comportamento de onda-partícula (dualidade)
- Aluno 11
- Pode ser uma onda de radiação
  - É algo que brilha
  - É constituída de partículas que refletem em objetos
  - Apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência
  - Apresenta dois comportamentos, ora corpuscular, ora ondulatório, dependendo do experimento realizado.

#### **4.7 - Avaliação sobre a ação**

O objetivo final da análise foi refletir sobre a eficácia das ações com vistas ao cumprimento do objetivo proposto para este primeiro ciclo: verificar as contribuições dos modelos mentais de alunos como subsídios para o planejamento de atividades de ensino de temas da Física Moderna.

Ao refletir sobre a prática realizada, percebeu-se que a postura de mediação assumida na pesquisa, bem como o planejamento de atividades



diferenciadas tanto de ensino como de avaliação da aprendizagem, contribuiu para a explicitação dos modelos de trabalho e também para os modelos mentais sobre a dualidade da luz.

As contribuições verificadas nessa etapa quanto ao conhecimento dos modelos mentais dos alunos podem ser assim enumeradas:

- Os invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos demonstraram a cada atividade de ensino, os conceitos que eles reconheciam no campo conceitual estudado;

- As relações que os alunos conseguiam fazer entre esses conceitos e os novos conceitos ensinados em sala de aula, apontavam ou para esquemas mentais progressivos ou estáticos. Esses esquemas, chamados de teoremas-em-ação, demonstravam o nível de relação conceitual estabelecida, ou de assimilação conceitual;

- A explicitação, repetidas vezes, desses invariantes, apontava para modelos mentais cada vez mais elaborados e que davam conta do conteúdo estudado;

- O reconhecimento dos modelos de trabalho dos alunos nas atividades diferenciadas de ensino, deu direção à implementação das novas ações a fim de motivar a acomodação dos novos esquemas, ou seja, à explicitação de modelos mentais, mais elaborados, coerentes e análogos aos modelos conceituais ensinados.

- Os modelos de trabalho explicitados pelos alunos deram diretrizes quanto o interesse pelo estudo do tema proposto. Ao repetirem as mesmas relações em atividades seguidas ou intercaladas, os alunos demonstravam que seus modelos poderiam estar acomodados em sua estrutura cognitiva, não precisando mais ser modificados para dar conta do conhecimento.

- A essa acomodação foram feitas duas ponderações: primeiro, os modelos mentais explicitados poderiam refletir uma aprendizagem mecânica, resultado de uma desmotivação para aprender significativamente. Segundo, poderiam demonstrar uma aprendizagem significativa de alguns conceitos, mas uma desmotivação para se construírem modelos mentais que dessem conta dos novos conhecimentos estudados.

Pelos dados fornecidos no questionário inicial sobre o interesse dos alunos da turma para o estudo, pode ser concluído ser essa turma constituída

de alunos interessados e dispostos a aprenderem novos conhecimentos. Nas aulas, pode se confirmar tal interesse. Entretanto, percebeu-se pelas atitudes e falas de alguns alunos durante as aulas, que o tema estudado, apesar de considerado interessante por eles, passou a não ser tão atraente no sentido de que parecia não haver mais nada a ser acrescentado, depois que perceberam a ideia geral da dualidade da luz.

Acredita-se sobre esse fato, que por apresentar certa abstração, o estudo da luz, pode sim, deixar de ser tão atrativo em função dos recursos que ainda são conseguidos nas escolas para o planejamento e implementação de aulas mais interessantes. Nesse caso, é visto nos experimentos virtuais uma grande saída para se abordar temas de difícil visualização, onde são mostrados fenômenos físicos como o efeito fotoelétrico e a difração e interferência da luz. Acredita-se também que novas estratégias devem ser planejadas a fim de estudar aplicações no cotidiano os conhecimentos sobre a dualidade.

Apesar da percepção de que em um dado momento da pesquisa os alunos não estavam tão motivados como no início, o que até certo ponto era de se esperar em se tratando de aulas durante um semestre letivo, foi verificado por meio dos modelos mentais inferidos, a aprendizagem conceitual da maioria dos alunos do PROEJA.

Sobre o aspecto da motivação pelo tema estudado, foi perguntado aos alunos que temas poderiam sugerir para próximos estudos em aulas de física. Dentre os temas sugeridos, os mais citados foram os relacionados ao contexto do curso Eletrônica como, a física dos motores, reatores, outros temas como, aceleradores de partícula, energia nuclear e os reatores nucleares, relatividade (viagem no tempo!), dentre outros.

É certo que o estudo dos modelos mentais dos alunos demandaria um período maior de convivência com os mesmos, a fim de verificar se as invariâncias conceituais progrediram significativamente, ou seja, evoluíram para modelos mentais.

Por esse motivo, e baseado no interesse dos alunos pelo estudo de outros temas, decidiu-se dar continuidade ao estudo da física moderna em mais um ciclo reflexivo de um semestre letivo em outra turma de PROEJA. O objetivo maior foi responder a questões como: Será que a abordagem de

outros temas, com novas estratégias, poderiam motivar mais os alunos? Será também, que nesse estudo, os alunos poderiam se dar conta da evolução de seus modelos de trabalho e até de seus modelos mentais?

Neste capítulo são descritas as etapas do segundo ciclo da presente pesquisa, implementadas nas aulas de física do PROEJA no primeiro semestre letivo de 2011 (janeiro a julho), em aulas noturnas do curso de Eletrônica do IFF, com duração de 45 minutos.

Inicialmente serão apresentadas as características do público pesquisado e as motivações que deram origem a este ciclo, as quais tiveram como ponto de partida a reflexão dos resultados obtidos no ciclo anterior.

O plano de ação e a implementação de estratégias para o desenvolvimento da proposta didática utilizada nas aulas de física será individualmente descrito, de acordo com o objetivo proposto em cada etapa do presente ciclo.

Finalmente, se tratará da descrição dos instrumentos de coleta, os dados obtidos, o método de análise e as reflexões a respeito dos resultados encontrados.

#### **5.1 – Reconhecimento do público**

Foram levantadas informações por meio de questionário (Apêndice) sobre o contexto sócio-educacional dos alunos. Por meio desse levantamento pode-se conhecer a realidade em que estavam inseridos os alunos dessa turma de PROEJA.

Diferente da anterior, essa turma é formada por 13 alunos, sendo destes, cinco não trabalham e oito trabalham até oito horas diárias. A faixa etária dos alunos está compreendida entre 20 a 47 anos, contudo, trata-se de uma turma sendo a maioria, 11 alunos, é jovem (em média, vinte anos de idade).

Para o reconhecimento das intenções/concepções dos alunos sobre o processo de ensino-aprendizagem foi utilizado o mesmo questionário (Apêndice) constituído de quinze afirmações, adaptado de Romero (2006) e baseado na escala de Likert.

O questionário foi aplicado, no início e no final deste ciclo, a fim de verificar se haveriam variações nas concepções dos alunos a esse respeito. A análise qualitativa das respostas, está resumidamente apresentada na tabela a seguir.

**Tabela 2**

Resumo das respostas ao questionário sócio-educacional aplicado no início e no final do curso.

Q T	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4	A 5	A 5	A 6	A 6	A 7	A 7	A 8	A 8	A 9	A 9	A 10	A 10	A 11	A 11	A 12	A 12	A 13	A 13
1	C	D	C	C	C	D	C	C	C	C	D	C	C	D	D	C	C	C	D	C	D	C	D	C	C	
2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	D	I	C	C	D	C	C	C	C	I	C
3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	C	I	C	C	C	C	C	C	C	C	C
4	D	D	C	D	D	D	D	D	C	D	D	D	I	D	D	D	I	D	D	D	D	C	D	C	D	C
5	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	I	C	C	I	C	C	C	C	C	C	C	C	C
6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	C	D	D	D	C	C	D	D	C	D	D	D	D	D
7	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	C	C	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C
8	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	C	C	D	D	C	C	D	C	D	C	C	C
9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	C	C	D	I	C	C	D	C	D	C	C	C
10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
11	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
12	C	D	C	D	D	D	D	D	C	D	D	D	C	C	D	D	C	D	D	D	C	D	C	D	C	D
13	C	D	D	D	D	D	D	D	C	D	D	D	C	I	D	D	C	I	D	D	C	D	C	D	D	D
14	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	I	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
15	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	C	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D

Os alunos 1, 3, 6, 8, 10, 11 e 12 não vêem como um bom professor de física somente aquele que ensina passo a passo um problema, mas que discute a teoria para encaminhar uma possível solução.

A respeito do quarto item do questionários, com exceção dos alunos 7 e 9, a maioria acredita, ou passou a acreditar, como foi o caso dos alunos 2, 11, 12 e 13, que após a discussão do conteúdo os alunos devem participar com perguntas e dúvidas.

Destacam-se pela aparente indiferença ao aprendizado significativo, os alunos 7 e 9. Faltosos e descomprometidos com o ensino, demonstraram disposição para aprender mecanicamente, desde as primeiras aulas. Por esse motivo, tentou-se motivá-los agrupando-os com alunos mais interessados, no momento das atividades. O que infelizmente, no caso da aluna 7, não surtiu grandes efeitos. Já, no caso do aluno 9, foi percebida certa progressão quanto à motivação à aprendizagem.

De forma geral, verifica-se nas respostas aos itens de 5 a 11, que a maioria dos alunos acredita que o aprendizado de um novo conteúdo os faz refletir sobre o que já se sabia sobre o assunto, capacita-os para externalizar o que aprendeu com suas próprias palavras e fazer conexões com o cotidiano.

Com exceção dos alunos 7, 9 e 11, os demais discordam, com base na questão 6, que o aprendizado seja demonstrado quando se repete exatamente as palavras do livro. Ou seja, para eles, decorar não é aprender. A aluna 11, muda de concepção no final do curso, discordando do item proposto.

A dedicação dos alunos 4, 5, 6, 8, 10, 11 e 12 foi motivadora e condiz com as respostas dadas aos itens de 11 a 14. Com algumas variações nas respostas no início e no final do curso (alunos 1, 2, 5, 9, 11, 12 e 13), estes alunos acreditam que o aprendizado nunca se esgota, não está baseado em decorar fórmulas, mas pode ser refletido pela facilidade de resolver problemas do livro.

Ficou explicitado pelas respostas à questão 15, que a totalidade dos alunos acreditava, inicialmente, que a física é uma disciplina difícil de aprender porque tem muitos cálculos, mas no final do curso suas respostas foram alteradas devido, provavelmente, ao enfoque conceitual dado e às estratégias diferenciadas para o ensino.

Essa turma, diferentemente da primeira, conversava muito nas aulas e às vezes alguns alunos tinham dificuldade de concentração por brincadeiras realizadas no momento que se propunha uma discussão. Esse problema foi sendo contornado à medida que se esclarecia a necessidade de participação

nas aulas, não só pelo aprendizado em si, mas também como forma de avaliação.

Os alunos 4, 6, 8 e 10 se destacaram pelo grande interesse em aprender e em realizar as atividades. A elaboração dos mapas conceituais foi a atividade em que mais se destacaram os alunos 6 e 8.

Pode-se perceber que os alunos da turma acreditavam, inicialmente, que a aprendizagem depende mais do professor do que do aluno. Essa idéia foi sendo alterada durante o curso, pelo que refletem as respostas da maioria dos alunos, bem como sua participação nas discussões em sala de aula.

Serão, a seguir, definidas as questões que guiaram o planejamento das ações da pesquisa, as hipóteses levantadas, o resultado da implementação das ações, a análise dos dados levantados e as conclusões resultantes da análise.

## **5.2 – Planejamento das ações**

Como já visto no ciclo anterior, o estudo dos modelos mentais dos alunos do PROEJA apontou caminhos para a inserção de temas de Física Moderna nesse nível de escolaridade, uma vez que se verificaram contribuições desse conhecimento para o planejamento das atividades de ensino.

Depois de seguidas ponderações e análise bibliográfica sobre o assunto, foi verificada também a valiosa contribuição que poderia ser dada pelo estudo dos modelos mentais, no que se refere ao reconhecimento por parte do aluno da progressão de seus próprios modelos, à medida que aprende de maneira significativa um novo conceito.

Nesse caso, os modelos mentais funcionariam para o aluno como uma ferramenta de apoio meta-cognitivo para aprendizagem do tema estudado, como afirma Greca e Moreira (2002b).

Então, o segundo objetivo geral desta pesquisa de doutorado foi estabelecido para este ciclo: verificar quais contribuições para a metacognição poderia fornecer o estudo dos modelos mentais dos alunos do PROEJA na aprendizagem de temas de Física Moderna.

Campanario y Moya (1999) afirmam que a meta-cognição pode conceber-se como uma ajuda à aprendizagem, mas também pode e deve

constituir-se um objetivo legítimo do ensino. Por outro lado, Baker (1991) sustenta que *“a aprendizagem a partir de textos se formula como um dos meios mais eficazes de fomentar a meta-cognição, especialmente a aprendizagem das ciências”*.

As atividades planejadas neste ciclo focalizaram a meta-cognição nos modelos mentais. Ou seja, foram pensadas e planejadas ações com a finalidade de motivar o aluno a perceber sua aprendizagem ou a perceber a progressão de seus modelos mentais. Nesse aspecto, então, não só os modelos explicitados pelos alunos, como também suas verbalizações e atitudes em sala de aula poderiam demonstrar tal percepção.

Como no primeiro ciclo, chegou-se a conclusão de que, a certo ponto, o tema dualidade motivou fracamente os alunos quanto ao estudo da Física Moderna, procuraram-se maneiras diferenciadas da anterior para se abordar o novo tema a ser estudado. A intenção foi gerar maior participação e interesse dos alunos.

Para isso, buscou-se planejar novas estratégias a fim de gerar um ensino motivador à metacognição, promovendo a explicitação de modelos mentais sobre a física moderna na verificação da aprendizagem de um tema mais atual.

Com o propósito de se planejarem atividades de ensino-aprendizagem metacognitivas, algumas questões que surgiram além das já elencadas no ciclo anterior, foram:

- Que proposta didática utilizar para motivar os alunos a questionarem seus próprios modelos mentais? Ou para se dar conta da necessidade de alterá-los?
- Que proposta didática utilizar para melhor motivar os alunos ao estudo do tema a ser proposto para este ciclo?
- Quais estratégias de avaliação favoreceriam a explicitação de modelos mentais relevantes para análise da percepção e/ou evolução?
- Que comportamentos esperar dos alunos com vistas à explicitação de modelos meta-cognitivos?



Desta forma, a fim de levar o aluno ao estudo de um tema mais interessante e motivador, foi proposto para este ciclo estudar a energia nuclear, suas características e aplicações.

Em destaque na mídia no período corrente, devido aos vazamentos de radiação proveniente dos terremotos sofridos no Japão em março de 2011, esse tema, apesar de desconhecido e mal compreendido, estava sendo bastante comentado e discutido na atualidade.

Intentando gerar nos alunos maior participação e desejo pelo debate das idéias, o tema foi abordado sob os enfoques das transformações da energia por meio de duas fontes, nuclear e hídrica. A expectativa era de que os alunos se motivassem, inicialmente, a explicitar modelos sobre os processos envolvidos na transformação da energia com o estudo comparativo entre duas fontes: Usina Nuclear *versus* Usina Hidrelétrica. E em seguida, conseguissem se dar conta dos modelos mentais sobre a energia nuclear.

Algumas questões problemáticas a seguir foram, então, sendo levantadas durante as aulas de física, a fim de gerar um ambiente de discussão e participação dos alunos: Quais são as vantagens e desvantagens de cada usina? Qual o processo de transformação de energia em cada uma delas? Qual das usinas, nuclear ou hidrelétrica, é mais rentável para o Brasil? Qual das duas usinas o Brasil deve escolher para investimentos a curto e longo prazo, a fim de solucionar o problema da crise energética brasileira?

Para o cumprimento do objetivo proposto neste ciclo foram levantadas as seguintes hipóteses:

- A utilização de estratégias diferenciadas poderá facilitar a explicitação de modelos cada vez mais elaborados e que dêem conta do conhecimento a ser adquirido. Como justificado e discriminado no primeiro ciclo, cada estratégia apresenta sua contribuição para a facilitação da aprendizagem. No presente ciclo, foram utilizadas novas estratégias para esse fim.

- O estudo de temas da Física Moderna quando relacionados aos acontecimentos do cotidiano dos alunos motivará a aprendizagem dos conceitos envolvidos no tema abordado.

- Os modelos explicitados poderão demonstrar o nível de conhecimento adquirido até o momento ou a situação de ensino.

- Esses modelos poderão ser constantemente reelaborados. Índícios de metacognição podem surgir a cada reelaboração, capacitando os alunos de se dar conta da necessidade de reformulação ou não dos mesmos. Seus modelos refletiriam uma aprendizagem metacognitiva.

- O estudo comparativo do funcionamento das usinas motivará a aprendizagem dos conceitos envolvidos e a explicitação dos modelos sobre energia nuclear, pois o aluno precisará de argumentos para defender seu ponto de vista. E ao argumentar, conseqüentemente estará explicitando os modelos de trabalho que tem em sua estrutura cognitiva.

- A abordagem de aspectos cotidianos e atuais poderá aguçar a curiosidade dos alunos.

### **5.3 - Implementação das ações**

Com a apresentação aos alunos de proposta para o estudo da transformação da energia numa Usina Nuclear *versus* Usina Hidrelétrica deu-se início a implementação das ações no presente ciclo da pesquisa.

Os alunos demonstraram grande interesse ao estudo do tema. Por um lado, devido à realidade vivenciada pelo Japão na época e devido ao completo desconhecimento dos fenômenos e transformações físicas dele decorrentes. Por outro lado, devido ao impacto ambiental que vem sofrendo o Brasil, em especial, pela construção de hidrelétricas.

As atividades desenvolvidas pelos alunos para fins de explicitação dos modelos mentais englobaram desde respostas a perguntas formais, exercícios formais (envolvendo cálculos), aulas expositivas com uso de textos disponibilizados em sítios do Governo Federal e artigos publicados sobre o assunto, leitura e discussão de textos, mapas conceituais, elaboração de resenhas e de carta-sugestão.

Como já salientado, foram desenvolvidas atividades para o estudo da energia nuclear em dois momentos de ensino:

**1º momento** - Atividades desenvolvidas para o estudo de uma usina nuclear

- Atividade 1: *pseudo-organizador prévio* e questões sobre o tema
- Atividade 2: pesquisa na internet e questões sobre o tema

- Atividade 3: questões formais sobre a energia nuclear
- Atividade 4: elaboração de mapa conceitual sobre usina nuclear

**2º momento** - Atividades desenvolvidas para o estudo de uma hidrelétrica

- Atividade 1: *pseudo-organizador prévio* e questões sobre o tema
- Atividade 2: pesquisa na internet e questões sobre o tema
- Atividade 3: questões formais sobre energia nuclear e hídrica
- Atividade 4: elaboração de resenha

Foram objeto de análise somente os dados obtidos na primeira e na quarta atividade de cada um dos dois momentos. A primeira, por conter informações sobre os modelos espontâneos dos alunos, explicitados antes do estudo e, a última, por se tratar das relações estabelecidas nos mapas conceituais elaborados, uma eficiente estratégia de representação esquemática, os quais poderiam fornecer invariantes operatórios para sustentar os modelos mentais dos alunos sobre o tema estudado.

A seguir, serão descritos os objetivos da análise dos dados nas duas etapas deste ciclo, os invariantes operatórios verificados, após a realização das atividades de ensino e, após a última atividade, os modelos mentais de trabalho sobre cada objeto de estudo.

Depois, serão descritas as atividades finais de coleta de dados, as quais trataram especificamente da aprendizagem sobre a energia nuclear, os invariantes operatórios e os modelos mentais deles inferidos.

**Atividades finais desenvolvidas para a explicitação de modelos assimilados durante o estudo.**

- Atividade 1 - Elaboração de mapa conceitual sobre energia nuclear
- Atividade 2 - Avaliação final sobre a energia nuclear
- Atividade de Fechamento - Elaboração de “Carta-Sugestão”

Finalmente, serão discutidos os resultados analisados a fim de se verificar o cumprimento dos objetivos propostos.

## 5.4 – Resultados obtidos e Análise dos modelos mentais de trabalho

Os dados resultantes das atividades iniciais e finais desenvolvidas são a seguir relatados. Foram analisados com base nas teorias dos campos conceituais e dos modelos mentais.

A análise dos dados coletados serviu, primeiramente, para tentar encontrar nas invariâncias conceituais explicitadas pelas respostas dos alunos em situações específicas de ensino, possíveis modelos mentais de trabalho.

Adotou-se como em Chiou e Anderson (2009), um método comparativo constante para descobrir os padrões de respostas dos alunos em diversas fontes de dados, tais como expressões verbais, escritas e desenhos.

O segundo objetivo da análise foi inferir modelos mentais do tema energia nuclear.

O objetivo seqüencial foi identificar indícios de aprendizagem metacognitiva nos modelos mentais explicitados pelos alunos sobre a energia nuclear.

Como objetivo final a análise serviu também como subsídio para se refletir sobre a eficácia das ações desenvolvidas neste ciclo.

Para direcionar a análise nesse ciclo, procurou-se responder as seguintes perguntas:

- Quais invariantes foram inferidos em cada atividade?
- Quais modelos mentais de trabalho sustentam esses invariantes?

Quais modelos mentais resultam da análise dessas etapas?

- Os modelos mentais apontam para aprendizagem significativa sobre energia nuclear?

- As estratégias adotadas facilitaram a explicitação dos modelos mentais?

- Os modelos mentais funcionaram para o aluno como uma ferramenta de apoio meta-cognitivo para aprendizagem dos temas?

### Estudo da Usina Nuclear

#### Primeira Atividade

Como primeira atividade, foi proposta a leitura de um texto (Apêndice), que funcionou como um pseudo-organizador prévio, ou seja, estratégia para

introdução ao ensino do tema energia nuclear. Trouxe à tona o problema sofrido no Japão, o crescimento da energia nuclear no mundo, o medo da radiação e a repercussão no Brasil e no mundo, etc.

Foi uma atividade diagnóstica, na qual se buscou conhecer as concepções dos alunos sobre o tema a ser estudado, energia nuclear. Segundo um dos princípios de Ausubel *et al.* (1978), o fator mais importante para aprendizagem significativa é conhecer aquilo que o aprendiz já sabe. Sugere averiguar e ensinar de acordo com isso.

As deficiências mais importantes que se evidenciaram nessa atividade inicial foram as seguintes:

*Diferenciar* conceitos como: *radiação*→*radioatividade*→*elementos radioativos*; *energia nuclear*→ *constituição do átomo*; *vazamento de radiação*→*vazamento de elemento químico*; etc.

*Hierarquizar* conceitos relacionados numa mesma proposição como: “São tipos de elementos ou materiais radioativos, o *urânio*, *prótons* e *nêutrons*”; “Acredito que as *partículas* possuem ligação com a *energia nuclear*; e por a energia nuclear é uma forma de *matéria*”.

*Relacionar* conceitos afins como: núcleo atômico ↔ átomos ↔ elétrons ↔ prótons ↔ nêutrons ↔ energia nuclear ↔ radiação ↔ fissão; etc

Como já dito, durante o bimestre os alunos estudaram o tema Usina Nuclear e foram submetidos a quatro atividades avaliativas com vistas à explicitação de seus modelos mentais.

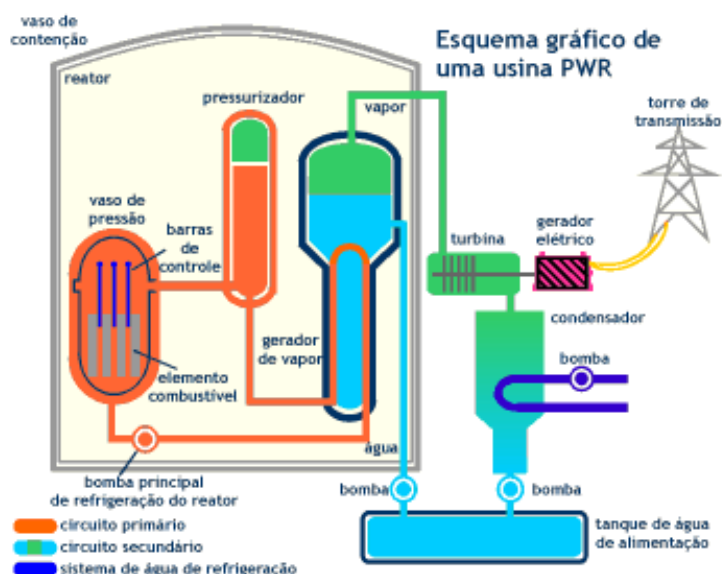


Figura 6: Esquema representativo de uma usina nuclear retirado da apostila educativa CNEN: Energia Nuclear

O quadro 23 relaciona alguns dos invariantes operatórios explicitados de suas respostas referente à primeira dessas atividades.

### Quadro 23

Invariantes operatórios inferidos das respostas à atividade de pré-concepções sobre energia nuclear.

Aluno	CONCEITO-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
1	Corpos; massa; reator nuclear; prótons; materiais radioativos; urânio; radiação.	Os corpos são diferenciados pela massa que cada um possui. O reator nuclear é onde fica armazenado a energia e a radiação. Urânio, prótons e nêutrons são elementos e materiais radioativos. As usinas nucleares ajudam na medicina, na indústria e na “geração” de eletricidade. Tem que se estudar mais a energia nuclear para entender as tragédias como a do Japão. Nem toda radiação é nociva ao ser humano.
3	Energia nuclear; reator nuclear; radioatividade; radiação; urânio; átomo; próton; elétron; núcleo do átomo.	Os corpos são constituídos por conjunto de átomos e diferenciados pelo número de elétrons em cada molécula. A matéria é formada por átomos e os átomos são constituídos de elétrons, prótons e nêutrons. <i>(explicitou sua resposta também por meio do desenho de um modelo atômico)</i> A energia nuclear é proveniente de um átomo que tem um grande número de elétrons e vem de átomos nucleares. Um reator é onde armazenam os elementos radioativos. As usinas nucleares ajudam na “geração” de eletricidade.
4	Energia nuclear; próton; nêutron; elétron; reações atômicas; reator nuclear; núcleo do átomo; radioatividade; radiações; fissão; urânio.	Os corpos são formados por átomos e isso diferencia dois ou mais corpos. Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons. Um reator nuclear é um equipamento que une as partículas para gerar a energia nuclear. A fissão nuclear é a mistura de partículas. Bateria de celular e pilha são elementos ou materiais radioativos. As usinas nucleares são úteis e servem para a criação de energia através das partículas. Radiação são elementos nocivos que se espalham por uma cidade ou até por um país
5	Energia nuclear; urânio; reator nuclear; radioatividade; reações nucleares; radiações.	Os corpos são formados por átomos. Corpos são diferenciados pela quantidade de átomos que possui. Os prótons possuem carga positiva, os elétrons carga negativa e os nêutrons carga nula. O reator nuclear é o local onde se armazena a energia nuclear.

		<p>Pilhas e baterias de celulares são elementos ou materiais radioativos</p> <p>As usinas nucleares servem para gerar energia elétrica e para auxiliar no tratamento de algumas doenças como o câncer.</p> <p>A radiação em excesso é nociva ao ser humano.</p>
6	<p>Energia nuclear; átomo; próton; nêutron; elétron; reator nuclear; usinas nucleares; núcleo do átomo; radioatividade; radiações.</p>	<p>Os corpos são formados por átomos e diferenciados por sua forma e tamanho.</p> <p>Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons.</p> <p>Os prótons possuem carga positiva, os elétrons carga negativa e os nêutrons carga nula.</p> <p>A energia nuclear é a energia tirada do núcleo do átomo.</p> <p>Reatores nucleares transformam a energia retirada do núcleo do átomo em energia elétrica.</p> <p>Baterias de carros e de celulares, pilhas são materiais radioativos.</p> <p>As usinas nucleares servem para suprir a demanda de energia elétrica e outras pesquisas.</p> <p>Radiação é uma energia que mata o ser humano quando é exposto a grandes quantidades.</p>
8	<p>Átomos; energia nuclear; reator nuclear; prótons; elétrons; nêutrons; núcleo do átomo; radiação; radioatividade; reações atômicas.</p>	<p>Os corpos são diferenciados por sua estrutura física.</p> <p>A matéria é formada de prótons, nêutrons e elétrons.</p> <p>Os prótons possuem carga positiva, os elétrons carga negativa e os nêutrons carga nula.</p> <p>Energia nuclear vem da quebra do núcleo dos átomos.</p> <p>O reator nuclear são câmaras onde se realizam os processos de energia nuclear.</p> <p>Metano e urânio são tipos de elementos radioativos.</p> <p>As usinas nucleares têm a principal função de “gerar” energia elétrica.</p>
9	<p>Reator nuclear; energia nuclear; energia; radioatividade; radiações; reações atômicas; urânio.</p>	<p>A matéria é formada por um conjunto de átomos.</p> <p>Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons.</p> <p>Um reator nuclear é uma espécie de fábrica que produz energia nuclear.</p> <p>Nem toda a radiação é nociva ao ser humano.</p>
10	<p>Energia nuclear; radioatividade; reator nuclear; urânio; prótons; núcleo do átomo; nêutrons; elétrons; reações atômicas; radiações.</p>	<p>Os corpos são formados por partículas menores, prótons, nêutrons e elétrons.</p> <p>A matéria é formada por diferentes tipos de átomos, massa, formatos.</p> <p>A energia nuclear é uma forma de energia da matéria.</p> <p>A radiação é o vazamento de material nuclear poluente de uma usina nuclear. Ela pode ser nociva, dependendo da quantidade.</p>
11	<p>Energia nuclear; radioatividade; reator nuclear; urânio; prótons; núcleo do átomo; nêutrons; elétrons; reações atômicas; radiações.</p>	<p>A matéria é formada por um conjunto de átomos.</p> <p>Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons.</p> <p>Material radioativo está ligado a idéia de bomba nuclear.</p>
12	<p>Energia; reator nuclear; urânio; prótons; núcleo do átomo; nêutrons; elétrons; reações atômicas; radioatividade;</p>	<p>A matéria é formada por um conjunto de átomos.</p> <p>Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons.</p> <p>A energia nuclear é um tipo de energia</p>

radiações.	econômica.
------------	------------

O quadro 24 relaciona alguns dos modelos mentais de trabalho inferidos das invariâncias conceituais percebidas nas respostas dos alunos à atividade inicial.

### Quadro 24

Modelos mentais de trabalho sobre usina nuclear inferidos a partir dos invariantes operatórios relacionados na atividade inicial.

Grupos	Modelos Mentais de Trabalho
1	As usinas nucleares “produzem” energia elétrica e também desenvolvem pesquisas em outras áreas. O átomo de urânio é radioativo. O reator de uma usina nuclear armazena energia e radiação. A radiação pode ser nociva ao ser humano.
3	A matéria é formada de átomos com diferentes números de elétrons, prótons e nêutrons. Um reator é onde armazenam os elementos radioativos. As usinas nucleares “geram” eletricidade.
5	Os corpos são formados e diferenciados pela quantidade átomos que possui. O reator nuclear armazena a energia nuclear. Materiais radioativos como pilhas e baterias são nocivos ao ser humano. As usinas nucleares servem para gerar energia elétrica e também desenvolvem pesquisas em outras áreas.
6	A energia nuclear é a energia “tirada” do núcleo do átomo. Reatores nucleares transformam a energia nuclear em energia elétrica (doméstica). Materiais radioativos como pilhas e baterias são nocivos ao ser humano. Radiação é uma energia que pode matar o ser humano.
8	Energia nuclear vem do núcleo dos átomos. Metano e urânio são tipos de elementos radioativos. As usinas nucleares têm a principal função de “gerar” energia elétrica.
9	A matéria é formada por um conjunto de átomos. Um reator nuclear é uma (espécie) de fábrica que “produz” energia nuclear. Nem toda a radiação é nociva ao ser humano.
10	A matéria é formada por diferentes tipos de átomos, massa, formatos. A energia nuclear é uma forma de energia da matéria. A radiação é o material poluente que sai de uma usina nuclear e que pode ser nociva ao ser humano, dependendo da quantidade.
11	A matéria é formada por um conjunto de átomos. Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons.
12	A matéria é formada por um conjunto de átomos. Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons. A energia nuclear é um tipo de energia econômica.

O aluno 1 parece apresentar uma série de invariantes operatórios desconexos, isto é, não demonstra relação entre conceitos que são diretamente relacionáveis, como, os conceitos *átomo de urânio*, *reator*, *radiação*. Também parece não ter clareza sobre a constituição dos corpos. Seus invariantes indicam ter uma visão da matéria em termos de sua forma e



sua massa, mas não de sua constituição atômica. Pressupõe -se com isso que o aluno parece ainda não possuir modelos mentais de trabalho que dêem conta desse conteúdo. Como afirma Costa e Moreira (2002), os alunos não possuem “modelos de trabalho”, que predizem e explicam esse conhecimento.

O aluno 3 relaciona energia nuclear com a quantidade de elétrons e não consegue explicitar um modelo mental coerente sobre esse conceito. Também relaciona a energia nuclear com o núcleo do átomo, o que apesar de incoerente a relação entre *elétron* e *núcleo do átomo*, seu teorema-em-ação (proposição tida como verdadeira sobre o real) parece demonstrar uma invariância que aponta para uma progressão conceitual sobre o modelo atômico, caso as condições e situações de ensino assim o permitam.

As palavras de Vergnaud (2003) salientam que *“quando se aprende alguma coisa nova, temos de nos apoiar em conhecimentos anteriores, embora, às vezes, eles se tornem obstáculos para novos conhecimentos”*. Ausubel (Moreira, 1999) diz o mesmo em relação à aprendizagem subordinada. O fato do aluno, eventualmente, apresentar o teorema-em-ação *A energia nuclear é proveniente de um átomo que tem um grande número de elétrons e vem de átomos nucleares*, poderia conduzir a erros, se estes fossem submetidos apenas a situações que envolvessem os conceitos energia nuclear e átomos, sem considerar a diferença da estrutura atômica dos átomos radioativos e o modelo atômico, destacando o papel dos prótons e nêutrons no que se refere à concentração da energia atômica.

Os alunos 5 e 6 parecem destacar teoremas-em-ação sobre materiais cuja composição possui elementos radioativos, como pilhas e baterias. Apesar de não demonstrarem modelos de trabalho que faça a relação entre esses elementos e a constituição de “átomos pesados”, os esquemas *“pilhas e baterias de celulares são elementos ou materiais radioativos”* e *“A radiação em excesso é nociva ao ser humano”*, demonstram relação com um conhecimento anterior adquirido.

Sabe-se hoje, até mesmo pela mídia, que muitas das pilhas e baterias que são utilizadas contêm metais pesados e produtos químicos que, se liberados na natureza, contaminam o solo e o lençol freático. Além disso, faz mal à saúde, causando desde enfraquecimento ósseo, perda de olfato, visão e audição até danos no cérebro, rins e pulmões.

Os invariantes operatórios dos alunos 6 e 8 parecem também demonstrar falta de clareza sobre a constituição dos corpos. Os teoremas-em-ação “*Os corpos são formados por átomos, diferenciados por sua forma e tamanho*” e “*Os corpos são diferenciados por sua estrutura física*”, parecem apontar para uma visão da matéria em termos de sua forma e massa, mas não para sua constituição atômica.

O aluno 8, apesar de explicitar os teoremas-em-ação “*O reator nuclear são câmaras onde se realizam os processos de energia nuclear*” e “*Energia nuclear é a quebra do núcleo dos átomos*”, não parece relacionar diretamente a energia proveniente do núcleo dos átomos com a função do reator nuclear. Apesar de explicitada nos teoremas-em-ação, a impressão que se tem é a de que tal relação, ou pode estar implícita na expressão *reator nuclear* ↔ *processos de energia nuclear* ↔ *quebra do núcleo*, ou ainda, não existir.

Os alunos 9, 10, 11 e 12 parecem não ter invariantes operatórios que sustentem modelos de trabalho sobre energia nuclear, usina nuclear, radiação. Seus modelos espontâneos explicitam o conhecimento sobre a estrutura da matéria.

A partir deste diagnóstico das dificuldades que apresentavam os alunos na compreensão do tema Energia Nuclear, e considerando os princípios do marco teórico estabelecido, foram implementadas aulas de física onde se valorizou a discussão dos temas estudados e a participação dos alunos por meio da opinião, sugestão e a busca de solução para problemas propostos nas atividades desenvolvidas em sala de aula. Como em Gunstone e Northfield (1994), valorizou-se a discussão dos conceitos estudados.

#### Quarta Atividade

A atividade final para o estudo da usina nuclear, foi a elaboração de mapa conceitual sobre os conceitos estudados nas aulas durante todo o bimestre.

Os alunos foram divididos espontaneamente em grupos (duplas ou trios) para a elaboração de um mapa conceitual que relacionasse os conceitos sugeridos na atividade. Os mapas elaborados (Anexo) foram analisados e

deles retiradas invariâncias conceituais que apontassem para modelos mentais de trabalho, isto é, modelos que explicitassem a compreensão do conteúdo abordado.

O quadro 25 relaciona alguns dos invariantes operatórios explicitados nas respostas das duplas de alunos referente esta atividade.

### Quadro 25

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade de elaboração de mapa conceitual.

Grupos	CONCEITO-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
1 Alunos (5 e 6)	Átomo; urânio; fissão; reator; varetas combustíveis; energia nuclear; enriquecido; turbina; fonte de calor; material.	Como o urânio é um átomo com altíssima energia, então, atua como fonte de calor. O urânio aquece a água “produzindo” movimento na turbina, então ela (turbina) movimenta e gira o gerador que “produz” energia elétrica.
2 Alunos (1 e 8)	Átomo; prótons; nêutrons; elétrons; isótopos; urânio; fissão; reator; energia nuclear; meio ambiente; usina nuclear; reação em cadeia; radiação; varetas combustíveis; energia elétrica.	Os átomos são constituídos de prótons, nêutrons e elétrons. O átomo de urânio tem isótopos que possui energia para ocorrer a fissão no reator que libera energia em forma de calor. A energia nuclear é uma fonte de energia elétrica transformada através das usinas nucleares, como no Brasil, Angra I, II e III. A energia nuclear que tem radiação, alfa, beta e gama é armazenada nas varetas de combustível. A energia nuclear é usada para a fabricação da bomba nuclear, que ocorre quando a reação em cadeia não é controlada.
3 Alunos (4, 10 e 13)	Energia nuclear; energia térmica; energia elétrica; urânio; bomba atômica; enriquecimento do urânio; fissão nuclear; poluição; radiação; reação em cadeia.	A energia nuclear se transforma em energia térmica e depois em energia elétrica. Ela também é usada na bomba atômica que gera poluição (radiação). A fissão nuclear é a reação em cadeia sofrida pelo urânio enriquecido.
4 Alunos (2 e 7)	Energia nuclear; reator nuclear; reação em cadeia; urânio; bomba nuclear; prótons.	O reator nuclear utiliza a energia nuclear para produzir uma reação em cadeia quando um nêutron atinge o urânio. A energia nuclear pode ser usada para a bomba atômica quando atinge 90% de urânio 235.
5 Alunos (11 e 12)	Energia nuclear; núcleo do átomo; urânio; calor; radiação; partículas; reator nuclear.	O reator nuclear é uma central térmica nuclear, cuja fonte de calor vem do urânio 235, que tem excesso de energia e que pode ser liberada em forma de partículas (alfa e beta) e em forma de ondas eletromagnéticas (gama). A energia nuclear vem do núcleo do átomo, que é constituído de prótons e nêutrons.
6 Alunos (3 e 9)	Energia nuclear; energia térmica; prótons; núcleo do átomo; nêutrons; elétrons; reação em cadeia; fissão; vareta de boro; radioatividade; urânio; combustível nuclear.	A energia nuclear se transforma em energia térmica e pode vir do urânio (que é radioativo e chamado de combustível nuclear), que ao sofrer fissão provoca uma reação em cadeia. Essa reação pode ser controlada pelas varetas com boro, ou não controlada, dando origem à bomba atômica.

Os alunos da dupla 1 (mapa 1) explicitaram alguns invariante operatórios coerentes e que parecem apontar para modelos mentais de trabalho. Entretanto, alguns teoremas-em-ação incoerentes e desconexos, talvez provenientes de suas concepções espontâneas ou de uma aprendizagem mecânica, foram também explicitados “*O urânio vem das estrelas*” e “*O reator impede a saída de material das varetas combustíveis*”.

A segunda dupla (mapa 2) apresenta um mapa do tipo teia de aranha (Romero, 2007), onde o tema central é energia nuclear. A maioria dos invariantes operatórios aponta para modelos mentais de trabalho. Alguns, porém, demonstram falta de intimidade com os conceitos e também com a estratégia de mapas conceituais, a qual explicita os esquemas mentais elaborados pelos alunos para soluções problemáticas, como “*Energia nuclear precisa de urânio*”; “*Energia nuclear favorece o meio ambiente, que fica limpo*”; “*A energia nuclear tem a radiação (alfa, beta e gama), que impedem a sua saída através da varetas combustíveis*”.

A dupla 3 (mapa 3) apresentou um mapa conceitual confuso em que alguns conceitos estavam soltos, presumindo sua dificuldade em relacioná-los. Foi preciso pedir explicação dos alunos para a compreensão dos mesmos e para a inferência dos invariantes operatórios relacionados no quadro anterior.

Apesar de apresentar um mapa conceitual incompleto, a dupla 4 (mapa 4) consegue explicitar alguns esquemas ou invariâncias que apontam para modelos mentais de trabalho. Apresentam, mesmo que, de certa forma implicitamente, o modelo que dá conta de explicar a “bomba nuclear”.

Sabe-se que a quantidade de urânio-235 na natureza é muito pequena: para cada 1.000 átomos de urânio, 7 são de urânio-235 e 993 são de urânio-238 (a quantidade dos demais isótopos é desprezível). E, para que seja possível a ocorrência de uma reação de fissão nuclear em cadeia, é necessário haver quantidade suficiente de urânio-235, que é fissionado por nêutrons de qualquer energia. O urânio encontrado na natureza precisa, então, ser tratado industrialmente, com o objetivo de elevar a proporção (ou concentração) de urânio-235 para urânio-238, de 0,7% para 3,2%, processo chamado de enriquecimento do urânio. Contudo, se o grau de enriquecimento for muito alto

(acima de 90%), pode ocorrer uma reação em cadeia muito rápida, de difícil controle, passando a constituir-se em uma explosão: é a “bomba atômica”.

A dupla constituída pelas alunas 11 e 12, (mapa 5) conseguem demonstrar teoremas-em-ação que apontam para modelos de trabalho relativos à energia liberada por átomos de alta concentração (de energia), como o átomo de urânio 235.

Ao que parece, conceitos foram relacionados na tentativa explicitar que um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de carga, tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas. Porém não ficou explícito a idéia da radioatividade em relação à estabilidade nuclear, como era de se esperar para o caso de um átomo tão instável como o urânio.

Em discussões em sala de aula foi explicado aos alunos que um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia (que é o caso do átomo de urânio) é o da emissão de um grupo de partículas, constituídas por dois prótons e dois nêutrons (radiações ou partículas alfa) e da energia a elas associada. Sabe-se que essas partículas são na realidade núcleos de hélio (He), um gás chamado “nobre”, por não reagir quimicamente com os demais elementos. A outra forma de estabilização desses átomos, quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação a prótons, é através da emissão de uma partícula negativa, um elétron, com carga -1 (partícula beta negativa ou simplesmente partícula beta), resultante da conversão de um nêutron em um próton.

A última dupla (mapa 6), constituída pelos alunos 3 e 9, explicita teoremas-em-ação que podem refletir modelos de trabalho sobre o processo de transformação da energia nuclear em energia térmica por meio da fissão do núcleo de um átomo radioativo, o urânio.

Apesar de fazer uso do conceito radioatividade, também essa dupla não explicitou a idéia da radioatividade em relação à estabilidade nuclear do átomo instável: urânio.

## Quadro 26

Modelos mentais de trabalho sobre usina nuclear inferidos a partir dos invariantes operatórios relacionados na atividade final de elaboração de mapa conceitual.

Grupos	Modelos Mentais de Trabalho
--------	-----------------------------

1 Alunos (5 e 6)	O urânio é um átomo com altíssima energia e que atua como fonte de calor para aquecer a água e movimentar uma turbina, a qual gira um gerador e “produz” energia elétrica.
2 Alunos (1 e 8)	O átomo de urânio libera energia em forma de calor por meio da fissão nuclear que ocorre dentro do reator da usina, transformando energia nuclear em energia elétrica. A energia nuclear “que tem” radiação, alfa, beta e gama é armazenada nas varetas de combustível, e é usada para a fabricação da bomba nuclear, quando a reação em cadeia (fissão) não é controlada.
3 Alunos (3, 10 e 13)	A energia nuclear se transforma em energia térmica e depois em energia elétrica por meio da fissão nuclear, que é a reação em cadeia sofrida pelo urânio enriquecido. Ela também é usada na bomba atômica que gera poluição (radiação).
4 Alunos (2 e 7)	O reator nuclear utiliza a energia nuclear para produzir uma reação em cadeia quando um nêutron atinge o urânio. A energia nuclear pode ser usada para a bomba atômica quando atinge 90% de urânio 235.
5 Alunos (11 e 12)	O reator nuclear é uma central térmica nuclear, cuja fonte de calor vem do urânio 235, que tem excesso de energia e que pode ser liberada em forma de partículas (alfa e beta) e em forma de ondas eletromagnéticas (gama). A energia nuclear vem do núcleo do átomo, que é constituído de prótons e nêutrons.
6 Alunos (3 e 9)	A energia nuclear se transforma em energia térmica e pode vir do urânio (que é radioativo e chamado de combustível nuclear), que ao sofrer fissão provoca uma reação em cadeia. Essa reação pode ser controlada pelas varetas com boro, ou não controlada, dando origem à bomba atômica.

De maneira geral, pode-se perceber que todos os grupos conseguiram explicitar modelos de trabalho sobre o estudo de uma usina nuclear, entretanto a maioria desses modelos está arraigada à situação de ensino, apesar de terem sido discutidas outras aplicações.

Sobre este aspecto foi verificado certa limitação dos alunos à aplicabilidade do conhecimento adquirido tanto em sua área de atuação como em áreas discutidas como medicina, pesquisas e desenvolvimento tecnológico. Não foram explicitados modelos que dessem conta desse conteúdo.

Quanto a verificar o papel dos modelos mentais inferidos como instrumentos de metacognição nessa etapa, pode-se perceber algumas relações nos mapas conceituais que apontavam para isso. Em ambos os casos, os alunos conseguem explicitar idéias sobre a usina nuclear, sua função, características do elemento combustível etc., na última atividade. Esse fato não foi verificado na primeira atividade.

- Alunos 11 e 12

Primeira atividade - “*Não sei o que é um reator nuclear*”.

Quarta atividade - “*O reator nuclear é uma central térmica nuclear, cuja fonte de calor vem do urânio 235, que tem excesso de energia e que*

*pode ser liberada em forma de partículas (alfa e beta) e em forma de ondas eletromagnéticas (gama).”*

- Alunos 3 e 9

Primeira atividade (aluno 9) *“Reator nuclear é uma espécie de fábrica que produz energia nuclear”*; (aluno 3) *“Reator nuclear é onde armazenam os elementos radioativos”*.

Quarta atividade - *“A energia nuclear se transforma em energia térmica e pode vir do urânio (que é radioativo e chamado de combustível nuclear), que ao sofrer fissão provoca uma reação em cadeia. Essa reação pode ser controlada pelas varetas com boro, ou não controlada, dando origem à bomba atômica.”*

## Estudo da Usina Hidrelétrica

### Primeira Atividade

De forma semelhante ao estudo da usina nuclear, a primeira atividade para coleta de dados na abordagem sobre a hidrelétrica foi a leitura de texto (Apêndice), pseudo-organizador prévio (Moreira, 2008), o qual trouxe à tona a questão polêmica da construção e funcionamento da Hidrelétrica brasileira de Belo Monte-PA, seus impactos e desafios ao meio ambiente.

Após a leitura do texto os alunos teriam que responder a dez questões formais propostas, sendo que na última questão foram desafiados a estabelecerem relações entre os conceitos sugeridos.

As respostas consideradas relevantes para a inferência de possíveis invariantes conceituais serão a seguir explicitadas. Não foram inferidos modelos de trabalho sobre o conhecimento de uma hidrelétrica, por não considerar relevante a análise desse conhecimento para a explicitação de modelos mentais sobre energia nuclear.

Neste segundo bimestre, os alunos estudaram o funcionamento de uma Hidrelétrica e suas transformações de energia, e foram submetidos a quatro atividades avaliativas. Com já salientado, o estudo da hidrelétrica teve o objetivo de motivar o confronto das idéias para fins de aprendizagem sobre energia nuclear.

O quadro 27 relaciona alguns dos invariantes operatórios explicitados de suas respostas referente à primeira dessas atividades.

### **Quadro 27**

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade de pré-concepções sobre a energia hídrica.

Aluno	CONCEITO-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
1	Usina hidrelétrica; energia elétrica; turbina; ambiente; energia mecânica.	A usina hidrelétrica tem como objetivo a produção de energia elétrica, onde ocorre transformação da energia mecânica. A turbina é a principal ferramenta para a extração da energia elétrica. Ao se construir uma hidrelétrica todo o ambiente ao redor é transformado e danificado.
2	Usina hidrelétrica; equipamento; energia elétrica; água; turbina; ambiente; energia potencial; energia cinética; trabalho.	A usina hidrelétrica é um conjunto de equipamento que tem como objetivo produzir energia elétrica através da força hidráulica que existe no rio. Quanto mais água se utiliza, maior a quantidade de energia produzida. As turbinas são utilizadas para transformar a energia hidráulica, potencial e cinética, em trabalho.
3	Usina hidrelétrica; eletricidade; energia elétrica; turbina; dínamo; energia mecânica.	A usina hidrelétrica utiliza a força das águas e transforma em eletricidade, onde a água gira um dínamo, que acionam as turbinas e assim gera energia. As usinas hidrelétricas precisam ser construídas em rios que têm cachoeiras para se aproveitar a energia potencial das águas.
4	Usina hidrelétrica; meio ambiente; cachoeiras; inundação; energia elétrica; turbina; energia mecânica.	A usina hidrelétrica necessita de recursos hídricos para gerar energia elétrica. As turbinas são os eixos que giram para se “produzir” a energia elétrica. O meio ambiente é muito afetado com a construção da hidrelétrica. As usinas hidrelétricas precisam ser construídas em rios que têm cachoeiras, mas isso causa inundação no ambiente. A água da cachoeira tem energia potencial que gira a turbina e faz transformar em energia elétrica.
5	Usina hidrelétrica; meio ambiente; energia elétrica; turbina; energia mecânica; energia potencial; transformação.	A usina hidrelétrica é um local onde se gera energia elétrica através da água de um rio de grande extensão e onde há transformação de energia mecânica em elétrica. A turbina são “peças” da usina hidrelétrica que giram com a força da água para gerar energia. Toda a fauna e flora são afetados, causando um “distúrbio” no ecossistema.
6	Usina hidrelétrica; meio ambiente; cachoeiras; inundação; energia elétrica; turbina; energia mecânica	A usina hidrelétrica é uma fonte “geradora” de energia elétrica no qual seu principal combustível é a água para impulsionar as turbinas, transformando energia mecânica em energia elétrica. Quanto maior a quantidade de água em movimento, aumenta a velocidade das turbinas, gerando mais energia elétrica. As hidrelétricas causam inundações e danificam as áreas próximas, mas não degrada tanto a natureza.
7	Usina hidrelétrica; energia; turbina.	A usina hidrelétrica é uma fonte de energia e sua utilidade é gerar energia. As turbinas fazem parte das hidrelétricas.



8	Usina hidrelétrica; água; eletricidade; meio ambiente; energia elétrica; turbina; energia mecânica; energia potencial; transformação.	A usina hidrelétrica depende da água para o seu funcionamento, pois através dessa força movimenta as turbinas que geram eletricidade. As turbinas são as principais ferramentas responsáveis pela transformação da energia cinética em elétrica. O ambiente é totalmente afetado pela construção de uma hidrelétrica, causando inundações de terras ao redor, perdendo flora e fauna.
9	Usina hidrelétrica; meio ambiente; cachoeiras; inundação; energia elétrica; turbina; energia mecânica.	A usina hidrelétrica é uma usina de “produção” de energia elétrica, pois transforma energia potencial em energia elétrica. O ambiente fica inundado com a construção da hidrelétrica.
11	Usina hidrelétrica; inundação; rios e matas; energia elétrica; turbina; energia mecânica; energia potencial; transformador.	A usina hidrelétrica é útil para gerar energia elétrica através da água que é movimentada por uma turbina. A turbina é uma grande máquina onde a água passa e “vira” energia elétrica. O meio ambiente é muito afetado com a construção da hidrelétrica, pois acaba com o solo, a mata, os animais e tudo ao redor.
12	Energia mecânica; usina hidrelétrica; inundação; energia elétrica; turbina; energia potencial.	A usina hidrelétrica é uma instalação que transforma energia hidráulica em energia elétrica. A turbina é um tipo de equipamento utilizado para a transformação dessa energia. As usinas danificam o meio ambiente quando construídas, pois causam inundações e contribui para o efeito estufa.
13	Usina hidrelétrica; energia elétrica; turbina.	As hidrelétricas são usinas que geram energia elétrica com a força da água. As turbinas são equipamentos que geram força, por isso são usadas nas usinas e também em aviões. O meio ambiente é muito afetado com a construção da hidrelétrica, pois acaba com toda a natureza.

#### Quarta Atividade

A atividade final para o estudo da hidrelétrica foi a elaboração de um texto-resenha sobre os conceitos estudados nas aulas e após a leitura dos artigos Rosa (2007) e Carvalho (2008). Os alunos tiveram duas semanas para lerem os artigos e escreverem um pequeno texto sobre suas concepções acerca da viabilidade de se investir em hidrelétricas ou em usinas nucleares. Foram orientados pela professora que a resumirem as idéias principais do texto. Ao final, escrever em, pelo menos, um parágrafo com sua opinião sobre o Porquê de se investir em cada uma das usinas, e apontar qual das duas opções escolheria para investimento brasileiro. Foi a primeira oportunidade que os alunos tiveram para se posicionarem a respeito do assunto.

Esperava-se que a maioria dos alunos conseguisse explicitar modelos sobre ambas as usinas, uma vez que durante as discussões em sala de aula o faziam com certo desprendimento. Contudo, após a análise dos textos produzidos, viu-se, por um lado, que quase a totalidade dos alunos se posicionou de maneira geral, sem entrar em detalhes sobre, por exemplo, o funcionamento, as conseqüências, o processo de transformação de energia. Por outro lado, o texto produzido pela maioria mostrou o posicionamento dos alunos sobre esse assunto tão polêmico.

Apesar de, nessa oportunidade não terem clareza suficiente para ao se posicionarem sobre o assunto, explicitarem seus modelos mentais sobre os conceitos trabalhados na transformação da energia ou no funcionamento dos mecanismos elétricos da usina (motores, geradores, turbinas etc), os alunos “ganharam voz” para emitir sua opinião sobre o assunto. Isso pode ser percebido pelos invariantes inferidos do texto de cada aluno.

Percebeu-se após conversa com os alunos sobre o porquê do frágil posicionamento acerca dos referidos tópicos, muitos deles declararam que, para se emitir opinião sobre a viabilidade de investimento em uma das usinas, entenderam não ser necessário abordar assuntos referente à transformação da energia, mas sim, assuntos referente a custo e benefício. Outros, declararam não querer fugir do assunto do texto e, outros ainda, disseram ficar inseguros para “criar” ou acrescentar idéias ao texto. Percebeu-se com essas declarações e também após a leitura dos textos, que os alunos ainda estão arraigados às idéias do texto, artigo, livro que lêem. Não conseguem, talvez pelo ensino apenas do tipo “transmissão de conhecimento”, participar ou mesmo valorizar suas idéias. Ficando inseguros para expressar o que pensam e o que aprenderam.

Na verdade, como salientado em pesquisas da área cognitiva, como por exemplo, Greca e Moreira (2003), chega-se a percepção de que os alunos na maioria das vezes conseguem resolver, solucionar ou até falar sobre um problema, mas muitas vezes não sabem explicar o que significa, ou para que serve aquilo, ou ainda, onde inserir o conhecimento adquirido à prática diária ou a uma situação problemática cotidiana. Por vezes ficam inseguros em fazê-lo.

Sobre esse assunto, tem-se a percepção de que o fator emocional exerce um “peso” considerável no momento da decisão de se “expor” ou de explicitar seu conhecimento. Uma vez que conseguem fazê-lo verbalmente, quando questionados pela docente. Outro fator talvez relevante fosse o fato de não estarem “acostumados” com a escrita. Se não têm muito tempo para estudar ou ler, suas idéias não serão facilmente expressáveis.

O quadro 28 relaciona alguns dos invariantes operatórios explicitados nas respostas dos alunos referente esta atividade.

### Quadro 28

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade de elaboração de texto sobre a hidrelétrica.

Aluno	CONCEITO-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
1	Gasto; construção e manutenção de hidrelétricas; usinas nucleares; ecossistema favorável.	Olhando para o custo benefício, pode-se gastar bem menos em construção e manutenção de hidrelétricas, produzindo muito mais energia do que nas usinas nucleares. Como o ecossistema brasileiro está repleto de rios e cachoeiras, é mais favorável a construção de hidrelétricas.
2	Esse aluno não conseguiu explicitar teoremas relevantes sobre o assunto. Seu texto mostrou estar arraigado às idéias dos autores, sem exposição de suas próprias concepções. Uma possível tentativa de se posicionar pode ser percebida no trecho: <i>“É necessário que o governo tome bastante providência em relação ao futuro de nosso país, priorizando recursos que oferecemos para que tenham um bom aproveitamento ao invés de buscar recursos em outros países.”</i>	
4	Gastos; recursos hídricos; equipamentos e pessoal; potencial hidrelétrico dos rios; impactos ambientais.	São fatores fundamentais para a construção de hidrelétricas, os gastos para a implantação, equipamentos e pessoal, os recursos hídricos, ou seja, o aproveitamento do potencial hidrelétrico do rio, e finalmente os impactos ambientais que podem causar.
5	Essa aluna também não consegue se posicionar sobre o tema ou explicitar teoremas relevantes sobre o assunto. Apesar de demonstrar que consegue explicitar as idéias principais do texto em poucas palavras, não se motivou a expressar seu conhecimento sobre o assunto. Em especial, essa aluna teve certa dificuldade em se adequar ao ritmo das atividades no sentido de que sempre queria terminar rapidamente a tarefa. Dizia não ter muito mais o que falar. Procurava ser breve e direta em suas respostas, apesar de constantemente incentivada pela docente para expor suas idéias de forma mais detalhada. A esse respeito, foi solicitado que fizesse dupla com outro aluno, nas atividades pertinentes, para fins de maior envolvimento e motivação para a explicitação. O que surtiu bons resultados nas respostas explicitadas às atividades finais.	
6	Usina nuclear; impacto ambiental; lucro e vantagem; hidrelétricas; energia elétrica; estudo; investimento.	Uma usina nuclear ocupa um espaço e causa um impacto ambiental menor do que a hidrelétrica. Devido aos rios brasileiros é mais lucrativo e vantajoso a construção de hidrelétricas. As hidrelétricas produzem mais energia elétrica e os lucros são maiores. É necessário que se faça um estudo minucioso para se investir em qualquer uma das duas.

7	Essa aluna teve muita dificuldade de se motivar tanto ao estudo como à realização das tarefas. Não consegue se posicionar em seu texto elaborado sobre o tema ou explicitar teoremas relevantes sobre o assunto.	
8	Hidrelétricas; lucrativo; geração de energia; vida útil; investimento; água; usinas nucleares.	As hidrelétricas são as melhores e mais lucrativas na geração de energia em relação ao retorno do que foi investido e no seu tempo de vida útil. Podem continuar operando sem maiores investimento depois de muito tempo e ainda continuar dando lucro. As hidrelétricas necessitam apenas de água para a geração de energia e seu investimento é bem menor do que as usinas nucleares.
9	Esse aluno teve muita dificuldade de se motivar tanto ao estudo como à realização das tarefas. Não consegue se posicionar em seu texto elaborado sobre o tema ou explicitar teoremas relevantes sobre o assunto.	
11	Hidrelétricas; manutenção; produção anual; vida útil; energia; usina nuclear; investimento brasileiro.	As hidrelétricas têm sua manutenção mais barata e sua produção anual é o triplo da usina nuclear, por isso as hidrelétricas são mais adequadas para o investimento brasileiro.
12	Custo; hidrelétricas; usinas nucleares; despesas; meio ambiente; vida animal; vida humana; recursos da região.	O custo para se construírem hidrelétricas é menor do que usinas nucleares, sob todos os aspectos: despesas de operação, seguros, despesas de pessoas, impostos, salários, encargos trabalhistas. Para se investir na construção das hidrelétricas é necessário se preocupar com o meio ambiente e pensar na vida animal e para os seres humanos que habitam e necessitam dos recursos gerados na região, como os índios.
13	Rentabilidade; hidrelétricas; usinas nucleares; "geração de energia"; amortização; enriquecimento do urânio; investimento; dano ao ambiente; material combustível.	É mais rentável o investimento nas hidrelétricas do que nas usinas nucleares, pois as primeiras continuam "gerando" energia após amortização do valor investido. Como na usina nuclear seu principal combustível é o urânio, um material apesar de encontrado na natureza, necessita de ser tratado e enriquecido, o preço da "geração" de energia nas usinas nucleares fica maior do que nas hidrelétricas. A hidrelétrica é a melhor opção para o investimento brasileiro apesar do grande impacto causado no meio ambiente. A usina nuclear pode causar um dano maior para o ambiente e muito mais para o ser humano, no caso de vazamento do material combustível.

Acerca dos invariantes operatórios explicitados nos textos elaborados a fim de serem refletidos os conhecimentos adquiridos no estudo de ambas as usinas, pode-se verificar que a maioria dos teoremas-em-ação apontava para modelos de trabalho mais gerais, relacionados a custos, benefícios, vantagens e desvantagens.

Apesar de solicitados a emitirem sua opinião, utilizando para isso os conceitos e o conhecimento abordado em sala de aula no estudo de ambas as usinas, os alunos parecem não conseguir explicitar modelos de trabalho que

apontem para uma aprendizagem metacognitiva. Não conseguiram se dar conta de que poderiam utilizar os conceitos já assimilados (explicitados em atividades anteriores) em suas respostas e argumentações. Ou seja, suas respostas não apresentam características de estratégias de aprendizagem autorreguladora (CAMPANARIO, 1998).

Como já salientado, talvez possa creditar-se parte desse fato ao contexto de exclusão nos aspectos de ensino e até sócio-econômico a qual são submetidos os alunos do PROEJA. Não motivados a criar ou opinar sobre assuntos estudados, os alunos tendem a repetir o que lhes é ensinado em sala de aula nas atividades específicas. Não dominam a “técnica” da explicitação de suas idéias em contextos diferenciados, como foi o caso desta atividade.

Nesta técnica, teriam que aplicar seu conhecimento adquirido por meio da exposição de sua opinião acerca de um assunto geral. Contudo, ficaram “presos” às idéias do texto e de certa forma bloquearam a explicitação de seus modelos para esse contexto. O que, de certa forma, demonstra satisfação com o poder explicativo de suas idéias prévias, apesar de que a informação que receberam da professora e do texto discutido as contradizerem (ibid, 1998).

O presente argumento ganha força ao serem analisadas as atividades finais deste ciclo e se perceber que a motivação da professora, após observar as “tímidas” explicitações dos alunos, resultou na explicitação, por parte dos alunos, de modelos mentais mais elaborados e coerentes.

Pela análise dos invariantes inferidos e apresentados no quadro anterior, verifica-se que o aluno 13 consegue explicitar alguns modelos de trabalho que direcionam para uma aprendizagem metacognitiva, tanto sobre a energia nuclear, como sobre a transformação desta energia numa usina. A referência do gasto com o urânio aponta para isso. Dá a idéia de que o aluno tem a percepção do “Como” e do “Porque” se utilizar esse material para a “geração” de energia. Destacam-se alguns modelos mentais de trabalho sobre a energia nuclear, como a seguir:

*“O urânio é um material combustível para a transformação de energia.”*

*“O urânio precisa ser enriquecido (tratado) para ser utilizado como “fonte” de energia.”*

*“O urânio (por ser radioativo) pode matar e causar danos ao meio ambiente.”*

Atividades Finais do estudo: Usina Nuclear x Hidrelétrica → Energia Nuclear

Nesse ponto da pesquisa os alunos já tinham realizado a leitura de textos, respondido questões associadas ao conteúdo abordado nos dois bimestres, e finalmente, produzido uma resenha final que tratou das vantagens e desvantagens para se investir em usinas nuclear e/ou hidrelétrica.

Caminhando para as últimas situações de ensino-aprendizagem os alunos foram submetidos a duas avaliações da aprendizagem sobre energia nuclear. Em cada uma delas objetivou-se verificar tanto a aprendizagem conceitual como indícios de metacognição nos modelos mentais explicitados.

#### Primeira atividade final

Na primeira atividade avaliativa, foi solicitado aos alunos que elaborassem um mapa conceitual final sobre energia nuclear, utilizando para isso todos os conceitos que lhes viessem a mente, isto é, os conceitos assimilados durante as aulas expositivas, leituras, pesquisas e discussões em sala de aula.

Esta atividade foi realizada em dois dias de aula. No primeiro encontro, cada aluno teria que elaborar um mapa conceitual sobre energia nuclear tentando responder, por meio das relações conceituais a três perguntas levantadas:

- O que é energia nuclear?
- Para que serve a energia nuclear numa usina nuclear?
- Quais processos são realizados para a utilização da energia nuclear na transformação da energia elétrica?

O segundo encontro se deu na aula seguinte e foi dividido em quatro fases:

*1ª fase:* organização do material: foram distribuídas folhas de cartolina e pedaços de papéis em branco com formas variadas (figuras retangulares,

quadradas, triangulares, etc), para que os alunos escrevessem os conceitos que seriam relacionados em seu novo mapa conceitual.

*2ª fase:* Organização das idéias e construção do mapa: cada conceito seria colado na cartolina e relacionado em um mapa conceitual elaborado por dupla de alunos.

*3ª fase:* Apresentação do mapa feito: cada dupla teria que apresentar seu mapa conceitual para o grupo. A apresentação do mapa feito objetivava demonstrar as inconsistências do mapa anterior, observadas pelos alunos durante sua exposição e também pelo grupo que assistia.

*4ª fase:* Percepção de inconsistências e evolução dos modelos: os alunos seriam questionados quanto a percepção da evolução de seus modelos quando comparados seus mapas de antes e depois.

Apesar de fazer parte da estratégia de motivação à explicitação de modelos, o estudo da usina hidrelétrica, foi utilizado apenas como motivadora à comparação, a diversificação e a abrangência do tema energia, para se especificar o tema energia nuclear. A intenção desde o início do trabalho, sempre foi que os alunos aprendessem significativamente o que era a energia nuclear, de onde ela vem, para que serve, como identificá-la etc.

Cada aluno teve a oportunidade de apresentar seu mapa conceitual elaborado, no final da aula. Destaca-se aqui o fato de que alguns alunos não quiseram apresentar seu mapa na frente da turma, solicitando a ajuda da professora para fazer em seu nome.

A fim de não causar constrangimento, nem desmotivação à aprendizagem, a solicitação foi atendida. Contudo, durante a tentativa de apresentar o mapa do aluno, a professora buscava incentivar o mesmo a concordar ou a discordar com sua fala. Nesse momento, percebeu-se que os alunos respondiam e até se sentiam motivados a terminar a apresentação no lugar da docente. Outros alunos corrigiam a professora quando tentava explicar a relação conceitual sob “sua visão”, a qual divergia do que o aluno tentou explicitar na ligação. A apresentação dos mapas conceituais motivou cada aluno e também todo o grupo à percepção de erros e a sugestão de correções nos mapas elaborados.

O quadro 29 descreve as invariâncias operatórias percebidas nos mapas conceituais elaborados e apresentados pelos grupos de alunos.

## Quadro 29

Invariantes operatórios inferidos das respostas dos alunos à atividade final de elaboração de mapa conceitual sobre energia nuclear.

Grupo	CONCEITO-EM-AÇÃO	TEOREMA-EM-AÇÃO
1 Alunos (4 e 9) Mapa 1	Energia nuclear; energia suja; átomo; urânio; prótons e nêutrons; urânio 235, 238; radiação; varetas de boro; fissão nuclear; calor; vapor; turbina; gerador; energia elétrica.	A energia nuclear é uma energia suja, pois emite radiação poluindo o meio ambiente, mas pode ser controlada por meio das “varetas” de boro. A energia nuclear é encontrada no núcleo do átomo, como o urânio 235 ou 238. O núcleo do átomo é constituído de prótons e nêutrons. O átomo pode ser dividido por meio da fissão nuclear, gerando calor que movimenta a turbina de uma usina, transformando energia mecânica em energia elétrica com o acionamento de um gerador.
2 Alunos (2 e 5) Mapa 2	Energia nuclear; usina nuclear; reação nuclear; núcleos atômicos; átomo; urânio 235, 236, 238; isótopo; prótons; elétrons; nêutrons; núcleo; fissão nuclear; reator; desvantagens; vantagens; bomba atômica; lixo tóxico; poluição; câncer; meio ambiente; turbinas; energia cinética; água; vapor; energia térmica; energia elétrica.	A energia nuclear é liberada por meio da fissão do núcleo de átomos como o urânio, onde um nêutron colide com um núcleo e divide o mesmo em outros dois outros núcleos. A fissão nuclear ocorre dentro de um reator nuclear, onde o vapor faz girar as turbinas, transformando energia térmica em energia elétrica.
3 Alunos (6 e 7) Mapa 3	Energia nuclear; radioatividade; paletas; reator; urânio 235; átomos; prótons; nêutrons; fissão; calor; energia térmica; água; vapor; turbina; gerador; energia elétrica.	A energia nuclear libera radioatividade, que pode ser controlada dentro de um reator nuclear, pelas “paletas” de combustível. O urânio 235, no processo de fissão, libera calor vaporizado pela água aquecida, o qual movimenta uma turbina e gira um gerador, transformando energia térmica em elétrica.
4 Alunos (10 e 13) Mapa 4	Energia nuclear; calor; fissão; núcleo do átomo; urânio; reator nuclear; vapor; turbinas; energia elétrica; consumidores.	A energia nuclear “produz” calor por meio da fissão do átomo urânio que gera uma reação em cadeia dentro de um reator nuclear. Essa reação gera calor que ao ser resfriado movimenta as turbinas, convertendo energia térmica em elétrica e abastecendo os consumidores.
5 Alunos (11 e 12) Mapa 5	Energia nuclear; energia limpa; ambiente; urânio 235, 238; isótopos; átomo; fissão; núcleo; átomo pesado; energia térmica; vapor; turbinas; energia elétrica; torre de transmissão.	A energia nuclear é considerada limpa, pois não polui o meio ambiente. A energia nuclear pode ser “encontrada” em átomos “pesados” como o átomo de urânio 235 e 238, que são isótopos. O núcleo do urânio pode ser dividido pelo processo de fissão, “gerando” grande energia térmica, que aciona turbinas, “geram” energia elétrica que abastecem torres de transmissão.
6 Alunos (1 e 8) Mapa 6	Energia nuclear; átomos; prótons; nêutrons; núcleo; calor; urânio 235, 238; isótopos; combustível; reator nuclear; reação em cadeia; meio ambiente; poluição;	A energia nuclear é encontrada no núcleo de átomos, onde estão os prótons e nêutrons. Pode-se quebrar o núcleo do átomo e aproveitar a energia liberada para a transformação em energia elétrica. O aproveitamento da energia nuclear do átomo de urânio, que tem isótopos 235 e 238, é feito dentro



	hidrelétricas; elementos radioativos; radiação alfa e beta; boro.	radiação; radioativos; de um reator nuclear por meio de uma reação em cadeia em varetas. A reação em cadeia pode ser controlada com o elemento boro. Elementos radioativos podem liberar radiação alfa e beta. A energia nuclear gerada nas usinas nucleares não afetam diretamente o meio ambiente, e não trazem poluição e desmatamento como as hidrelétricas.
--	---	--

Pelo quadro anterior, percebeu-se que a dupla 2 (mapa 2) final relaciona incorretamente os conceitos *“fissão nuclear-acontece” no-reator-que gera-energia cinética-que movimenta a água*, na tentativa de explicitar o funcionamento e transformação da energia nuclear em energia térmica, pelo resfriamento e vaporização da água que aciona a turbina. Contudo, percebem-se indícios de modelos mentais de trabalho na compreensão do processo de transformação, uma vez que parecem estruturalmente análogos ao processo.

Para Moreira (1996), os modelos mentais de trabalho, embora sejam incompletos e não representem diretamente a realidade, são estruturas análogas aos processos que acontecem no mundo exterior. Fica evidente, por um lado, que tais modelos não podem ser considerados modelos mentais, por não estabelecerem relação direta com os modelos conceituais ensinados, mas por outro lado, podem ser encarados como modelos incompletos, que apontam para uma evolução.

A dupla 5, (mapa 5) final ao que parece, apresenta modelos mentais frágeis sobre energia nuclear. Os teoremas-em-ação: *“O núcleo do urânio pode ser dividido pelo processo de fissão, “gerando” grande energia térmica, que aciona turbinas, “geram” energia elétrica que abastecem torres de transmissão”*, parecem também apontar para um modelo mental metacognitivo incompleto, mas em processo de evolução. Pois relacionam a energia nuclear “retirada” do núcleo de urânio pelo processo da fissão, com a transformação dessa energia em energia elétrica. Fica expressada aí uma “relação cognitiva” (mesmo que sem a clareza suficiente) entre o estudo das usinas nucleares e a aprendizagem sobre energia nuclear.

A última dupla (mapa 6) final consegue estabelecer relações conceituais que demonstram a evolução de seus modelos mentais sobre a energia nuclear: *“O aproveitamento da energia nuclear do átomo de urânio, que tem isótopos*

235 e 238, é feito dentro de um reator nuclear por meio de uma reação em cadeia em varetas.” Outras demonstram modelos mentais sobre átomos radioativos: *Elementos radioativos podem liberar radiação alfa e beta.*

Algumas relações dessa dupla também apresentam indícios de uma aprendizagem metacognitiva: *“A energia nuclear gerada nas usinas nucleares não afetam diretamente o meio ambiente, e não trazem poluição e desmatamento como as hidrelétricas.”*

## **5.5 - Análise dos modelos mentais e os indícios de metacognição**

### Segunda atividade final

Esta atividade foi constituída de sete questões que trataram do conhecimento acerca das usinas e especificamente, do processo de aproveitamento, transformação relacionado à energia nuclear.

Foram relacionadas algumas categorias de modelos mentais, inferidas pelas respostas dos alunos, nesta atividade de avaliação.

### Modelo mental sobre átomos radioativos

- O urânio é um átomo radioativo que possui alta energia devido ao grande número de prótons em seu núcleo.
- Os átomos radioativos são usados para “produção” de energia nuclear por terem grande massa atômica, logo, possuem grande energia.
- Átomos radioativos tendem a estabilizar-se liberando radiação em forma de partículas alfa, beta e gama.
- Átomos radioativos como o urânio podem ter isótopos.

### Modelo mental sobre concentração energética nos átomos

- A energia dos átomos está concentrada em seu núcleo e baseada no número de prótons e nêutrons existentes.

### Modelo mental sobre aproveitamento da energia nuclear

- A energia nuclear de átomos muito energéticos pode ser aproveitada por meio do processo de fissão nuclear.
- Na fissão nuclear do urânio ocorre uma reação em cadeia, pois cada núcleo dividido emite nêutrons que colidirão com novos átomos.

- A energia nuclear é a energia de ligação do núcleo, onde estão os prótons, nêutrons.
  - Na fissão do núcleo de um átomo “pesado”, como o núcleo do urânio, é “gerada” uma enorme quantidade de energia térmica.

#### Modelo mental sobre constituição da matéria

- Os átomos são constituídos de prótons, nêutrons e elétrons.
- No núcleo dos átomos estão os prótons e nêutrons.
- A soma de prótons e nêutrons resulta no valor da massa atômica do átomo.
- Isótopos são átomos com mesmo número de prótons.

Do ponto de vista da teoria dos modelos mentais, Borges (1998) afirma que a compreensão de um dado aspecto da realidade, ocorre quando se verifica acordo entre o modelo construído para explicá-lo e a parte modelada. Dessa forma, a habilidade em dar explicações, está intimamente relacionada com a compreensão daquilo que é explicado e, para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, é preciso ter um modelo funcional dele.

O quadro 30 relaciona resumidamente alguns dos modelos mentais de cada aluno, ao tentar explicar o que sabe sobre energia nuclear, no decorrer do curso. Os modelos foram relacionados, obedecendo a ordem em que foram aplicadas as atividades avaliativas, para que se possa perceber a evolução conceitual na aprendizagem do tema.

### **Quadro 30**

Resumo da evolução dos modelos mentais dos alunos do PROEJA sobre energia nuclear.

Aluno 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia nuclear é encontrada no núcleo de átomos.</li> <li>• O núcleo dos átomos é formado de prótons e nêutrons.</li> <li>• Pode-se quebrar o núcleo do átomo e aproveitar a energia liberada para a transformação em energia elétrica.</li> <li>• O aproveitamento da energia nuclear do átomo de urânio, que tem isótopos 235 e 238, é feito dentro de um reator nuclear por meio de uma reação em cadeia.</li> <li>• A reação em cadeia pode ser controlada com o elemento boro.</li> <li>• Elementos radioativos podem liberar radiação alfa e beta.</li> <li>• A energia nuclear gerada na usina nuclear não afeta diretamente o meio ambiente, e não trazem poluição e desmatamento como as hidrelétricas.</li> </ul>
---------	---

Aluno 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia nuclear pode ser usada para a bomba atômica</li> <li>• A energia nuclear é liberada por meio da fissão do núcleo de átomos, como o urânio.</li> <li>• O reator nuclear utiliza a energia nuclear por meio da fissão do núcleo do urânio.</li> <li>• Na fissão nuclear, um nêutron colide com um núcleo e divide o mesmo em outros dois outros núcleos.</li> <li>• Na usina nuclear, as turbinas giram com o vapor de água e transformando energia térmica em energia elétrica.</li> </ul>
Aluno 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A matéria é formada de átomos com diferentes números de elétrons, prótons e nêutrons.</li> <li>• O átomo de urânio é radioativo.</li> <li>• A energia nuclear vem de átomos radioativos.</li> <li>• A energia nuclear se transforma em energia térmica pelo processo de fissão nuclear.</li> <li>• A fissão provoca uma reação em cadeia controlada por varetas com boro.</li> <li>• Quando a reação em cadeia não é controlada tem-se a bomba atômica.</li> </ul>
Aluno 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia nuclear é uma energia suja, pois emite radiação poluindo o meio ambiente.</li> <li>• A energia nuclear é encontrada no núcleo do átomo.</li> <li>• O núcleo do átomo é constituído de prótons e nêutrons.</li> <li>• O átomo (núcleo) pode ser dividido por meio da fissão nuclear.</li> <li>• A fissão nuclear é a reação em cadeia sofrida pelo urânio enriquecido.</li> <li>• A fissão nuclear gera calor que movimenta a turbina de uma usina, transformando energia mecânica em energia elétrica com o acionamento de um gerador.</li> <li>• A energia nuclear se transforma em energia térmica e depois em energia elétrica.</li> </ul>
Aluno 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os corpos são formados e diferenciados pela quantidade de átomos que possuem.</li> <li>• O urânio é um átomo com altíssima energia.</li> <li>• A energia nuclear é liberada por meio da fissão do núcleo de átomos como o urânio.</li> <li>• A fissão nuclear ocorre dentro de um reator de uma usina nuclear, onde um nêutron colide com um núcleo e divide o mesmo em outros dois outros núcleos.</li> <li>• As usinas nucleares servem para gerar energia elétrica e também desenvolvem pesquisas em outras áreas.</li> </ul>
Aluno 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia nuclear é a energia “tirada” do núcleo do átomo.</li> <li>• O urânio é um átomo com altíssima energia.</li> <li>• A energia nuclear libera radioatividade (radiação).</li> <li>• Radiação é uma energia que pode matar o ser humano.</li> <li>• Reatores nucleares transformam a energia nuclear em energia elétrica.</li> <li>• A fissão do urânio no reator nuclear libera calor que é vaporizado e movimenta uma turbina, que gira um gerador e transforma energia térmica em elétrica.</li> </ul>
Aluno 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia nuclear vem do núcleo dos átomos.</li> <li>• A energia nuclear libera radioatividade.</li> <li>• Uma reação em cadeia (fissão nuclear) ocorre quando um nêutron atinge o átomo (núcleo) de urânio dentro de um reator nuclear.</li> <li>• A fissão libera calor que é vaporizado e movimenta uma turbina, que gira um gerador e transforma energia térmica em elétrica.</li> </ul>
Aluno 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia nuclear é encontrada no núcleo de átomos, onde estão os prótons e nêutrons.</li> <li>• Pode-se quebrar o núcleo do átomo e aproveitar a energia liberada para a transformação em energia elétrica.</li> <li>• O átomo de urânio libera energia em forma de calor por meio da fissão</li> </ul>

	<p>nuclear.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A fissão nuclear ocorre dentro do reator da usina, transformando energia nuclear em energia elétrica.</li> <li>• A reação em cadeia pode ser controlada com o elemento boro.</li> <li>• A energia nuclear gerada nas usinas nucleares não afetam diretamente o meio ambiente.</li> </ul>
Aluno 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A matéria é formada por um conjunto de átomos.</li> <li>• O núcleo do átomo é constituído de prótons e nêutrons.</li> <li>• A energia nuclear é encontrada no núcleo do átomo, como o urânio.</li> <li>• O átomo pode ser dividido por meio da fissão nuclear.</li> <li>• Um reator nuclear é uma (espécie) de fábrica que “produz” energia nuclear.</li> <li>• A fissão nuclear produz calor que movimentam a turbina de uma usina, transformando energia mecânica em energia elétrica.</li> </ul>
Aluno 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A matéria é formada por diferentes tipos de átomos.</li> <li>• A energia nuclear é uma forma de energia da matéria.</li> <li>• A energia nuclear se transforma em energia térmica e depois em energia elétrica por meio da fissão nuclear.</li> <li>• A fissão nuclear é a reação em cadeia sofrida pelo urânio enriquecido.</li> <li>• A energia nuclear é usada na bomba atômica que emite radiação.</li> </ul>
Aluno 11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A matéria é formada por um conjunto de átomos.</li> <li>• Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons.</li> <li>• A energia nuclear pode ser “encontrada” em átomos “pesados” como o átomo de urânio.</li> <li>• O núcleo do urânio pode ser dividido pelo processo de fissão.</li> <li>• A fissão nuclear “gera” grande energia térmica, que acionam turbinas e “geram” energia elétrica.</li> <li>• A energia nuclear é considerada limpa, pois não polui o meio ambiente.</li> </ul>
Aluno 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A matéria é formada por um conjunto de átomos.</li> <li>• Os átomos são formados por prótons, nêutrons e elétrons.</li> <li>• A energia nuclear pode ser “encontrada” em átomos “pesados” como o átomo de urânio.</li> <li>• O núcleo do urânio pode ser dividido pelo processo de fissão.</li> <li>• A fissão nuclear “gera” grande energia térmica, que acionam turbinas e “geram” energia elétrica.</li> <li>• A energia nuclear é considerada limpa, pois não polui o meio ambiente.</li> </ul>
Aluno 13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A energia nuclear se transforma em energia térmica e depois em energia elétrica por meio da fissão nuclear.</li> <li>• A fissão nuclear é a reação em cadeia sofrida pelo urânio enriquecido.</li> </ul>

Como a atividade final também teve como objetivo motivar a elaboração de modelos mentais para se verificarem possíveis indícios de uma aprendizagem metacognitiva, serão a seguir descritas algumas questões, com a respectiva resposta do aluno, a fim de explicitar essa característica.

Para Campanario (1998), é possível planejar uma avaliação que oportunize a aprendizagem e uma ocasião para que o aluno demonstre destrezas de autorregulação metacognitiva. Os alunos que utilizam estratégias de autorregulação, consideram a aquisição do conhecimento como um processo sistemático e controlável. Por vezes, motivam-se a buscarem a informação relevante para a aprendizagem.

A fim de se motivar a metacognição, e baseando nas idéias sugeridas de Campanario (1998) foram desenvolvidas questões do tipo análise de situações (itens 1e 3 - Avaliação) e correção ou comentário de interpretações (item 4 - Avaliação).

No item 1 dessa atividade (Atividade 2- Avaliação Final), foi solicitado que os alunos tentassem explicar com suas palavras o que representava a figura. Esperava-se que os alunos analisassem a situação e conseguissem em sua resposta explicitar modelos mentais sobre a fissão do núcleo do átomo de urânio, onde um nêutron colide com esse núcleo atômico dividindo-o e produzindo novos nêutrons e novas colisões. A série de colisões promove uma reação em cadeia chamada fissão nuclear.

**Aluno 8** (resposta)

*“Está acontecendo uma fissão nuclear, onde um “neutro” atinge um átomo de urânio 235, que se divide em dois menores, liberando calor e que “consequentemente” provocam a fissão de outros átomos, acontecendo assim uma reação em cadeia que vai ocasionando sucessivas divisões sem controle”.*

Modelo mental inferido: A fissão nuclear é o processo onde um nêutron divide um átomo de urânio, provocando uma reação em cadeia e liberando uma grande quantidade de calor.

O modelo mental sugere traços de metacognição, no momento em que o aluno ao explicar a fissão nuclear, faz uso de seus conhecimentos sobre a usina nuclear (liberação de calor) e, talvez tenha tentado destacar a produção de uma bomba atômica (divisões sem controle).

**Aluno 10** (resposta)

*“O fenômeno ao lado é denominado fissão nuclear, que consiste na divisão de um núcleo pesado em dois menores quando este é atingido por um nêutron, esse fenômeno provoca a liberação de energia do núcleo do átomo em forma de calor, porém os nêutrons produzidos na fissão de um átomo podem provocar a fissão de outros átomos gerando assim uma reação em cadeia, um excesso de liberação de energia, o que causaria uma enorme explosão”.*

Modelo mental inferido: A fissão nuclear é o processo onde um nêutron divide um núcleo “pesado”, provocando uma reação em cadeia que pode ser controlada, e liberando uma grande quantidade de calor.

O modelo mental também sugere traços de metacognição no momento em que o aluno ao explicar a fissão nuclear faz uso de seus conhecimentos sobre a usina nuclear (liberação de energia) e destaca a produção de uma bomba atômica (o que causaria uma enorme explosão).

Em ambos os casos, os alunos conseguem se dar conta de seus conhecimentos anteriores e utilizá-los para fundamentar sua explicação do fenômeno.

No item 4, foi pedido aos alunos que opinassem acerca de dois argumentos que apresentavam vantagens e desvantagens das usinas nucleares. Esperava-se identificar progressos ou erros conceituais dos alunos por meio do comentário às interpretações enunciadas, isto em modelos mentais inferidos das respostas dadas perceber traços de metacognição.

#### **Aluno 1**

*“Pra mim os dois argumentos são válidos, porque a usina nuclear é uma energia limpa, mas seu custo é bem elevado, se comparado a outras fontes de energia...mas, sua pior desvantagem é um acidente nuclear, que pode colocar um país todo em perigo.”*

Modelo mental inferido: Uma vantagem da usina nuclear é que sua energia é limpa e suas desvantagens são o custo e os perigos e riscos de um acidente nuclear.

O modelo mental parece apontar para o conhecimento de que o contrário de se contribuir para o efeito estufa com a queima de combustível na usina, a energia nuclear é uma energia limpa. O aluno consegue também relembrar argumentos utilizados na resenha por eles produzida, onde salientavam os custos e os riscos das usinas nucleares. Em ambos os casos percebem-se indícios de uma aprendizagem metacognitiva.

#### **Aluno 11**

*“Ambos são válidos, pois realmente a usina nuclear não contribui para o efeito estufa, e quando o urânio passa pela fissão, o núcleo se quebra em vários pedaços, “através” desse processo não “a” queima de combustível. Só o fato de imaginar um reator nuclear “expludindo”, isso assusta muitas pessoas, sem falar dos riscos nucleares. Ninguém fica tranquilo mesmo”.*

Modelo mental inferido: Uma vantagem da usina nuclear é que a fissão do urânio não contribui para o efeito estufa, mas os riscos e o lixo nuclear são desvantagens assustadoras.

O modelo mental parece dar conta do conhecimento sobre a usina nuclear no aproveitamento da energia nuclear, diferenciando vantagens e desvantagens. São utilizados argumentos que salientam os riscos das usinas nucleares e o problema de seus dejetos radioativos. O que sugere uma aprendizagem metacognitiva.

#### Atividade de Fechamento: Escrita da “carta-proposta”

A etapa final deste ciclo se deu com a elaboração (em sala de aula) de uma carta-sugestão às autoridades governamentais. Nela, os alunos puderam opinar e propor o tipo de investimento, de seu ponto de vista, que deveria ser feito no Brasil para suprir a demanda de energia elétrica. Foi solicitado que, ao escreverem suas cartas, os alunos se utilizassem do recurso da argumentação, uma competência que enfoque com ênfase o que se quer sustentar, frente a outras opiniões. Deseja-se convencer (ou tentar) de que está correto, com um raciocínio consistente e coerente.

A argumentação é um meio de criar hipóteses e experimentar conclusões. É um processo de análise crítica de todos os meios de intercâmbio de opiniões. Tem que ser construtiva, com a finalidade cooperativa e visando o bem geral, ou seja, não pode focalizar interesses próprios. Para os argumentos usados nas cartas, foram levantadas duas categorias de análise: argumentos gerais e argumentos específicos. E finalmente, considerou-se que uma boa argumentação tem concisão, clareza e força.

De forma geral, percebeu-se que os argumentos usados nas cartas dos alunos tinham pouca força, apesar de muitos deles apresentarem coerência e clareza. Em sua maioria, as cartas foram timidamente escritas.

Algumas dessas cartas (escritas à mão ou com o recurso de um laptop. - no IFF os alunos têm disponível máquinas para digitalização e impressão de seus trabalhos), estão apresentadas no Anexo e seus fragmentos destacados, a fim de explicitar o tipo de argumento (gerais ou específicos), indícios de aprendizagem e de metacognição.



Aluno 4: argumentação (geral e específica) demonstra coerência com o estudo das radiações e seus conseqüentes efeitos.

*“... os impactos das usinas nucleares são muito mais graves, no caso de explosão de uma usina nuclear, uma grande quantidade de radiação é liberada, causando doenças nos seres humanos, contaminando o ar e causando mortes de plantas e animais.”*

Aluno 8: argumentação (geral e específica) demonstra consciência da evolução na aprendizagem, organização e resumo das idéias assimiladas para fins de opinião e tomada de decisão.

*“Solicito a atenção de V. Ex.a para o assunto que passo a expor na qual em estudos e debates durante as minhas aulas de física deste primeiro semestre de 2011, na qual o assunto foi das usinas hidroelétricas e nucleares, que passei a conhecer mais sobre a forma de produção de energia de ambas e de suas vantagens e desvantagens; em relação a custo benefício, de que forma afetam o meio ambiente e até em relação a nossa segurança. Cheguei a uma conclusão que desejo compartilhar com o Senhor Ministro.”*

Aluno 10: argumentação (geral) sucinta e pouco coerente com o que foi estudado em sala de aula (*freada no desenvolvimento da economia do país*), tenta justificar a opinião dada.

*“Vem sendo discutido a criação e implantação de novos projetos para geração de energia elétrica a fim de não termos uma freada no desenvolvimento da economia do país e nem influenciar na vida do brasileiro... [...] venho por meio desta expressar a minha preferência pelo amadurecimento dos projetos de implantação de energia hidráulica com base em meus estudos,.....”*

Esta etapa foi finalizada com a aplicação de um questionário avaliativo (Apêndice) da aprendizagem e das ações didáticas desenvolvidas no presente ciclo. Foi solicitado que os alunos não se identificassem ao responder o questionário.

Destacam-se as respostas dadas aos itens 1 e 2 para argumentação acerca da aprendizagem metacognitiva dos alunos sobre os temas estudados e os itens 5 e 6 para avaliação das ações didáticas desenvolvidas.

No item 1, dos treze alunos respondentes, dois destacaram como interessante no estudo da energia nuclear, o processo de fissão nuclear, cinco destacaram o conhecimento acerca da usina nuclear e os processos no reator e, cinco alunos comentaram sobre as vantagens e desvantagens de sua utilização. Apenas uma aluna não quis se pronunciar, pelo fato de ter tido problemas de ordem pessoal, ficando prejudicada sua participação na maioria das atividades.

O segundo Item solicitava aos alunos que completassem a expressão:

*Eu antes não sabia....*

*Agora eu aprendi que....*

Das respostas, destacam-se alunos que responderam que antes não sabiam que como funcionavam as usinas nucleares e hidrelétricas, suas vantagens e desvantagens, outros destacaram que antes não sabiam o que era um reator, o processo de fissão e átomos radioativos, e ainda outros afirmaram que antes não sabiam nada e que agora aprenderam que o urânio é usado como combustível e que não é queimado, mas sofre fissão etc.

São destacadas três respostas para fins de salientar os traços de metacognição:

*“Antes eu não sabia nada a respeito sobre energia nuclear muito menos que avia usinas no Brasil. Agora apesar de ter algumas faltas, sei que se usa o urânio como combustível e ele não é queimado e sim, ocorre fissão, a fissão provoca uma reação em cadeia que é parada com varetas de boro ou Cadmo. Que isso ocorre no reator e que o reator é na verdade uma central térmica nuclear.”*

*“Eu antes não sabia como era o processo da produção de energia nuclear, agora eu aprendi que usam o urânio como combustível para se produzir a energia.”*

*“Eu antes não tinha o conhecimento de qual seria a utilidade da energia nuclear na produção de energia elétrica. Agora aprendi que é por meio da*

*liberação de energia em forma de calor que é a energia térmica que aquece as águas e transformam em vapor e fazem as turbinas de uma usina hidrelétrica se movimentar e por meio de gigantes ímãs o gerador transforma energia magnética em energia elétrica.”*

Percebe-se nas respostas de ambos os itens (1 e 2) que os alunos conseguem se dar conta do que sabiam antes do estudo e do que sabem agora. São evidências que apontam para uma aprendizagem significativa com indícios de metacognição.

Nos itens 5 e 6, intentou-se verificar a opinião dos alunos acerca de todo o processo didático desenvolvido e, especificamente, a utilização da estratégia de mapas conceituais. Acerca dessa última, alguns alunos apresentaram resistência ao seu uso, justificando achar melhor escrever um texto do que relacionar conceitos.

Das respostas ao item cinco, alguns alunos disseram não ter sentido falta de nada nas aulas de física e de que o curso foi muito proveitoso, outros disseram sentir falta de uma visita à usina de Angra e à Hidrelétrica Furnas, ambas usinas existentes na região norte fluminense, e um aluno disse sentir falta de mais cálculos, por ser sua área de trabalho.

Quanto às respostas ao item 6, os alunos afirmaram de maneira geral, que a estratégia de mapa conceitual é difícil porque nunca tinham a usado antes e porque estavam acostumados a fazer pesquisas ou resumir textos. É interessante porque amplia o conhecimento do tema abordado, aprende “coisas” relacionando os conceitos, mostra de forma clara como certos conceitos estão ligados uns aos outros, assim entra mais fácil na mente, aprende a ver o todo, o geral.

O objetivo dos mapas conceituais é favorecer a aprendizagem significativa e segundo Campanario (1998b), também desenvolver a metacognição. Nesse aspecto pode-se ver nas respostas dos alunos que ao aprender relacionar as idéias por meio de um mapa, percebem de forma clara o conhecimento que possuem. A clareza das relações demonstra o quão bem “ancoradas” estão as novas idéias. Como o aluno vai decidir relacioná-las, caracteriza sua aprendizagem metacognitiva.

De forma geral, podem-se ver indícios de que os modelos mentais dos alunos podem dar grandes contribuições para a metacognição. No caso específico do presente ciclo da pesquisa, pode-se verificar que o estudo dos modelos mentais dos alunos do PROEJA na aprendizagem de temas de Física Moderna, motivou a metacognição.

### **5.6 - Avaliação sobre a ação**

Além das contribuições salientadas neste ciclo, advindas do estudo dos modelos mentais dos alunos, para se buscar indícios de metacognição, verificou-se também que o uso de estratégias diferenciadas, baseada no estudo comparativo motivou a participação dos alunos nas atividades propostas e também nas aulas de maneira geral.

Ao término do curso os alunos perceberam a importância de se estudarem assuntos relacionados à Física Moderna. Isto pode ser verificado nas respostas ao item 8 do questionário final, onde dos treze alunos, onze responderam que se devem estudar tais assuntos, para compreender a tecnologia que manuseiam em seu cotidiano. Treze alunos responderam que apesar de ser um assunto quase não estudado a nível PROEJA, por ser considerado difícil, é importante que sejam abordados nas aulas de física. Novos temas parecem ainda misteriosos para os alunos. Conhecem alguns de seus nomes de ouvir falar, como declarado no item 9 do questionário: raios X e partículas elementares.

### **5.7 – Considerações neste ciclo**

Pode-se dizer até aqui que os Ciclos I e II foram desafiadores tanto no sentido de se buscarem estratégias para melhor compreensão dos processos mentais de aprendizagem (ou, processos mentais), como para se promover a aprendizagem significativa dos conteúdos abordados.

O Ciclo II, a nosso ver, forneceu subsídios mais robustos para se buscarem indícios de uma aprendizagem significativa (AS). Sabe-se que Ausubel *et al.* (1978) em sua Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) estabelece duas condições para se alcançar a AS: a primeira se refere ao “querer” aprender e, a segunda ao poder significativo do material instrucional.

Neste ciclo, pode-se perceber já pelas respostas ao questionário inicial e também nas participações em sala de aula que, além do fato dos alunos estarem disponíveis, abertos, dispostos à aprendizagem, o material disponibilizado e também as estratégias utilizadas, como já discutido, se mostrou acessível aos alunos. Isto ficou evidenciado pelo volume de respostas escritas e verbais obtidas nas diversas atividades promovidas durante o semestre.

Sabe-se também que a aprendizagem é um processo, um contínuo. Então, ao se analisarem os esquemas explicitados pelos alunos quando buscam soluções às diferentes situações problemáticas de ensino, isto é, ao se analisar a evolução dos modelos mentais dos alunos, pode-se encontrar um leque de relações que supostamente evidenciaríamos ou apontaríamos para AS.

Então, apesar de não ter sido focalizado essa vertente para discussão na presente tese, ressalta-se a percepção de indícios de negociação de significados em argumentos nas cartas de alunos como a seguir: *“Agora aprendi que é por meio da liberação de energia em forma de calor que é a energia térmica que aquece as águas e transformam em vapor e fazem as turbinas de uma usina hidrelétrica se movimentar e por meio de gigantes ímãs o gerador transforma energia magnética em energia elétrica.”*

Finalmente espera-se em novos trabalhos considerar essa valiosa contribuição e estabelecer novos diálogos entre a TAS e as teorias dos Modelos Mentais e dos Campos Conceituais.

No próximo capítulo, serão feitas as considerações finais da presente tese de doutorado.

## Capítulo 6

### CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

*“A palavra não foi feita para enfeitar, brilhar como ouro falso, a palavra foi feita para se dizer”.*

Graciliano Ramos

Neste trabalho nossa maior preocupação foi com a aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea (FMC) pelos alunos do PROEJA. De um lado, por estarmos inseridos no projeto “Educando Jovens e Adultos para Ciências com Tecnologias de Informação e Comunicação” e, por outro lado, por conta de nosso interesse pelo estudo dos processos cognitivos relativos à aprendizagem significativa de conceitos físicos, desde o mestrado.

Além dos motivos apontados nosso interesse era reconhecer se os processos de compreensão ou de aprendizagem de alunos do PROEJA justificavam a ausência da abordagem da FMC nas aulas de Física.

A partir dessa questão problematizadora buscou-se verificar se os modelos mentais explicitados por alunos do PROEJA poderiam fornecer subsídios para se incluir e enfatizar o estudo de temas de Física Moderna nesse nível de escolarização.

O foco da presente pesquisa foi determinado a partir da crença de que conhecendo os modelos mentais dos alunos seria possível intervir não só no processo de ensino e de aprendizagem, mas também facilitar e motivar a metacognição.

Considerando a sala de aula como um lugar privilegiado de sistematização do conhecimento, e o professor como um articulador na construção do saber, as estratégias didáticas foram implementadas de modo a tentar facilitar a explicitação desses modelos mentais.

Consciente de que o estudo dos processos mentais dos alunos não é nada trivial e demandaria muito tempo, podendo exigir um trabalho que se estendesse para além do doutorado, optou-se iniciar o levantamento de dados com a pesquisa “*in loco*” dividida em dois ciclos de um semestre cada.

Durante um ano foram investigados os modelos mentais sobre a FMC dos alunos de duas turmas do PROEJA do IFF/Campos. Assumindo como premissa neste período, com o aval de resultados advindos da revisão bibliográfica, tem-se o entendimento de que se pode motivar estudantes a pensar cientificamente os ensinando, explicitamente, a como se engajar nas práticas de modelagem de estudantes considerados *experts* em física. Então, considera-se que a aprendizagem do aluno é tanto mais significativa quanto maior for sua capacidade de modelar. Sendo a Física uma ciência de modelos conceituais, então, a modelagem é uma atividade sistemática dos físicos para

construir e aplicar o conhecimento científico (KRAPAS, 1997 *apud* NERSESSIAN, 1995; *ibid*, 1997, p. 28; Souza e Moreira, 2005; Greca e Moreira, 2002a, 2002b etc).

Por meio da análise dos dados, foi possível não só delinear algumas respostas sobre questões subjacentes que foram levantadas, mas também delinear novas questões a serem respondidas.

No **primeiro ciclo** da pesquisa pode-se verificar a contribuição dos modelos mentais para fins de planejamento didático. Isto pode ser percebido ao se analisarem as respostas dos alunos nas atividades avaliativas planejadas e implementadas após o estudo da FMC.

À medida em que eram conhecidos os modelos mentais dos alunos podia-se ir adequando novas estratégias de ensino no contexto da pesquisa-ação no PROEJA. Ficava evidente a cada encontro que os modelos mentais explicitados refletiam dois aspectos importantes: O primeiro deles se referia ao nível de conhecimento adquirido sobre a FMC e, o segundo, tratava da eficácia acerca da estratégia didática utilizada.

Sabe-se que o ponto central da compreensão de qualquer aspecto do mundo real ou imaginário está na existência de um modelo mental de trabalho na mente de quem compreende alguma coisa (JOHNSON-LAIRD, 1983).

Como foi verificado na análise do primeiro ciclo, os modelos mentais inferidos das invariâncias conceituais explicitadas em cada atividade, demonstraram de forma geral uma progressão conceitual que apontava para a aprendizagem significativa do tema abordado, a dualidade da luz.

Os modelos mentais inferidos das invariâncias nas respostas de alguns alunos sobre a compreensão da luz a definiam, inicialmente, como advinda da “*energia elétrica*”, ou “*formada por elétrons*”, sendo “*algo que brilha*”, e no final, alguns desses modelos sofreram alterações como se vê nos fragmentos destacados: “*uma onda eletromagnética dual, sendo onda e partícula*”; “*constituída de fóton, uma partícula de energia*”; “*apresenta os fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência*”.

Essa percebida evolução coaduna com a ideia de Borges (1996) ao concluir que a habilidade de um indivíduo em explicar e prever eventos e fenômenos que acontecem à sua volta evolui à medida que ele adquire modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos. Tais modelos

evoluem com o desenvolvimento psicológico e com a instrução, num processo conhecido como evolução conceitual.

Tomando o devido cuidado para não afirmar que houve uma efetiva mudança conceitual nas respostas dos alunos, pois sabe-se que essa conclusão foge ao escopo do presente trabalho, além de ser objeto de várias pesquisas ainda em andamento, enfatiza-se a percepção de uma evolução conceitual. Ou seja, os modelos mentais inferidos das invariâncias nas respostas dos alunos foram evoluindo a cada atividade. Esses modelos refletiram que algumas das ideias iniciais sobre a luz, foram sendo confrontadas no decorrer do semestre, e esse confronto possivelmente levou a mudanças perceptíveis nos modelos mentais posteriormente explicitados.

Evoluções conceituais podem ser precursoras de rupturas de paradigmas. Dentro de um contexto mais amplo, talvez possa se considerar que as ideias físicas do mundo grego tenham sido embriões teóricos do modelo ondulatório (Huygens) e corpuscular (Newton) da luz.

A concepção da luz passou por consideráveis confrontos desde a origem da ciência ocidental. Segundo Melo e Peduzzi (2007), a propagação da luz em um meio suscitou um confronto entre duas teorias físicas de natureza distinta: o atomismo, que sustentava o caráter descontínuo da matéria e a física do contínuo. Para os atomistas, a luz era composta por átomos sutis, arredondados e velozes. E a visão era possível em virtude de um fluxo de partículas emanado do objeto, que era assimilado pelos olhos.

Uma explicação mais complexa era dada pelos estóicos em que a luz tinha origem na alma do observador, chegava ao olho como uma onda que perturbava o ar até encontrar o objeto visado. Então, retornava da mesma maneira, dando condições de se ver o objeto.

Então, quando se trata de conceitos em constante evolução, os modelos mentais figuram uma excelente “ferramenta” de explicitação evolutiva. Um bom exemplo foi a constatação de que, apesar de alguns alunos (1, 3 e 10) explicitarem modelos sobre a compreensão do que seria e para que servia o experimento do Efeito Fotoelétrico, não conseguiram explicitar modelos coerentes sobre a dualidade. Ou seja, os modelos mentais refletiram não apenas a “passividade” desses alunos quanto à aceitação dos modelos conceituais explicitados pela professora durante a realização do experimento,



mas também sua dificuldade em relacionar de forma esquemática tal conhecimento com suas ideias iniciais sobre o assunto.

Por outro lado, os modelos mentais explicitados pelos alunos (4, 5, 6, 7 e 9) refletiram a evolução conceitual de suas ideias iniciais sobre a luz. Seus modelos explicitados em atividades distintas e progressivas foram se tornando mais robustos e coerentes com os modelos conceituais.

É certo que o público investigado se caracterizou em sua grande maioria por alunos de idade mais avançada, possuindo pouco tempo para o estudo e com uma pífia cultura científica. Apesar disso, demonstraram não só pelo levantamento inicial feito com a turma, mas no decorrer do semestre, se tratar de alunos que acreditam ser a aprendizagem dependente tanto do aluno como do professor. Isto fez com que a experiência com a turma fosse prazerosa. Os alunos, em sua totalidade, respondiam positivamente à realização das tarefas propostas. Dedicavam-se à aquisição e assimilação do novo conhecimento.

Os modelos mentais refletiram de forma interessante que alguns alunos com idade mais avançada ou com um considerável tempo de trabalho, apesar de apresentarem dificuldades na assimilação do novo conhecimento, conseguiam relacionar alguns desses conhecimentos com seu cotidiano laboral. A fim de exemplificar é transcrito o seguinte comentário feito em sala de aula, pelo o aluno 10, “técnico” na instalação de antenas parabólicas:

“Professora, agora que a senhora está explicando a fórmula para se calcular a velocidade de uma onda de luz ( $v = \lambda \nu$ ), é que eu entendi porque há muitos anos eu faço a conta ( $y = x^2/4f$ ) para se verificar a inclinação da parabólica, seu diâmetro e profundidade, em função da frequência da onda irradiada. A frequência da onda é a quantidade de vezes que a onda pulsa até chegar na antena, não é?”

Essa foi uma, dentre outras verbalizações tomadas nota durante a pesquisa, que demonstra relações entre o conhecimento ensinado e as concepções espontâneas dos alunos. São inferências como essas que, de certa forma, faz com que o aluno se dê conta que está aprendendo.

Souza e Moreira (2005) afirmam que um modelo vai sendo alterado por meio de inferências até que ele seja satisfatório ou dê conta do novo conhecimento. Não se trata de um construto, nem de um esquema, mas de um modelo de trabalho.

O papel também importante no estudo dos modelos mentais para fins de aprendizagem conceitual pode ser verificado nos modelos explicitados pelo aluno 7. Desde o início esse aluno, apesar de possuir as mesmas características laborais de outros alunos, se mostrava com muita “sede” de conhecimento. Refletia uma predisposição para aprender, um das principais condições de Ausubel *et al.* (1980) para a aprendizagem significativa. Sempre presente às aulas, participava ativamente das atividades com opiniões e perguntas frequentes.

Seus modelos explicitados refletiram alguns dos princípios impostos pela teoria de Johnson-Laird (1983), vinculando-os a possíveis modelos mentais. O princípio do construtivismo, finitude e identidade estrutural. O primeiro e o segundo princípios ficam evidenciados pela evolução, a partir de um conjunto finito, do conceito de luz e da dualidade. Inicialmente entendia a luz como “*ondas eletromagnéticas que vem do movimento de elétrons*”, e, no final do curso seu modelo mental explicitado foi de que “*a luz é constituída de fótons-uma partícula de energia*”; “*a luz é uma onda eletromagnética que se apresenta de forma dual, onda-partícula*”. O princípio da identidade estrutural também foi satisfeito no sentido de que as estruturas dos modelos mentais do aluno se relacionaram coerentemente com as estruturas dos “estados de coisas” (neste caso, a natureza dual da luz), por ele percebidos ou concebidos.

As atividades de ensino e de avaliação planejadas e implementadas facilitaram a explicitação dos modelos mentais dos alunos. Destacam-se algumas das quais isso ficou evidenciado. A leitura e discussão de textos científicos, seguida por questionamentos a serem respondidos individualmente no caderno, motivaram os alunos ao confronto entre suas ideias e as ideias discutidas pelo grupo. Muitos alunos ficavam inseguros ao responder. Seus modelos mentais pouco claros e incoerentes, por um lado, refletiam essa insegurança, mas por outro lado, mostravam tentativas de se alterarem suas concepções iniciais.

Os experimentos realizados no laboratório de física produziram grande interesse e participação dos alunos. Os modelos de trabalho nessa etapa refletiram, na maioria dos casos, a tentativa de se explicar o procedimento experimental e, fracamente a interpretação do significado físico que aquele experimento tentou evidenciar.

A estratégia que trouxe grande contribuição para se analisarem os modelos mentais foi a elaboração e apresentação de mapas conceituais. Nelas, não só os modelos mentais eram explicitados, mas também refletidos, corrigidos e/ou alterados. Ao apresentarem seus mapas conceituais os alunos modificavam as relações entre os conceitos ao se darem conta das incoerências conceituais.

No **segundo ciclo** da pesquisa por se tratar de uma turma com características bem distintas da primeira, e após as reflexões sobre os erros e acertos do ciclo anterior, foram planejadas e implementadas atividades avaliativas que oportunizaram a aprendizagem, ocasião onde o aluno pode demonstrar destrezas de auto-regulação metacognitivas.

Após a análise dessas atividades ficaram evidenciados três aspectos: a) os alunos que conseguem se dar conta de sua aprendizagem explicitam modelos mentais progressivos; b) para que percebam que estão aprendendo, é necessário que exercitem a auto-avaliação da aprendizagem; c) as estratégias didáticas devem fornecer subsídios para a aprendizagem metacognitiva.

O estudo desenvolvido neste ciclo focalizou a aprendizagem da energia nuclear. E as atividades de ensino, desde o início, incentivaram a participação dos alunos com a discussão dos temas, por meio de suas opiniões e soluções para os problemas levantados em sala de aula. Em dois momentos iniciais, no estudo da usina nuclear, depois da hidrelétrica, foram levantadas as ideias prévias dos alunos. Durante todo o semestre atentou-se para o desenvolvimento dessas ideias, e por meio da explicitação dos modelos mentais em atividades específicas de avaliação pode verificar a evolução das mesmas.

Foi percebido que utilização de estratégias diferenciadas facilitou a explicitação de modelos cada vez mais elaborados e, muitos desses modelos deram conta do conhecimento adquirido. Cada estratégia demonstrou, então, sua contribuição para a facilitação da aprendizagem. Isto pode ser verificado ao analisar as invariâncias operacionais no estudo de cada um dos dois temas abordados-usina nuclear e hidrelétrica.

O uso de pseudos-organizadores prévios teve como objetivo geral motivar, facilitar o acesso aos temas que seriam abordados. No momento em que se deparava com a problemática levantada pelo texto, atual e instigadora,

os alunos, de certa forma, seriam motivados a verbalizarem suas opiniões acerca do assunto. O assunto, de “domínio público”, instigaria o desejo de opinião sobre o ocorrido. O terremoto no Japão e a construção da hidrelétrica de Belo Monte-PA têm sido temas muito discutidos a partir deste ano de 2011, por isso sua abordagem tem grande relevância não só pela bagagem científica e ambiental que engloba, mas por conter, em sua essência, relação com conceitos estudados na física moderna, como radiação eletromagnética, energia nuclear, energia limpa, poluição ambiental, energia elétrica etc.

Novamente a estratégia de mapas conceituais auxiliou o estudo dos modelos mentais dos alunos em cada etapa. Por meio das relações entre os conceitos os alunos explicitaram seus modelos de trabalho, e durante a apresentação de seus mapas estes eram confrontados, complementados ou até alterados. Sobre esse aspecto, fica claro a necessidade de se pesquisar com mais afinco as relações entre os conceitos explicitados nos mapas a fim de que se possa enfatizar algumas das considerações a seguir:

- as relações explicitadas nos mapas de cada aluno e que, por sua vez, refletem a maneira como esse aluno modela mentalmente o que está aprendendo, dependem diretamente das estratégias utilizadas (facilitadoras ou formais). Se motivados à explicitação dos modelos mentais, os alunos o farão. Do contrário, seus modelos mentais ficarão implícitos e, poderão não ser alterados;

- nem todos os alunos respondem de forma positiva às estratégias facilitadoras. Acostumados a um ensino formal, podem sentir-se desmotivados a executar as tarefas e, conseqüentemente, a aprender significativamente;

- modificar as relações conceituais, ao se dar conta de eventuais incoerências durante a apresentação de seus mapas, pode não se traduzir numa atitude duradoura, sendo necessário, assim, sofrer novas intervenções para que tais conceitos se acomodem em sua estrutura cognitiva.

A estratégia de elaboração da carta-sugestão às autoridades governamentais foi um desafio a mais para os alunos da turma, uma vez que teriam que opinar e propor o tipo de investimento, de seu ponto de vista, que deveria ser feito no Brasil para suprir a demanda de energia elétrica. Ficou claro nessa atividade que os alunos ficaram intimidados (ou talvez, desmotivados) em sua argumentação. O que pode estar relacionado a fatores

como o desejo de finalizar as atividades escolares pela proximidade das férias, o fato de já terem de certa forma emitido sua opinião em outras oportunidades, como nas resenhas e nos mapas conceituais.

De forma geral, percebeu-se que os argumentos usados nas cartas dos alunos tinham pouca força, apesar de muitos deles apresentarem coerência e clareza. Em sua maioria, as cartas foram timidamente escritas.

Contudo, analisando as estratégias utilizadas em ambos os ciclos vê-se a oportunidade de propor uma sequência didática que motive o aluno na aprendizagem de temas de FMC.

1. Leitura e discussão de textos (pseudos-organizadores prévios). Podem tratar diversos assuntos, como evolução histórica da FMC, problemas atuais relacionados a FMC, tecnologias associadas a FMC, dentre outros.
2. Sequencia de perguntas e/ou de exercícios matemáticos que explorem a evolução conceitual. Os exercícios matemáticos devem fazer parte dessa exploração, para fins de se relacionarem as proposições da linguagem com as simbólicas (sendo a matemática, uma ferramenta para se compreender fenômenos físicos).
3. Elaboração de mapas conceituais
4. Produção de textos argumentativos

A segunda grande contribuição advinda da análise dos modelos mentais dos alunos foi a percepção de que alguns alunos se davam conta que estavam aprendendo algo. Neste aspecto, os modelos mentais explicitados pelos alunos e discutidos nas atividades propostas atuavam como um apoio metacognitivo para a aprendizagem de temas da Física Moderna.

Ao se analisarem esses modelos mentais podia-se detectar o quanto eram assimilados os conceitos estudados. Em algumas oportunidades, o próprio aluno percebia que seu modelo mental tinha evoluído. Como foi mostrado no capítulo seis desta tese, muitos alunos se deram conta de que antes do estudo não sabiam o que era, para que servia e onde se originava a energia nuclear, mas que depois da discussão, percepção e até alteração em alguns de seus modelos mentais, puderam reconhecer que aprenderam.

As atividades motivadoras à explicitação de modelos mentais, como as verbalizações durante a discussão de temas, a elaboração de mapas conceituais, a elaboração de textos argumentativos, foram fundamentais para se promover a metacognição. Nelas, os alunos eram estimulados a argumentar, opinar, criticar, enfim, se auto-avaliar e autorregular sua aprendizagem.

Segundo Moreira (2004) o sujeito, muitas vezes, tem dificuldade ou, até mesmo, impossibilidade de “saber dizer” ou “saber fazer”. Esta impossibilidade de explicitar o conhecimento-em-ação é muito clara nos comportamentos dos estudantes.

A dificuldade encontrada pelos alunos do PROEJA na realização de algumas atividades elaboradas talvez seja fruto da inadequação ao tipo de operacionalidade que estão acostumados, advinda de uma forma de ensino já cristalizada, centrada nos saberes da Física Clássica, onde há a preferência por atividades prontas e fechadas, quase sempre de resposta única.

A análise realizada indica que, se deseja apresentar conceitos de FMC de forma que vise uma aprendizagem significativa, que não seja meramente uma transmissão de informações, há de se requerer outra forma de operacionalidade junto aos alunos do PROEJA.

Por isso, a utilização de atividades que motivaram a argumentação foi importante. No momento da argumentação, novos invariantes operatórios podem aparecer por meio de inferências, e dar significados mais abrangentes ao que se sabia.

Um dos objetivos do ensino para Vergnaud (1996c) é proporcionar aos estudantes ferramentas para a construção de conceitos e teoremas explícitos e gerais. E a transformação de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) em palavras e textos ou em qualquer outro sistema semiótico (gráficos, diagramas, notação algébrica,...) não é direta, nem simples. Existem importantes lacunas entre aquilo que é representado na mente do indivíduo e o significado usual dos signos e as tarefas que elaboram.

Finalmente, pode-se concluir com esta pesquisa que os alunos do PROEJA conseguiram explicitar conceitos e teoremas gerais sobre a dualidade da luz e sobre a energia nuclear. Os temas abrangentes envolveram conceitos de Física Moderna e Contemporânea.

Após a análise dos modelos mentais explicitados pelos alunos nas variadas atividades, pode-se também verificar a grande contribuição desse estudo para subsidiar nosso argumento inicial de que se deve não só enfatizar a relevância do estudo da FMC em turmas de PROEJA, mas que este estudo seja planejado de maneira diferenciada de modo a promover a aprendizagem significativa (AS) nesse nível de escolaridade.

Sobre este aspecto não se pode deixar de ressaltar o papel articulador da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel *et al.* (1978). Sabe-se que a TAS foca a negociação, a facilitação da aprendizagem significativa, e que a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983) e dos Campos Conceituais de Vergnaud (1993) focam os processos mentais inerentes às situações de ensino. Desta forma, ao se compreenderem melhor esses processos e, ao se perceberem evidências de evolução nos modelos mentais explicitados progressivamente pelas respostas dos alunos nas diversas atividades desenvolvidas, pode-se certamente buscar indícios de aprendizagem significativa.

Para próximos trabalhos pretende-se focar no diálogo destas três teorias na análise dos modelos mentais sobre a FMC. Novas questões surgem a todo o momento ao se pensar sobre isso: Como perceber nos modelos mentais inferidos (modelos instáveis) das respostas às situações problemáticas, indícios de AS? Quando um modelo mental mais robusto (chamado de esquema, por Vergnaud) aponta para AS? Que relações podem ser estabelecidas no diálogo entre importantes teorias que poderão trazer subsídios teóricos para se facilitar, motivar o ensino da FMC não só em turmas de PROEJA, mas do Ensino Médio Regular e também no Ensino Superior?

Sabe-se que a tarefa de gerar compreensão dos conceitos associados à FMC é das mais difíceis. Por um lado, boa parte do entendimento deste estudo está relacionado ao domínio de uma linguagem matemática muito sofisticada. As equações não são dominadas amplamente pelos estudantes nem do Ensino Médio, nem do PROEJA.

Por outro lado, muitos dos modelos conceituais explicativos da FMC envolvem conceitos de incerteza e interpretações probabilísticas para se representar o mundo microscópico. E na maioria das vezes, não são conceitos fáceis de serem utilizados pelos estudantes. Estes estão acostumados com

uma visão de ciência “exata” e, portanto, imutável e com uma única verdade/resposta para os fenômenos. Eles parecem estar acostumados com um conhecimento consensual, pronto sem falhas, fruto da visão distorcida de ciência a eles imposta.

A linguagem desempenha um papel determinante nesse caso, frente à necessidade de se transpor o saber de uma forma que seja acessível ao nível de compreensão dos alunos, fugindo de termos técnicos e da linguagem científica. Este é um grande desafio a ser enfrentado quando se deseja inserir as teorias modernas na sala de aula.

Um grande desafio a ser enfrentado em futuras pesquisas nessa área de ensino da FMC é a necessidade de se inserir o formalismo matemático intrínseco ao estudo. É claro, que os conhecimentos matemáticos dos alunos brasileiros de hoje (EM e PROEJA), ainda não são suficientes para discussões mais profundas sobre os elementos da FMC. Dificuldades para se utilizarem palavras que traduzam conceitos de FMC poderão ser inerentes, pois, com as palavras pode-se perder a precisão conceitual que a matemática fornece. Entretanto, isso não significa que não se deve tentar inserir tanto um (modelos proposicionais, simbólicos - inerentes ao formalismo matemático) como outro (modelos conceituais).

Um segundo desafio para futuras pesquisas será construir atividades que possam desenvolver a imaginação e a abstração necessárias para se vislumbrar algumas das peculiaridades do mundo quântico em turmas de EM e de PROEJA.

Destacam-se aqui duas das razões apontadas por Ostermann *et al.* (1999) para a introdução de tópicos contemporâneos na escola média. A primeira se refere a despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto mais próxima a eles. A segunda retrata a realidade de que os estudantes do EM não terem contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pelo fato de não verem nenhuma Física além de 1900. O que os autores consideram inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente.

Com a mesma preocupação que se tem para o ensino da FMC em cursos de graduação, exigindo uma formação diferenciada para a utilização



dessa abordagem em sala de aula, a transposição didática desse estudo para o Ensino Médio e PROEJA deve ser vista como uma tarefa também de grande importância. É também muito complexa, pois, de um lado, tem-se o desafio de se ensinar conceitos abstratos de FMC, e de outro lado, as distantes ideologias educacionais e padrões de entendimento forjados pelo mundo cotidiano e pelo fragmentado sistema educacional brasileiro.

## Capítulo 7

### Referências Bibliográficas

---

1. ALARCÃO, I. (2001). *Escola reflexiva e nova racionalidade* (org). Porto Alegre: Artmed.
2. ALVES, A. J. (1991). O planejamento de pesquisas qualitativas em educação. *Caderno de Pesquisa*, São Paulo (77): 53-61, maio.
3. AMBROSIO, F.; BORGES, P.I.; YONENAGA, W. H. (1998) *Desenvolvimento de Técnica para o Mapeamento de Modelos Mentais*. Universidade Federal de São Carlos.
4. ANDERSON, G. e HERR, K. (1999). The New Paradigm Wars: Is There Room for Rigorous Practitioner Knowledge in Schools and Universities? *Educational Researcher*, v. 28, n. 5, June/July, p. 12-40.

5. ANDRÉ, M. (2001). Pesquisa em Educação: Buscando Rigor e Qualidade. In *Caderno de Pesquisa*. Fundação Carlos Chagas. Nº 113 Julho.
6. ANDRÉ, M. (2007). Questões sobre os Fins e sobre os Métodos da Pesquisa em Educação. *Revista Eletrônica de Educação*, v. 1, n. 1, set. Programa de Pós-Graduação em Educação: Psicologia da Educação Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
7. ANDRÉ, M.E.D.A. (1998). *Etnografia da prática escolar*. 2º edição. São Paulo: Papirus Editora, p. 15-64.
8. ARROYO, Miguel. (2005). A Educação de Jovens e Adultos em tempos de exclusão. In: *Construção coletiva: contribuições à educação de Jovens e Adultos*. Brasil: UNESCO, MEC, RAAAB, p. 29-42.
9. AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. and HANESSIAN, H. (1980). *Educational psychology: a cognitive view*. 2nd. ed. New York: Holt Rinehard and Winston, 1978. Trad. p/ português de Eva Nick et al. *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
10. BARBIER, R. (2002). *A pesquisa-ação*. Série pesquisa em Educação, v. 3. Editora Plano. 159p.
11. BARBIER, R. (2007). *A pesquisa-ação*. Brasília: Liber Livro Editora Ltda. Brasília, DF.
12. BARTHEM, R. (2005). *A Luz. Temas atuais de Física*. Editora Livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física, 1ª edição, São Paulo/SP.
13. BODGAN, R. & BIKLEN, S. K. (1982). *Qualitative Research for Education*. Boston, Allyn and Bacon, Inc.
14. BORGES, A.T. (1996). *Mental Models of Electromagnetism*. Inglaterra: Universidade de Reading. (Tese de Doutorado).
15. BORGES, A.T. (1997). Um estudo de Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.2, n. 3, p. 207-226; [on line]. v.1, n. 3. Disponível pela Internet: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/>>.
16. BORGES, A.T (1999). Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 1, n.1.
17. BORGES, O. N; BORGES, A. T; GOMES, A. E; TERRAZZAN, E. A. (1997). Reformulação do Currículo de Física do Ensino Médio em Minas Gerais: Versão Preliminar do Currículo Proposto. *Atas do XII SNEF*, p. 213-226.
18. BRASIL. (1999). *Proposta curricular para a educação de jovens e adultos: segundo segmento do Ensino Fundamental – 5ª a 8ª séries*. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC/SEF.
19. BRASIL (2002). *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) Ensino Médio. Ciência da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Secretaria de Educação Média e Tecnológica, MEC/SEMTEC. Brasília, DF.
20. CAMPANARIO, J.M.L (2000). Multilibros o "Libros a la carta": las ventajas de un enfoque alternativo para a elaboração e comercialização de fascículos de manuales escolares de Ciencias. *Revista Iberoamericana de Educación*.

21. CAMPANARIO, J.M.L e MOYA A. (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, p.179-192.
22. CAMPANARIO, J.M.L; MORENO, J.C; LIBRERO, A.M.; GUTIÉRREZ, J.C.O (1998). La metacognición y el aprendizaje de las Ciencias. Grupo de Investigación sobre el Aprendizaje de las Ciencias. Departamento de Física. Universidad de Alcalá. *Investigación e Innovación en La Enseñanza de Las Ciencias*, v.1.
23. CARVALHO, J. F (2008). Prioridades para investimentos em usinas elétricas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 64.
24. CHIOU, G. e ANDERSON, O. R. (2009). Um estudo da compreensão dos alunos de graduação em física de condução de calor com base na teoria dos modelos mentais e uma análise do processo de ontologia. *Science Education*, periódicos Wiley, Inc. *Sci Ed.* 94; pp. 825-854.
25. COSTA, S.S.C.M. e MOREIRA, M.A. (1998). Modelagem em resolução de problemas: estudo preliminar. *Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. (CD-ROM), 26 a 30 de outubro, Florianópolis, 11 p.
26. COSTA, C.C.S. e MOREIRA, M. A. (2002). O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 61-74.
27. EISNER, E. W. (1981). On the differences between scientific and artistic approaches to qualitative research. *Educational Researcher*, 10 (4): 5-9.
28. ELLIOTT, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación- acción*. Madrid: Ediciones Morata, p. 60 – 111.
29. ESCUDERO, C e JAIME, E. A. (2009). Conocimientos en acción: um estudo acerca de La integración de las fuerzas en la energía en cuerpo rígido. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 1, p. 115-133.
30. ENGEL, G.I. (2000). Pesquisa-ação. *Educar*, n. 16, p. 181-191, Curitiba, PR.
31. FREIRE JR, O. (1999). *David Bohm e a Controvérsia dos Quanta*. Centro de Lógica e Epistemologia da Unicamp (CLE/UNICAMP).
32. FREIRE JR, O. (2001). David Bohm e as Constrovérsias do Quanta. *Ciência Hoje*, n. 169, v. 29, p. 34-39.
33. FREIRE, P. (2003). *Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa*, 28ª Ed. São Paulo: Editora Paz e Terra.
34. GATTI, Bernadete A.(2001). Implicações e perspectivas da pesquisa educacional no Brasil contemporâneo. *Cadernos de Pesquisa*, n. 113, p. 65-81, São Paulo.
35. GODOY, A. S. (1995). Introdução a pesquisa qualitativa e suas possibilidades. *Revista de Administração de Empresas*, v. 35, n. 2, p. 57-63, São Paulo/SP.
36. GRECA I. & MOREIRA, M. A. (2001). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.6, n. 1, p. 29-56.

37. GRECA, I & MOREIRA, M. A. (1996) Um estúdio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo eletromagnético em alumnos de Física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 19, n. 1, p. 95-108.
38. GRECA, I & MOREIRA, M. A. (2003). Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual de Física. *Revista Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 5, n. 1.
39. GRECA, I & MOREIRA, M. A. (2004). *Obstáculos representacionales mentales em El aprendizaje de conceptos cuánticos*. Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales. UFRGS-Porto Alegre.
40. GRECA, I. & MOREIRA, M.A. (2002a). Modelos Mentales Y Modelos Conceptuales en La Enseñanza & Aprendizaje de Las Ciencias. *Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências*, v. 2, n. 3, p. 84-96.
41. GRECA, I. & MOREIRA, M.A. (2002b). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 1, p. 31-53.
42. GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. (2005). *Bohr e a interpretação quântica da natureza*. São Paulo: Atual Editora.
43. GUNSTONE, R.F. y NORTHFIELD, J. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education*, v. 16, p. 523-537.
44. HARRES, J.B.S. (1993). Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de Ótica Geométrica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física (atual Revista Brasileira de Ensino de Física)*, dez., v. 10, n. 3, p. 220-234.
45. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Disponível em: <<http://www.inep.gov.br>>. Acesso em 02 agosto 2007 às 15:30h.
46. IRENA, A. e GRECA, I. (2006). Introducción de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas – en – acto y determinación de objetivos – obstáculo. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 11, n. 2 p. 189-218.
47. JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, M. A.: Harvard University Press.
48. JORDÃO, R.S. (2005). *Tutoria e Pesquisa-ação no estágio supervisionado: contribuições para a formação de professores de Biologia*. Tese de doutorado em Educação. USP, São Paulo-SP.
49. KEMMIS, S. (1985, 1996), "pesquisa-ação". Em N. Postlethwaite e Husen T. (eds.) *Enciclopédia Internacional de Educação: Pesquisas e Estudos*, Londres: Pergamon (Primeira edição, 1985; segunda edição, 1996).
50. KEMMIS, S. (1993). *Action research and social moviment: a challenge for policy research*. Educational Policy Analysis Archives [on line], v. 1, n. 1. Disponível em <http://epaa.asu.edu/epa.v1n1.html>.

51. KEMMIS, S; McTAGGART, R. (1988). *The action research planner*, 3ª Ed. Canberra: deakin university.
52. KRAPAS, S., QUEIROZ, G.; COLINVAUNX, D., FRANCO, C. (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em Ensino de Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 2, n. 3, pp.
53. KREY, I. e MOREIRA, M.A. (1999). Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral. *Atas do II ENPEC*, Valinhos, SP.
54. LAGRECA, M. C. B., MOREIRA, M. A. (1998). Representações mentais dos alunos em Mecânica Clássica: três casos. *Investigações em Ensino de Ciências* – v. 3, n. 2, p. 83-106.
55. LAGRECA, M. C. B., MOREIRA, M. A. (1999). Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área. Dissertação de Mestrado. IF-UFRGS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 1, p. 202-215.
56. LATORRE, A. (2007). *La investigación-acción: Conocer y cambiar la práctica educativa*, graó-general, 1ª ed.
57. LINHARES, M.P.; REIS, E.M. (2006). Educando Jovens e Adultos para a Ciência com Tecnologia de Informação e Comunicação. *Projeto de Pesquisa CAPES/SETEC/PROEJA*, nov, Brasília-DF.
58. LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. (1986). *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: Pedagógica e Universitária, p. 11-44.
59. LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*. São Paulo: EDU Editora.
60. MANI, K. and JOHNSON-LAIRD, P. (1982). *The mental representation of spatial descriptions*. *Memory and Cognition*, 10(2):181-187. Apud Sternberg, R.J. (1996). *Cognitive Psychology*. Fourth Worth, TX: Harcourt Brace College Publishers. 555p.
61. MARTINS, I. e VILANOVA, R. (2008). Educação em Ciências e Educação de Jovens e Adultos: pela necessidade do diálogo entre Campos e Práticas. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 2, p. 331- 346.
62. MARTINS, R. L. C. (2006). *A utilização de mapas conceituais no estudo de física no ensino médio: uma proposta de implementação*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF.
63. MARTINS, R. L. C.; LINHARES, M. P (2010). Modelos Mentais de alunos do PROEJA sobre fenômenos clássicos e modernos e a dualidade da luz. *Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física – EPEF*, realizado em Águas de Lindóia, de 26 a 29 de outubro, São Paulo.
64. MARTINS, R. L. C.; LINHARES, M. P.; REIS, E. M. (2007). Integrando mapas conceituais a ações didáticas baseadas em estudos de casos e desenvolvidas no espaço virtual de aprendizagem. *Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (CD-ROM)*, Florianópolis, 282 p.
65. MARTINS, R. L. C.; LINHARES, M. P.; REIS, E. M. (2008). Uma abordagem não formal sobre a Mecânica do Vôo avaliada por meio da elaboração de

- mapas conceituais. *Atas da 60ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisa em Ciências (SBPC, julho UNICAMP, Campinas, SP.*
66. MARTINS, R. L. C.; LINHARES, M. P.; REIS, E. M. (2009b). Mapas conceituais como instrumento de avaliação e aprendizagem de conceitos físicos sobre mecânica do voo. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 9(1).
67. MARTINS, R. L. C.; PEIXOTO, K. C. Q.; SOUSA, N. S.; PAIXÃO, M. L. (2009c) Mapas conceituais em aulas de Ciências da Natureza: uma abordagem integrada do tema energia. Artigo apresentado como comunicação oral no VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC). *Atas do VII ENPEC (CD-ROM)*, Florianópolis, 348 p.
68. MARTINS, R. L. C.; VERDEAUX, M. de F. S; SOUZA, C. M. D. G. (2009a). A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 3, p. 340.
69. MONTENEGRO, R. L., PESSOA JR., O. (2002). Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 1-20.
70. MOREIRA, M. A. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.1, n. 3, p. 193-232. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>.
71. MOREIRA, M. A. (1997) Modelos Mentais. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 3, p. 1-39. Nersessian, N. (1992) How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. (Ed) *Cognitive Models of Science*. Minneapolis, University of Minnesota Press (3-44).
72. MOREIRA, M. A (1999). *Teorias de Aprendizagem*. Editora Pedagógica e Universitária LTDA – EPU, São Paulo.
73. MOREIRA, M. A. (2002). A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 1, p. 7-29.
74. MOREIRA, M. A. (2003). *Linguagem e Aprendizagem Significativa*. Conferência de encerramento do IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Maragogi, AL, Brasil, 8 a 12 de setembro de 2003. Versão revisada e ampliada de participação em mesa redonda sobre Linguagem e Cognição na Sala de Aula de Ciências, realizada durante o II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição, Belo Horizonte, MG, Brasil, 16 a 18 de julho de 2003.
75. MOREIRA, M. A. (2003). Textos de apoio para pesquisa em Ensino nº 19: *Pesquisa em Ensino: aspectos metodológicos*. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Física Porto Alegre, Brasil.
76. MOREIRA, M. A. (2006). *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
77. MOREIRA, M. A. (2009). Textos de apoio para pesquisa em Ensino: aspectos metodológicos-*Métodos Qualitativos e Quantitativos a fim de*

- subsidiar metodologicamente o professor investigador, em particular da área de ensino de ciências.* Instituto de Física, UFRGS, Brasil, 2009 Porto Alegre, Brasil.
78. NERCESSIAN, N. J. (1995). Should Physicists Preach What They Practice Constructive Modeling in Doing and Learning Physics. *Science & Education*, v. 4, n. 3, p. 203-226.
  79. NORMAN, D. A. (1983). *Some observations on mental models*. Em: Gentner, D. e Stevens, A.L. (Ed.). *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
  80. NOVAK J. D e GOWIN, B.D. (1996). *Aprender a Aprender*. Edições Técnicas, Lisboa.
  81. NOVAK, J. D. (1997). Retorno a Clarificar con Mapas Conceptuales. *Atas in Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*. Universidad de Burgos, p. 67 – 68.
  82. OLIVEIRA, M. K. (1999). Jovens e adultos como sujeitos de conhecimento e aprendizagem, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. *Atas da XXII Reunião Anual da ANPEd*, Caxambu, setembro.
  83. ORSTERMANN F. e MOREIRA, M. A (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n.1, p. 23-48.
  84. OSTERMANN, F., FERREIRA, L. M., CAVALCANTI, C. J. H. (1998). 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.
  85. OTERO, M. R. (1999). Psicologia Cognitiva, Representaciones Mentales e Investigación em Enseñanza de las Ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 2, p. 93-119.
  86. PAIS, A. (1982). *“Sutil é o Senhor...”: a ciência e a vida de Albert Einstein*. Nova Fronteira, Rio de Janeiro, RJ.
  87. PALMERO, R.L. M; MOREIRA, A M. (1999). Modelos Mentales de la estructura y el funcionamiento de la célula: Dos estudios de casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 02. Disponível na web. Acesso em: 20/05/2007. <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.
  88. PALMERO, R.L. M; MOREIRA, A M; A COSTA, M J. (2001). La teoría de los Modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios un aplicación con Modelos mentales de células en estudiantes del curso de Orientación Universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 6, n.3. Disponível na web. Acesso em: 20/05/2007. <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>
  89. PEREIRA, A. P. e OSTERMANN, F. (2009). Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 3, pp. 393-420.
  90. PESSOA, JR. O. (2003). *Conceitos de Física Quântica*. Editora Livraria da Física, 1ª edição, v. 1 e 2, São Paulo/SP.



91. PESSOA, JR. O. (2006). Introdução Histórica à Teoria Quântica, aos seus problemas de fundamentos e às suas interpretações. *Caderno de Física Ada UEFS*, n. 4, v. 01 e 02, p. 89-114.
92. PIETROCOLA, M. (1999). Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o Ensino de Ciências através de Modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 3, p. 213-227.
93. PINTO, A. O. e MOREIRA, M. A. (2003). Dificuldades dos alunos na aprendizagem na Lei de Ampère, à Luz da Teoria dos modelos Mentais de Jonhson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 3, p. 317-325.
94. POZO, J. I. (2002). La adquisición de conocimiento científico como un processo de cambio representacional. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n. 3. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>.
95. QUINTO, T. e FERRACIOLI, L. (2008). Modelos e Modelagem no contexto do Ensino de Ciências no Brasil: uma Revisão de Literatura de 1996-2006. *Revista Didática Sistêmica*, ISSN 1809-3108, v. 8, jul a dez. Universidade Federal do Rio Grande (FURG).
96. REIS, E. M. e LINHARES, M. P. (2010). Ensino de Ciências com Tecnologias: um caminho metodológico no PROEJA. *Educação e Realidade*, v. 35, n. 1, p. 129-150, jan/abr.
97. RICCI, T. S. F; P. S. D; ORSTERMANN F. (2008) Investigando a aprendizagem de professores de física acerca do fenômeno da interferência quântica. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 1, p. 35-54.
98. ROMERO, T (2007). Construindo mapas conceituais. *Ciências & Cognição* v. 12, pp. 72-85, dez.
99. ROSA, L. P (2007). Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59.
100. SANTANA, L. M.A; DIAS, E. J. W; BORGES, M. E. N. (2008). Contribuições da psicologia do pensamento e da cognição para os indexadores relacionais de Farradane. *Atas do Encontro BIBLI*, primeiro semestre n. 25, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 36 – 54.
101. SEGRÈ, E. (1982). *Dos raios X aos Quarks. Físicos Modernos e suas Descobertas*. Universidade de Brasília, DF.
102. SILVA, J. A.; KAWAMURA, M. R. D. (2001). *A Natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula*. Este artigo resulta da monografia de fim de curso *Natureza da Luz: da Mídia Para a Sala de Aula*, São Paulo, IFUSP.
103. SILVA, J.A, (1997). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, n. 3, p. 317-340, dez.
104. SILVA, M. M. E AMADOR F. (2002). Dos Modelos históricos (historia da geologia) aos Modelos dos alunos. *Investigações em Ensino de Ciências*, n. 7, v.3. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>. Acesso em: 20 de maio de 2007.



105. SILVA, F. W. O. (2007). A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 149-159.
106. SOARES, J. F. e BROOKE, N. (2008). *Pesquisa em Eficácia Escolar*. Editora UFMG.
107. SOUZA, C. M. S. G.; LARA, A. E; MOREIRA, M. A. (2004). A resolução de problemas em conteúdo de ondas na perspectiva dos Campos Conceituais: uma tentativa de inferir a construção de modelos mentais e identificar invariantes operatórios. *Atas do II Encontro Iberoamericano sobre Investigação Básica em Educação em Ciências*, Burgos, Espanha.
108. SOUZA, C.M.S.G; MOREIRA, M.A. (2000) A causalidade Piagetiana e os modelos mentais. Explicações sobre o funcionamento do Giroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 2, p. 223-231.
109. SOUZA, C. M. S. G.; MOREIRA, M. A. (2005). Representações sociais. In: Representações mentais, modelos mentais, e representações sociais: textos de apoio para pesquisadores em educação em ciências. Marco Antonio Moreira (org). Porto Alegre: UFRGS, p.91-128.
110. STATHPOULOU, C. e VOSNIADOU, S. (2007). Exploring the relationship between Physics-related epistemological beliefs and Physics understanding. *Journal of Educational Psychology*. Editora Elsevier, p. 255-281.
111. TERRAZZAN, E. (1992). A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez.
112. TRIPP, D. (2005). Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, v. 31, n. 3, pp. 443-466, set./dez., São Paulo, SP.
113. VALADARES, E. C. e MOREIRA, A. M. (1998). Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago.
114. VEIT, E. A., THOMAS, G., FRIES, S. G., AXT, R., SELISTRE, L. F. (1998). O efeito fotoelétrico no 2º grau via microcomputador. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 68-88, ago.
115. VERGNAUD, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. p. 1-26.
116. VERGNAUD, G. (1996a). *Education: the best part of Piaget's heritage*. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3): 112-118.
117. VERGNAUD, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, n. 4, p. 9 – 19, Porto Alegre, RS.
118. VERGNAUD, G (1996c). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, v. 26, n. 10, p. 195-207.

119. VERGNAUD, G. (2003). *Por que ainda há quem não aprende?* Editora Vozes, Petrópolis, 2.ed., p. 21-60.
120. VERGNAUD, G. (2007) ¿En qué sentido la Teoría de los Campos Conceptuales puede ayudarnos para facilitar Aprendizaje Significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 2, p. 285-302.
121. VILLANI, A. e CARVALHO, L. O. (2005). Discursos do professor e subjetividade na aprendizagem de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, p. 3, p. 363-386.
122. VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change. In S. Vosniadou (Guest Editor), Special Issue on Conceptual Change, *Learning and Instruction*, v. 4, p. 45-69.
123. VYGOTSKY, L. S. (1987). *Pensamento e linguagem*. 1ª ed. bras. São Paulo: Martins Fontes.
124. VYGOTSKY, L. S. (1988). *A formação social da mente*. 2ª ed. bras. São Paulo: Martins Fontes.
125. YOUNG, H. D. & FREEDMAN, R. A. (2010). Física IV- Ótica e Física Moderna. Editora Pearson, 12ª edição, São Paulo/SP.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A

<b>QUESTIONÁRIO</b>		<b>Data:</b> ____/____/____
Escola:		
Série:	Turma:	
Turno: <input type="checkbox"/> diurno	Turno: <input type="checkbox"/> noturno	
Sexo: <input type="checkbox"/> feminino <input type="checkbox"/> masculino	Idade:	
1. Disponibilidade para estudo:		
a) Você trabalha fora?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não
b) Se trabalha, quantas horas?	<input type="checkbox"/> até 4 h	<input type="checkbox"/> até 8 h
c) Trabalha quantos dias/semana?	<input type="checkbox"/> até 5 d	<input type="checkbox"/> mais que 5d
d) Quantas horas estuda em casa?	<input type="checkbox"/> até 3h	<input type="checkbox"/> menos de 3h <input type="checkbox"/> nunca
2. Contexto Social:		
a) Você mora próximo à escola?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> não
b) Quanto tempo gasta para chegar à escola?	<input type="checkbox"/> menos de 1h	<input type="checkbox"/> mais de 1h
c) Como chega à escola?	<input type="checkbox"/> carro	<input type="checkbox"/> ônibus <input type="checkbox"/> à pé
3. Relacionamento com a disciplina:		
a) Você gosta de estudar Física?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> mais ou menos <input type="checkbox"/> não
b) Você considera a Física uma matéria complicada?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> mais ou menos <input type="checkbox"/> não
c) O que você mais gosta nas aulas de Física?	<input type="checkbox"/> histórias	<input type="checkbox"/> experiências <input type="checkbox"/> problemas
d) As aulas de Física são:	<input type="checkbox"/> cansativas	<input type="checkbox"/> divertidas <input type="checkbox"/> interessantes
e) Como você gostaria que fossem as aulas de Física?	<input type="checkbox"/> expositiva/exercíc.	<input type="checkbox"/> experim./exercíc
f) O que você aprende nas aulas te possibilita viver melhor?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> mais ou menos <input type="checkbox"/> não
g) Você aplica no seu dia a dia o que aprende nas aulas?	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> mais ou menos <input type="checkbox"/> não
h) Pode exemplificar uma aplicação?	<hr style="border: 1px solid black;"/> <hr style="border: 1px solid black;"/> <hr style="border: 1px solid black;"/> <hr style="border: 1px solid black;"/>	

## APÊNDICE B

### Avaliação de concepções de ensino e aprendizagem: perspectiva do aluno

Renata Lacerda Caldas Martins - [rcaldas@uenf.br](mailto:rcaldas@uenf.br)  
Departamento de Física/Uenf Programa de Pós-graduação em Ciências  
Naturais/Uenf

Adaptado de Romero, 2007.

Prezado aluno, sabemos que cada indivíduo adquire ao longo da vida sua maneira particular de aprender algo novo. Cada um de você tem seu estilo pessoal de aprender.

Este questionário pretende analisar e quantificar estratégias de ensino e de aprendizagem utilizadas por estudantes de Física em diferentes áreas do conhecimento e em diferentes estágios de seus cursos.

Para cada item deve ser marcada uma alternativa que melhor se aproxima da sua escolha, onde existe a seguinte equivalência:

**DF** - Discordo fortemente

**I** - Indiferente

**C** – Concordo

**D** - Discordo

**CF** - Concordo fortemente

Nome: \_\_\_\_\_ Nº. de matrícula:

\_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_

1. Um(a) bom(boa) professor(a) de física nos ensina passo a passo como resolver um problema.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

2. Um(a) bom(boa) professor(a) de física discute a teoria para encaminhar a solução de um problema.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

3. Um(a) bom(boa) professor(a) de física expõe o conteúdo de modo a incentivar os alunos a discutirem sobre o que foi mostrado.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

4. Um(a) bom(boa) professor(a) expõe o conteúdo de tal forma, que ao final, não é

necessário alguma pergunta dos(das) alunos(as) sobre o assunto

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

5. Um novo aprendizado nos faz refletir sobre o que já sabíamos do assunto.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

6. Quando aprendo bem um assunto, sou capaz de repeti-lo exatamente com as mesmas palavras do livro.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

7. Quando aprendo bem um assunto sou capaz de externalizar o conteúdo com as minhas próprias palavras.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

8. Quando aprendo bem um assunto ainda sou capaz de falar sobre a sua essência mesmo depois de passado um bom tempo.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

9. Quando aprendo bem um assunto sou capaz de fazer conexões (relações) deste assunto com temas de meu cotidiano.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

10. Na medida em que aprofundo meu conhecimento em determinado assunto, começo a diferenciar as várias partes que compõem esse conteúdo.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

11. Na medida em que aprofundo meu conhecimento em determinado assunto, começo a fazer relações entre tópicos deste conteúdo com tópicos de outros conteúdos que já conhecia.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

12. Na medida em que aprofundo meu conhecimento em determinado assunto, se esgotam as possibilidades de aprendizado sobre esse tema.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

13. Sei que aprendi a Física quando consigo decorar as fórmulas.

**DF**

**D**

**I**

**C**

**CF**

14. Sei que aprendi a Física quando consigo resolver os problemas do livro.

DF

D

I

C

CF

15. A Física é uma disciplina difícil de aprender porque tem muitos cálculos.

DF

D

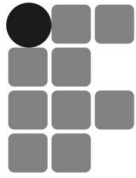
I

C

CF

# CICLO I

## APÊNDICE C



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica

Data:

/ /

Módulo: IV

Disciplina: Física IV-EJA

Professor (a): Renata Lacerda C. Martins  
noturno

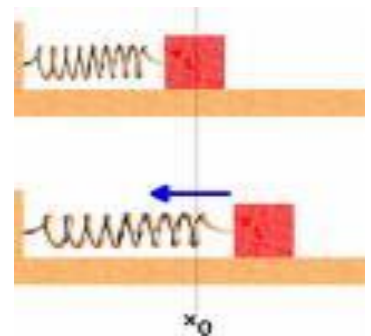
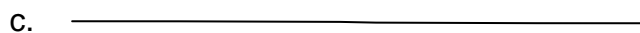
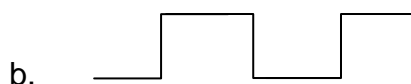
Turno:

Nome do Aluno:

---

### Segunda Atividade

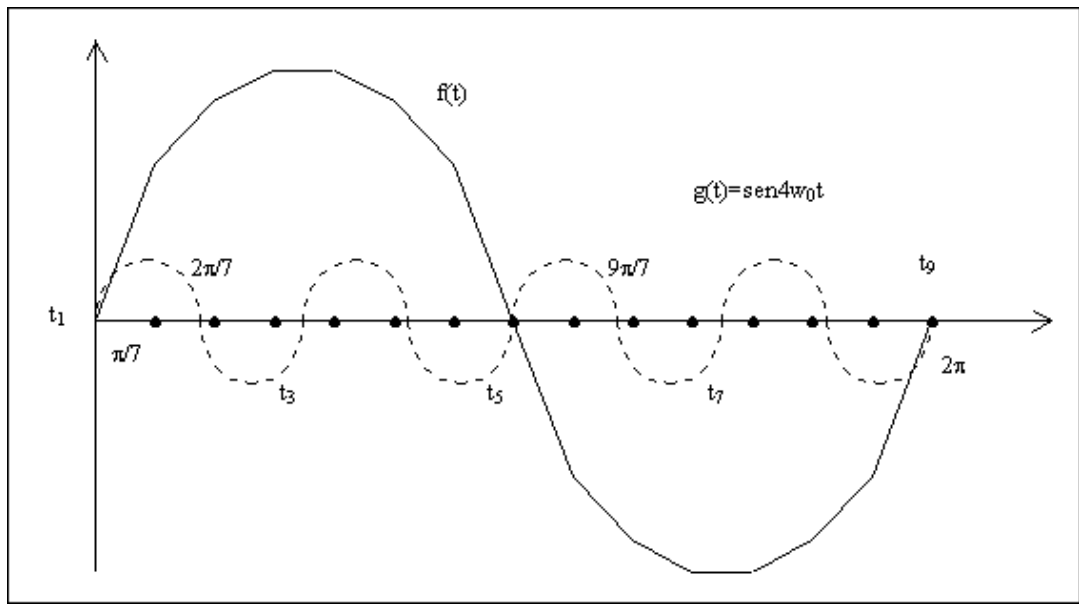
ONDAS - Qual(is) alternativa(s) melhor representa o MOVIMENTO da mola?



Na figura abaixo, utilizando uma régua, medir o comprimento de onda e identificar qual das ondas, possui a maior frequência. Onda 1 – linha contínua e Onda 2, linha tracejada.



- a. Qual o comprimento de onda ( $\lambda$ ) da onda 1 \_\_\_\_\_ e da onda 2 \_\_\_\_\_ ?
- b. Qual das ondas possui maior frequência? Explique.
- c. Qual o período de oscilação da onda 1 e da onda 2?



### ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO – GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

- b) Com base na figura abaixo, determinar a frequência da luz para a cor verde e vermelha. Use a velocidade da luz  $c = 3 \times 10^8$  m/s e a equação para calcular a frequência  $f$  é dada por:  $f = \frac{c}{\lambda}$ , sendo que  $1\text{nm} = 10^{-9}$  m.

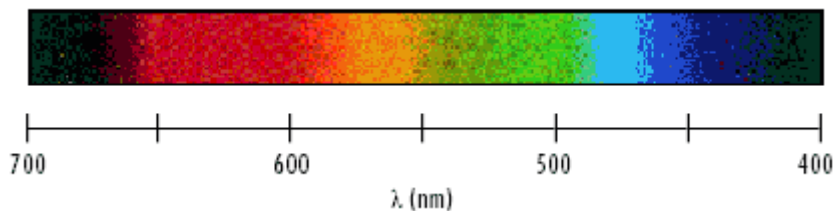
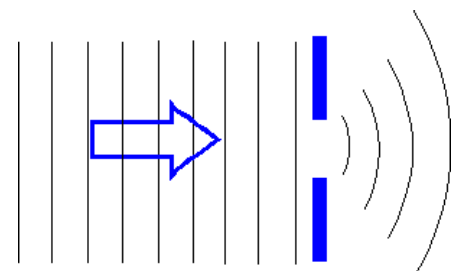


Figura – Espectro de luz visível

### DIFRAÇÃO DE ONDAS

- 1) Sabemos que numa câmara escura, o orifício de abertura é pequeno e, no entanto a imagem obtida no fundo da câmara segue um comportamento geométrico da luz. Explique.



2) A difração acontece com ondas. Sabemos que as ondas sonoras, conseguem contornar um muro, pois podemos ouvir alguém que está falando atrás do mesmo. Por que não podemos ver essa pessoa atrás do muro?

**Após discutir com seu grupo, responda as questões a seguir:**

Questão 1 – Quais fenômenos são característicos da luz?

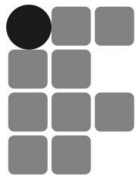
Questão 2 – Como vemos a cor de um corpo?

Questão 3 – Porque a luz branca se decompõe?

Questão 4 – A refração da luz na atmosfera produz quais fenômenos?

Questão 5 – O que afinal, é a luz? Tente explicar com suas palavras.

## APÊNDICE D



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrônica

Data: / /

Módulo: IV

Disciplina: Física IV-EJA

Professor (a): Renata Lacerda C. Martins  
noturno

Turno:

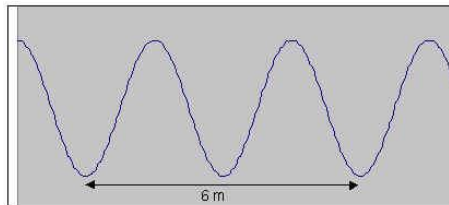
Nome do Aluno:

---

### Quinta Atividade

**Questão 1** – Suponha que uma onda de água aproxima-se de um pier com velocidade de 1,5 m/s e um comprimento de onda de 2 m. Com que frequência a onda atinge o pier?

**Questão 2** – Uma onda em uma corda é mostrada abaixo. Qual é o seu comprimento de onda? Se a frequência for de 4 Hz, qual é a sua velocidade?



**Questão 3** – Relacione as radiações constantes no espectro eletromagnético à sua aplicação no cotidiano do ser humano.

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Raios X      | <input type="checkbox"/> Ondas com comprimentos ( $\lambda$ ) maiores.                         |
| <input type="checkbox"/> Raios Gama   | <input type="checkbox"/> Ondas com maiores frequências ( $f$ ).                                |
| <input type="checkbox"/> Ondas longas | <input type="checkbox"/> Ondas usadas na transmissão sinais telefônicos.                       |
| <input type="checkbox"/> Microondas   | <input type="checkbox"/> Ondas sensíveis ao olho humano.                                       |
| <input type="checkbox"/> Ultravioleta | <input type="checkbox"/> Ondas que causam dano à pele humana quando exposta ao Sol.            |
| <input type="checkbox"/> Luz visível  | <input type="checkbox"/> Ondas que só não atravessam os tecidos duros e ossos do corpo humano. |

**Questão 4** – A interferência da luz na experiência de Young mostra a luz:

- a) tem comportamento ondulatório.
- b) tem comportamento de partícula.
- c) é uma onda longitudinal.
- d) tem comportamento eletromagnético.
- e) é completa de fótons.

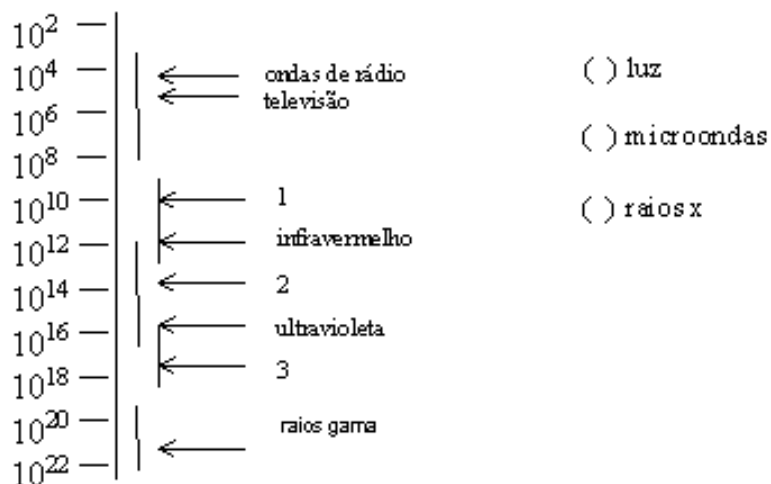
**Questão 5** – O fenômeno da refração da luz ocorre sempre que um raio de luz:

- a. incidir sobre uma superfície espelhada de um espelho ideal.
- b. atravessar a superfície de separação de dois meios transparentes e de índices de refração diferentes.
- c. atravessar um orifício de diâmetro igual a  $10^{-2}$  cm.
- d. se propagar na água.
- e. se propagar no vácuo.

**Questão 6** – Sobre o fenômeno de difração, assinale o que for correto.

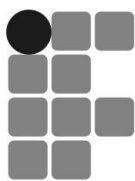
- a. A difração só é observável quando as dimensões do obstáculo ou da fenda são da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente.
- b. A ocorrência da difração da luz visível está restrita a fendas estreitas.
- c. As ondas mecânicas não sofrem difração.
- d. O grau de difração de uma onda independe da sua frequência.
- e. O fenômeno da difração ocorre somente para alguns tipos de ondas.

**Questão 7** – Associe cada radiação eletromagnética (coluna da direita) com o seu intervalo de frequência  $f$ , representado no espectro eletromagnético (coluna da esquerda) A relação numérica, de cima para baixo, da coluna da direita, que estabelece a seqüência de associações corretas é:





## APÊNDICE E



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrônica**

**Data: /**

**/**

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-EJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins  
noturno**

**Turno:**

**Nome do Aluno:**

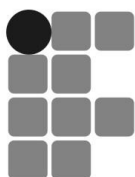
---

---

**Após realizados os experimentos sobre EFEITO FOTOELÉTRICO e DIFRAÇÃO/INTERFERÊNCIA DA LUZ, responda as questões que se seguem.**

1. O que é um fóton?
2. O que é um elétron?
3. Onde se encontram os fótons?
4. Onde se encontram os elétrons?
5. Tente explicar com suas palavras o experimento do efeito fotoelétrico que você viu no laboratório.
6. Tente explicar com suas palavras porque na parede formam figuras de “pontos de luz” espaçadas quando um feixe de laser passa por uma fenda, ou por uma rede de difração ou até mesmo por um fio de cabelo.
7. Quais as diferenças importantes você consegue verificar? Qual(is) conclusões você tira ao assistir a esses dois experimentos: efeito fotoelétrico e interferômetro.

## APÊNDICE F



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrônica**

**Data:**

/ /

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-**

**PROEJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**

**Turno:**

**noturno**

**Nome do Aluno:** \_\_\_\_\_ **Matrícula:**

\_\_\_\_\_

### AVALIAÇÃO FINAL

**Questão 1** – Que afirmação, dentre as seguintes, melhor se adapta a explicação do efeito fotoelétrico proposto por Einstein?

- a) A luz e radiação eletromagnética
- b) A intensidade de um feixe luminoso esta relacionada à sua frequência
- c) A luz pode ser imaginada como constituída por partículas sem massa cuja energia e dada pela equação de Planck,  $E = hf$ ?

**Questão 2** – Sobre a luz emitida por uma lâmpada de sódio ou de mercúrio, ou até mesmo a luz emitida pela chama de uma vela, julgue os itens:

- ( ) São todas radiações eletromagnéticas
- ( ) Somente a luz emitida pela lâmpada é radiação eletromagnética
- ( ) São todas constituídas por fótons
- ( ) Somente a luz produzida pela chama da vela emite fótons

**Questão 3** – A respeito das dualidades onda-partícula da luz, apresentam-se as seguintes proposições:

- ( ) O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são simultâneos.
- ( ) O comportamento ondulatório da luz exclui seu comportamento corpuscular.
- ( ) O comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz são equivalentes.

**Questão 4** – Sobre o que é um fóton e um elétron, julgue os itens:

- ( ) Ambos formam a luz e têm massa
- ( ) Somente os elétrons formam a luz (radiação em geral)
- ( ) Somente os fótons formam a matéria (corpos em geral)
- ( ) Os elétrons tem massa e são constituintes da matéria
- ( ) Os fótons não tem massa e constituem a radiação eletromagnética.

**Questão 5** – Para remover um elétron de um metal, necessita-se de 4,2 eV de energia. Quando fótons de luz ultravioleta atingem o metal, elétrons com energia cinética de 1,5 eV são liberados. Então, qual a energia dos fótons incidentes em eV?

**Questão 6** – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: **“O que é Luz e como ela se comporta?”**

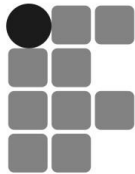
**Conceitos:**

Onda eletromagnética	Fenômenos	Luz	Reflexão
Difração	Efeito Fotoelétrico	Refração	Dual
Onda	Partícula		
Fóton		Elétron	Fenda
Interferência			



## CICLO II

### APÊNDICE G



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica**

**Data:**

/ /

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-**

**PROEJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**  
**noturno**

**Turno:**

**Nome do Aluno: \_\_\_\_\_ Matrícula:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### **Texto sobre Comunicado da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT/Brasil) sobre os acidentes em usinas nucleares japonesas. (Março/2011)**

Atenta aos acontecimentos no Japão envolvendo usinas nucleares e sensível aos anseios que eles podem despertar na população brasileira quanto à segurança das usinas Angra 1 e Angra 2, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) vem a público trazer alguns esclarecimentos:

Acidentes relevantes com usinas nucleares são raros. O último deles ocorreu há 25 anos, em Chernobyl. Atualmente, a tecnologia empregada evoluiu bastante, o que torna ainda mais improvável a repetição de algo semelhante. O acidente no Japão vem apresentando um nível de gravidade muito menor que Chernobyl, mas que ainda exige bastante atenção por parte das autoridades daquele país.

As condições extremas causadas pelos abalos sísmicos no Japão não fazem parte da realidade brasileira. Porém, mesmo aqui, as usinas nucleares estão preparadas para problemas que possam eventualmente ocorrer, mesmo com probabilidade muito baixa. Elas seguem rigorosas normas nacionais e internacionais de segurança que garantem a proteção de trabalhadores, da população local e do meio ambiente. Qualquer possível evolução nas condições de segurança resultante da experiência japonesa, caso se mostre necessário, será adequadamente incorporada à realidade nacional após as conclusões técnicas que forem tiradas.

O Programa Nuclear Brasileiro está em crescimento, com a perspectiva de ampliação do uso da energia nuclear na medicina, indústria, pesquisa,

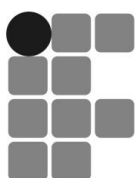
agricultura e também na geração de eletricidade. A construção de Angra 3 já iniciou e há previsão de outras usinas em território nacional. Esses planos não devem sofrer alterações, pois a CNEN investe continuamente em um rigoroso trabalho de fiscalização e controle das aplicações de técnicas nucleares no Brasil e acredita nos benefícios que o uso seguro e pacífico da energia nuclear pode trazer ao nosso País.

## **QUESTÕES INICIAIS DE PRÉ-CONCEPÇÃO SOBRE ENERGIA NUCLEAR**

1. Os corpos (matéria) são formados de partículas menores. Se você concorda com essa afirmação, diga qual o nome dessas partículas.
2. Todos os corpos (matéria) são formados pelas mesmas partículas?
3. O que você acha que diferencia dois ou mais corpos?
4. As partículas que formam a matéria são formadas por partículas ainda menores. Se você concorda, diga quais são elas, e faça também um “desenho” para representá-las.
5. O que você sabe sobre prótons, nêutrons e elétrons?
6. Que tipo de ligação você acha ter essas partículas com a energia nuclear?
7. Então, você consegue dizer o que é energia nuclear?
8. O que é um reator nuclear?
9. O que é fissão nuclear?
10. Cite alguns tipos de elementos ou materiais que você acha ou sabe que são radioativos.
11. Para que servem as usinas nucleares? Elas são úteis ou não?
12. O que você acha que está acontecendo no Japão nos dias de hoje, quando se fala que “há vazamento de radiação”?
13. O que é radiação? Cite alguns tipos.
14. Toda radiação é nociva ao ser humano. Justifique.
15. Tente relacionar as palavras abaixo por meio de um esquema qualquer:

Energia nuclear	Prótons	Radiações	Átomos
Energia	Reator nuclear	Nêutrons	
Elétrons			
Radioatividade	Reações atômicas	Núcleo do átomo	
Urânio			

## APÊNDICE H



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica**  
/ /

**Data:**

**Módulo: IV**  
**PROEJA**

**Disciplina: Física IV-**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**  
**noturno**

**Turno:**

**Nome do Aluno:** \_\_\_\_\_ **Matrícula:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

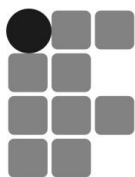
**Prezado aluno, de acordo com sua leitura da *Apostila educativa Energia Nuclear* e nossas discussões em sala de aula tente responder as questões abaixo após a reflexão com seu grupo.**

1. Quais os tipos de energia foram estudados?
2. Cite alguns tipos de transformação de energia.
3. De que é formada a matéria?
4. Você conseguiria definir energia nuclear.
5. Para que serve essa energia nuclear?
6. Como utilizar essa energia nuclear?

7. Fale um pouco sobre fissão nuclear e reação em cadeia?
  8. O que são isótopos?
  9. Qual a importância do átomo de Urânio? Quais seus isótopos?
  10. O que é enriquecimento de Urânio e onde isso é feito?
  11. Como controlar uma reação em cadeia no átomo de Urânio?
  12. O que é, e para que serve um reator nuclear?
  13. Quais reatores nucleares temos no Brasil? Fale um pouco sobre eles.
- 

ATENÇÃO: Por favor, responda em folha à parte. Entregar no final da aula.

## APÊNDICE I



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica**

**Data:**

/ /

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-**

**PROEJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**  
**noturno**

**Turno:**

**Nome do Aluno:** \_\_\_\_\_ **Matrícula:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

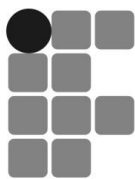
\_\_\_\_\_

### Quarta Atividade

**De acordo com as discussões feitas em sala de aula e suas leituras e pesquisas, elabore um mapa conceitual sobre energia nuclear. São sugeridas alguns conceitos:**

Energia nuclear	Prótons	Radiações	Átomos
Energia	Reator nuclear	Nêutrons	
Elétrons			
Radioatividade	Reações atômicas	Núcleo do átomo	
Urânio			

## APÊNDICE J



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica**

**Data: /**

**/**

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-**

**PROEJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**

**Turno:**

**noturno**

**Nome do Aluno: \_\_\_\_\_ Matrícula: \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### **Texto: Adaptação da notícia veiculada em 20/04/2010 pela BBC Entenda a polêmica envolvendo a usina de Belo Monte**

O projeto de construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte surgiu há mais de trinta anos, ainda no período de ditadura militar. O projeto foi engavetado em 1989, sob pressões de grupos indígenas liderados pelo cacique Raoni e o cantor Sting, ex-vocalista da banda "The Police".

Com projeto para ser instalada na região conhecida como Volta Grande do Rio Xingu, no Pará, a Usina de Belo Monte deve ser a terceira maior do mundo em capacidade instalada, atrás apenas das usinas de Três Gargantas, na China, e da binacional Itaipu, na fronteira do Brasil com o Paraguai.

De acordo com o governo, a usina terá uma capacidade total instalada de 11.233 megawatts (MW), mas com uma garantia assegurada de geração de 4.571 MW, em média.

O custo total da obra deve ser de R\$ 19 bilhões, o que torna o empreendimento o segundo mais custoso do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), atrás apenas do trem-bala entre São Paulo e Rio, orçado em R\$ 34 bilhões. A usina deve começar a operar em fevereiro de 2015, mas as obras devem ser finalizadas em 2019.

Uma das grandes vantagens da usina de Belo Monte, de acordo com o governo, é o preço competitivo da energia produzida lá. O consórcio Norte Energia venceu o pregão ao oferecer o preço de R\$ 78 pelo megawatt-hora (MWh) produzido em Belo Monte, um deságio de 6,02% em relação ao teto que havia sido estabelecido pelo governo - que era de R\$ 83 por MWh.

Segundo o presidente da estatal Empresa de Pesquisa Energética, Mauricio Tolmasquim, este teto do governo já representava pouco mais que a metade do preço da energia produzida em uma usina termelétrica, por exemplo, com a vantagem de ser uma fonte de energia renovável.

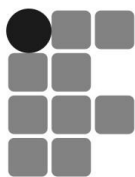
Além disso, a construção de Belo Monte deve gerar 18 mil empregos diretos e 23 mil indiretos e deve ajudar a suprir a demanda por energia do Brasil nos próximos anos, ao produzir eletricidade para suprir 26 milhões de pessoas com perfil de consumo elevado.

### **QUESTÕES INICIAIS DE PRÉ-CONCEPÇÃO SOBRE ENERGIA HIDRICA**

1. O que é uma usina hidrelétrica e qual a sua utilidade?
2. Qualquer rio pode ser usado para construir uma hidrelétrica?
3. O que você acha que é feito com tanta água?
4. O que é barragem?
5. O que são as turbinas?
6. Que tipo de transformação de energia ocorre numa hidrelétrica?
7. O que acontece com o ambiente ao redor de um rio quando se constrói uma hidrelétrica. Ele é afetado ou não?
8. Você acha que uma hidrelétrica é uma fonte de energia rentável?
9. A energia produzida numa hidrelétrica pode ser considerada limpa?
10. Tente relacionar as palavras abaixo por meio de um esquema qualquer:

Energia potencial	Água	Usina hidrelétrica
cachoeira		
Energia mecânica	turbina	Energia elétrica
inundação		
Ambiente	rios e matas	transformador

## APÊNDICE K



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrônica**

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-**

**PROEJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**  
**noturno**

**Turno:**

**Nome do Aluno:**

---

---

**A pesquisa na internet realizada em duas aulas (45 min cada), o grupo responderá as questões sorteadas e na última aula, apresentará resumidamente seus resultados.**

**GRUPO 1**

1. O que é uma usina hidrelétrica?
2. Qual a sua utilidade de uma hidrelétrica?
3. Qualquer rio pode ser usado para construir uma hidrelétrica?  
Explique.

**GRUPO 2**

1. O que é uma barragem?
2. O que são e como funcionam as turbinas?
3. Que tipo de transformação de energia ocorre numa hidrelétrica?

**GRUPO 3**

1. O que acontece com o ambiente ao redor de um rio quando se constrói uma hidrelétrica. Ele é afetado ou não? Explique os impactos.
2. Você acha que uma hidrelétrica contribui para o efeito estufa?
3. A energia produzida numa hidrelétrica pode ser considerada limpa?

**GRUPO 4**

1. O que é e como funciona um gerador?
2. Quais os componentes de uma usina convencional?

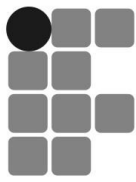


3. Explique o ciclo hidrológico?

GRUPO 5

1. Enumere os ciclos de transformação de energia de uma hidrelétrica.
2. Aponte pelo menos três vantagens e três desvantagens de uma hidrelétrica.

## APÊNDICE L



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica**

**Data:**

/ /

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-**

**PROEJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**  
**noturno**

**Turno:**

**Nome do Aluno:** \_\_\_\_\_ **Matrícula:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### RECAPITULANDO O QUE VOCÊ APRENDEU

De acordo com o que foi estudado até hoje, suas leituras e pesquisas, discuta com seu grupo e responda as questões abaixo.

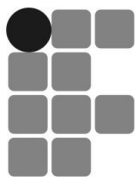
1. O que é energia?
2. Quais as formas de energia estudadas?
3. Cite alguns tipos de transformação de energia que ocorrem nas usinas nucleares e hidrelétricas.
4. O que é energia nuclear? E como utilizá-la?
5. O que é, e para que serve um reator nuclear?
6. Fale o que você aprendeu sobre geradores e transformadores.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ATENÇÃO:** Por favor, responda em folha à parte. Entregar no final da aula.

## APÊNDICE M



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica

Data:

/ /

Módulo: IV

Disciplina: Física IV-

PROEJA

Professor (a): Renata Lacerda C. Martins  
noturno

Turno:

Nome do Aluno: \_\_\_\_\_ Matrícula:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

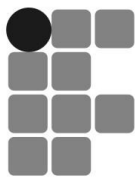
\_\_\_\_\_

### PRIMEIRA ATIVIDADE FINAL

De acordo com as discussões feitas em sala de aula e suas leituras e pesquisas, elabore um mapa conceitual sobre energia nuclear. Como sugestão e direcionamento, tente responder as questões abaixo durante a elaboração.

1. O que é energia nuclear?
2. Para que serve a energia nuclear, numa usina nuclear?
3. Quais os processos são realizados para a utilização de uma usina nuclear na transformação em energia elétrica?

## APÊNDICE N



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrotécnica

Módulo: IV

Disciplina: Física IV-

PROEJA

Professor (a): Renata Lacerda C. Martins  
noturno

Turno:

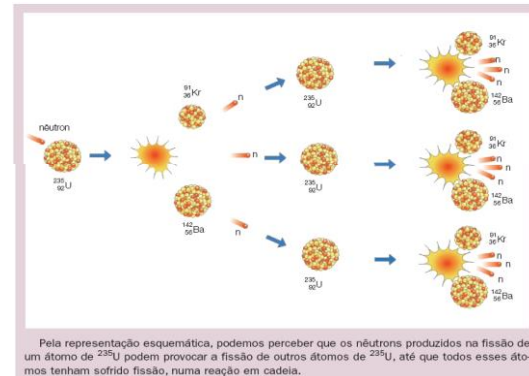
Nome do Aluno:

---

---

### SEGUNDA ATIVIDADE FINAL

1. Tente explicar com suas palavras o que está acontecendo nesse desenho. Diga que tipo de fenômeno, o que gera e quais as conseqüências.
- 
- 



2. Sobre os fenômenos radioativos, suas aplicações e as discussões suscitadas pela polêmica em torno da provocação nuclear da Coreia do Norte com os testes nucleares, assinale a alternativa **INCORRETA**.
  - c) A reação em cadeia da fissão nuclear é o processo de quebra de núcleos grandes em núcleos menores, liberando uma grande quantidade de energia.
  - d) Nos produtos da fissão nuclear do urânio-235 é possível identificar vários isótopos pertencentes a diferentes elementos químicos que emitem radiação  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .
  - e) O lixo nuclear deve ser armazenado em recipientes de chumbo e/ou concreto e guardados em locais seguros por tempo suficiente para que a radiação caia a níveis não-prejudiciais.
  - f) Os reatores nucleares norte-coreanos produzem energia limpa e não oferecem nenhum risco ao ambiente e à população local.
3. A respeito das palavras abaixo, **descreva com palavras ou esquema**:
  - 1º. Como você entende seu significado?
  - 2º De que maneira estas palavras estão relacionadas entre si de acordo com estes significados?

3º. De que forma podemos diferenciá-las?

**Energia nuclear - Fissão Nuclear - Prótons e Nêutrons - Átomos radioativos**

---

---

---

---

---

---

---

4. O debate em torno do uso da energia nuclear para a produção de eletricidade permanece atual. Em um encontro internacional para a discussão desse tema, foram colocados os seguintes argumentos:

- I. Uma grande vantagem das usinas nucleares é o fato de não contribuírem para o aumento do efeito estufa, uma vez que o urânio utilizado como “combustível” não é queimado, mas sofre fissão.
- II. Ainda que sejam raros os acidentes com usinas nucleares, seus efeitos podem ser tão graves que essa alternativa de geração de eletricidade não nos permite ficar tranquilos.

A respeito dos dois argumentos, e baseado no que já estudamos sobre o assunto Energia Nuclear, **diga o que você acha** sobre cada um, se ambos são válidos ou não, se apenas um é válido e justifique sua escolha dando sua opinião.

---

---

---

---

---

---

---

5. Redija um pequeno texto de opinião (mínimo 3 linhas), baseado em suas leituras diárias e no que você estudou em sala de aula, sobre a viabilidade ou não da ENERGIA NUCLEAR como fonte de energia alternativa.

---

---

---

---

---

6. O que dificultou a compreensão da estrutura nuclear do átomo foi a natureza desconhecida, durante algum tempo, das três radiações emitidas pelos núcleos. Sobre as radiações nucleares e a constituição do núcleo, relacione as grandezas abaixo:

( 1 ) Radiação alfa  $\alpha$       ( ) Emitida em forma de ondas eletromagnéticas

( 2 ) Radiação beta  $\beta$       ( ) Emitida em forma de matéria e tem carga positiva

( 3 ) Radiação gama  $\gamma$       ( ) Emitida em forma de matéria e tem carga negativa

7. Ainda sobre a constituição dos núcleos atômicos e a radiatividade natural e conforme seus conhecimentos adquiridos, **forme pelo menos quatro frases** com os conceitos relacionados a seguir, utilizando as palavras de ligação:

**Conceitos:** núcleos atômicos; átomos; massa atômica; elemento químico; prótons; nêutrons; elétrons; isótopos;

**Palavras de ligação:** constituídos, são, de, do, define, mesmo, diferente; número de; é; a; soma; com.

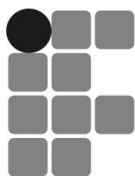
---

---

---

---

## APÊNDICE O



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE  
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação  
Profissional e Tecnológica

Ministério  
da Educação



**Curso: Técnico de Nível Médio Integrado em Eletrônica**

**Módulo: IV**

**Disciplina: Física IV-**

**PROEJA**

**Professor (a): Renata Lacerda C. Martins**

**Turno:**

**noturno**

**Nome do Aluno:**

---

---

PREZADO ALUNO, PARA CONHECER SUA OPINIÃO SOBRE AS ESTRATÉGIAS DE ENSINO UTILIZADAS E SUA APRENDIZAGEM, POR FAVOR RESPONDA ESSE QUESTIONÁRIO (NÃO PRECISA SE IDENTIFICAR)

1. Se você achou interessante o estudo da Energia Nuclear, que parte do estudo você destacaria? Cite algumas.

---

---

---

---

---

2. Você conseguiu perceber uma evolução no seu conhecimento sobre o assunto Energia Nuclear? Se você percebeu, mostre por meio de um esquema ou com suas palavras essa evolução.

**Eu antes não sabia..... Agora eu aprendi que.....**

---

---

---

Que nota (de 0 a 10) você daria para sua participação e interesse em aprender? \_\_\_\_\_

Porque você acha que merece essa nota?

---

---

---

3. Que nota (de 0 a 10) você daria à cada uma das metodologias utilizadas para o estudo da Energia Nuclear, **no que diz respeito a facilitação de sua aprendizagem.**

aulas expositivas (     )

vídeos apresentados (     )

apresentação de trabalhos aos colegas da turma (     )

elaboração de carta para expor sua opinião (     )

leitura e discussão de textos em sala de aula (     )

elaboração de mapas conceituais (     )

exercícios realizados em duplas (     )

exercícios realizados individualmente (     )

4. Do que você sentiu falta? Quais sugestões você poderia dar para melhorarem as aulas?

---

---

---

---

5. O que você achou da estratégia de mapas conceituais?

Difícil, porque

---

---

---

Interessante, porque

---

---

---

6. Você já tinha estudado alguma coisa relacionada à nova física ou Física Moderna? \_\_\_\_\_

7. Assinale com (C), se você concorda, (NC), se você não concorda, (CP), se você concorda parcialmente. Você acha que no PROEJA:

(    ) Se devem estudar mais assuntos relacionados à Física Moderna, para melhorar a compreensão dos alunos acerca da tecnologia que manuseiam no curso e também em seu cotidiano.

(    ) Não se devem estudar assuntos relacionados à Física Moderna, pois esses conhecimentos não são necessários no estudo das outras disciplinas.



( ) Se devem estudar apenas assuntos da Física relacionados ao curso, no caso, de Eletrônica.

( ) Não se devem estudar assuntos relacionados à Física Moderna, pois são muito difíceis e complicados para o nível PROEJA.

8. Dos temas abaixo relacionados, marque aquele(s) que você já ouviu falar, ou tem algum conhecimento. Na frente do tema, escreva o local, ou a fonte onde você obteve esse conhecimento.

( ) Radiações eletromagnéticas \_\_\_\_\_

( ) Dualidade da luz \_\_\_\_\_

( ) Raios X \_\_\_\_\_

( ) Fusão Nuclear \_\_\_\_\_

( ) Partículas elementares/Anti-matéria

\_\_\_\_\_

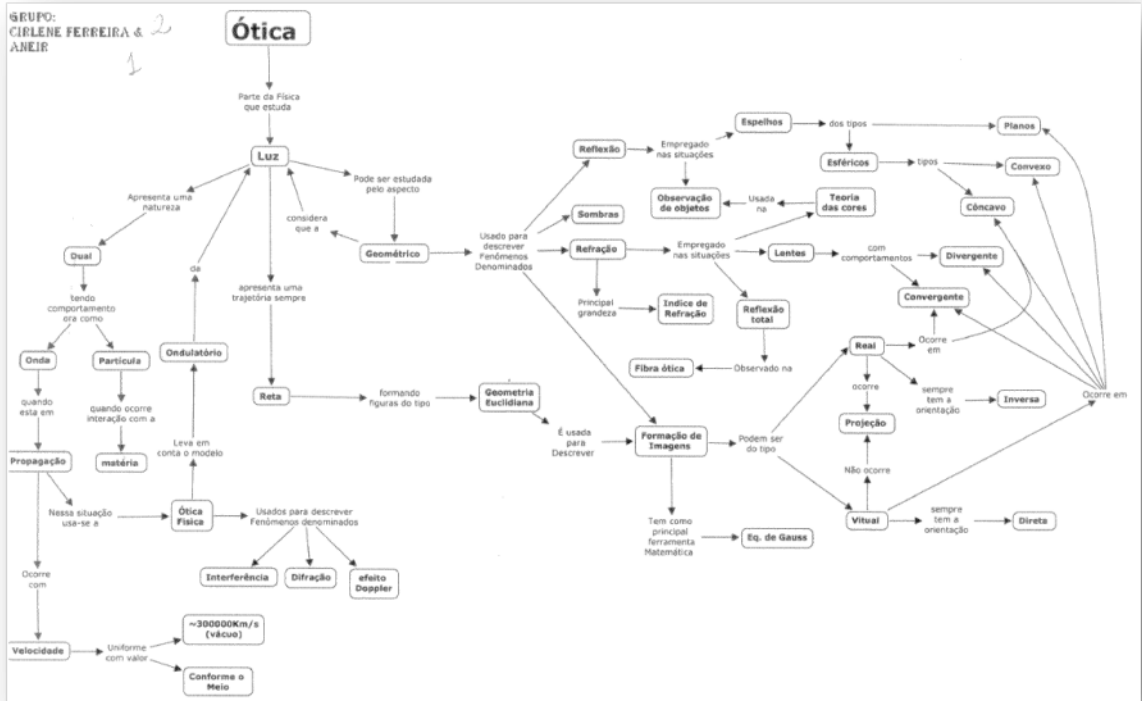
( ) Outros

temas \_\_\_\_\_

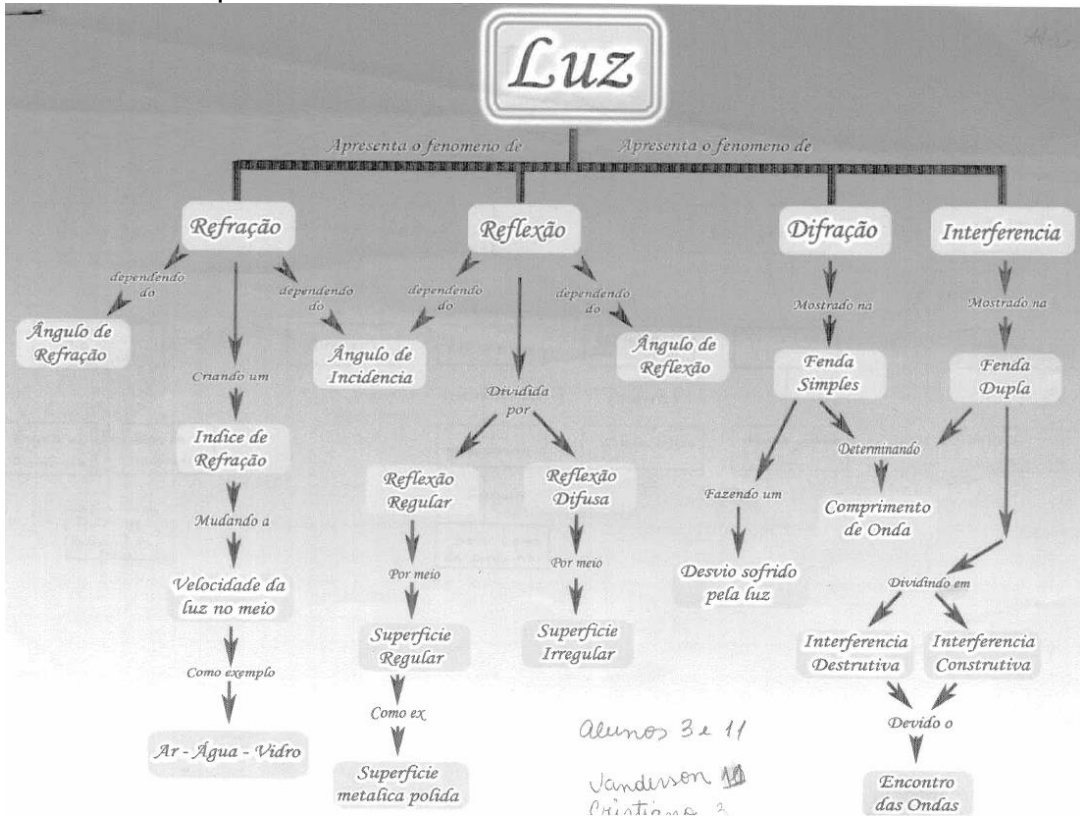
# **ANEXOS**

# ANEXO 1 – Atividade 3

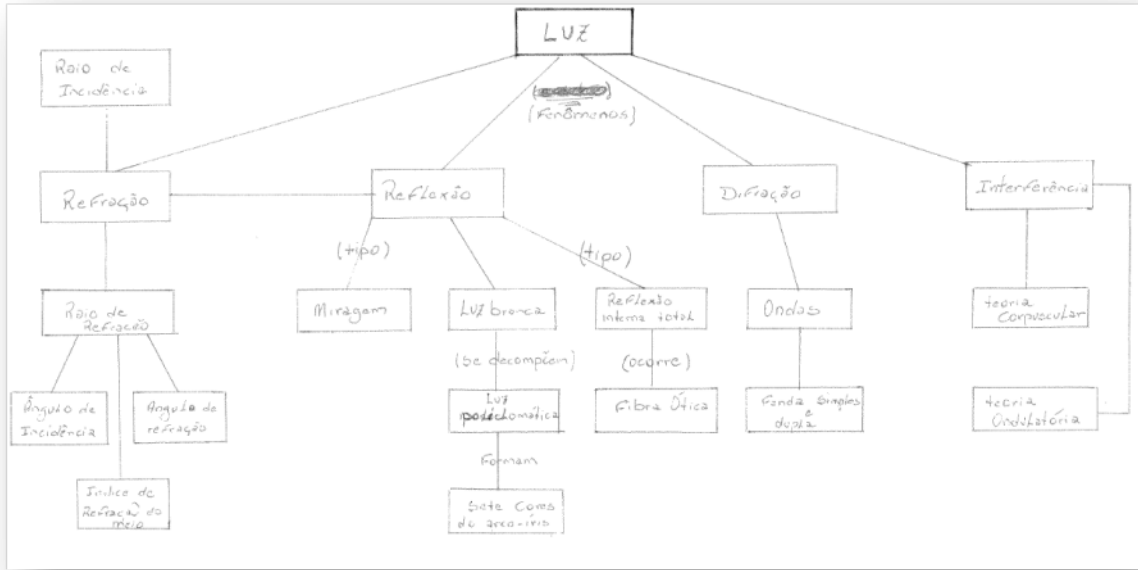
Quadro12\_Mapa1\_A1e2



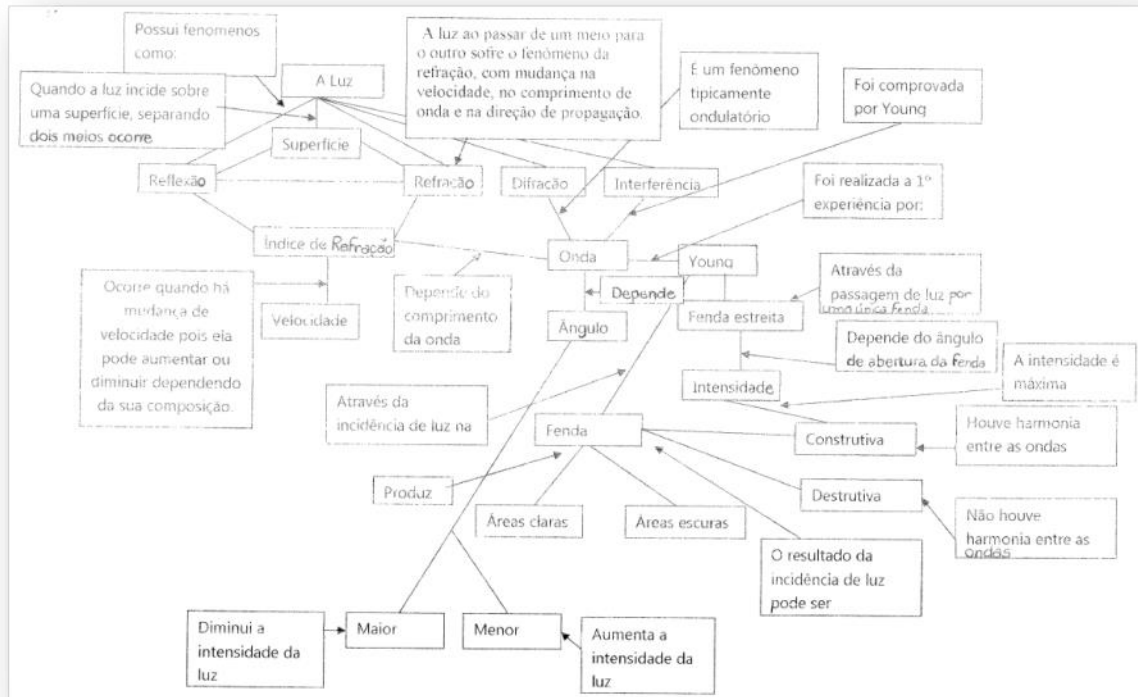
Quadro12\_Mapa2\_A3e11



Quadro12\_Map3\_A5e7



Quadro12\_Map4\_A6e8



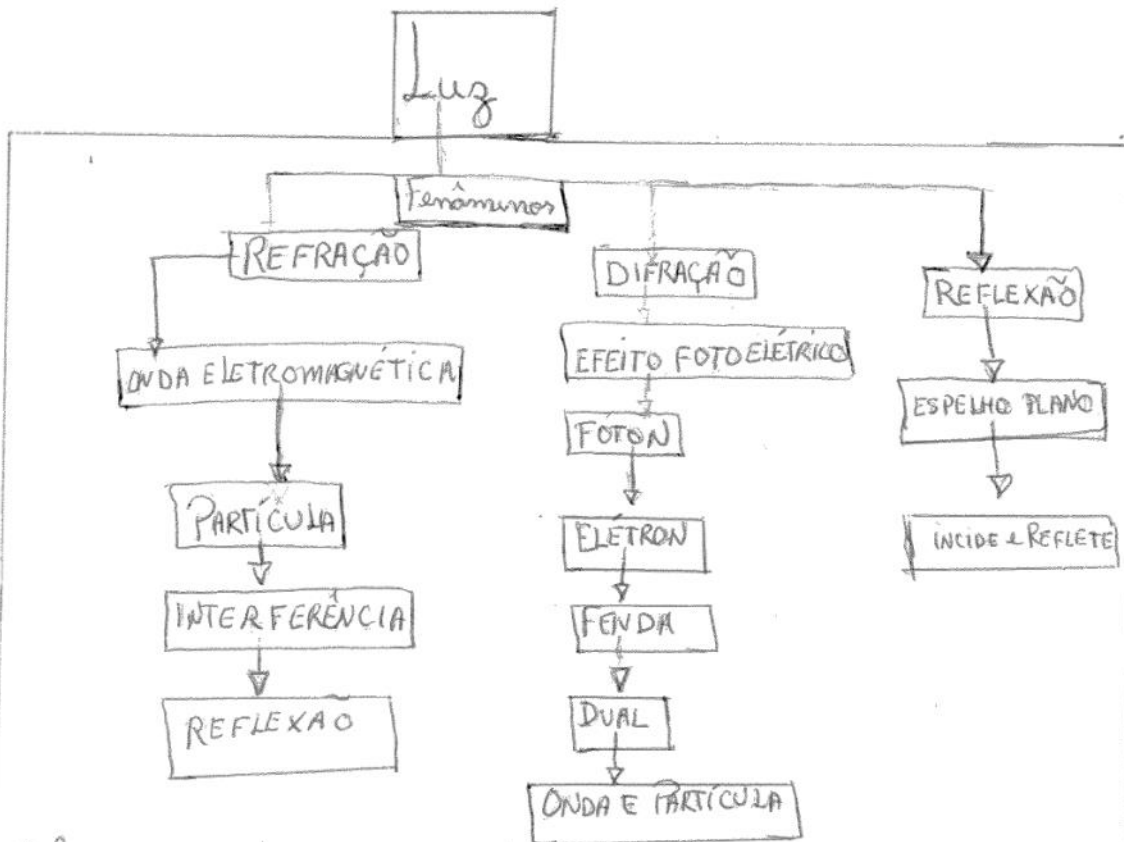
## ANEXO 2 – Questão 6

Quadro21\_Ativ\_FINAL\_A1

**Questão 6** – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: “O que é Luz e como ela se comporta?”

Conceitos:

Onda eletromagnética	Fenômenos	Luz	Reflexão	Difração
Efeito Fotoelétrico	Refração	Dual	Onda	Partícula
Fóton	Elétron	Fenda	Interferência	



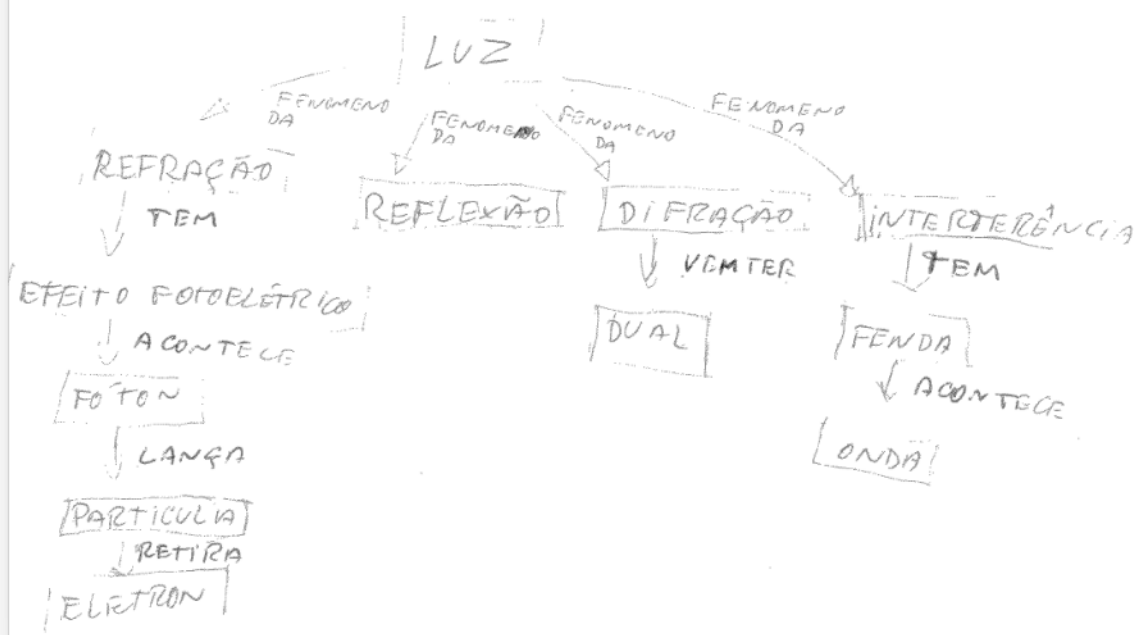
A luz se comporta, hora como onda, hora como partícula. Ela tem um comportamento dual.

Quadro21\_Ativ\_FINAL\_A3

**Questão 6** – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: “O que é Luz e como ela se comporta?”

Conceitos:

Onda eletromagnética	Fenômenos	Luz	Reflexão	Difração
Efeito Fotoelétrico	Refração	Dual	Onda	Partícula
Fóton	Elétron	Fenda	Interferência	

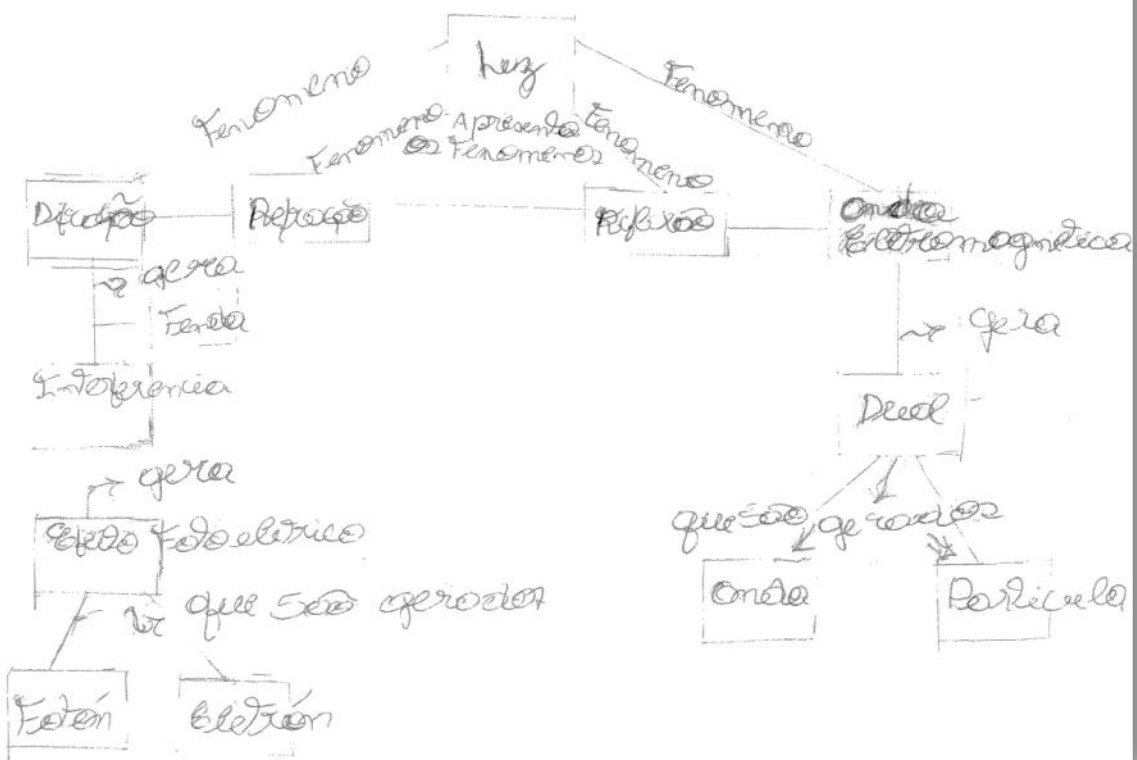


Quadro21\_Ativ\_FINAL\_A4

Questão 6 – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: “O que é Luz e como ela se comporta?”

Conceitos:

- |                      |           |       |               |           |
|----------------------|-----------|-------|---------------|-----------|
| Onda eletromagnética | Fenômenos | Luz   | Reflexão      | Difração  |
| Efeito Fotoelétrico  | Refração  | Dual  | Onda          | Partícula |
| Fóton                | Elétron   | Fenda | Interferência |           |



Quadro21\_AtFINAL\_A5

**Questão 6** – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: **“O que é Luz e como ela se comporta?”**

**Conceitos:**

Onda eletromagnética  
Efeito Fotoelétrico  
Fóton

Fenômenos  
Refração  
Elétron

Luz  
Dual  
Fenda

Reflexão  
Onda  
Interferência

Difração  
Partícula





1,5

Questão 6 – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: “O que é Luz e como ela se comporta?”

Conceitos:

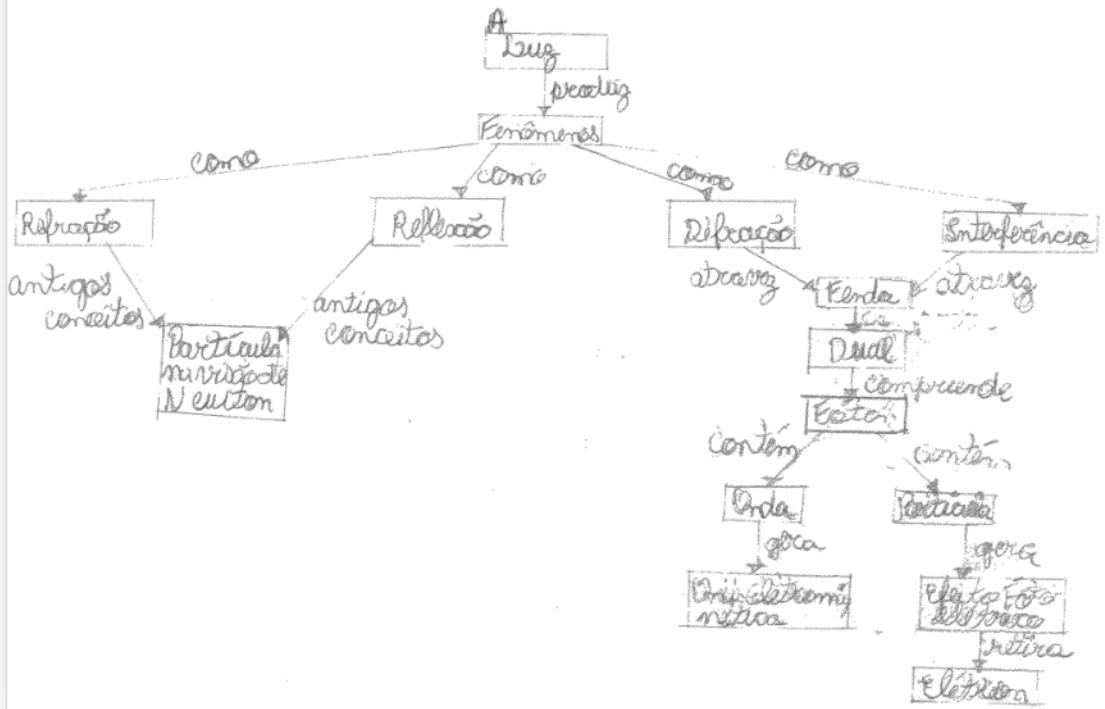
Onda eletromagnética<sup>12</sup>  
Efeito Fotoelétrico<sup>13</sup>  
Fóton<sup>9</sup>

Fenômenos  
Refração<sup>3</sup>  
Elétron<sup>14</sup>

Luz  
Dual  
Fenda

Reflexão  
Onda  
Interferência

Difração  
Partícula



Quadro21\_AtFINAL\_A7

**Questão 6** – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: “O que é Luz e como ela se comporta?”

Conceitos:

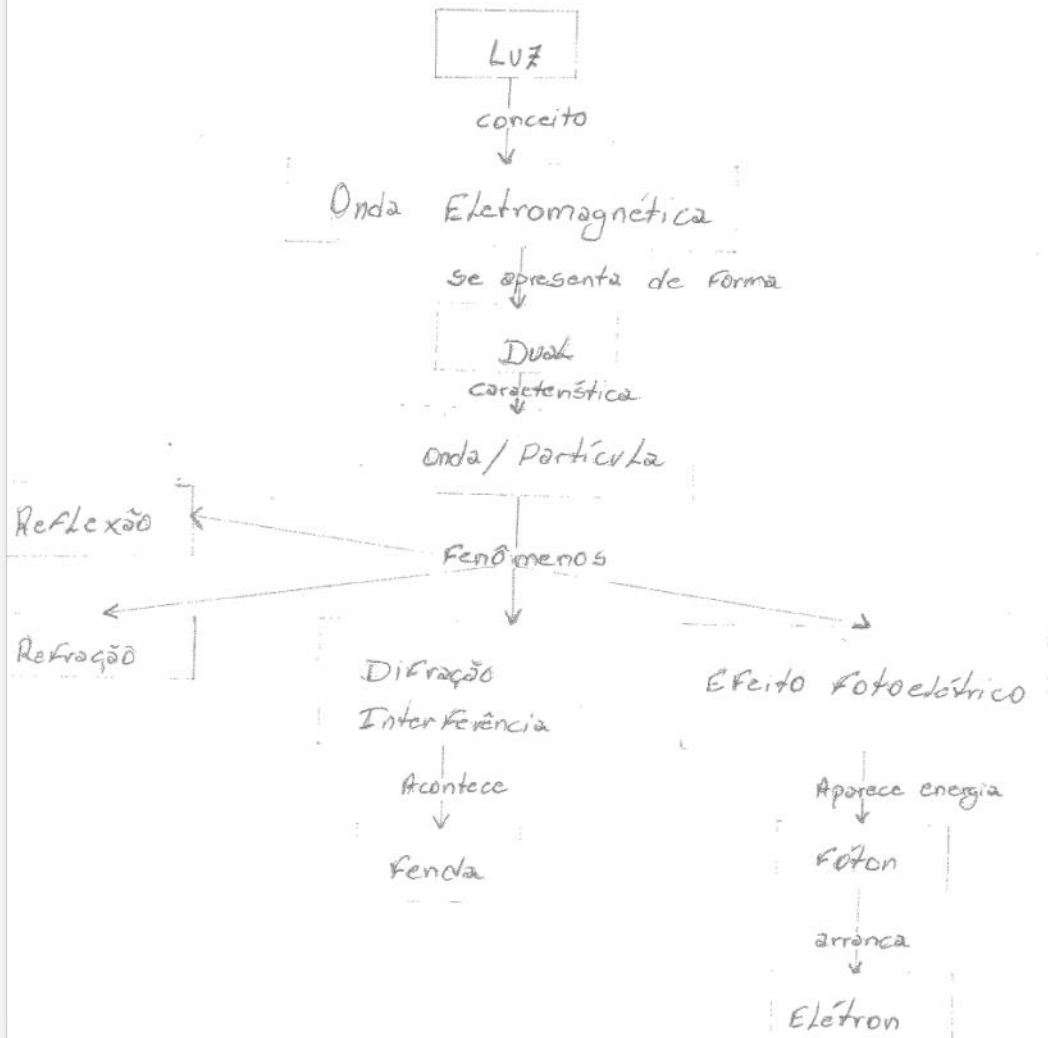
Onda eletromagnética  
Efeito Fotoelétrico  
Fóton

Fenômenos  
Refração  
Elétron

Luz  
Dual  
Fenda

Reflexão  
Onda  
Interferência

Difração  
Partícula



Quadro21\_AtFINAL\_A9

0/20

**Questão 6** – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: “O que é Luz e como ela se comporta?”

**Conceitos:**

Onda eletromagnética	Fenômenos	Luz	Reflexão	Difração
Efeito Fotoelétrico	Refração	Dual	Onda	Partícula
Fóton	Elétron	Fenda	Interferência	



A luz tem comportamento de onda, partícula (fótons) que é composta de fótons e elétrons, que dão origem ao efeito fotoelétrico, que nada mais é do que a incidência de fótons com energia suficiente para ejetar o elétron, onde há uma frequência e intensidade que varia linear em energia.

Quadro21\_AtFINAL\_A10

**Questão 6** – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: **“O que é Luz e como ela se comporta?”**

**Conceitos:**

**Onda eletromagnética**

Efeito Fotoelétrico  
Fóton

**Fenômenos**

Refração  
Elétron

**Luz**

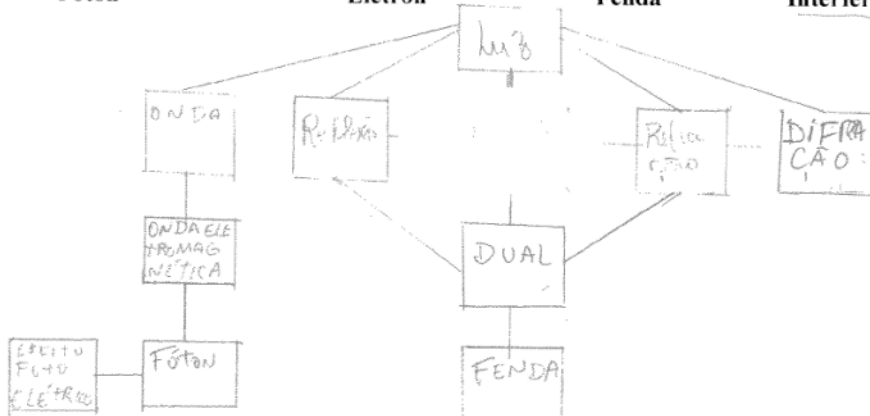
Dual  
Fenda

**Reflexão**

Onda  
Interferência

**Difração**

Partícula



Quadro21\_AtFINAL\_A11

Questão 6 – Com base em seus conhecimentos, obtidos no decorrer da disciplina de física Módulo IV, relacione os conceitos abaixo num mapa conceitual, com o objetivo de responder a seguinte questão: “O que é Luz e como ela se comporta?”

2,5

**Conceitos:**

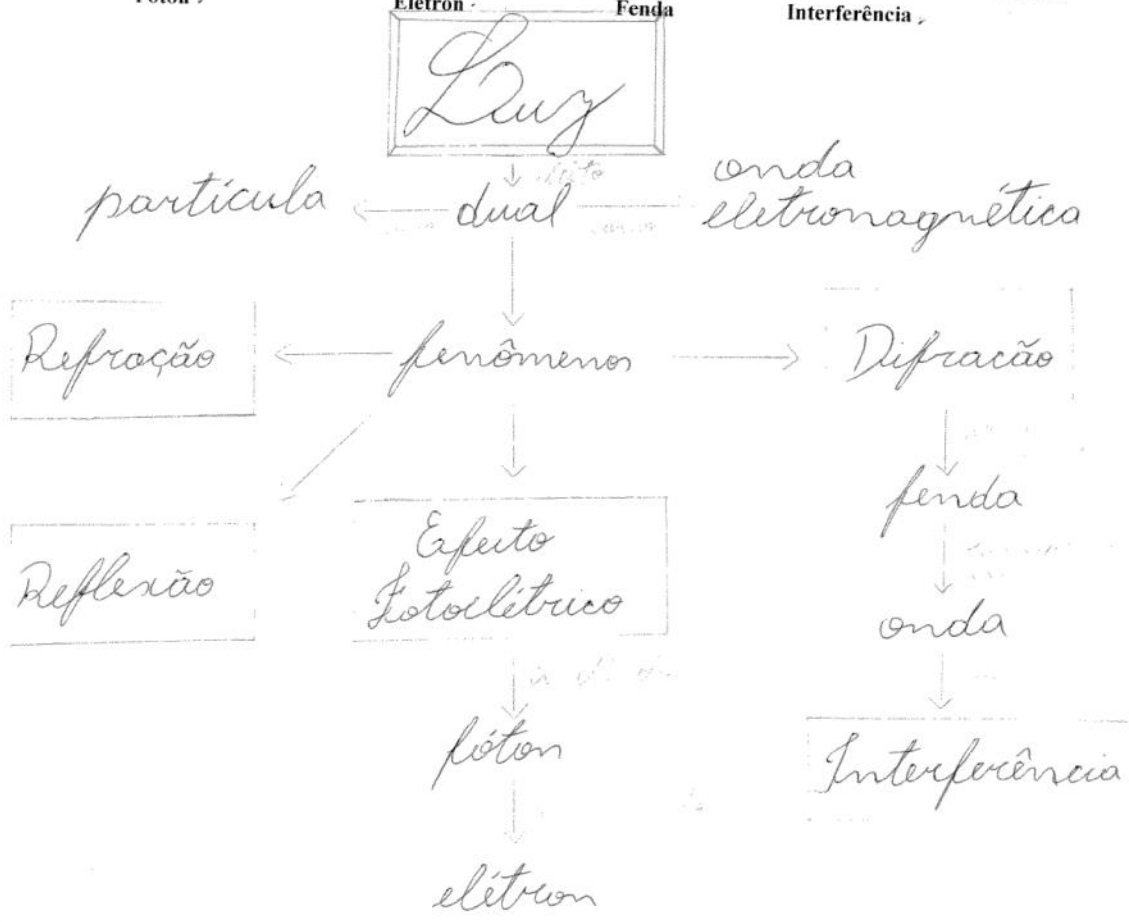
Onda eletromagnética  
Efeito Fotoelétrico  
Fóton

Fenômenos-  
Refração  
Elétron

Luz  
Dual  
Fenda

Reflexão  
Onda  
Interferência

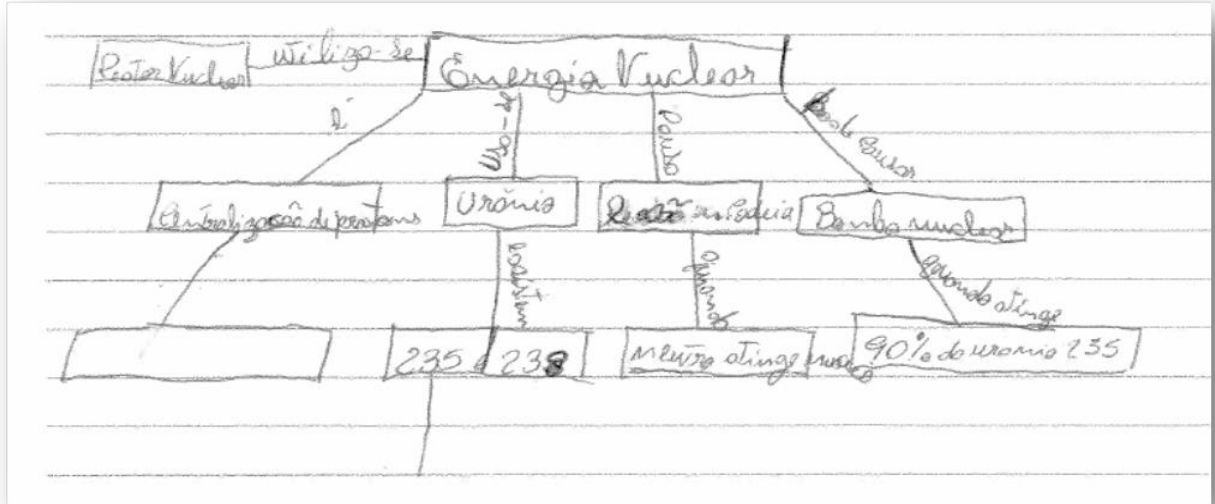
Difração  
Partícula



# ANEXO 3 – ATIVIDADE 4 - Apêndice

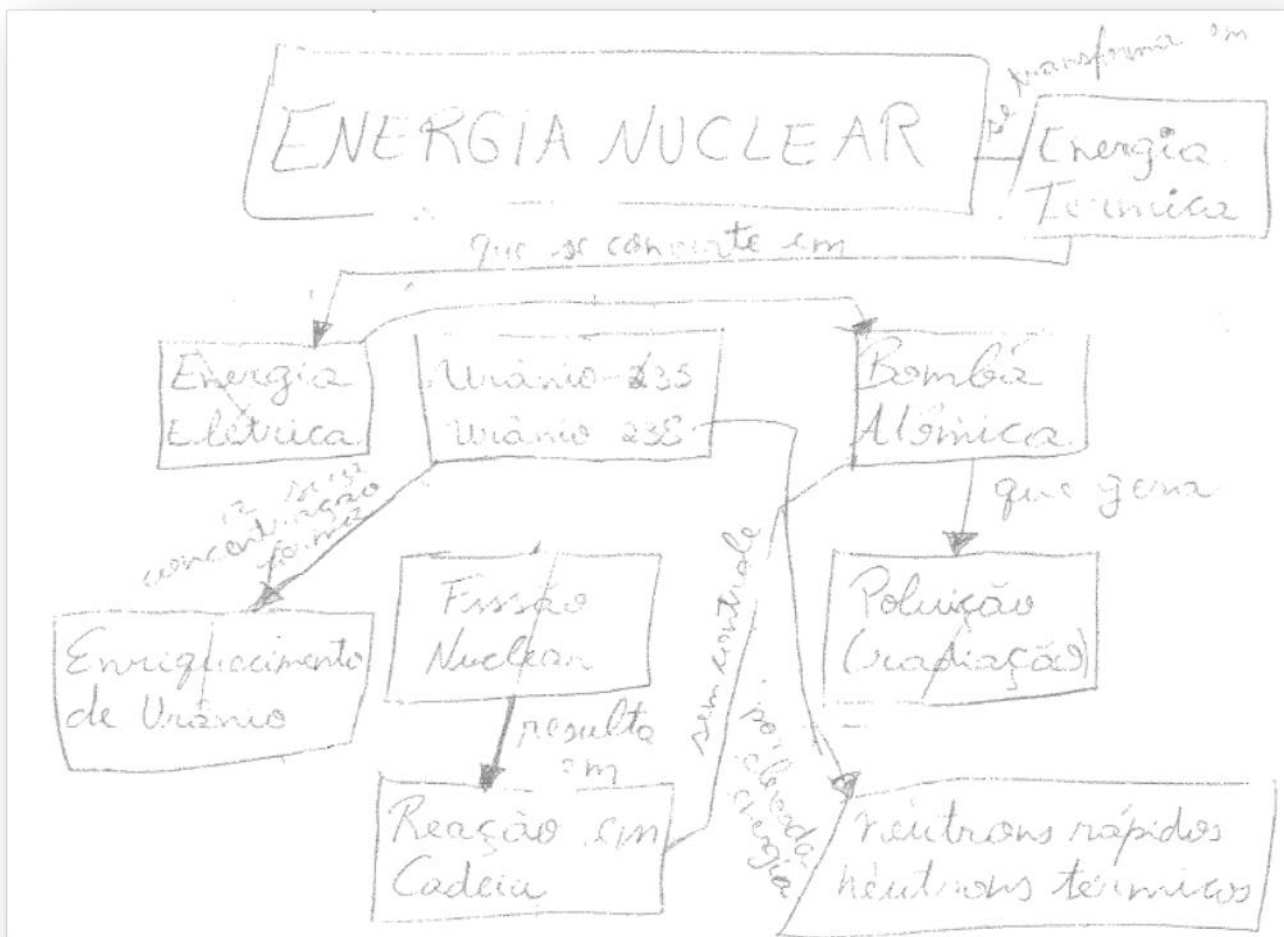
Anexo3\_A1 e 8

Anexo3\_A2 e 7



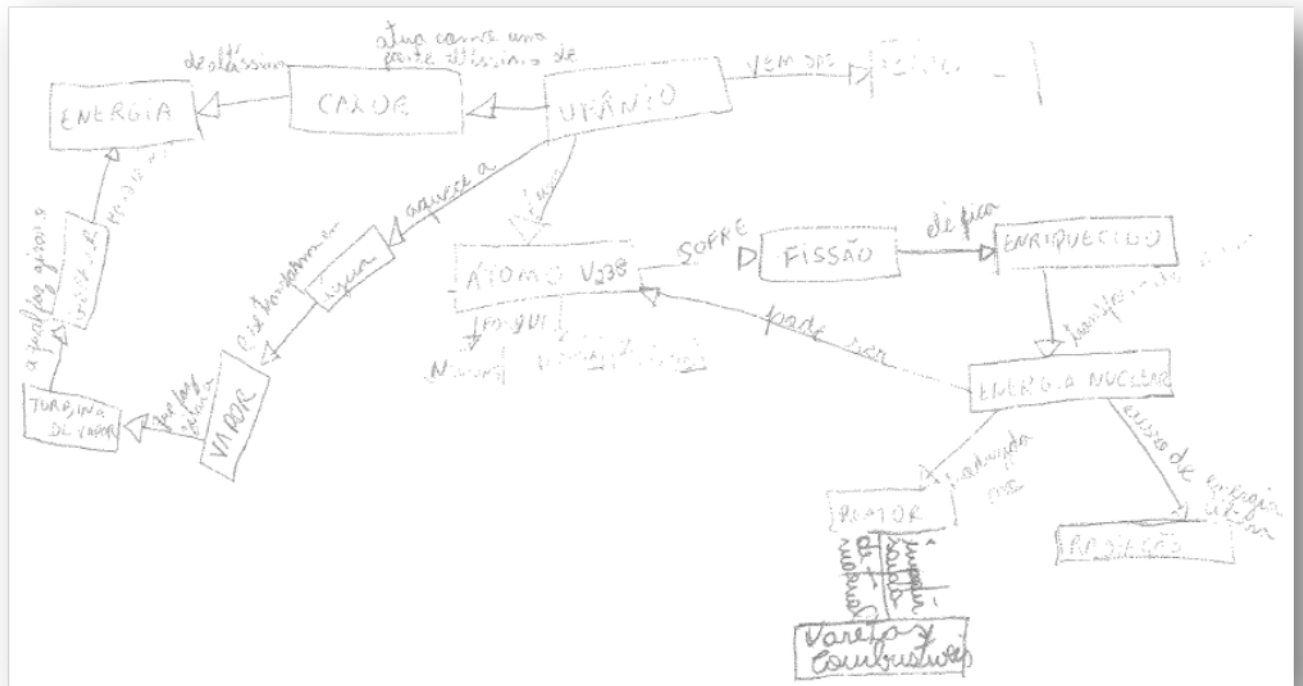
Anexo3\_A3 e 9



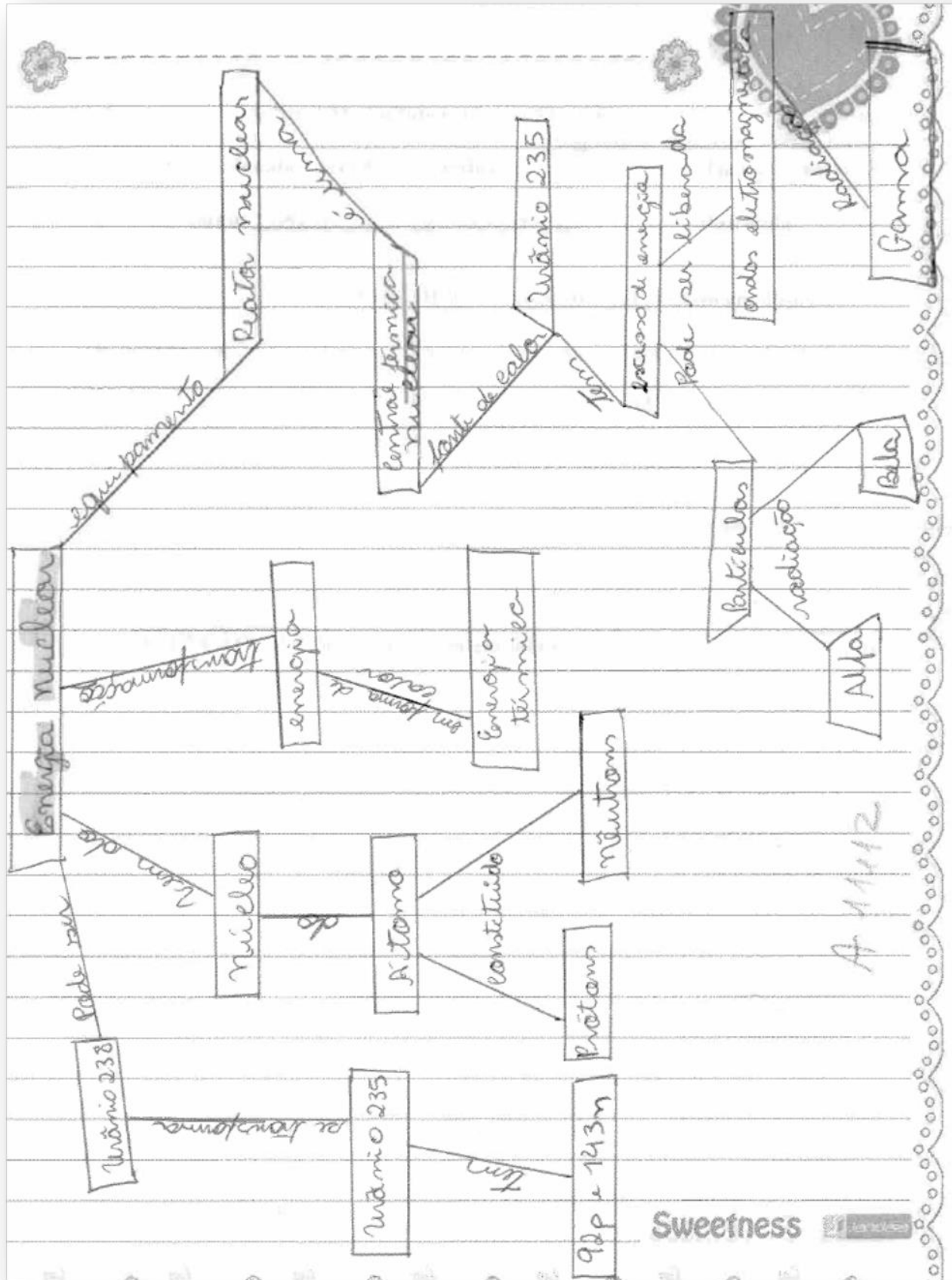




Anexo3\_A5 e 6

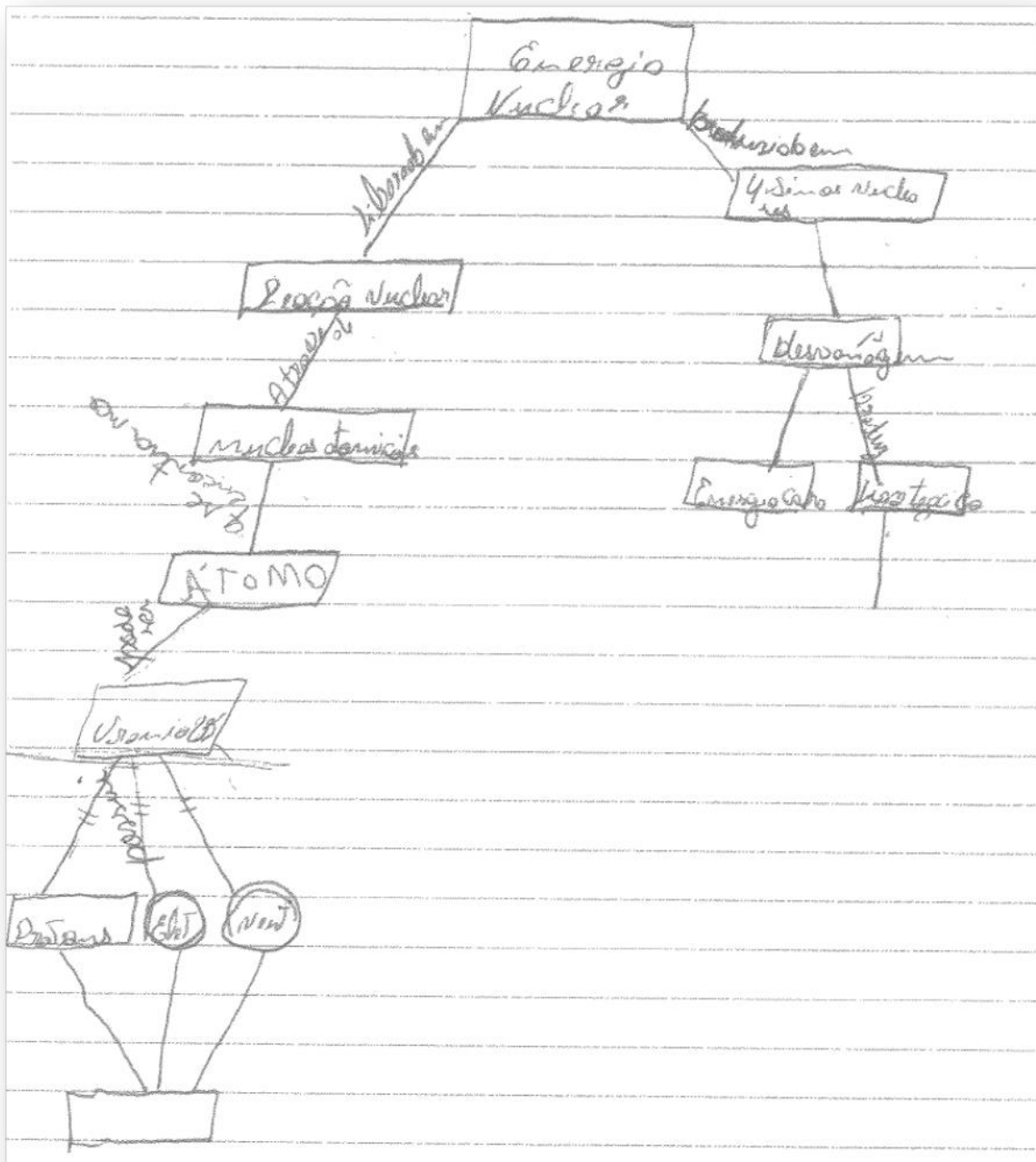


Anexo3\_A11 e 12

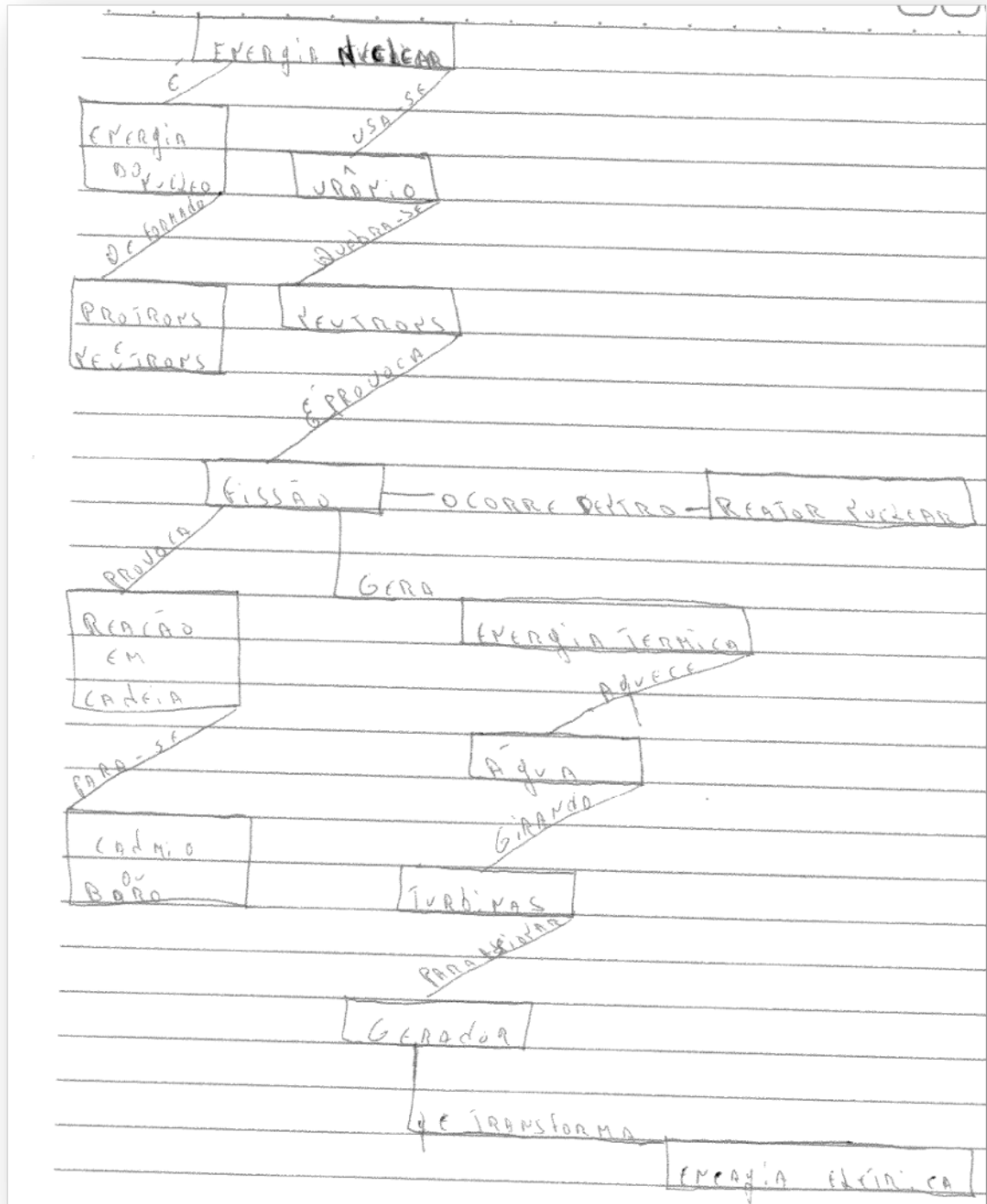


## ANEXO 4 – MAPAS FINAIS

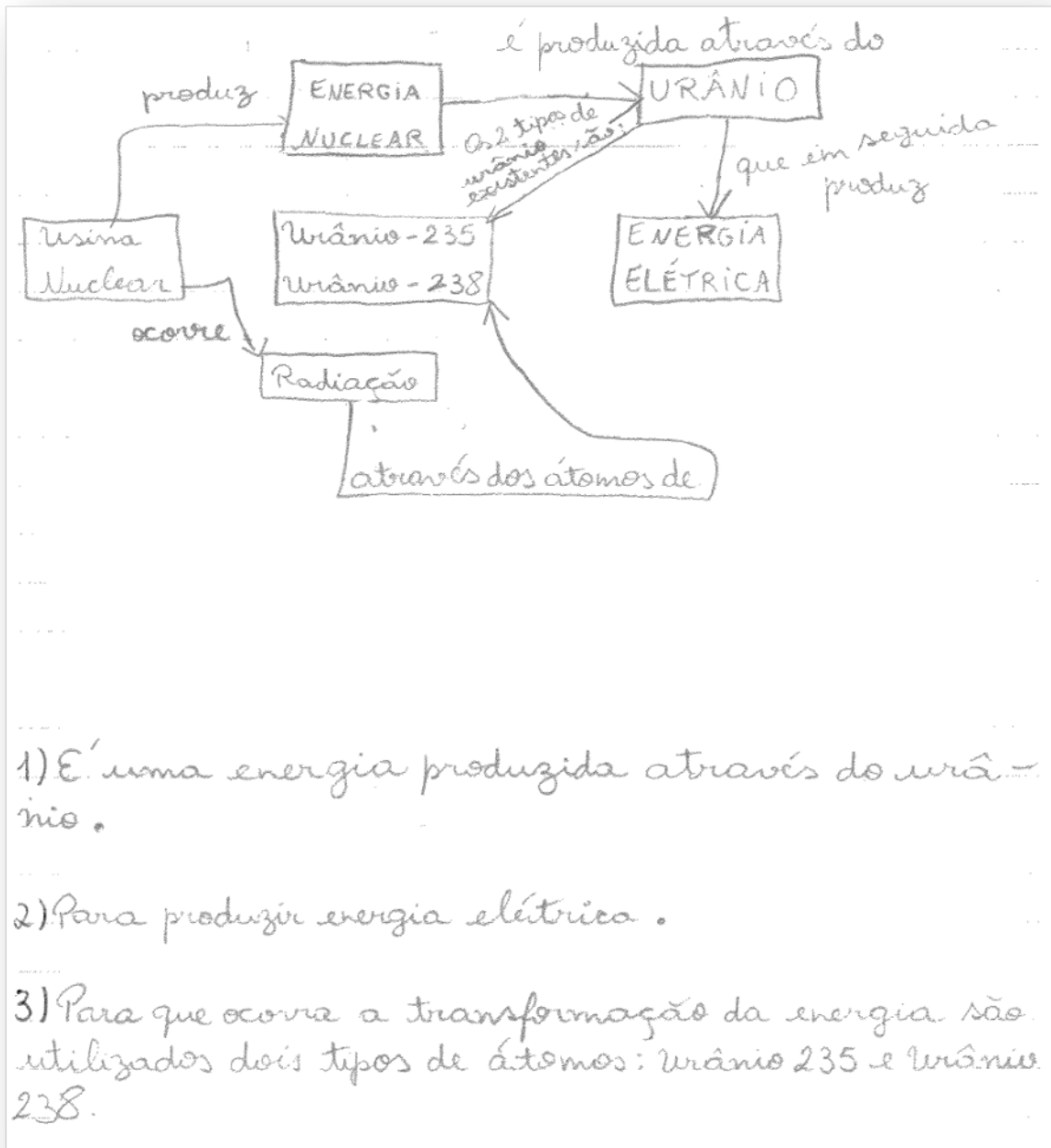
Atividade Final - A2



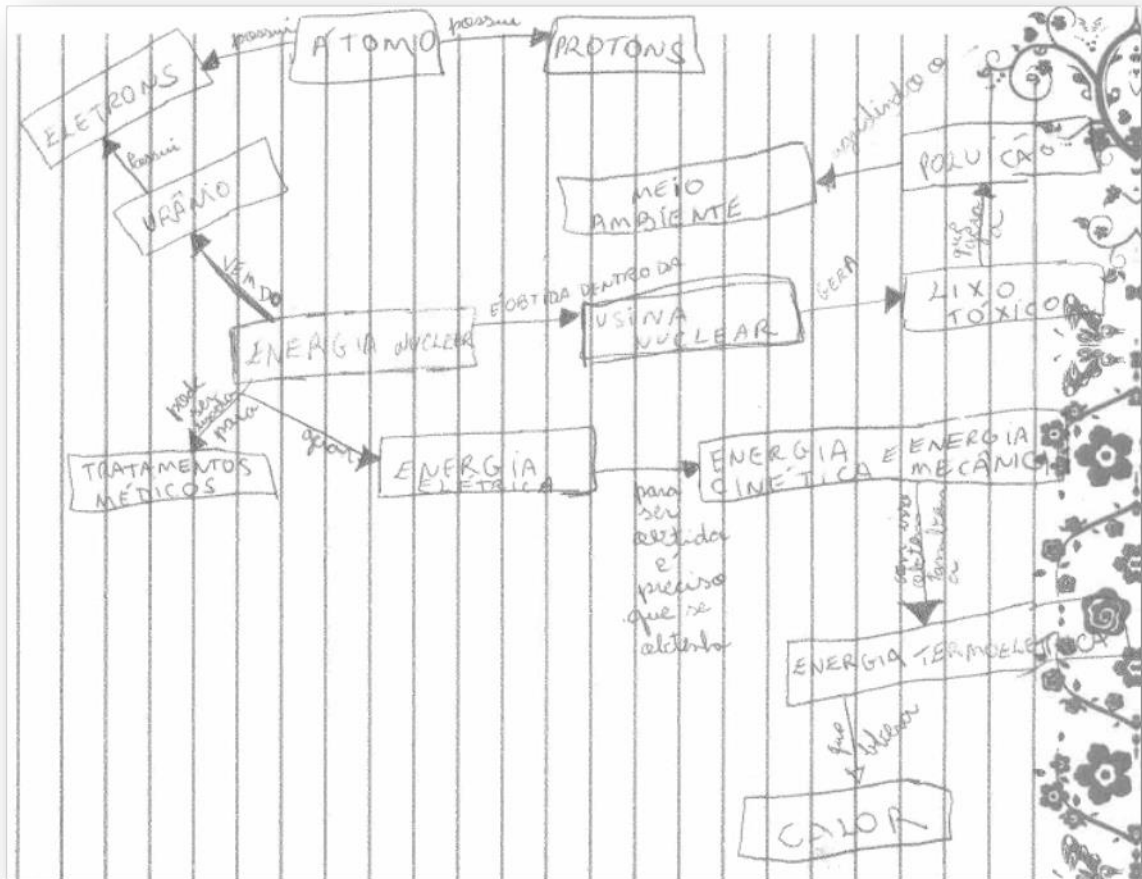
Atividade Final - A3



Atividade Final - A4



Atividade Final - A5

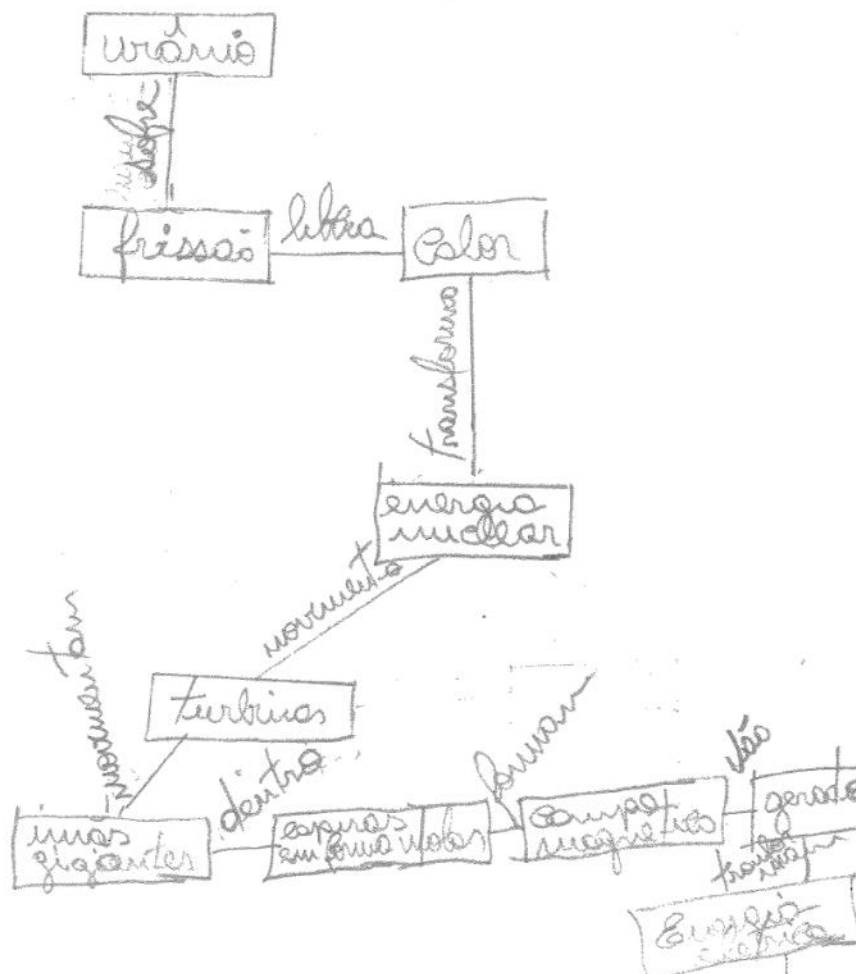


Atividade Final - A6

### ATIVIDADE EM SALA DE AULA (individual)

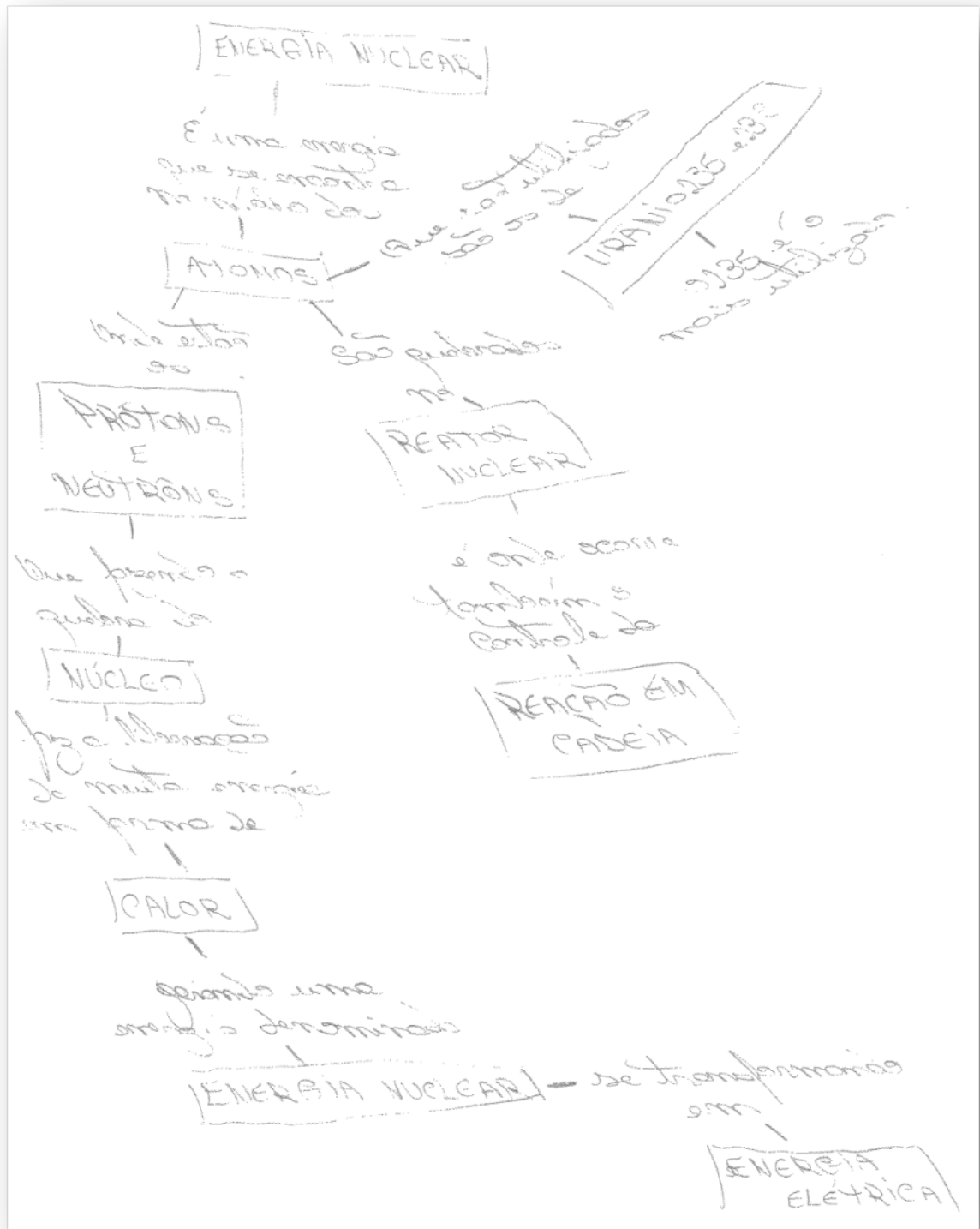
De acordo com as discussões feitas em sala de aula até hoje, suas leituras e pesquisas, elabore um mapa conceitual sobre a energia nuclear. Como sugestão e direcionamento, tente responder às duas questões abaixo durante sua elaboração:

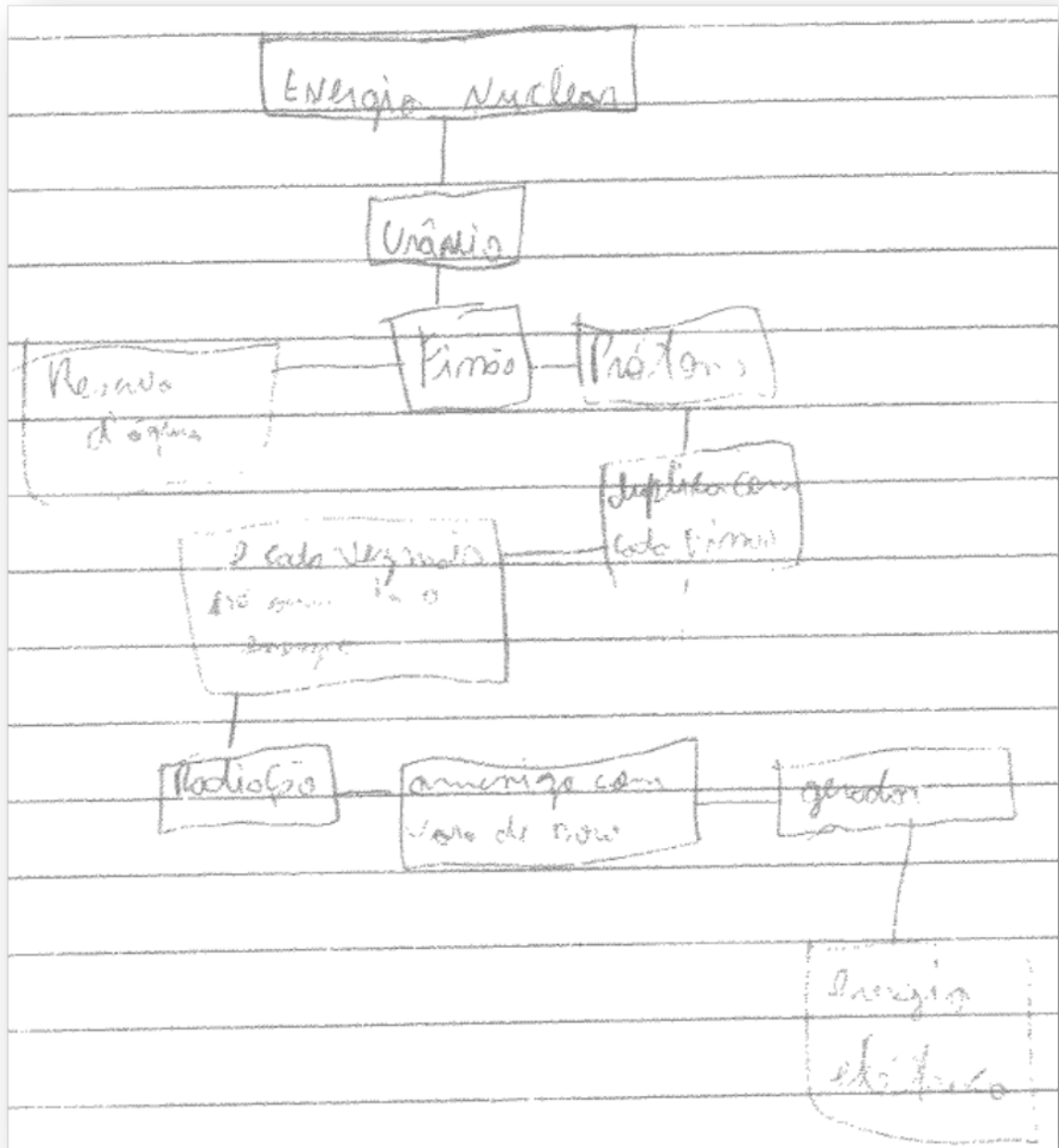
- O que é energia nuclear?
- Para que serve a energia nuclear numa usina nuclear?
- Quais processos são realizados para a utilização da energia nuclear na transformação da energia elétrica?



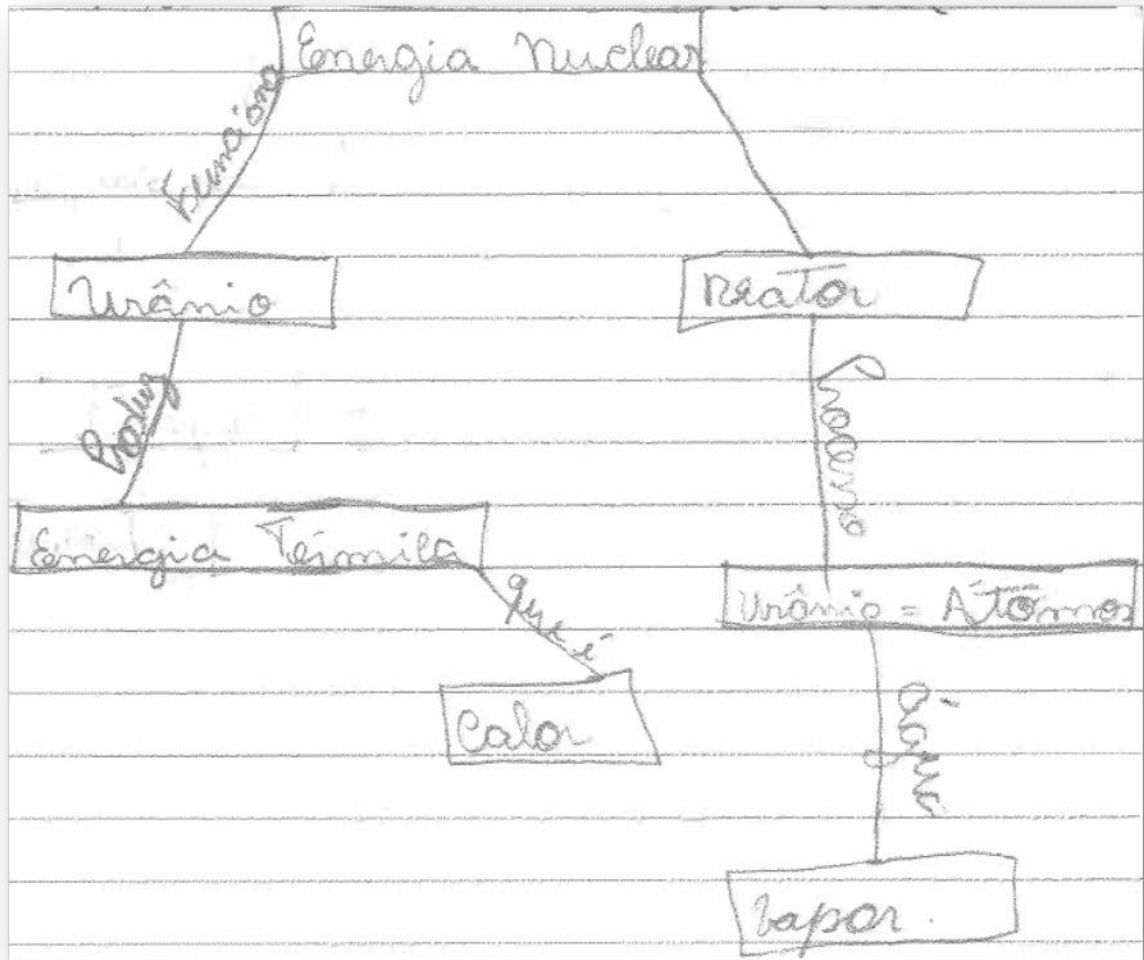
Atividade Final - A8



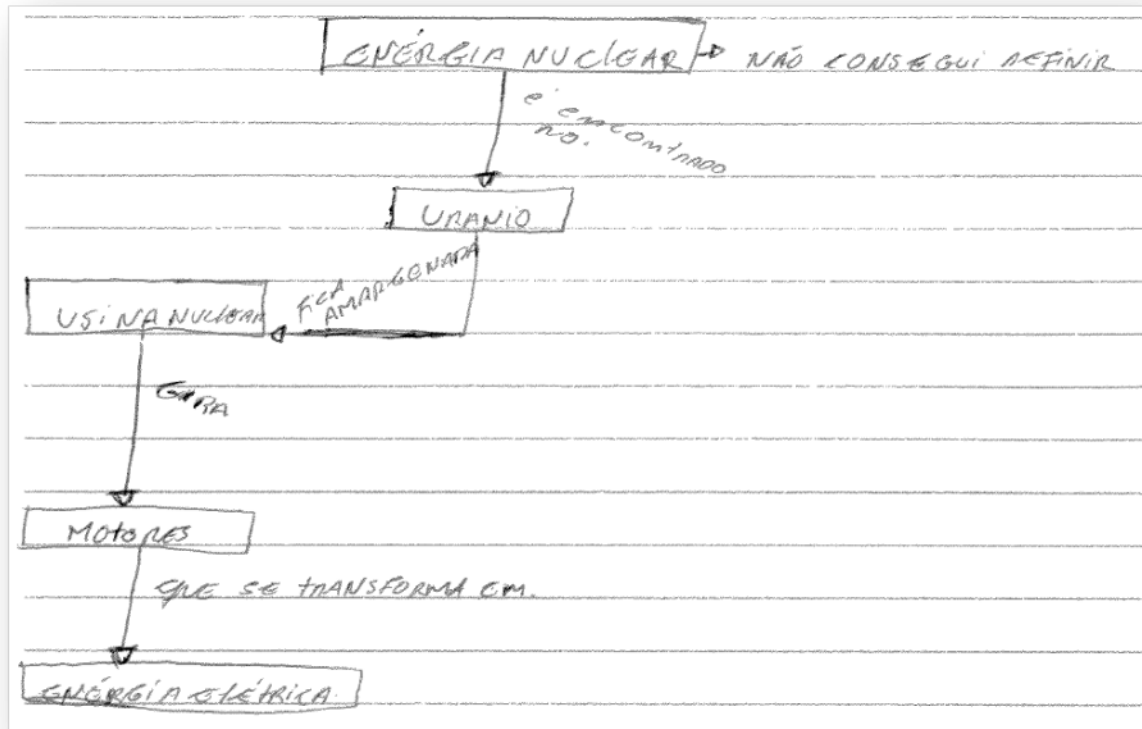




Atividade Final - A11



Atividade Final - A13



## **ANEXO 5 – CARTAS**

**Carta\_A1**

**Exm° Senhor**

**Ministro de Minas e Energia**

**Adeilton Borges Lopes, solteiro, estudante, de 24 anos de idade, residente da Rua do Rosário – São João da Barra RJ.**

**Venho através desta carta expor um pouco dos meus conhecimentos adquiridos em sala de aula, sobre Usinas Nucleares que durante três meses atrás foi bastante comentada e trouxe muita preocupação ao mundo todo pelo ocorrido no Japão. E fica a pergunta no ar, será que é mais vantajoso ter usinas Nucleares ou usinas Hidrelétricas no Brasil? Pelo que venho estudando ao longo do ano, sobre as usinas Nucleares e as usinas Hidrelétricas, sabemos que as Nucleares não são renováveis, uma vez que sua matéria-prima são elementos químicos, como urânio, extraídos de minerais.**

**Visando o nosso Ecosistema, favorável a construção de usinas Hidrelétricas pela abundância territorial e uma concentração de 8% de água doce e tendo em vista os baixos custos gerados pela usina, que é capaz de produzir 91% de energia elétrica consumida no país, fazendo um parâmetro na construção de Angra III que custará aproximadamente R\$ 7,91 Bilhões e a de Belo Monte que custará aproximadamente R\$ 7,5 Bilhões e tendo em funcionamento ambas as usinas, a de Belo Monte produzirá quase quatro vezes mais energia, pelo mesmo custo do que a de Angra III em um ano, economizando R\$ 1,43 Bilhões por ano, tendo em vista todos esses gastos gerados por ambas usinas e tendo o Brasil, o país mais rico em rios seria mais viável a construção de usinas Hidrelétricas.**

**São João da Barra, 1 de Julho de 2011**

**O requerente**

**Adeilton Borges Lopes**

**Carta\_A4**

Bruno Silva de Lima  
Técnico em Eletrônica - PROEJA  
Módulo IV

Excelentíssimo Senhor Ministro das Minas e Energia

Eu, Bruno Silva de Lima, aluno do curso técnico de Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, declaro o seguinte: com base nos artigos sobre os tipos de usinas existentes no Brasil, no meu ponto de vista, o governo deveria investir verdadeiramente na construção de usinas hidrelétricas, pois é na correnteza dos rios que a energia elétrica é gerada.

Os recursos hídricos devem ser muito bem aproveitados, dependendo dos locais, a vazão é mínima para garantir a produtividade. Os impactos ambientais das usinas hidrelétricas não causam tantos problemas, já os impactos das usinas nucleares são muito mais graves, no caso de explosão de uma usina nuclear, uma grande quantidade de radiação é liberada, causando doenças nos seres humanos, contaminando o ar e causando mortes de plantas e animais.

Se o governo investir pesado na construção das hidrelétricas, com certeza o Brasil vai ganhar muito lucro com isso.

## **Carta\_A5**

### **A/C: Ministro de Minas e Energia**

Venho por meio desta, relatar a minha opinião sobre o investimento em usinas hidrelétricas e nucleares.

Em minha opinião devemos investir mais em usinas nucleares, pois elas ocupam menos espaço geográfico, não havendo desta forma a necessidade de se banir a fauna e a flora de certa localidade.

A usina nuclear produz em grande escala em período curto e a usina hidrelétrica consome mais tempo pra produzir a mesma escala que a nuclear faz em menos tempo que ela.

A usina nuclear ainda tem a vantagem de poder se utilizar a energia nuclear em tratamentos médicos.

Existem algumas desvantagens, como o risco de explosão dos reatores, devido ao alto aquecimento dos mesmos, mas toda vantagem leva há alguma desvantagem, pois se isso ocorrer à área pode ser contaminada pela energia nuclear e sendo desta forma desabitada por anos, desta forma deixo aqui minha opinião sobre o assunto, espero que ela possa vim a ajudá-lo no futuro.



Carta\_A6

Campes, 17 de junho de 2011

AO excelentíssimo senhor Ministro das  
Minas e Energia.

Com base em várias pesquisas e relatos  
feitos por estudiosos e cientistas com a com-  
paração entre a construção de usina nuclear  
e usina hidrelétrica.

Que a mim Jorge Carlos dos Santos,  
acadêmico na área técnica de eletrônica  
no Instituto Federal de Educação Ciência  
e Tecnologia, informo-lhe que será de  
grande utilidade para nossa nação a constru-  
ção de usina hidrelétrica ao invés de  
usina nuclear, com o mesmo investimen-  
to na construção de uma usina nuclear  
, se construir uma usina hidrelétrica  
com a produção de energia elétrica superi-  
or a de uma usina nuclear causando  
menor riscos a todos os brasileiros com  
o retorno de lucros muito mais rápido  
e preservando o nosso planeta.

Assim encerro por aqui atenciosamen-  
te.

Jorge Carlos dos Santos  
Eletrônica módulo IV

## Carta\_A8

CARTA AO MINISTRO DE MINAS E ENRGIA



Lucas Xavier Meotte Anacleto

Rua Figueira de Barros, 54

28250000 Italva, RJ

Ex. mo Senhor,  
Ministro de Minas e Energia  
Edison Lobão

Campos dos Goytacazes ( Campus Iff) 01 de julho de 2011

Solicito a atenção de V. Ex.a para o assunto que passo a expor na qual em estudos e debates durante as minhas aulas de fisica deste primeiro semestre de 2011,na qual o assunto exposto foi das usinas hidroelétricas e nucleares,que passei a conhecer mais sobre a forma de produção de energia de ambas e de suas vantagens e desvantagens; em relação a custo benefício, de que forma afetam o meio ambiente e até em relação a nossa segurança. Cheguei então a uma conclusão que desejo compartilhar com o Senhor Ministro.

Em estudos aprofundados sobre o assunto cheguei ao conhecimento sobre o interesse do nosso País em instalações de mais usinas nucleares em nosso território, além das já instaladas Angra I, II e já quase em funcionamento angra III. Venho dizer através desta que na minha opinião não seria um bom negócio para o nosso País, que é tão rico e abundante em água, graças a Deus, sendo então capaz de produzir energia apenas através das hidroelétricas que são mais seguras em relação a possíveis acidentes, não causando transtornos como as usinas nucleares, como fato acontecido no Japão dias atrás. Além das usinas nucleares terem um custo muito maior na construção e instalação de equipamentos até então exportados e um prazo de depreciação contábil que coincide com a sua vida útil ( cerca de 40 anos) tendo ainda que passar por processos de descontaminação, não trazendo assim um lucro para o País já que comparada com a hidroelétrica que tem uma vida útil que supera seu prazo de depreciação contábil, que é convencionalmente estabelecido em 30 anos. Existem no mundo hidroelétricas que após seu tempo de vida útil ainda continuam produzindo, trazendo um grande lucro, sendo então um ótimo investimento. Temos também exemplos de países que estão fechando pelo menos temporariamente suas usinas nucleares e procurando por outras fontes de energia, como exemplo a Alemanha. Por esses motivos venho expressar minha opinião em ser a favor das hidroelétricas.

Agradecendo antecipadamente a atenção de V. Ex.a, apresento os meus melhores cumprimentos,

## Carta\_A10

Rodolpho Eduardo P. Alam  
Praça Virgílio Marques  
S/N Centro, Puzos/RJ  
3º Distrito de São-Fidélis/RJ

Ministério de Minas e  
Energia, Brasília - DF  
C. se. Edson Lobão

Puzos, 17 de junho de 2011

Assunto: Prioridade para investi-  
mentos em Usinas Elétri-  
cas.

Ob Ex. mo Senhor Ministro de Minas e Energias Edson  
Lobão

Vem sendo discutido a criação e implantação de novos projetos para geração de energia elétrica a fim de não termos uma freada no desenvolvimento da economia do país e nem influenciar na vida do Brasileiro, atualmente o que está em questão é a construção de Usina III (Usina Nuclear) e hidrelétricas amazônicas, que tem gerado intensa discussão e venho por meio desta expressar a minha preferência pelo amadurecimento dos projetos de implantação de energia hidráulica com base em meus estudos ~~na~~ emera não muito aprofundados no decorrer do último semestre do curso técnico em eletrônica integrado ao ensino médio no IF Campus, Campos Centro RJ na matéria de física por se tratar de forma de energia.

A minha preferência se deve ao fato de que temos de buscar soluções para o nosso desenvolvimento (que não pode parar) que sejam sustentáveis, ou seja,



que possamos explorar novos recursos naturais, os hidráulicos no caso, já que ainda não se esgotaram e mantendo um equilíbrio para que se não cause profundos impactos ao meio ambiente, não que a construção de hidrelétricas não modifiquem o cenário natural, mas é que existem recursos mais simples, que se forem executados e fiscalizados pelos órgãos competentes com rigor, seria mais fácil amenizar estes impactos do que com a instalação de usinas nucleares, veja também a questão econômica, como por exemplo o prazo de depreciação contábil das usinas, que no caso das hidrelétricas a vida útil supera esse prazo de depreciação contábil, que é convencionalmente estabelecido em 30 anos. Assim usinas já amortizadas continuam quando a energia a um custo que se reduz às despesas de operação e manutenção, isso acontece com usinas mais antigas que estão mais próximas dos pólos de consumo, porém já estão sendo exploradas portanto não se pode esperar que a energia gerada em novas usinas tenha custos comparáveis aos das antigas pois, entre outras coisas, deve-se considerar o custo da transmissão cuja incidência vai aumentando na medida em que os novos aproveitamentos localizam-se em regiões mais afastadas mas que ainda assim não se compararia em desvantagem às pontas das usinas nucleares, já que seu prazo de depreciação contábil coincide com sua vida útil (cerca de 40 anos), após o que elas devem ser

descontaminadas e descomissionadas, sem falar tam  
bém dos riscos de acidentes e contaminação para  
a população e o meio ambiente. Desde já agradeço  
a compreensão e atenção do excelentíssimo Sr.

Rodolpho Eduardo P. Akim.

**Carta\_A11**



## CARTA AO MINISTRO EDISON LOBÃO

Campos dos Goytacazes/RJ, 17 de junho de 2011.

Assunto: Sugestão para a construção de usinas no Brasil.

Senhor Ministro:

Vim, através deste, sugerir a construção de mais usinas hidrelétricas no Brasil. Com base no que eu aprendi nas aulas de física, cheguei à conclusão que as usinas hidrelétricas são as melhores opções para o Brasil nesse momento. Uma vez que o Brasil é um país rico em águas doces.

A usina nuclear também é uma boa escolha, sendo fosse à mão de obra. Hoje no Brasil não temos esses profissionais qualificados para trabalhar numa usina dessas, não que a hidrelétrica necessita menos de profissionais qualificados, só que a nuclear trabalha com materiais altamente perigosos, sem falar dos lixos tóxicos, isso requer uma atenção maior. As hidrelétricas também têm o seu lado negativo, suas inundações, prejudicam as pessoas e animais, sem falar que compromete a fauna e flora. No entanto temos que parar para pensarmos que nada sai de graça, se analisarmos todas as usinas têm suas vantagens e desvantagens, mesmo assim não podemos deixar o Brasil ter outra crise de energia elétrica. Criticar é fácil, difícil é encontrar soluções para a necessidade de energia elétrica, e viver sem ela.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – IFF- Campus Centro

Aluna: *Shirliane dos Santos* - Curso: *Eletrônica PROEJA Módulo IV*.

## Carta\_A12

Vossa Excelência em Silvana Moraes estudante no Instituto Federal Fluminense (IFF) em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro venho através dessa solicitação que construa mais usinas hidrelétricas e desative as usinas nucleares, porque as usinas hidrelétricas fornecem uma energia limpa, que não envolve nenhum processo de queima de combustível para ser gerada, já as nucleares precisam de combustíveis para serem geradas podendo provocar acidentes, e causando um grande impacto ambiental.

Todos estamos temendo as usinas nucleares, depois de ter acontecido o acidente recente da história da energia nuclear no Japão.

## Carta\_A13

Campos dos Goytacazes, RJ 17 de junho de 2011.

>

>

>

>

> Exmo. Sr Ministro Edison Lobão.

>

>

> Olha Sr Ministro, meu e Victor Carvalho dos Santos, aluno do IFF  
> campos, Campus Centro, do Curso eletrônica módulo IV PROEJA. Com  
> base nos conteúdos estudados nas aulas de física, falamos um pouco

> sobre as usinas hidrelétricas e nucleares. Venho por meio desta

> carta, que aumente os investimentos nas usinas hidrelétrica, pois

> elas geram mais energias a custo mais baratos e menos poluentes em

> relação a usina nuclear.

> Dê uma forma simples respeitando a população ribeirinha que são os

> maiores prejudicados com as inundações causadas pela a mudança de

> curso D'água.

> A maior vantagem das usinas hidrelétricas é a transformação limpa de

> do recurso energético natural.

> Não há resíduos poluentes e há baixo custo da geração de energia, já

> que o principal insumo energético, a água do rio está inserida à

> usina.

> Além da geração de energia elétrica o aproveitamento hidrelétrico

> proporciona outros usos com irrigação navegação e amortecimento de

> cheias.

> E por fim também investisse em uma maior segurança nas usinas

> nucleares, pois seu material é altamente radioativo que através de

> pequeno acidente pode ser lançado à atmosfera matando milhares de pessoas.

>

>

>

> Atenciosamente:

> Victor Carvalho dos Santos

