

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Universidade  
Estadual de  
Feira de  
Santana



# O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Jarbas da Silva de Jesus

Feira de Santana - Ba  
Dezembro, 2015

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Universidade  
Estadual de  
Feira de  
Santana



## **O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Jarbas da Silva de Jesus

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Estadual de Feira de Santana, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:

Prof. Dr. Álvaro Santos Alves

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela R. P. Rezende Pinto.

Feira de Santana - Ba  
Dezembro, 2015

J56e Jesus, Jarbas da Silva de  
O estudo da radiação X : desenvolvendo uma estratégia de ensino para a aprendizagem significativa / Jarbas da Silva de Jesus. – Feira de Santana, 2015.  
237 f. : il.

Orientadores: Álvaro Santos Alves e Gabriela R. P. Rezende Pinto.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Física, 2015.

1. Física – Ensino Médio. 2. Radiação X – Estudo e ensino. I. Alves, Álvaro Santos, orient. II. Pinto, Gabriela R. P. Rezende, orient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 53.09

# **O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Jarbas da Silva de Jesus

Orientadores:

Prof. Dr. Álvaro Santos Alves

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela R. P. Rezende Pinto.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Estadual de Feira de Santana, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Examinada por:

---

Prof. Álvaro Santos Alves, UEFS  
Presidente

---

Prof. Nelson Studart Filho, UFABC-UFSCar  
Examinador Externo

---

Prof. José Luís Michinel, UEFS  
Examinador Interno

---

Prof. Franz Peter Alves Farias, UEFS  
Examinador Interno

Feira de Santana - Ba  
Dezembro, 2015

*A Henrique Mandelo  
Casaes de Jesus, meu filho,  
que chegou, trazendo paz,  
alegria e serenidade para  
nossas vidas.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Deus único e salvador. A ti, Senhor, seja dada toda honra e toda glória, por ter usado de sua grande misericórdia para comigo, me ensinando e me guiando no caminho da paz e da justiça.

Agradeço a meu querido e amado pai, Jadiael Neres de Jesus, homem justo, trabalhador, que, com muita dedicação, sacrifício e coragem, me proporcionou a oportunidade de trilhar o caminho da educação, permitindo-me um futuro de realizações e esperança.

Agradeço à minha querida e amada mãe, Silene Neres da Silva de Jesus, mulher sábia e virtuosa, que edifica sua casa com dedicação, alegria e orações, ensinando-nos a trilhar o caminho dos justos.

Agradeço à Fabiana Mandelo Casaes, minha querida companheira, pelo carinho, amor e dedicação, por ter contribuído de forma substancial nesta jornada, e por ter me proporcionado o maior de todos os presentes em minha vida, a chegada do meu filho, Henrique Mandelo Casaes de Jesus.

Agradeço a todos os meus irmãos, pelo carinho, companheirismo, fraternidade e união.

Agradeço, imensamente, aos meus orientadores, Dr<sup>o</sup> Álvaro Santos Alves, e Dr<sup>a</sup> Gabriela R. P. Rezende Pinto, que proporcionaram uma orientação pautada no conhecimento, na troca de ideias, no companheirismo e profissionalismo.

Agradeço à Bianca Leite Santana, pela fundamental e importante contribuição neste trabalho de pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento do mesmo, em vários momentos desta jornada.

Agradeço ao nobre professor Edvan Pedreira de Oliveira, pela importante colaboração para o andamento deste trabalho.

Agradeço aos meus parceiros de turma, pelo companheirismo, e por ter proporcionado momentos únicos de troca de conhecimento, neste ambiente acadêmico.

Agradeço a todos os professores participantes do programa de mestrado, pela dedicação, ensinamentos e paciência para com os estudantes deste curso.

Agradeço, em especial, aos professores José Carlos de Oliveira e José Luís Michinel, pela parceria e pela dedicação junto ao programa de mestrado.

Agradeço à Secretaria de educação do Estado da Bahia, pelo apoio, durante a realização deste curso.

Agradeço á capes pelo apoio financeiro.

*“A mente que se abre para  
uma nova idéia, jamais  
voltará ao tamanho  
original”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

### O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Jarbas da Silva de Jesus

Orientadores:

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup> Álvaro Santos Alves

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Gabriela R. P. Rezende Pinto.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Estadual de Feira de Santana no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Este trabalho teve como objetivo central desenvolver um produto educacional (Sequência Didática) que possa potencializar a aprendizagem significativa de conceitos da Física Moderna e Contemporânea, a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X, no nível médio de ensino. O presente estudo discutiu a influência da aplicação de uma sequência didática, construída com base no modelo de Méheut e fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, na inserção da Física Moderna e Contemporânea no nível médio, utilizando a Teoria de Produção e Emissão de Radiação X como tema principal. Foi realizada uma análise quantitativa, usando o teste qui-quadrado de Pearson, para verificar a possível associação entre a aplicação da sequência didática e o rendimento dos estudantes, a partir de questionários elaborados de acordo com a Taxonomia de Bloom revisada. Foi realizada uma análise de mapas conceituais com base na percepção da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora de conceitos, para verificar a ocorrência da aprendizagem significativa dos estudantes acerca dos conceitos da Teoria da Radiação X. Os resultados da análise quantitativa mostraram a existência de uma associação estatisticamente significativa entre o rendimento dos estudantes da turma experimental e a aplicação do produto educacional (Sequência Didática), enquanto que a análise dos mapas conceituais indicou a ocorrência de aprendizagem significativa, com base na diferenciação progressiva e reconciliação integradora de conceitos, o que valida a estratégia de ensino desenvolvida para o ensino de conceitos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

**Palavras chaves:** Ensino de Física; Física Moderna e Contemporânea; Raios X; Aprendizagem Significativa.

Feira de Santana - Ba  
Dezembro, 2015

## **ABSTRACT**

### **THE X RADIATION STUDY: DEVELOPING A TEACHING STRATEGY FOR A MEANINGFUL LEARNING**

Jarbas da Silva de Jesus

Supervisor(s):

Prof. Dr. Álvaro Santos Alves

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela R. P. Rezende Pinto.

Master's dissertation submitted to the Graduate Program in Physics from the State University of Feira de Santana in the Course of Professional Master of Physical Education ( MNPEF ) as part of the requirements for obtaining the Master 's Degree in Physics Teaching

This work had as its main goal the development of an educational product (Didactic Sequence) which is capable of enabling a meaningful learning of Modern and Contemporary Physics concepts from the X Radiation production and Emission Theory During High School years. The current work discussed the influence of the use of a didactic sequence, made upon the Méheut model and based on the Ausubel meaningful learning theory, in the insertion of Modern and Contemporary Physics in High School, through the use of the X radiation production and emission theory as the main theme. A quantitative analysis was performed by using the Pearson's Chi-squared test to verify the likely association between the didactic sequence use and the students' educational achievement from questionnaires elaborated according to the revised Bloom taxonomy. A conceptual maps analysis was performed based on the progressive differentiation and the integrating reconciliation of concepts to verify the occurrence of a meaningful learning by the students related to the X radiation theory conceptions. The quantitative analysis outputs demonstrated a statistically significant association between the experimental classroom students' performance and the use of the educational product (Didactic Sequence), whilst the conceptual maps analysis indicated the occurrence of a meaningful learning based on the progressive differentiation and the integrating reconciliation of concepts, which validates such educational strategy developed for the teaching of Modern and Contemporary Physics during High School Years.

**Key-words:** Physics teaching; Modern and Contemporary Physics; Meaningful Learning.

Feira de Santana - Ba  
Dezembro, 2015

## Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa conceitual da dissertação	03
Figura 2 – Mapa conceitual do referencial teórico	15
Figura 3 – Um tubo de raios catódicos	18
Figura 4 - Tubos de Crookes	19
Figura 5 - Um tubo de Raios X.....	21
Figura 6 - O espectro contínuo de Raios X que é emitido de um alvo de tungstênio, para quatro diferentes valores de eV, a energia dos elétrons incidentes .....	22
Figura 7 - Espectro de emissão de Raios X característico.....	24
Figura 8 - Produção de Radiação X característica.....	25
Figura 9 - Diagrama dos níveis energéticos e intensidades relativas de emissão dos Raios X característicos emitidos pelo ferro .....	26
Figura 10 - Espectro típico de Raios X .....	28
Figura 11 - O processo bremsstrahlung responsável pela produção do espectro contínuo de raios X. ....	31
Figura 12 - Diagrama de energia para as linhas K, L, M e N .....	34
Figura 13 - Níveis de energia de Raios X mais altos para o átomo de urânio e as possíveis transições. ....	35
Figura 14 - Seção bidimensional de um cristal de cloreto de sódio .....	37
Figura 15 - Construção de Huygens para a reflexão parcial de um feixe de Raios X em uma rede de cristais .....	37
Figura 16 - Ilustração da reflexão parcial de um feixe Raios X em cada plano da rede de cristais .....	38
Figura 17 - Feixe de Raios X passando por uma folha .....	40
Figura 18 – Esquema representativo da teoria da assimilação .....	47
Figura 19 – Esquema representativo da ancoragem conceitual.....	48
Figura 20 – Um losango didático para descrever o desenho de uma SD .....	75
Figura 21 – Mapa conceitual da metodologia .....	82
Figura 22 - Mapa conceitual da estratégia de ensino.....	94
Figura 23 - Losango didático adaptado para localizar a SD aplicada .....	95
Figura 24 – Mapa conceitual da sequência didática.....	96
Figura 25 - Vídeo Além do Cosmo: Origem da Mecânica Quântica. ....	100
Figura 26 - Vídeo Os curiosos: Física e Tecnologia .....	102
Figura 27 - Vídeo Energia .....	105
Figura 28 - Vídeo Voltagem, potencial elétrico .....	105
Figura 29 - Vídeo Onda mecânica .....	106
Figura 30 - Vídeo Os curiosos: Ondas Eletromagnéticas.....	106
Figura 31 - Vídeo Carga elétrica .....	107
Figura 32 - Vídeo Corrente elétrica.....	107
Figura 33 - Ilustração da animação Raios X.....	109
Figura 34 – Artigo Raios-x: fascinação, medo e ciência.....	111
Figura 35 - Artigo Radiologia: 110 anos de história .....	112
Figura 36 – Vídeo O que é um exame de Raios X .....	112
Figura 37 - Vídeo Raios X na segurança: Aeroportos.....	113
Figura 38 - Vídeo Raios X na Astronomia. ....	113
Figura 39 - Vídeo Raios X industrial. ....	114

Figura 40 - Vídeo A saga do prêmio Nobel: Os instrumentos da medicina.....	116
Figura 41 - Vídeo O conceito de Fótons.....	117
Figura 42 – Vídeo Dualidade onda-partícula .....	117
Figura 43 - Vídeo Espectros de Radiação X.....	118
Figura 44 - Vídeo Difração de Raios X.....	118
Figura 45 - Animação comentada: Espectros de Raios X.....	119
Figura 46 - Simulação: produção de Radiação X de espectro contínuo.....	121
Figura 47 - Simulação: Produção de Raios X característico .....	122
Figura 48 - Simulação: Difração com Raios X .....	123
Figura 49 - Simulação interativa: produção de Raios X em um tubo de vácuo .....	125
Figura 50 – Um possível mapa conceitual para a teoria de produção e emissão da Radiação X .....	126
Figura 51 – Mapa conceitual dos resultados e discussões.....	127
Figura 52 - Questionário simplificado.....	129
Figura 53 - Desempenho da turma controle nas aplicações do questionário .....	130
Figura 54 - Desempenho da turma experimental nas aplicações do questionário.....	133
Figura 55 - Análise comparativa de desempenho das turmas experimental e controle.....	137
Figura 56 - Resposta da questão 08 da turma experimental.....	144
Figura 57 - Resposta da questão 10 da turma experimental.....	145
Figura 58 - Mapas conceituais do pré teste da turma controle .....	148
Figura 59 - Mapa conceitual do pré teste da turma controle .....	149
Figura 60 - Mapas conceituais do pós teste da turma controle.....	149
Figura 61 - Mapa conceitual do pós teste da turma controle.....	150
Figura 62 - Mapa conceitual do pré teste da turma experimental .....	152
Figura 63 - Mapas conceituais do pré teste da turma experimental .....	153
Figura 64 - Mapas conceituais do pós teste da turma experimental.....	154
Figura 65 - Mapa conceitual do pós teste da turma experimental.....	155
Figura 66 - Mapa conceitual do pós teste da turma experimental.....	155

## Lista de Quadros

Quadro 1 – Taxonomia de Bloom .....	71
Quadro 2 – Taxonomia de Bloom revisada .....	74
Quadro 3 – Extrato dos trabalhos encontrados na revisão sistemática da literatura.....	77
Quadro 4 – Questões classificadas na Taxonomia de Bloom revisada.....	104

## **Lista de Siglas**

UEFS - Universidade Estadual de Feira de Santana

DEFIS - Departamento de Física

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino De Física

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

EM - Ensino Médio

FMC - Física Moderna e Contemporânea

AT – Altas Tensões

LTSC - Learning Technology Standards Committee

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

CTS - Ciências Tecnologias e Sociedade

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SD - Sequência Didática

TLS - Sequências de Ensino e Aprendizagem

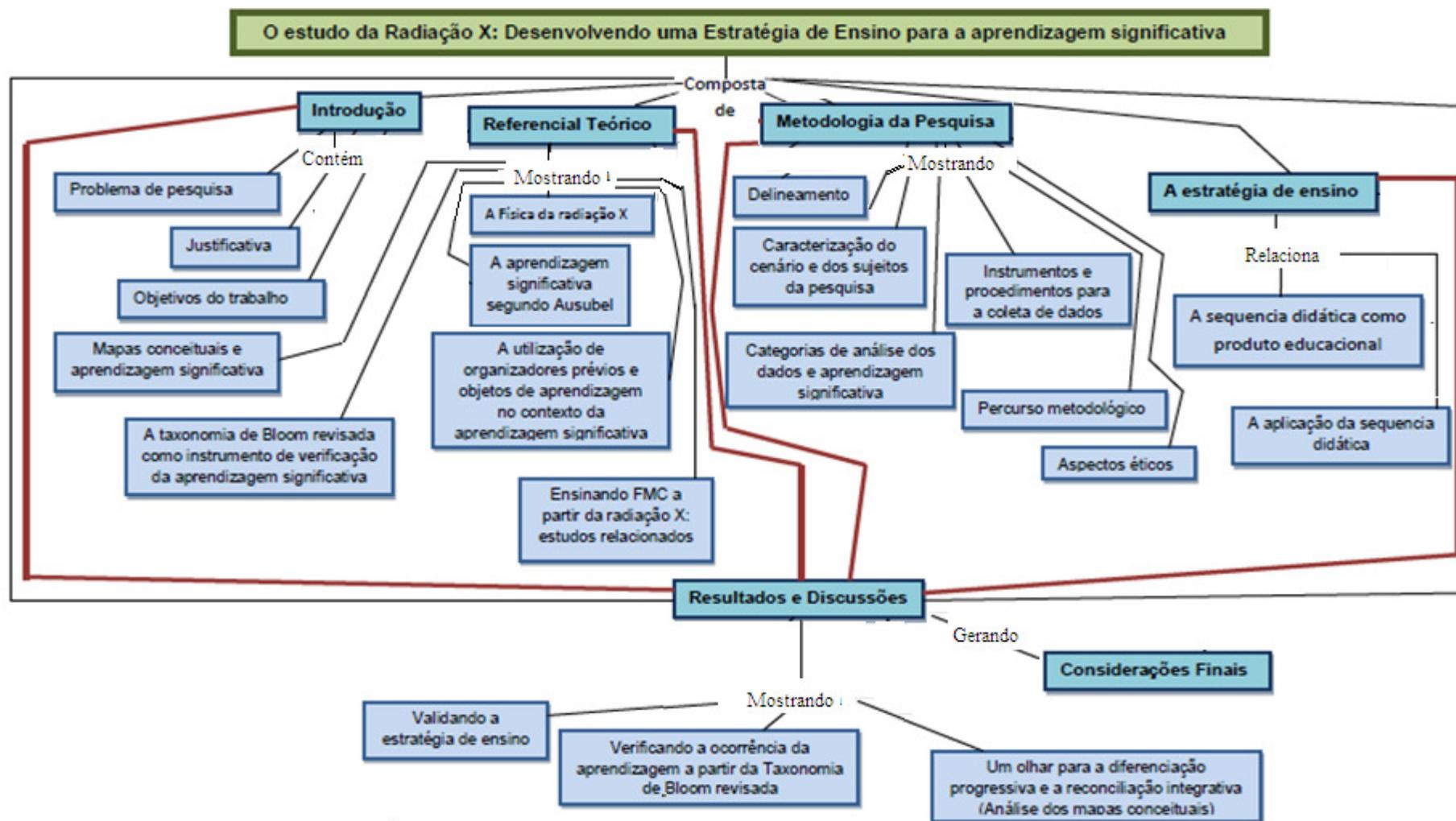
DP – Diferenciação Progressiva

RI - Reconciliação Integradora

# Sumário

Capítulo 1	Introdução	4
Capítulo 2	Referencial teórico	16
2.1	A física da Radiação X	17
2.1.1	Um panorama geral sobre a descoberta da Radiação X	17
2.1.2	Definição de Radiação X e sua produção	20
2.1.3	O espectro de emissão da Radiação X	22
2.1.4	As explicações da Física Clássica e da Física Quântica para o espectro de Radiação X	29
2.1.5	Medição do espectro da Radiação X	35
2.1.6	Atenuação do feixe de Radiação X	39
2.2	A aprendizagem significativa segundo Ausubel	41
2.2.1	O que é aprendizagem significativa	41
2.2.2	Os tipos de aprendizagem e a importância do subsunçor	43
2.2.3	A diferenciação progressiva	46
2.2.4	A reconciliação integrativa	47
2.2.5	Teoria da assimilação e aprendizagem significativa	47
2.2.6	As aprendizagens por recepção significativa	49
2.2.7	Condições para a ocorrência da aprendizagem significativa e avaliação	51
2.2.8	Conceitos subsunçores para o processo de ensino-aprendizagem da FMC a partir da Radiação X	52
2.3	A utilização de organizadores prévios e objetos de aprendizagem no contexto da aprendizagem significativa	53
2.3.1	Organizadores prévios e aprendizagem significativa: O que são os organizadores prévios	53
2.3.2	O que são os objetos de aprendizagem	56
2.3.3	A utilização de objetos de aprendizagem como organizadores prévios da aprendizagem	59
2.4	Mapas conceituais e aprendizagem significativa	62
2.4.1	O que são mapas conceituais e como utilizá-lo	62
2.4.2	Processo de elaboração de um mapa conceitual	64
2.4.3	Mapas conceituais e avaliação de aprendizagem significativa	65
2.4.4	Mapas conceituais e a autorregulação do processo de ensino-aprendizagem	67
2.5	A Taxonomia de Bloom Revisada como instrumento de verificação da aprendizagem significativa	69
2.6	Uma definição para sequência didática	75
2.7	O ensinando FMC a partir da Radiação X: estudos relacionados	77
Capítulo 3	Metodologia	83
3.1	Delineamento	83
3.2	Caracterização do cenário e dos sujeitos da pesquisa	85
3.3	Instrumento e procedimento para coleta de dados	86
3.4	Categorias de análise de dados e aprendizagem significativa	88
3.5	Percurso Metodológico	89
3.6	Aspectos éticos	92
Capítulo 4	A estratégia de ensino	95
4.1	A sequência didática como produto educacional	95
4.2	Aplicando a sequência didática	97
Capítulo 5	Resultados e discussões	128

5.1 Validando a estratégia de ensino (SD) .....	128
5.2 Verificando a ocorrência da aprendizagem a partir da Taxonomia de Bloom revisada.....	139
5.3 Um olhar para a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (Análise nos mapas conceituais).....	146
Capítulo 6 Considerações Finais .....	158
Referências .....	163
Anexo A Termo de autorização.....	172
Anexo B Parecer do Comitê de Ética na Pesquisa .....	173
Apêndice A Carta de solicitação .....	178
Apêndice B Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	179
Apêndice C Questionário do pré-teste e teste.....	180
Apêndice D Elaboração de um mapa conceitual .....	182
Apêndice E Teste Qui-Quadrado de Pearson .....	183
Apêndice F Distribuição das etapas da sequência didática para a aprendizagem significativa de conceitos de física moderna e contemporânea a partir do estudo da Radiação X .....	186
Produto Educacional.....	190



**Figura 1** Mapa conceitual da dissertação. Fonte: JESUS, 2015.

# Capítulo 1

## Introdução

O processo de ensino-aprendizagem vai muito além do cenário simplificado de uma sala de aula convencional (LEMKE, 2006). Ele leva em consideração aspectos sociais, acadêmicos, econômicos, a própria visão de mundo de cada um dos estudantes e deve ser colocado em prática com a finalidade de promover sucesso educacional, científico e social dos alunos participantes desse contexto. Tomando-se como referência o nível médio de ensino, pode-se destacar um contexto onde as diferenças são acentuadas, no que tange à realidade de vida de cada um dos estudantes, o que interfere diretamente nas atitudes e na forma como cada um destes estudantes se relacionará com o novo conhecimento discutido e apresentado pelo professor.

Dessa forma, o Ensino Médio (EM) pode ser caracterizado como um cenário complexo e desafiador para os docentes nas várias áreas do conhecimento. O papel de instrução e orientação é influenciado pelo interesse particular de cada aluno, e isso interfere diretamente no aprendizado de cada estudante, fazendo com que o papel do professor tenha uma importância fundamental, na transformação das várias realidades encontradas no EM. O enfrentamento deste desafio requer uma ação coordenada, por parte de profissionais capacitados, no sentido de utilizarem arcabouços teóricos, metodológicos e tecnológicos, que possam atribuir uma utilidade prática para o que é ensinado ao estudante, tornando este conhecimento significativo e duradouro (PERRENOUD, 2000).

Esse caráter significativo, associado ao conhecimento discutido em sala de aula, é uma realidade desejável, porém não observada na totalidade das escolas de EM no país. Em várias realidades, uma das situações mais encontradas traz à tona o fato dos estudantes não entenderem o significado nem a importância de temas específicos, e da grande aplicabilidade dos mesmos na vida cotidiana. Uma destas constatações foi feita por Benjamin e Teixeira (2001), que avaliaram os fatores que levavam os estudantes de EM a desistirem, em muitos casos, do aprendizado em Física básica. De acordo com o trabalho destes autores, as respostas dos estudantes para este cenário levam em consideração aspectos como: falta de importância prática dos temas estudados na vida cotidiana e a inexistência de cobrança destes temas nos vestibulares e exames, o que reflete um pensamento equivocado sobre o verdadeiro papel do ensino e de Ciências.

Embora, essas idéias dos estudantes sejam habituais, em vários cenários do EM, é evidente que os avanços tecnológicos vivenciados por todos fazem parte do cotidiano, tais como: o chip de computador com seus circuitos integrados, celulares com seus sofisticados recursos, máquinas utilizadas na realização de exames de imagens, entre outros aparatos tecnológicos decorrentes do desenvolvimento das Ciências (CANATO JÚNIOR, 2003). É muito comum, os estudantes tomarem conhecimento sobre esses temas por meios de comunicação ou conversas com amigos, às vezes, de forma equivocada ou superficial, fato que influencia diretamente na forma de aprendizado sobre estes temas, algo que deveria ser abordado, de forma planejada, no contexto escolar (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007),

Este cenário é muito mais complexo quando se trata do ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) nas escolas de ensino básico do país. Muitos pesquisadores como Ostermann (1998), Greca, Moreira e Herscovitz (2001) e Domingui (2012) têm mostrado, através de trabalhos, a importância e a necessidade da inserção da FMC no nível médio de ensino, processo que vem acontecendo de forma lenta e gradual, contrastando com a velocidade das descobertas científicas neste campo e também com a rapidez na divulgação, pela mídia, sobre tais avanços. Nestes trabalhos, os autores supracitados, mostram que a inserção dos temas relacionados a este campo da Física proporciona a construção de um cenário espetacular, no que tange ao entendimento sobre vários avanços tecnológicos e a solução de vários problemas sociais importantes.

Dessa forma, não inserir a FMC no nível médio de ensino, ou inserir de forma não planejada e longe da realidade do estudante, configura um problema atual para o ensino de Física nas escolas de nível médio de ensino, no país, principalmente na rede pública, que abrange a maioria dos estudantes do EM no contexto atual. Uma análise fundamental desse ramo da Ciência permite verificar que seu desenvolvimento contribuiu para um entendimento mais aceitável sobre os modelos que descrevem a matéria, em suas estruturas mais básicas. Além disso, possibilita a criação de várias aplicações tecnológicas importantes para o cotidiano das pessoas, de modo que, deixar de abordar a FMC na escola básica é cessar o direito que o estudante tem, do ponto de vista mais básico, de ter contato com uma forma legítima de construção do conhecimento (OSTERMANN et. al, 1998).

O desenvolvimento da FMC proporcionou avanços rápidos, duradouros e nunca antes experimentados pelo homem, uma vez que, o conhecimento sobre a intimidade da

matéria possibilitou a inserção de tecnologias altamente benéficas para as áreas da saúde, eletrônica, astronomia, indústria e geologia (NAKIBOGLU; TEKIN, 2006). Estes fatos justificam a necessidade da inserção dessa temática na escola básica, o que já ocorre em uma parcela pequena das escolas de nível básico, e que deve ser feito de forma significativa e substancial, uma vez que cada estudante está em contato direto ou indireto com os benefícios produzidos por este ramo da Física, servindo como elemento potencializador do ensino de FMC nas salas de aula do EM.

Ostermann et. al (1998) também cita algumas razões, entre muitas outras, para a inserção da Física Moderna e Contemporânea no nível médio de ensino:

“- despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles; - os estudantes não tem contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual idéias revolucionárias mudaram a ciência totalmente; - é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de física.” (OSTERMANN et. al, 1998).

Entretanto, como já foi explicitado, essa parcela do desenvolvimento humano não é discutida, nem inserida, no nível médio, na mesma velocidade com tais avanços ocorrem na Ciência, o que caracteriza um desafio para professores e formadores no cenário atual. A discussão sobre todo esse avanço nem sempre adentra às escolas, proporcionando um distanciamento não desejável entre Ciência e escola. Em muitos casos, o ensino de Física é feita de forma cartesiana onde são priorizadas operações matemáticas, em detrimento de conceitos físicos, que podem dar significado aos fenômenos que os educandos presenciam diariamente (MOREIRA, 1983).

Com o surgimento do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), um grupo de professores pesquisadores teve a oportunidade de refletir e atuar sobre esta realidade contraditória, através de pesquisas direcionadas para a inserção de temas relacionados com a Física Moderna e Contemporânea (FMC), no ensino médio (EM). Atualmente, o ensino de FMC ainda é pouco difundido nas escolas de EM do país que, em muitos casos, retratam uma realidade na qual os temas discutidos em sala de aula fazem, apenas, referência à Física Clássica, não dando conta, em sua plenitude, do desenvolvimento tecnológico experimentado nos dias atuais, além de uma abordagem

distante do cotidiano e não fenomenológica da Ciência.

Várias são as causas que explicam a não inserção da FMC no nível médio de ensino, por parte dos professores de Física, o que pode proporcionar um cenário escolar não alinhado com o novo panorama de avanços científicos e tecnológicos, percebidos diariamente pelos estudantes. Esta realidade não desejável é caracterizada por um processo de ensino-aprendizagem descontextualizado e distante da realidade cotidiana de cada estudante. Alguns autores como Ostermann (1998), Greca, Moreira e Herscovitz (2001), Domingui (2012), e Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007), entre outros, tem nos chamado à atenção para algumas das causas que geram este contexto de dificuldade do tratamento da FMC, nas escolas de nível básico no país. Algumas destas causas apontadas são: a dificuldade imposta pelos temas da FMC, formação inadequada dos professores de Física durante a licenciatura e a falta de estratégias e metodologias adequadas para uma intervenção segura em relação a essa temática no EM.

No que tange ao primeiro aspecto, fica claro, a partir dos trabalhos de autores como Ostermann (1998) e Greca, Moreira e Herscovitz (2001), que os temas associados à Física moderna e contemporânea são demasiadamente complexos e dependem de um entendimento aprofundado, por parte do professor, sobre vários aspectos de ordens conceituais, procedimentais, epistemológicos e filosóficos. A abordagem destes tópicos, em qualquer contexto escolar, sobretudo no EM, necessita da construção de um percurso que possa contemplar o desenvolvimento desse ramo da Ciência, levando em consideração fatos históricos, a adequação e adoção de modelos representativos por parte da Física, construção do conhecimento como produção humana, relação do cientista com sua realidade social e também da utilização de um arcabouço matemático mais elaborado.

Tais fatores são, na visão destes estudiosos, impedimentos importantes para a inserção da FMC no nível médio de ensino, o que configura um desafio fundamental para os professores que já estão atuando no nível médio de ensino. Um caminho possível para a superação das dificuldades relacionadas à complexidade dos temas da FMC é estabelecer um cronograma de formação continuada para estes docentes, incentivando a participação dos mesmos em cursos de especialização e mestrado, ou até mesmo seminários específicos, para tratar da utilização de tópicos da FMC no contexto do EM, enfatizando aspectos conceituais e tecnológicos, imprescindíveis para um duradouro e significativo entendimento dessa temática, por parte dos estudantes.

O segundo aspecto importante está relacionado com a formação inicial do professor. Neste contexto, é desejável que o curso de licenciatura possa contemplar, por meio de disciplinas específicas, as discussões necessárias para a capacitação adequada do futuro professor. Existe uma dificuldade da inserção da Física moderna e contemporânea, no nível médio de ensino, fato que pode estar relacionado com uma formação inadequada durante a graduação. Esta formação inadequada deixa lacunas de ordens conceitual, procedimental, metodológica e epistemológica, interferindo, diretamente, na decisão do professor em não adotar o ensino de FMC quando passar a atuar no nível médio (JUNIOR REZENDE, CRUZ, 2009).

Autores como Gil Pérez, Senet e Solbes (1987) apontam que vários aspectos de ordem metodológica e também epistemológica devem ser apropriados pelos professores durante o curso de licenciatura, com o objetivo de auxiliar na inserção segura da FMC no nível médio de ensino, o que vai favorecer que seus futuros alunos possam compreender a construção da Física e o desenvolvimento da Ciência de forma coerente e organizada. Além disso, uma formação inicial adequada do professor pode garantir aos estudantes a possibilidade de confrontar o conteúdo estudado a partir de sua própria visão de mundo, contribuindo para um processo de ensino-aprendizagem mais significativo e voltado para o cotidiano dos estudantes, uma realidade desejável não somente pelo professor, mas por toda comunidade escolar.

Em relação à falta de estratégias e metodologias específicas para a inserção da FMC no nível médio de ensino, é possível destacar a necessidade de uma formatação não usual para o processo de ensino-aprendizagem em Ciências. Muitos autores como Ostermann e Moreira (2000), mostram que há uma tendência positiva na forma de abordagem da FMC no nível médio de ensino, isto é, a natureza fascinante do conhecimento dessa área da Física, por si só, é promotora de um ambiente de curiosidade e interesse por parte dos estudantes do EM. Além disso, a utilização de materiais didáticos específicos, ferramentas computacionais e a utilização de laboratórios, para experimentos virtuais ou reais, são medidas que podem potencializar o ensino de FMC no nível médio de ensino (MONTEIRO E NARDI, 2007).

A partir da adoção destas medidas, pode-se facilitar a construção de uma desejável realidade, para a inserção e discussão dos conhecimentos referentes à FMC na escola básica. Neste sentido, a possibilidade de tratar um problema da Física, de forma lúdica,

aumenta o interesse dos alunos, torna a aula mais atrativa e coloca o professor como mediador do próprio conhecimento, aumentando a eficácia do processo de ensino-aprendizagem. Neste contexto desejável, muitos estudantes do nível médio de ensino tendem a se interessar pela FMC, sobretudo quando estes tópicos são apresentados de forma não usual, o que contribui para que estes estudantes sintam-se encorajados a participarem das aulas, principalmente quando esta abordagem é interativa, tecnológica e relacionada ao cotidiano (STANNARD, 1990).

A real necessidade da inserção da FMC tem sido mostrada por vários autores já citados nesta seção, e também por parte dos documentos oficiais do Ministério da Educação e Cultura do país (MEC). De acordo com os PCNEM, cada estudante deve ter a oportunidade de refletir sobre as aplicações tecnológicas da Física em diversas áreas, inclusive a Física Moderna. (BRASIL 2002). Esta necessidade é justificada pelos avanços produzidos pela FMC, em todos os ramos da sociedade, ao longo de um período centenário, tornando esta inserção importante, sobretudo, por se tratar da evolução do próprio conhecimento humano. Além disso, é importante que cada estudante tenha a oportunidade de debater tais avanços, fazendo, de forma consciente, o juízo de valor a respeito da interferência da Ciência no cotidiano das pessoas (TERRAZZAN, 1992).

Assim, fica claro que o trabalho do professor é imprescindível para organizar e mediar o aprendizado de forma correta e significativa, possibilitando ao estudante a compreensão dos fenômenos físicos, a relação destes fenômenos com as aplicações tecnológicas adjacentes e também o pensamento crítico sobre o papel da Ciência na sociedade. A participação dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem é necessária para o sucesso da prática educacional, uma vez que seus conhecimentos prévios e suas vivências no percurso até o EM, segundo muitos teóricos, desempenham um papel importante para a aquisição de novos conhecimentos, tornando o processo de ensino-aprendizagem mais simples e inteligível (MOREIRA, 2000).

A partir da colocação do problema associado à falta ou à limitação da discussão da FMC no nível médio de ensino, e reconhecendo a importância desta inserção na formação de estudantes mais conscientes e preparados para o futuro, fica claro que a aprendizagem significativa, em qualquer área do conhecimento, é o objetivo de qualquer educador comprometido com o ensino de Ciências. O desejável cenário de implementação das temáticas relacionadas à FMC pode ser estabelecido a partir da observação dos

conhecimentos adquiridos pelos estudantes ao longo dos anos anteriores a esta inserção, o que geralmente ocorre no final do EM. Para tanto, toma-se como base, a perspectiva de que é possível apreender algo novo a partir daquilo que já é estabelecido no indivíduo, do ponto de vista cognitivo, o que representa uma forma promissora para o processo de ensino-aprendizagem. (AUSUBEL, 1980).

Neste sentido, o mais importante a ser considerado no ato de ensinar e apreender é, sem dúvida, a vida pregressa do estudante, uma vez que o delineamento do mundo e do conhecimento adquirido por esse educando será sua própria história de vida no ensino. Dessa maneira, A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel foi escolhida para fundamentar este estudo, uma vez que, reconhece aquilo que o estudante já sabe como a base para um novo aprendizado que será potencialmente significativo. Aliado a isso existe o papel de um material instrucional adequado para possibilitar tal processo, o que pode influenciar diretamente no sucesso do processo educacional como um todo. (MOREIRA, 2006).

Diante desse problema, foram tomadas algumas posições investigativas, a respeito do desenvolvimento de uma estratégia de ensino, com base na elaboração e aplicação de uma Sequência Didática centrada no modelo construtivista de Méheut (2005) e organizada de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. O objetivo fundamental dessa intervenção é verificar a influência desse produto educacional (SD) e sua forma de abordagem, no aprendizado adquirido pelos estudantes do EM sobre tópicos da FMC, a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X. Neste percurso, foram enfatizados aspectos sociais, pedagógicos, epistemológicos, tecnológicos e científicos, visando contribuir para a ocorrência da aprendizagem significativa sobre conceitos específicos da FMC.

Dessa maneira, este trabalho colocou como proposta central a resolução da seguinte questão: *De que maneira uma estratégia de ensino baseada no desenvolvimento e aplicação de uma sequência didática pode favorecer a aprendizagem significativa dos estudantes de nível médio sobre conceitos de FMC, a partir do estudo da Radiação X?*

Dada a amplitude da própria FMC e a dificuldade particular associada aos temas desta área da Física, restringe-se, nesta pesquisa, a investigação acerca da inserção de temas específicos da FMC no EM, uma vez que buscou-se viabilidade temporal para o desenvolvimento da pesquisa e também a possibilidade de validação do produto

educacional utilizado (Sequência Didática). Contudo, acredita-se que as reflexões geradas por este estudo possam contribuir para melhoria do ensino de FMC como um todo, interferindo positivamente na qualidade do ensino de Física no EM, sobretudo nas escolas da rede pública do país.

Este estudo foi motivado, sobretudo, pela possibilidade de um entendimento maior sobre o assunto e a crença de que seja possível, ainda na escola básica, a discussão de temas relacionados com a FMC, proporcionando um ambiente de aprendizado significativo e reflexão social sobre a posição do cientista na sociedade. Uniu-se a isso, a perspectiva de uma intervenção pedagógica crítica, orientada por um programa específico, com o intuito de auxiliar na qualidade de formação dos estudantes do nível médio e a preparação dos mesmos para atuarem como agentes capazes de modificar suas próprias realidades sociais, a partir do aprendizado científico significativo e duradouro, obtido em um cenário escolar desejável.

Dentro desse contexto, a Teoria de Produção e Emissão de Radiação X, coloca-se como promissora em vários aspectos, uma vez que o entendimento de seus domínios tecnológicos possibilitou ao homem moderno a implementação de técnicas para a solução de vários problemas, utilizando a propagação desse tipo de radiação para seus próprios desígnios. Assim, torna-se importante o ensino e a aprendizagem dessa teoria no contexto escolar do EM, uma vez que é possível, a partir desta temática, promover a inserção de tópicos da FMC relacionados ao cotidiano dos estudantes, ao mesmo tempo em que, se pode promover um entendimento mais amplo sobre seu uso em várias áreas do conhecimento científico e respectivas aplicações tecnológicas.

Portanto, a forma com que os estudantes entram em contato com esta temática científico-educacional é fundamental para garantir o sucesso da aprendizagem, ao longo do ciclo escolar médio, enfatizando a relação do tema com a realidade de cada aluno, bem como os conhecimentos prévios acerca desta realidade. Tudo isso embasa um panorama que, segundo Ausubel, pode promover uma aprendizagem sólida e duradoura. Assim, analisar por quais processos e métodos este conhecimento é adquirido, pode delinear um novo cenário sobre o ensino significativo de conceitos relacionados à FMC, a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X. Somando-se a estas possibilidades, conta-se com a inserção de recursos tecnológicos que possam auxiliar na aprendizagem dos conceitos relacionados a esse campo da Física.

Espera-se que, com a adoção dessa estratégia de ensino, baseada na aplicação de um produto educacional (SD), construído através da utilização de vários pressupostos teóricos e metodológicos, para a abordagem da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X, se possa contribuir para a aquisição da aprendizagem significativa, por parte dos estudantes do EM. Ao mesmo tempo, almeja-se que os estudantes possam discutir conceitos específicos relacionados à Teoria Quântica, tais como: Quantização da Energia, Fóton de Raios X, Dualidade Onda-Partícula e Estado Quântico, além de estimular novas discussões sobre a inserção de outras temáticas da FMC no EM.

Sendo assim, colocou-se como viável, o desenvolvimento de uma proposta de intervenção pedagógica, isto é, a construção de uma SD como produto educacional desta dissertação, que possa ser utilizada como material de referência na orientação docente sobre o ensino de conceitos da Mecânica Quântica a partir da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X, contribuindo assim, para a disseminação da temática em questão, no nível médio de ensino. Dessa forma, o objetivo central desse estudo é: propor um modelo de Sequência Didática como produto educacional que possa potencializar a aprendizagem significativa de conceitos da mecânica quântica a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X, no nível médio de ensino.

Ainda neste contexto destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um produto educacional (SD) para o ensino de conceitos quânticos a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X.
- Aplicar este produto (SD) a um grupo de estudantes de nível médio de ensino.
- Validar a SD utilizando pressupostos inerentes à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.
- Produzir um material de apoio instrucional (Produto Educacional) para que outros docentes possam discutir conceitos específicos da Teoria Quântica a partir do estudo Produção e Emissão de Radiação X.

Para apresentar a construção do referencial teórico, apresentar a proposta da SD, bem como trazer os resultados, acompanhados das análises derivadas deste estudo, o texto dissertativo está disposto em uma ordem linear com seis capítulos, apêndices e anexos.

No primeiro capítulo, foi feita uma introdução retratando o panorama do Ensino de Física no ensino médio, evidenciando a falta ou a limitação da inserção da FMC neste

nível de ensino, o que configurou, em linhas gerais, o problema de pesquisa deste estudo. Em seguida foram apresentadas algumas das razões que podem justificar essa ausência ou limitação na inserção da FMC no EM, apesar dos avanços que já ocorreram nos últimos anos. Adiante, é apresentada a justificativa para este trabalho, que está pautada nos benefícios promovidos pela FMC na vida das pessoas, em diversas áreas. Também foram apresentados, neste capítulo inicial, o objetivo geral e os objetivos específicos para o trabalho de pesquisa.

O segundo capítulo trata do referencial teórico para a pesquisa. São apresentadas a Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a importância da utilização de mapas conceituais no processo de ensino-aprendizagem, bem a Taxonomia de Bloom revisada e sua utilização no processo de verificação da aprendizagem. Também, neste capítulo, foi feita uma apresentação sobre a importância dos organizadores prévios, objetos de aprendizagem e o papel destes construtos no cenário de busca pela a aprendizagem significativa, justificando a adoção de várias ferramentas computacionais, textos, simulações e animações como elementos constituintes do produto educacional (Sequência didática) deste trabalho. Para finalizar este capítulo, foi apresentada uma revisão sistemática da literatura associada ao tema central abordado por este trabalho, isto é, a inserção de tópicos de FMC no nível médio de ensino, a partir da Teoria da Radiação X. Tal revisão mostrou a existência de um número pequeno de artigos/dissertações/teses envolvendo o tema Radiação X como base para a inserção de conceitos quânticos no cenário do EM no país.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia da pesquisa. É explicitado o tipo de estudo realizado, o cenário e a caracterização dos sujeitos participantes da pesquisa, bem como o percurso metodológico para o cumprimento dos objetivos estabelecidos inicialmente. Além disso, são caracterizados os instrumentos utilizados na coleta de dados e a metodologia utilizada na análise dos dados obtidos, tendo como base as seguintes categorias de análise: *a aprendizagem dos estudantes* e *a validação do produto educacional* (Sequência Didática).

No quarto capítulo, foi apresentada uma seção com uma breve explanação sobre o modelo que embasou a construção da SD e um mapa conceitual mostrando a organização de sua estrutura geral como produto educacional. A seção seguinte foi dedicada ao relato de aplicação desta Sequência Didática para os estudantes participantes do estudo, o que

ocorreu em sete etapas, com a finalidade de organizar o percurso metodológico e encadear os objetivos de cada uma destas fases, em busca da aprendizagem. Nestas etapas estão especificadas as ações, os objetivos, as metodologias e as ferramentas tecnológicas que foram utilizadas para desenvolver o trabalho com os estudantes durante o trabalho de campo.

O quinto capítulo foi reservado para a apresentação dos resultados obtidos no estudo, para as discussões sobre tais resultados e a explanação das análises realizadas, a partir do referencial teórico adotado nesta pesquisa. Esta tarefa foi promovida através de três etapas: uma análise quantitativa comparativa a partir da utilização do teste do Qui-quadrado de Pearson, com a finalidade de identificar uma associação estatística entre a aplicação da SD e o desempenho dos estudantes, que buscou validar esta estratégia; uma análise qualitativa e quantitativa referente ao desempenho dos estudantes, como base na Taxonomia de Bloom revisada, objetivando verificar a ocorrência da aprendizagem significativa, e, finalmente, uma análise qualitativa, com base na comparação evolutiva dos mapas conceituais produzidos pelos estudantes durante o estudo de campo, enfatizando a diferenciação progressiva de conceitos e a reconciliação integrativa de conceitos.

O sexto capítulo traz as considerações finais para o estudo, com base no referencial teórico e nas análises feitas durante a pesquisa. Em seguida são apresentados os apêndices produzidos neste estudo, com ênfase para o texto de apoio didático ao docente, que foi criado com o objetivo de auxiliar outros professores na tarefa de inserir a discussão sobre tópicos e conceitos quânticos no EM, tendo a Teoria de Produção e Emissão da Radiação X como tema disparador. Para facilitar o entendimento sobre a organização de cada um dos capítulos apresentados neste texto, será mostrado, no início de cada um deles, um mapa conceitual, abordando os detalhes e objetivos da discussão que será realizada no capítulo em questão.

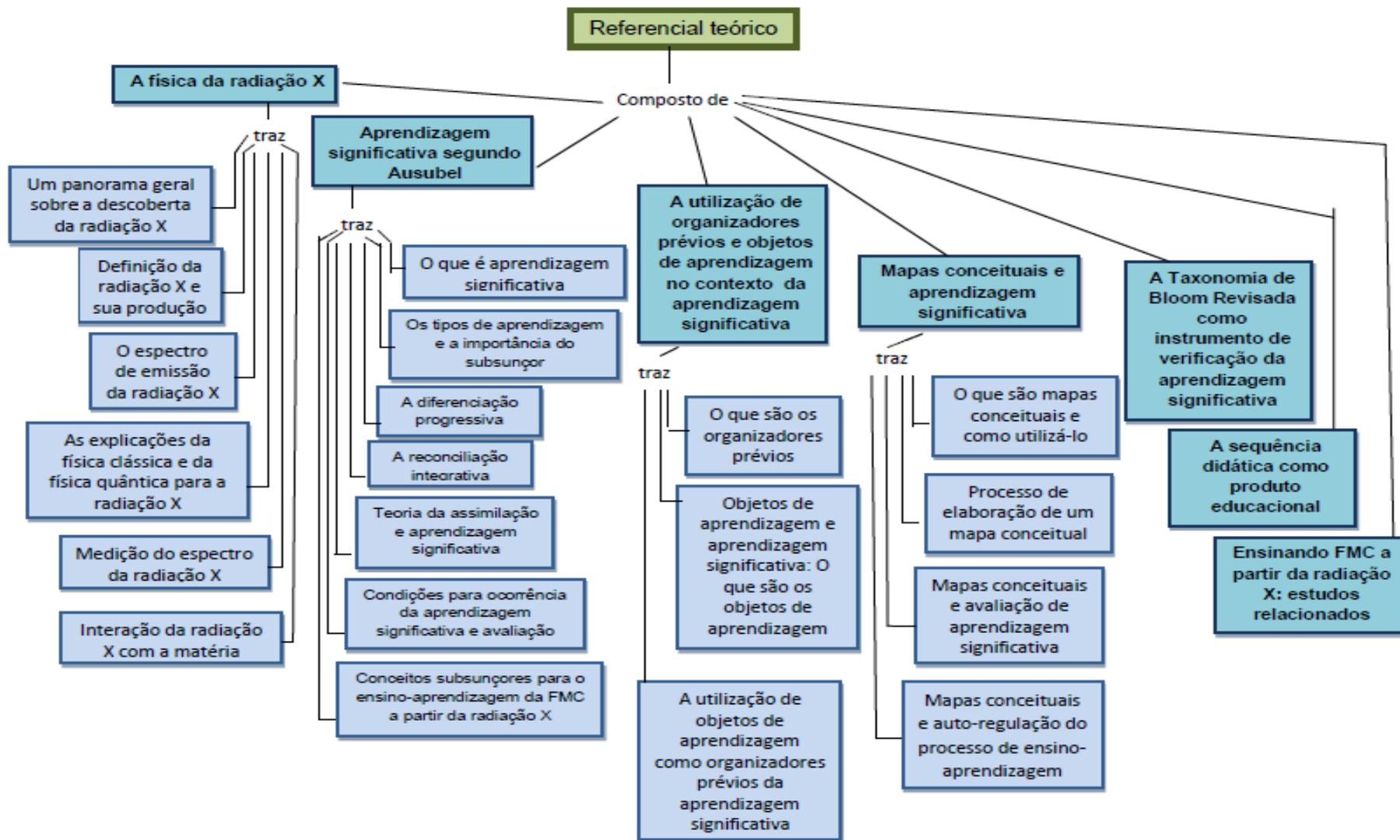


Figura 2 Mapa conceitual do referencial teórico. Fonte: JESUS, 2015.

## Capítulo 2

### Referencial Teórico

A delimitação do referencial teórico é fundamental para sistematizar o plano de ação do pesquisador e auxiliar na promoção de uma análise objetiva sobre aquilo que se deseja pesquisar. Além disso, o referencial teórico serve para dar sustentação aos eventos que estão sendo demonstrados em campo, permitindo que as conclusões do estudo possam emergir de sua estrutura teórica, com base na relação entre aquilo que é percebido pelo observador (pesquisador) e o que é previsto na teoria adotada por este referencial (MINAYO, 2009). Nesse sentido, a teoria utilizada em cada referencial é sistematicamente construída, a partir de métodos reconhecidos, e serve para justificar a existência de fatos ou eventos em um dado contexto de investigação (SEVERINO, 2007). Dessa maneira, para a discussão da inserção da FMC (Conceitos quânticos) no EM e sua relação com o processo de ensino-aprendizagem, o referencial básico para este trabalho relacionou algumas teorias que deram suporte para as análises feitas ao longo do estudo.

Este capítulo está dividido em seções que tratarão destes construtos teóricos, enfatizado os aspectos fundamentais para a elaboração e sustentação das análises, que foram desenvolvidas nos capítulos de resultados e discussões e considerações finais. A primeira destas seções apresenta uma explanação sobre a Física da Radiação X, na qual são discutidos os conceitos clássicos e modernos associados à produção e emissão desse tipo de radiação. A seção seguinte apresentada a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, contemplando aspectos importantes para a análise da aprendizagem adquirida pelos estudantes, ao longo do processo educacional. Logo após, há uma seção mostrando a importância dos organizadores prévios e dos objetos de aprendizagem no cenário de promoção da aprendizagem significativa, uma vez que vários destes objetos de aprendizagem desempenham, neste estudo, o papel de organizadores prévios.

Ainda no seguimento das seções, há uma explanação sobre a importância da utilização dos mapas conceituais no processo de ensino-aprendizagem, no EM. Tal relevância é destacada em vários âmbitos, tais como: a organização do conhecimento que será discutido, verificação dos conhecimentos prévios e/ou subsunções, avaliação da aprendizagem e autorregulação do ensino, do ponto de vista do docente e também do

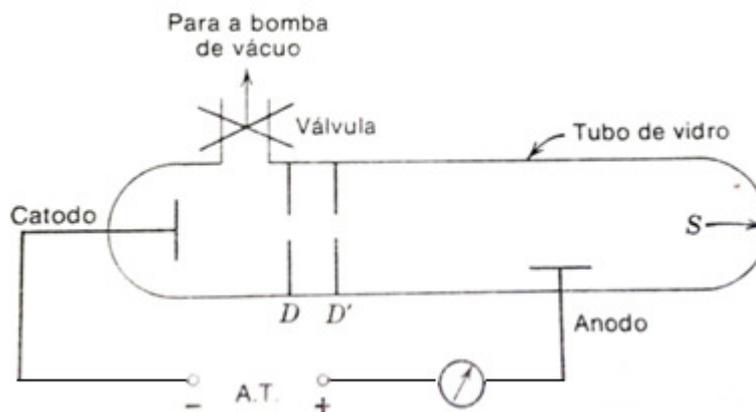
estudante. Na seção seguinte, há uma apresentação da Taxonomia de Bloom revisada, construto importante para a percepção da aprendizagem do estudante, com base no grau de organização do conhecimento, de acordo com os níveis estabelecidos nesta taxonomia. A última seção deste capítulo é dedicada à apresentação de uma análise sistemática da literatura relacionada com a inserção da discussão sobre conceitos quânticos no nível médio de ensino, a partir da utilização da Teoria de produção e emissão da Radiação X como tema central, o que contribuiu para a adoção de uma abordagem diferenciada em relação aos estudos já realizados e assinalados nesta seção.

## **2.1 A Física da Radiação X**

### **2.1.1 Um panorama geral sobre a descoberta da Radiação X**

Para uma análise mais refinada sobre a construção da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, e também para as explicações acerca da relação entre esta teoria e os conceitos quânticos objetivados neste trabalho, é interessante entender como se deu a discussão do problema clássico envolvendo os raios catódicos. Esta análise vai possibilitar um entendimento claro de como a Teoria da Física Clássica é limitada na explicação de alguns pontos cruciais da produção e emissão da Radiação X, sendo necessária a utilização de conceitos próprios da Teoria Quântica para tal tarefa. É importante salientar que, mesmo com o problema relacionado à limitação da Teoria Clássica na tentativa de explicar todos os fenômenos associados ao contexto de produção e emissão da Radiação X, vários dos conceitos estabelecidos nesta teoria serão indispensáveis para o completo e satisfatório entendimento sobre a produção e emissão deste tipo de radiação.

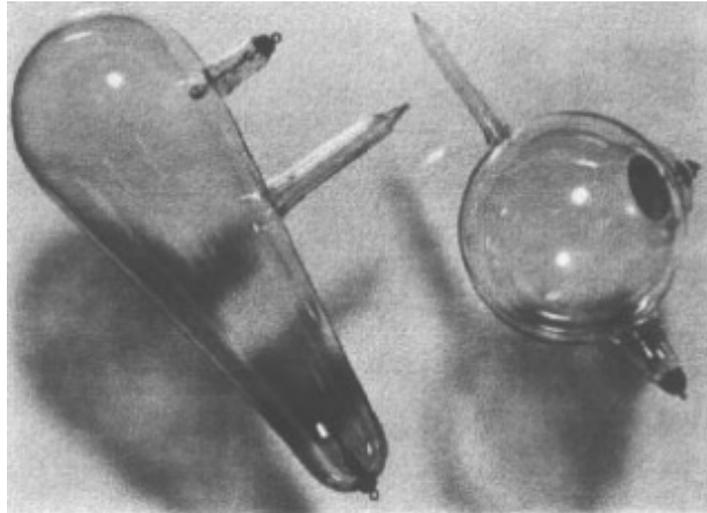
Nesse contexto, um dos problemas mais populares da Física produzida no final do século XIX era o da condução da eletricidade em gases rarefeitos. Por meio de experimentos laboratoriais os cientistas daquela época costumavam testar hipóteses e verificar teorias a partir de um arranjo experimental (Figura 3) típico, o tubo de raios catódicos (EISBERG, 1979). Nesse experimento típico, preenche-se o tubo com um gás de certa natureza, que pode também ser o próprio ar, verificando-se então, que a partir da aplicação de altas tensões (AT) entre os eletrodos negativo e positivo, também chamados de cátodo e ânodo, respectivamente, aparece um determinado fluxo de corrente elétrica através do tubo. Este fluxo pode ser intensificado a partir das variações de pressão no interior do tubo e também da massa de gás ou ar confinada no mesmo (EISBERG, 1979)



**Figura 3** Um tubo de raios catódicos. Fonte: EISBERG, 1979.

A configuração mais comum de percepção deste fenômeno está associada ao surgimento de uma mancha brilhante, que alterna partes mais claras e mais escuras em seu interior, sendo influenciada diretamente pelo valor da tensão aplicada aos eletrodos do tubo e pela natureza química do gás no interior do tubo, conforme a figura 3 (EISBERG, RESNICK, 1979). Dessa forma, vários cientistas buscavam respostas para questões ligadas à eletrização dos gases e a condução de correntes elétricas, bem como da natureza química de alguns gases estudados na época. Um destes cientistas era Wilhelm Conrad Roentgen (1845 – 1923), um estudioso das radiações eletromagnéticas e dos raios catódicos, que analisava a emissão e a detecção de radiação eletromagnética de frequências elevadas. Tais emissões já haviam sido previstas por Heinrich Hertz em 1888.

Assim, Wilhelm Conrad Roentgen repetiu várias vezes o experimento proposto e realizado anteriormente por Joseph John Thompson, nos laboratórios da Universidade de Wurzburg, na Alemanha, por volta de 1895, utilizando um tubo de Crookes. O cientista passou a observar um estranho fenômeno de escapamento dos raios catódicos da ampola utilizada nos experimentos de descargas elétricas em gases, por meio de um tubo de Crookes (LIMA, AFONSO E PIMENTEL, 2009). O tubo básico de Crookes (Figura 4) consistia de um tubo de vidro, fechado nas extremidades, com a saída conectada a uma bomba de vácuo. Dois eletrodos de alumínio eram colocados dentro do vidro e podiam ser conectados a uma fonte de alta voltagem ou uma bateria, que era aumentada até que a corrente fosse registrada em um amperímetro. Neste experimento típico, verificava-se que a corrente fluía do cátodo para o ânodo (MARTINS, 1998).



**Figura 4** Tubos de Crookes. Dois tubos de descarga utilizados por Roentgen. Note-se que, em ambos, o catodo (em forma de disco) e o anodo estão em angulo reto. Nesses tubos, o feixe de raios catódicos atinge o vidro, e não o ânodo. Fonte: LIMA, AFONSO E PIMENTEL, 2009

Quando a pressão interna do tubo era muito baixa, próxima de 0,01 mmHg, a luminosidade deixava de existir, o que poderia ser explicado pela baixa quantidade de gás presente no recipiente. Entretanto, o amperímetro assinalava a passagem de corrente elétrica, o que demonstrava que algo ainda estava acontecendo. Além disso, ocorria a sensibilização da superfície fora desse tubo, que estava envolvida por material fosforescente, o que sugeria que algo estava a escapar da ampola de raios catódicos. Tal fenômeno acontecia mesmo que o tubo fosse totalmente enrolado por um material opaco (EISBERG, 1979). Dessa maneira, Roentgen percebeu que se tratava de algo de natureza diferente daquilo que era estudado comumente, e passou a investigar este fenômeno, a partir das observações feitas por seu colega Philipp Lenard (1862-1947), isto é, os raios que escapavam do tubo, e que mais tarde seriam denominados de Radiação X ou Raios X, passaram a ser a preocupação central do trabalho do cientista (MARTINS, 1998).

Outra observação pertinente acerca da descoberta da Radiação X, a partir do estudo das propriedades dos raios catódicos, é o fato do aparecimento de manchas na extremidade do interior do próprio tubo. De alguma forma, os raios liberados pelas partículas, que eram liberadas pelo cátodo, viajavam em linha reta e marcavam a extremidade oposta do tubo de Crookes utilizado no experimento. Além disso, Roentgen verificou que a intensidade daquelas manchas era influenciada por fortes campos magnéticos e elétricos, estabelecidos no âmbito do experimento (EISBERG, 1979; MARTINS, 1998). Com todas estas observações, Roentgen chegou à conclusão de que os fenômenos observados passaram a

revelar um novo tipo de radiação, pois não era detida por barreiras sólidas simples, somente poderia ser atenuada, e era invisível ao olho humano. O cientista intensificou seus trabalhos na área e publicou um artigo específico sobre a nova descoberta.

Em uma entrevista concedida ao jornalista americano Henry Dam, provavelmente no final de janeiro de 1896, que está disponível em Martins, 1998, o cientista comenta sobre sua célebre descoberta.

Agora, Professor, o senhor poderia me contar a história da descoberta? (Henry Dam)

Não há história! Eu estava interessado há muito tempo no problema dos raios catódicos em tubos de vácuo, estudados por Hertz e Lenard. Eu havia seguido suas pesquisas e as de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro. Eu já estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo. (Roentgen)

Qual foi a data? (Henry Dam)

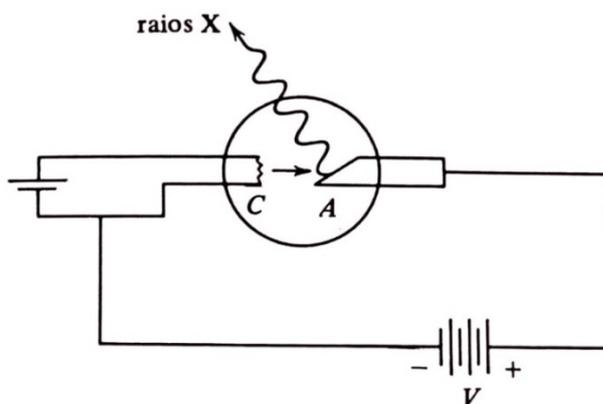
Oito de novembro. (Roentgen)

Roentgen chegou à conclusão de que as “partículas de raios catódicos” eram negativas e esta constatação foi realizada através de um experimento no qual, uma câmara metálica foi colocada no interior do tubo e serviu para coletar estas partículas, sendo possível determinar o sentido de deflexão da trajetória das tais “partículas de raios catódicos” ou simplesmente “raios catódicos”, quando eram expostas a campos magnéticos. Estas mesmas partículas são emitidas pelo cátodo, quando aquecido, isto é, durante a ocorrência do efeito termoiônico, sendo que a quantidade de partículas liberadas, durante este efeito, dependia da corrente estabelecida no interior do cátodo. Estava então posta a nova descoberta para a Ciência e isso implicou em diversos estudos e aplicações tecnológicas a partir daquela época, contribuindo para o avanço da Física e de diversas áreas, tais como a industrial e da medicina, que tem no diagnóstico por imagens radiográficas um importante aliado no tratamento de doenças. Atualmente, a Radiação X é utilizada em muitas outras áreas, sendo fundamental para o desenvolvimento de novas tecnologias benéficas ao homem moderno.

Portanto, este tipo de radiação passou a fomentar várias aplicações tecnológicas e naturalmente despertou em vários cientistas e grupos de pesquisa o desejo de um maior entendimento sobre sua produção, emissão, interação com a matéria, bem como um mundo ainda desconhecido e alimentado em vários cenários produtores dessa nova ciência.

## 2.1.2 Definição de Radiação X e sua produção

De maneira geral, a figura 5 mostra de forma esquemática, ou ilustra, a liberação da “radiação desconhecida” ou “Radiação X”, que está diretamente relacionada com o movimento das partículas catódicas ao longo da linha entre o cátodo e ânodo e que mais tarde teve várias de suas propriedades estudadas. Algumas características dessa radiação são comuns às ondas, tais como: polarização, difração e interferência, sendo, além disso, invisível ao olho humano, e capaz de sensibilizar materiais fluorescentes, filmes fotográficos e radiográficos, bem como, não pode ser detida por pequenas barreiras materiais e possui grande poder de penetração, sendo denominada de radiação dura (EISBERG, 1979).



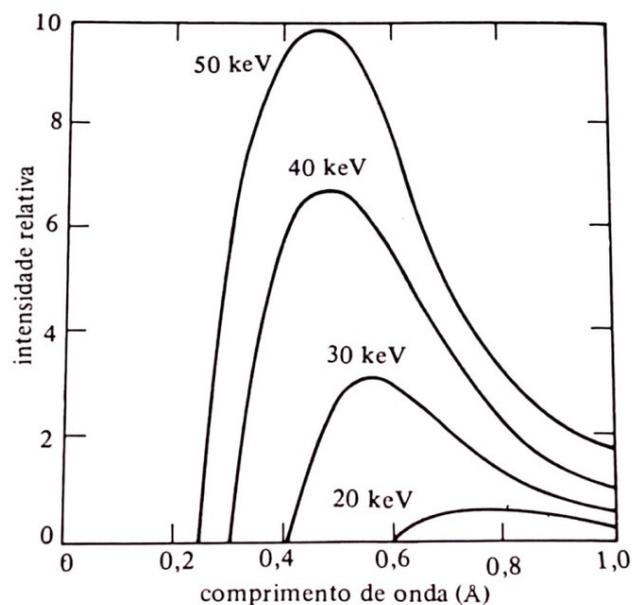
**Figura 5** Um tubo de Raios X. Elétrons são emitidos termicamente do catodo aquecido C e acelerados em direção ao anodo (alvo) A pela diferença de potencial V. Raios X são emitidos do alvo quando elétrons são freados ao atingi-lo. Fonte: EISBERG, RESNICK, 1979.

A Radiação X apresenta comprimentos de onda típicos próximos a uma unidade de angstrom ( $10^{-10}$  m) e sabemos atualmente, que pode ser produzida a partir da desaceleração de elétrons em um alvo denso (efeito bremsstrahlung) ou pela transição de um elétron entre níveis ou subníveis energéticos de um átomo. Estes elétrons possuem alta energia e são acelerados por uma diferença de potencial elevada, na ordem de milhares de volts, provocando a liberação de Radiação X de espectro contínuo ou de um espectro característico (ESPECTRO DE LINHAS). A produção do espectro contínuo somente é possível porque os elétrons desacelerados podem assumir quaisquer valores de velocidade e de energia, durante a frenagem no alvo, enquanto que a produção do espectro característico está associada com as possíveis transições de elétrons entre os níveis atômicos energéticos, a partir das colisões destes elétrons incidentes com elétrons do alvo. Os dois processos ocorrem simultaneamente (EISBERG, RESNICK, 1979).

Basicamente, a condição fundamental para a produção da Radiação X é permitir, em um tubo de Raios X ou tubo de vácuo, um grande fluxo de elétrons acelerados por uma grande diferença de potencial, promovendo uma colisão ou choque destes elétrons rápidos contra um alvo, que geralmente é formado por um material muito denso. O resultado dessa experiência é a produção de Radiação X, de forma contínua e também discreta (EISBERG, RESNICK, 1979). Assim, os efeitos de resistência no tubo de vácuo podem ser minimizados à medida que mais matéria é retirada deste, permitindo uma condição de vácuo mais apropriado, ao mesmo tempo em que, é possível aumentar a diferença de potencial até milhares de volts, o que promoverá a liberação de um feixe de Radiação X com energias mais elevadas.

### 2.1.3 O espectro de emissão da Radiação X

A figura 6 mostra a distribuição da intensidade relativa com o comprimento de onda de um espectro contínuo de Radiação X, para algumas energias selecionadas dos elétrons incidentes em um alvo denso. Neste caso, é verificado um deslocamento do comprimento mínimo para a radiação emitida no processo. Este deslocamento está relacionado com as energias dos elétrons incidentes, e reflete o poder de penetração do elétron incidente na região atômica, fato relacionado à interpretação quântica para a produção do espectro contínuo de Radiação X (LIMA, AFONSO E PIMENTEL, 2009).



**Figura 6** O espectro contínuo de Raios X que é emitido de um alvo de tungstênio, para quatro diferentes valores de eV, a energia dos elétrons incidentes. Fonte: EISBERG, RESNICK, 1979.

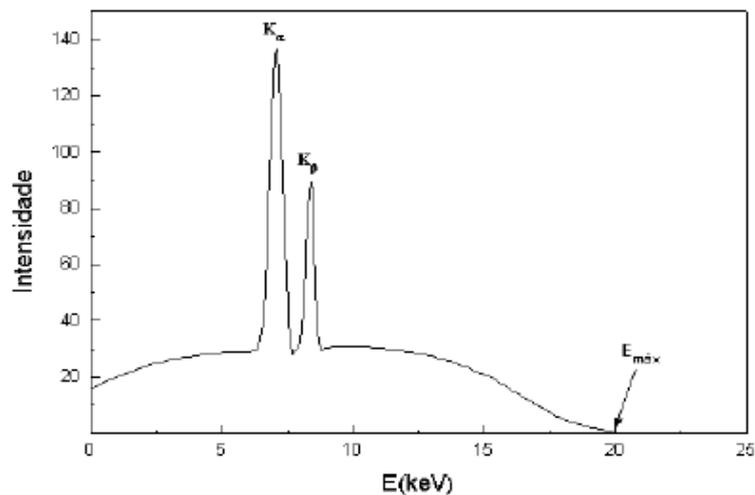
A segunda maneira de obter Radiação X ocorre quando um elétron acelerado interage com outro elétron na camada de um dos átomos presentes no núcleo do material alvo (interpretação clássica) ou transição de um elétron entre níveis e subníveis energéticos (interpretação quântica), produzindo radiação com energia dada pela diferença de energia entre as camadas ou níveis envolvidos nesta interação. Esta emissão de Raios X é denominada radiação característica ou simplesmente Raios X característicos. Ela está associada à expulsão ou a captura de elétrons por um núcleo instável e depende do material formador da estrutura do ânodo (LIMA, AFONSO E PIMENTEL; 2009). Nestas interações, parte da energia dos elétrons incidentes é transferida a outros elétrons que estão nas camadas ou níveis energéticos dos átomos do ânodo, promovendo uma ionização rápida. As lacunas deixadas pelos elétrons que foram ejetados serão preenchidas por outros elétrons que estavam anteriormente em camadas externas ou níveis superiores. (CULLITY 1956).

Esta transição de um nível externo, de maior energia, para outro interno, de menor energia, faz com que uma parcela de energia quantizada seja liberada. Esta energia caracteriza um Fóton de Raios X ou simplesmente Radiação X característica. A liberação deste tipo de radiação está associada ao surgimento de picos sobrepostos ao espectro contínuo de Radiação X, podendo ser explicado a partir da utilização do modelo Clássico orbital e a introdução de alguns conceitos quânticos, como por exemplo, a quantização da energia (visão semi-clássica). Por outro lado, o mesmo fenômeno pode ser explicado utilizando-se o modelo de níveis e subníveis de energia (visão quântica), dando conta não somente da existência destes picos de energia, mas também do espectro de linhas dos Raios X (espectro característico), associado com a estrutura fina do material utilizado. Neste caso, a energia de cada fóton produzido no processo expressa a diferença de energia entre os níveis associados e depende exclusivamente do material constituinte do ânodo (CULLITY 1956).

Dependendo do tipo de interação, isto é, de acordo com as camadas ou níveis energéticos envolvidos nas interações, e das vacâncias produzidas por estas interações eletrônicas, os Raios X característicos serão chamados por K-alfa e K-beta, para o caso de transições associadas ao primeiro nível e outro nível, a partir do segundo; ou L-alfa e L-beta, para as transições que envolvam o segundo nível e outro nível acima deste. Neste caso, a condição fundamental para que se possa produzir Radiação X característica, para

um determinado material, é que a energia cinética dos elétrons provenientes do cátodo seja maior que a energia de ligação específica para os elétrons do material que constitui o alvo (BONIFÁCIO, 2007).

O espectro característico de emissão da Radiação X, ilustrado na figura 7, mostra dois picos associados às transições discretas entre as camadas L e K e M e K. Neste caso, a emissão de Radiação X característica, pode ser entendida como um salto do elétron entre um orbital de maior energia para outro de menor energia, fato que explica a existência dos picos energéticos e está embasado em uma interpretação semi-clássica para o fenômeno (BONIFÁCIO, 2007). Por outro lado, do ponto de vista quântico, a produção de um fóton de Raios X está associada á transição de elétrons entre estados quânticos diferentes. Tais estados podem ser determinados pelas energias possíveis para cada elétron em um nível ou subnível do átomo. Com base neste modelo, dois elétrons de um mesmo nível energético podem estar em estados quânticos diferentes, uma vez que os subníveis podem ser diferentes para os mesmos. Assim, as transições destes elétrons darão origem a fótons de Raios X com energias diferentes, explicando a natureza da estrutura fina do material anódico, e também a existência do espectro de linhas associado aos picos energéticos (EISBERG, 1979).

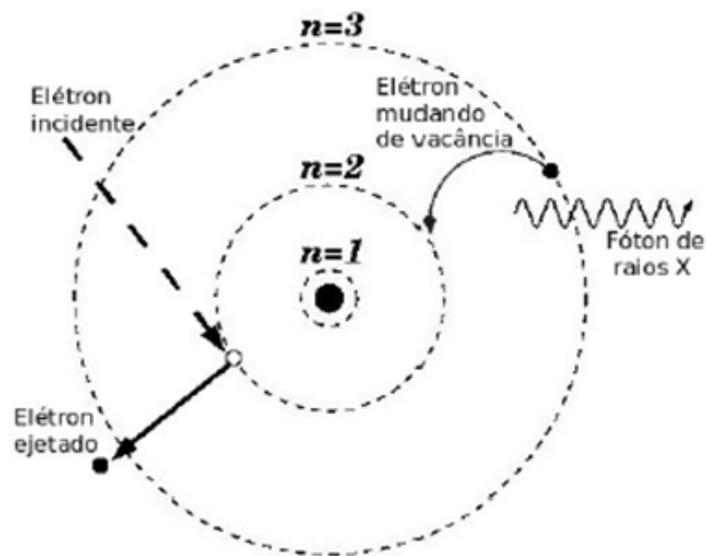


**Figura 7** Espectro de emissão de Raios X característico. Fonte: OLIVEIRA, RIBAS, SOUZA, 2009.

Nesta situação, os picos de valores  $K_{\alpha}$  e  $K_{\beta}$  são compostos por inúmeras linhas com energias muito próximas, devido à estrutura fina das camadas atômicas do material componente do alvo, o que corresponde ao surgimento do espectro de linhas de Raios X,

explicado satisfatoriamente pela Teoria Quântica, a partir da utilização do modelo de níveis e subníveis de energia, e os conceitos de: Quantização de energia, Fóton de Raios X, Dualidade Onda-partícula e Estado quântico (OLIVEIRA, RIBAS, SOUZA, 2009).

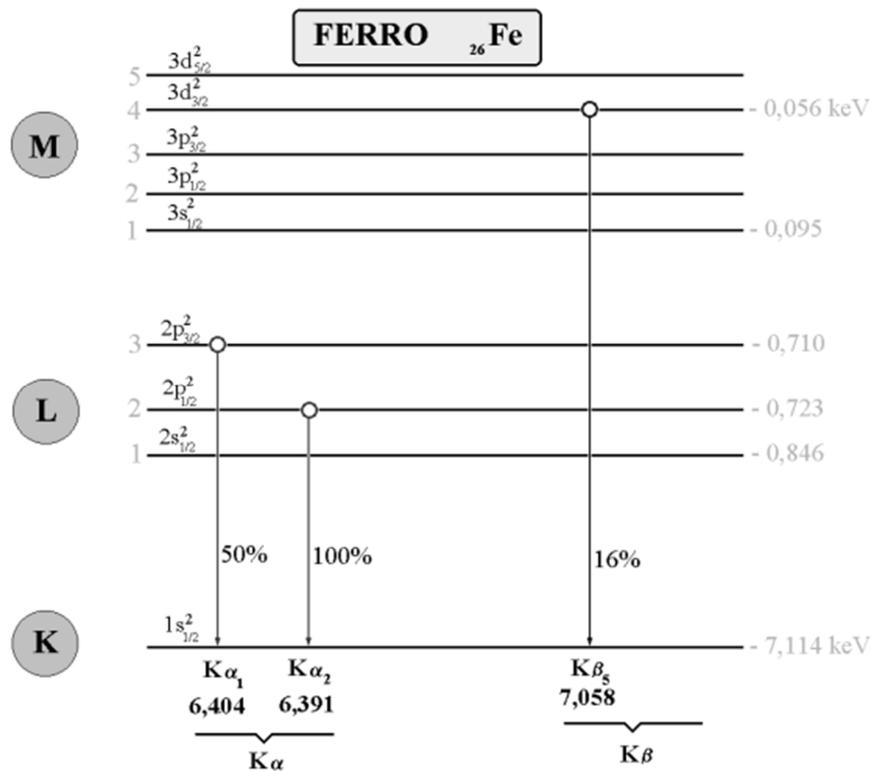
Esse processo também pode ser chamado de fluorescência e nele, um elétron acelerado, oriundo do cátodo, interage com um ou mais elétrons presentes em uma das camadas eletrônicas de um núcleo massivo do ânodo. Dessa maneira, o elétron pode forçar a ionização em uma determinada camada, ou até mesmo transferir um elétron para uma camada mais interna. O resultado destas possíveis interações é a liberação de Radiação X característica, que está associada ao tipo de elemento presente no alvo (BONIFÁCIO, 2007, LIMA, AFONSO E PIMENTEL; 2009).



**Figura 8** Produção de Radiação X característica (Visão Clássica). Fonte: BONIFÁCIO, 2007.

A figura 8 mostra, de forma simplificada, uma das possibilidades para a ocorrência da fluorescência a partir da transição de um elétron entre duas camadas de um átomo do núcleo massivo do alvo. Entretanto, o conceito de órbita é um conceito puramente clássico e foi substituído pelos conceitos de nível energético e subnível energético, uma vez que a adoção desse modelo quântico trouxe mais detalhes para a explicação de tal fenômeno. Assim, a representação feita pela figura 8, expressa uma visão sobre a teoria de Bohr e Sommerfeld do fenômeno de produção de um fóton de Raios X característico, ao mesmo tempo em que, faz uso de conceitos quânticos, referentes à quantização da energia e fóton de Raios X, associando a liberação de Radiação X característica, no âmbito da transição de camada pelo elétron ligado ao núcleo, por ocasião da colisão de um elétron incidente de alta energia (FILHO, 1999).

A representação do mesmo processo, levando-se em consideração o modelo de níveis e subníveis de energia, é mostrada figura 9. Neste caso, os elétrons estão dispostos de acordo com uma distribuição que respeita o princípio de exclusão de Pauli, em cada um dos subníveis associados aos níveis energéticos para as possíveis transições (FILHO, 1999).



**Figura 9** Diagrama dos níveis energéticos e intensidades relativas de emissão dos raios X característicos emitidos pelo ferro. Fonte: FILHO, 1999.

Dessa forma, e considerando este caso apresentado na figura 9, a transição do elétron do subnível L<sub>2</sub> ao nível energético K, promove a liberação de um fóton de Raios X Kα<sub>2</sub> equivalente a 6,391 KeV. No caso da transição do subnível L<sub>3</sub> para o nível K de energia, o fóton liberado será Kα<sub>1</sub>, de energia 6,404 KeV, sendo que neste diagrama a transição L<sub>1</sub> para o nível K é “proibida” (FILHO, 1999). As transições permitidas são aquelas que obedecem a determinadas regras de seleção que expressam as situações em que a energia cinética do elétron incidente é maior ou igual à energia do elétron no átomo, proporcionando uma ionização deste átomo (ANJOS, 2000). As lacunas decorrentes das transições entre os níveis eletrônicos serão preenchidas por elétrons de níveis superiores e isso proporciona a liberação de várias quantas de Raios X, para os quais a energia será

definida pelos níveis envolvidos nas transições. A regra para a seleção das transições permitidas é mostrada a seguir.

$$\Delta l = \pm 1 \quad e \quad \Delta j = 0 \text{ ou } \pm 1, \quad (01)$$

com:

l sendo o número quântico secundário ou azimutal.

j o número quântico interno.

Ainda neste contexto, a frequência de cada fóton de Radiação X, emitido através de um processo de transição pós-ionização ou processo característico, está ligada às energias dos níveis associados na transição, de tal modo, que é dada pela seguinte equação:

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (02)$$

Assim, o comprimento de onda do fóton liberado em uma transição entre duas camadas de energias  $E_1$  e  $E_2$ , sendo  $E_2 > E_1$ , é dado por

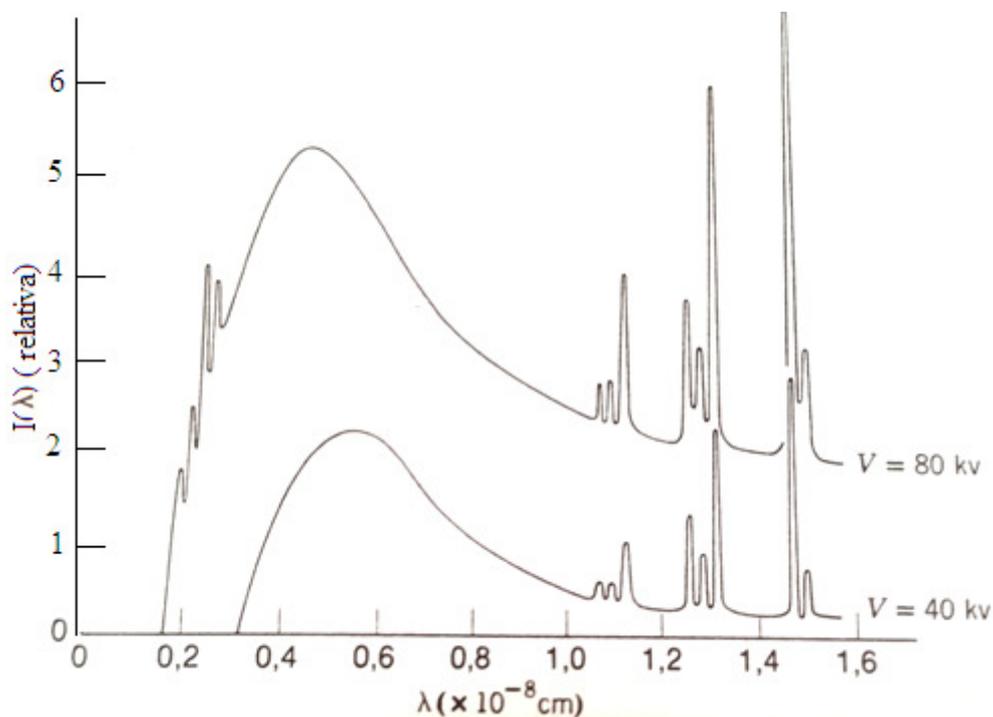
$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} \quad (03)$$

Dessa maneira, e para um entendimento global do processo, podemos resumir esta produção da seguinte maneira: O espectro contínuo de Raios X é o resultado da desaceleração brusca do elétron durante sua penetração na região do ânodo, enquanto que o espectro discreto, ou espectro característico é resultante da emissão de fótons de Raios X, após transição eletrônica nos níveis energéticos. Isso gera um espectro de linhas ou série espectral dos Raios X, que é uma característica do material que compõe o ânodo. A superposição destes dois espectros cria o espectro total da produção de Radiação X (EISBERG, 1979).

Na situação em que elétrons incidentes transferem energia aos elétrons dos átomos do ânodo, esse processo é responsável pela frenagem destes elétrons incidentes e pela liberação de fótons de Raios X (espectro de linhas ou característico), e ocorre em menor escala. Por outro lado, o espalhamento coulumbiano dos elétrons incidentes no núcleo atômico, provoca liberação de radiação eletromagnética, originando o espectro contínuo de Radiação X (EISBERG, RESNICK, 1979). Esta conclusão é prevista na Física Clássica,

que explica a liberação de radiação eletromagnética, a partir das equações de Abraham-Lorentz, proveniente da aceleração de uma partícula carregada, ao passo que a Física Quântica prevê a liberação de energia quantizada para o caso em que um elétron muda de estado quântico. Isso corresponde a uma ampliação no entendimento sobre a produção e emissão de Radiação X, evidenciando que os dois processos podem ocorrer simultaneamente, dentro do ânodo (CULLITY 1956).

No caso da produção do espectro total, mostrado na figura 10, para um átomo de muitos elétrons, verifica-se, durante o processo, o surgimento de um espectro contínuo mais enfraquecido, devido à Radiação X contínua, efeito da frenagem de alguns elétrons pelo núcleo dos átomos do material do ânodo, e ao mesmo tempo, um conjunto de picos mais intensos, resultantes das várias transições efetuadas pelos elétrons durante choque do feixe de elétrons incidentes com o ânodo (CULLITY 1956) Neste caso, apenas a emissão característica está diretamente associada ao tipo de material utilizado no ânodo, sendo a radiação comum de frenagem ou bremsstrahlung ou Radiação X de espectro contínuo, associada à existência de um comprimento mínimo (explicado pela interpretação quântica do espectro contínuo) abaixo do qual, não é observada qualquer emissão de Radiação X, sendo este mínimo valor independentemente do material do ânodo.



**Figura 10** Espectro típico de Raios X. Fonte: EISBERG, RESNICK, 1979.

#### **2.1.4 As explicações da Física Clássica e da Física Quântica para o espectro de Radiação X**

A Teoria da Física Clássica explica, de forma limitada, a produção do espectro total da Radiação X (espectro contínuo e espectro característico), ao passo que a Teoria da Física Quântica realiza esta tarefa de forma satisfatória. Na visão clássica, a radiação eletromagnética, componente do espectro contínuo de Raios X, pode ser produzida por um elétron desacelerando nas proximidades do núcleo atômico, entretanto, esta teoria, não dá conta da existência de um limite mínimo para os valores de comprimento de onda da Radiação X emitida no processo, independentemente do material do alvo (EISBERG, RESNICK, 1979; LIMA, AFONSO E PIMENTEL; 2009). Assim, para a explicação satisfatória sobre o espectro contínuo de emissão de Radiação X, em relação à existência desse mínimo comprimento de onda, é necessário utilizar-se dos conceitos: energia cinética, quantização da energia e fóton de Raios X, sendo os três último, construídos no âmbito do nascimento da Física Moderna e Contemporânea (CULLITY 1956).

Somente a partir desta abordagem moderna, é possível esclarecer a existência desse comprimento mínimo de onda para a Radiação X, isto é, na Física Clássica, os elétrons desacelerados podem assumir quaisquer valores dentro de um contínuo de energia, o que poderia implicar em qualquer comprimento de onda para a emissão de Radiação X do espectro contínuo, o que não é verificado experimentalmente. De acordo com a visão quântica do mesmo processo, existe uma máxima quantidade definida para energia cinética dos elétrons incidentes, na sua interação de troca com o núcleo atômico, sendo relacionada, diretamente, com a energia total do fóton de Raios-X produzido, isto é, a máxima energia cinética convertida em fótons de Raios X é aquela liberada na situação em que o elétron incidente atinge o repouso após ser desacelerado pelo núcleo atômico, e, portanto, limitada ou quantizada na forma de fótons, dando conta da existência do limiar mínimo para o comprimento de onda da Radiação X (AFONSO E PIMENTEL, 2009; EISBERG, 1979).

Dessa forma, a explicação plausível para o fenômeno é obtida a partir do tratamento do problema ao que diz respeito à teoria corpuscular da luz. Neste caso, a Radiação X é interpretada como sendo um pacote de fótons liberados, a partir da desaceleração dos elétrons em interação com o núcleo atômico. A interação do elétron com o núcleo é feita através do campo elétrico Coulumbiano e a energia recebida pelo núcleo, durante a frenagem, pode ser considerada desprezível. Ao escrever  $K$ , como sendo a energia cinética

para o elétron antes da interação com o núcleo, e  $K'$ , como a sua energia após a sua interação, é possível expressar a energia quantizada do fóton de Raios X, que foi emitido no processo (fóton de bremsstrahlung), através da lei de conservação da energia ou do quadrimomento (EISBERG, RESNICK, 1979):

$$h\nu = K - K' \quad (04)$$

A partir da equação (04) é possível escrever o comprimento de onda dos fótons emitidos, levando-se em consideração que cada um desses elétrons pode perder quantidades diferentes de energia ao colidirem com o alvo, de modo que chegam ao repouso após inúmeras colisões, promovendo um espectro resultante de Radiação X, conhecido como espectro contínuo (EISBERG, RESNICK, 1979). Na equação (05),  $h$  representa a constante de Planck,  $c$  representa a velocidade da luz no vácuo e  $\lambda$  representa o comprimento de onda do fóton da Radiação X.

$$\frac{hc}{\lambda} = K - K' \quad (05)$$

Quando o elétron colide, perdendo toda a sua energia cinética, o fóton liberado nesse processo terá o mínimo comprimento de onda, de forma que esse fóton de Radiação X será o mais energético possível e seu comprimento de onda mínimo será dado pela equação a seguir (EISBERG, RESNICK, 1979):

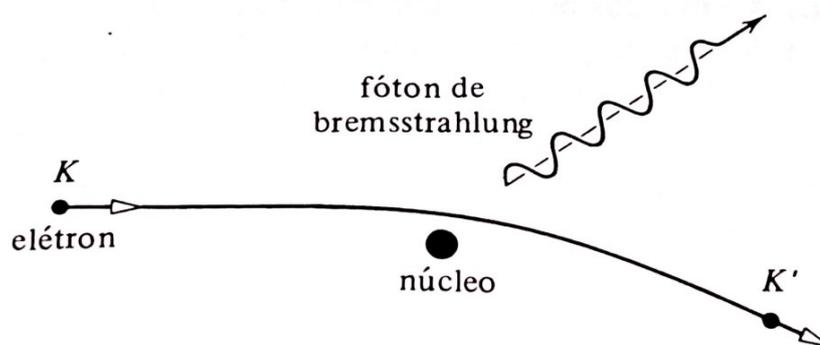
$$K = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad (06)$$

A energia cinética  $K$  é adquirida pelo elétron a partir de sua aceleração através da diferença de potencial,  $V$ , que é aplicada ao tubo de Raios X, de modo que esta energia pode ser expressa pela seguinte equação:

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad (07)$$

Assim é possível, finalmente, determinar o limite mínimo para os comprimentos de onda que representam a completa conversão da energia cinética dos elétrons em fótons da Radiação X. Esse tipo de emissão associada ao efeito bremsstrahlung ocorrerá sempre que elétrons rápidos colidirem com a matéria, ocorrendo a perda completa ou parcial da sua energia cinética (EISBERG, RESNICK, 1979). A diferença de potencial aplicada entre os eletrodos vai determinar quão rápidos serão os elétrons incidentes sobre o alvo, e isto estará relacionado diretamente com a quantidade de energia liberada na forma de radiação contínua, produzida na frenagem, ilustrada na figura 11. Além disso, ela também explica a taxa de transferência de energia entre um elétron incidente e outro, que ocupa um determinado nível energético no átomo do alvo, produzindo ionização.

Desta forma, a energia do fóton produzido na transição dos elétrons externos será maior ou menor, podendo gerar diversos comprimentos de ondas para os Raios X liberados. Quanto menor o comprimento de onda, isto é, quanto maior for a desaceleração dos elétrons incidentes no núcleo dos átomos que compõe o alvo ou maior for a diferença de energia em uma transição após a ionização do átomo do alvo maior será a “dureza” dos Raios X produzidos ou seu grau de penetrabilidade (PULLIN 1939). Entretanto, a intensidade do feixe de Radiação X produzido dependerá da quantidade de elétrons que serão acelerados pela diferença de potencial na região de vácuo, ou seja, depende diretamente do efeito de aquecimento do cátodo ou efeito termoiônico. Tal efeito promove a liberação de uma nuvem de elétrons, que serão acelerados contra o alvo, e sua ocorrência é fruto do aquecimento do cátodo por meio de uma corrente elétrica que produz efeito joule (PULLIN 1939).



**Figura 11** O processo bremsstrahlung responsável pela produção do espectro contínuo de Raios X. Fonte: EISBERG, RESNICK, 1979.

No que tange à existência do espectro característico ou espectro de linhas para a Radiação X, é possível explicar, parcialmente, tal fenômeno de emissão, a partir da utilização do modelo clássico de orbitais para o átomo. Neste caso, a liberação de Radiação X, característica ocorre a partir de um salto de um elétron entre dois destes orbitais, caracterizando um fóton de Raios X, isto é, uma explicação híbrida ou semi-Clássica, uma vez que utiliza conceitos clássicos e modernos para explicar um só fenômeno. Estas emissões estão relacionadas com o surgimento dos picos no gráfico do espectro total de emissão da Radiação X (BONIFÀCIO, 2007; EISBERG E RENSICK, 1979). Segundo este modelo, a retirada de um elétron de um dos orbitais atômicos, por conta da colisão de um elétron incidente, gera uma lacuna que é rapidamente ocupada por um elétron de um orbital mais externo, provocando a emissão de um fóton de Raios X, cuja energia é equivalente à diferença entre as energias dos orbitais. Entretanto, cada um destes picos é composto por uma série de linhas associadas à estrutura fina do material do alvo, sendo explicada, apenas, com a adoção do modelo de níveis e subníveis de energia (EISBERG, 1979).

Do ponto de vista quântico, a retirada de um elétron de um nível de energia muito negativa ou de um estado quântico inicial, por ocasião da colisão de um elétron incidente, gera, após uma ionização rápida do átomo, uma série de lacunas, a partir deste primeiro nível e, conseqüentemente, uma série de transições dos elétrons ocupantes dos níveis e subníveis mais externos, promovendo o preenchimento das lacunas que foram deixadas em níveis mais internos. Este processo ocorrerá até que o átomo esteja novamente em seu estado energético fundamental, e promove a emissão de um conjunto de fótons de Raios X com comprimentos de onda e frequências bem definidos, dando origem ao espectro total de linhas da Radiação X ou espectro discreto dessa radiação (EISBERG, 1979). Dessa forma, é fundamental, a utilização do modelo níveis e subníveis energéticos para explicar, de forma satisfatória, a liberação de fótons de Raios X de energias quantizadas neste processo (PULLIN 1939).

Neste espectro de linhas, o comprimento de onda de cada uma das linhas do espectro está diretamente relacionado com a natureza do material, especificamente com o número atômico do elemento que compõe o ânodo, entretanto, para que se possa perceber

uma determinada linha espectral, a energia cinética dos elétrons incidentes deve ser equivalente a quantidade de energia dada pela equação (EISBERG, 1979)

$$E \geq E_T = h\nu = hc/\lambda \quad (08)$$

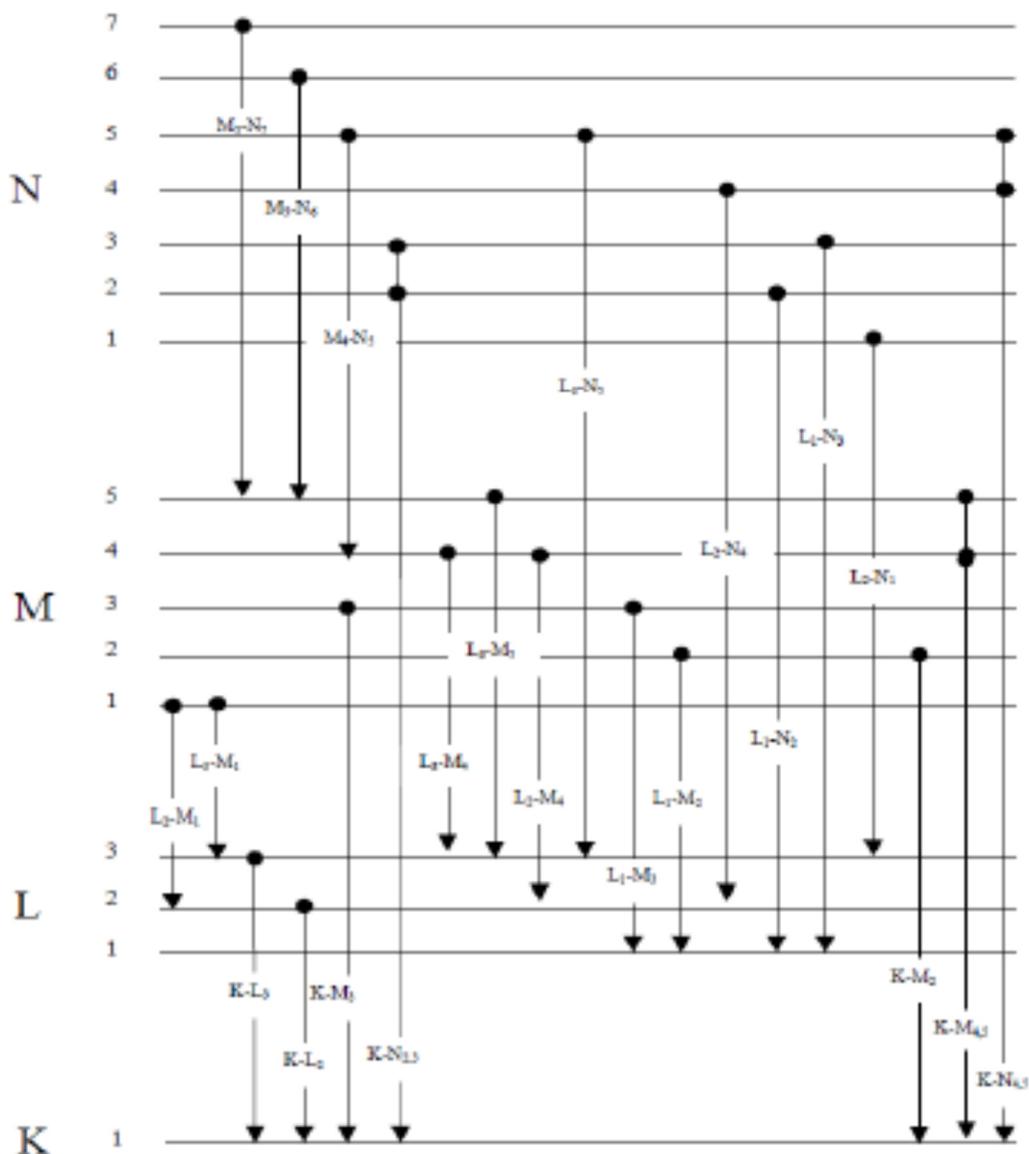
onde  $E_T$  representa a energia total dos Raios X emitidos em cada uma das linhas observadas. Neste processo, podem ocorrer basicamente dois tipos de interação entre um elétron incidente e um elétron atômico: (a) por uma transferência pequena de energia, de alguns elétrons-volts ou dezenas de elétrons-volts, sendo que nestas colisões, a excitação dos elétrons atômicos somente ocorre em níveis mais externos de energias, (b) pode ocorrer em um estado ligado ou em um estado do contínuo, promovendo ionização do átomo. Para a situação mais simples, podemos analisar o caso da retirada de um elétron do primeiro nível energético ( $n=1$ ). Dessa maneira, outro elétron de um nível mais elevado de energia ocupará aquela vaga, de modo que, os níveis de mais baixas energias estarão sendo sistematicamente ocupados, produzindo uma série de linhas espectrais discretas para os Raios X, denominadas a partir do tipo de transição que ocorreu. Isto significa que cada transição envolvendo um ou outro nível energético terá sua identidade revelada através da série espectral, o que mostra uma característica intrínseca ao material (EISBERG, 1979).

Assim, pode-se identificar uma porção de séries espectrais para cada tipo de material, ou transições entre os vários níveis energéticos, conhecidas como: série K para a Radiação X, série L, série M, série N, e assim por diante, dando conta da representação energética de emissão dos fótons associada á diferença de energia presente nas transições. Esta representação evidencia o conceito de Quantização de Energia nos níveis atômicos, como sendo um aspecto fundamental para a explicação e interpretação do fenômeno estudado. Além disso, a estrutura fina do material formador do alvo do ânodo é plenamente explicada a partir dessa interpretação quântica do fenômeno, dando conta da emissão do espectro característico da Radiação X (Espectro de Linhas), com base na mudança de estado quântico de um elétron, a partir da utilização do modelo de níveis e subníveis de energia.

Contudo, para que ocorra a transição de um elétron entre dois estados quânticos distintos, é fundamental que ocorra a retirada de um elétron do átomo, provocando sua ionização, o que depende da seguinte condição: a energia que excita este átomo,

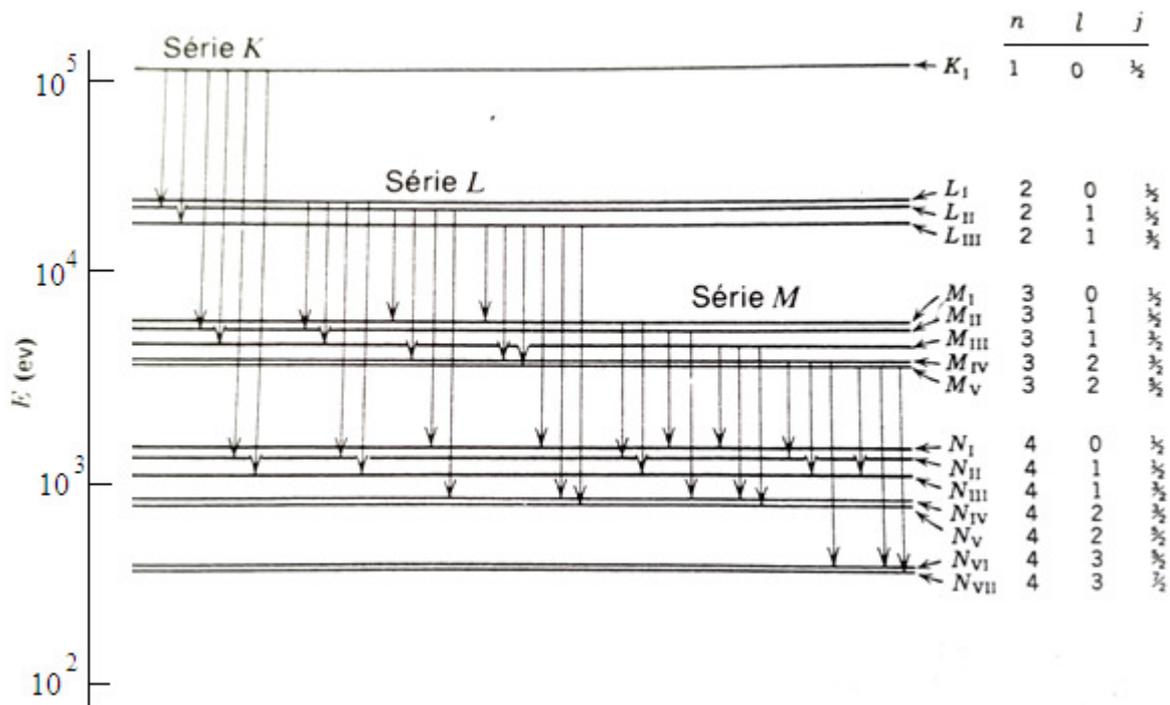
proveniente de uma radiação incidente, deverá ser maior ou igual à energia de ligação do elétron em um dado estado quântico (BATISTA, 2012).

De acordo com esta condição, e obedecendo às regras de seleção impostas pela equação (01) é possível verificar uma série de transições para a liberação de quantas de Raios X ou fótons de Raios X, a partir de transições entre estados quânticos distintos. Este fenômeno é ilustrado na figura 12 e explica a produção do espectro característico para a Radiação X, do ponto de vista da teoria quântica.



**Figura 12** Diagrama de energia para as linhas K, L, M e N. Fonte: (BATISTA, 2012)

Como já foi explicitado neste referencial, o estado quântico expressa a energia de um elétron em certo subnível atômico e pode ser caracterizado por um conjunto de números quânticos (EISBERG, 1979). Dessa maneira, a liberação de um quanta de energia ou fóton de Raios X pode ocorrer a partir da ocupação, por um elétron, de uma lacuna deixada pela retirada de um elétron fortemente ligado ao núcleo, por ocasião da incidência de um elétron altamente energético. A figura 13 mostra a liberação de radiação característica, evidenciando os números quânticos, definidores destes estados. Neste caso, os fótons liberados possuem propriedades ondulatórias, como comprimento de onda e frequência, o que evidencia o conceito da Dualidade Onda-partícula.



**Figura 13** Níveis de energia de raios X mais altos para o átomo de urânio e as possíveis transições. Fonte: (EISBERG, 1979)

### 2.1.5 Medição do espectro da Radiação X

A medição do espectro de Raios X foi um problema inicial importante para os teóricos que trabalhavam na área, já que os espectrômetros utilizados ou as redes de difração utilizadas na época não davam conta dessa tarefa com segurança. O problema residia no fato de que o índice de refração dos raios X para as substâncias utilizadas eram muito próximas e isto impossibilitava a investigação de medição do espectro a partir do

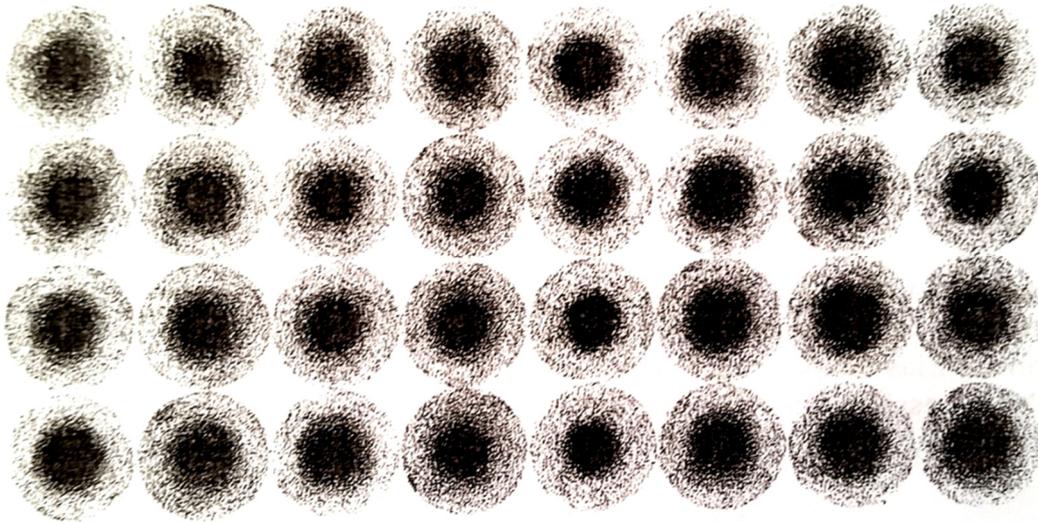
espectrômetro de prisma. Já para o caso das redes de difração, o comprimento de onda dos Raios X era pequeno demais em comparação com o espaço das redes, o que inviabilizava seu uso para a medição do espectro de Radiação X de forma satisfatória e precisa (EISBERG, RESNICK, 1979)

A solução para este problema fundamental foi descoberta e sugerida por Laue, em 1912, mas somente foi colocada em prática por Friedrich Knipping, algum tempo depois, sendo aperfeiçoada logo após, por Bragg. Tratava-se da técnica de utilização de cristais na medição do espectro de Radiação X, uma vez que os cristais, de forma geral, são regulares na sua disposição de matéria e o comprimento de onda dos Raios X são da ordem do espaçamento entre os planos da rede cristalina do material (EISBERG, 1979). Isso marcou um grande avanço para a medição de espectros de Raios X com segurança, e esta lei ficou conhecida como lei de Bragg para o tratamento da difração de Raios X nos materiais, o início da cristalografia.

Portanto a técnica de difração de Raios X consiste no espalhamento de Raios X, sem variação de comprimento de onda, frequência ou de fase, através de um plano da rede de difração do cristal. O papel de espalhar o feixe de Raios X caberá aos elétrons ligados fortemente ao núcleo da rede cristalina, e esse espalhamento será mais intenso na direção do feixe incidente, embora ocorra em várias outras direções. O sucesso da técnica está basicamente relacionado com a regularidade da disposição do material utilizado (rede cristalina) e ao fato de que as leis matemáticas utilizadas nestas situações idealizadas são relativamente simples, o que facilita o tratamento do fenômeno e o entendimento do método.

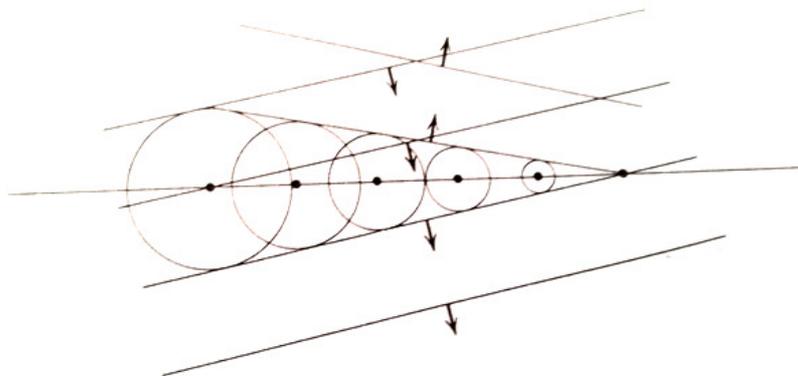
O modelo idealizado, utilizado na difração de Raios X, é constituído por uma rede uniforme de cristais, tal como mostrada na figura 14, onde a disposição dos átomos forma planos com espaçamentos iguais, e sobre a qual se faz incidir um feixe Radiação X monocromático, penetrando em sua estrutura e fazendo com que uma parcela desse feixe de Radiação X atravesse completamente o material utilizado na experiência. No entanto, outra parcela é espalhada pela rede cristalina do material e esse processo de espalhamento é fundamental para estudar as características do espectro da Radiação X utilizada no experimento, bem como as características do próprio material que compõe a rede de difração cristalina (EISBERG, RESNICK, 1979), isto é, com esta técnica é possível avaliar a forma, a disposição e outras características do material exposto á Radiação X, evidenciando particularidades da matéria, a partir de sua exposição á radiação incidente.

Na situação mais simples (figura 14), considera-se que um feixe monocromático de Raios X comporta-se como uma onda de fase constante, e incide com um ângulo  $\theta$  com a superfície da rede, de modo que esta técnica permite explorar as características desse feixe de Raios X incidente, tal como o comprimento de onda, a partir do comportamento do material que compõe a rede cristalina, no âmbito da interação com a radiação.



**Figura 14** Seção bidimensional de um cristal de cloreto de sódio. Fonte: EISBERG, RESNICK, 1979

Neste caso, uma parcela de sua frente de onda é espalhada pelo centro de um dos planos da rede de espalhamento, como mostrado na figura 15. Em cada um destes espalhamentos, pode-se considerar que os centros de espalhamento reemitem ondas no formato esférico que se propagam em todas as direções, sofrendo sobreposições, já que não há mudança de fase. Dessa maneira, o conjunto reemitido formará o feixe de Raios X refletido no mesmo ângulo de incidência  $\theta$ .

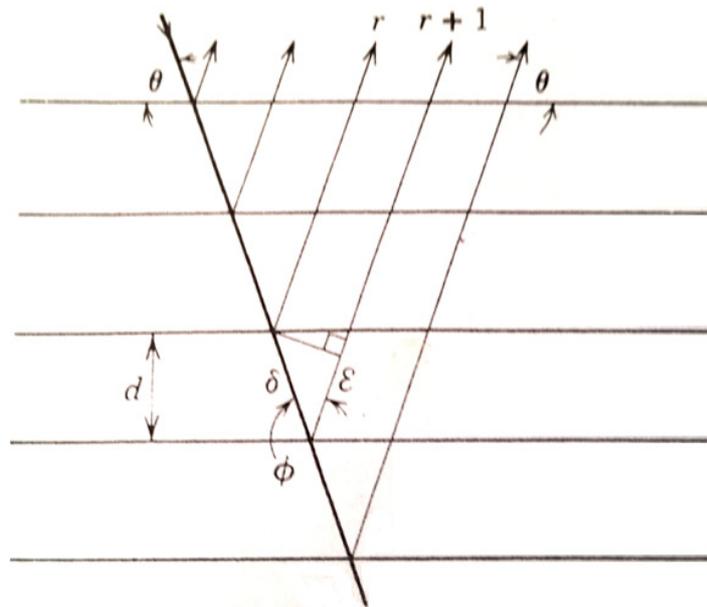


**Figura 15** Construção de Huygens para a reflexão parcial de um feixe de Raios X em uma rede de cristais. Fonte: EISBERG, RESNICK, 1979

A figura 16 mostra a ocorrência deste processo, no qual é possível perceber, na face plana do cristal utilizado, a saída de um feixe de Raios X que pode estar ou não em fase. Para isto, uma condição deve ser obedecida, de tal modo que, a diferença de fase entre os raios seja um múltiplo inteiro do comprimento de onda da Radiação X incidente. Quando se toma certa distância  $d$  entre os planos de espalhamento da rede cristalina, é possível associar um ângulo  $\theta$  que possa satisfazer a essa condição de fase entre os raios refletidos da estrutura cristalina. Assim, a partir da reflexão de dois feixes quaisquer  $r$  e  $r + 1$  desta rede cristalina (Figura 16), é possível avaliar a condição de fase entre eles, que será obedecida quando a diferença entre os trajetos percorridos pelos dois feixes for um múltiplo inteiro do comprimento de onda  $\lambda$  (EISBERG, 1979).

Para esta condição tem-se que:

$$\delta + \varepsilon = n\lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (09)$$



**Figura 16** Ilustração da reflexão parcial de um feixe Raios X em cada plano da rede de cristais. Fonte: EISBERG, RESNICK, 1979

Sendo 
$$\frac{d}{\delta} = \text{sen}\theta \quad (10)$$

E a igualdade  $\frac{\varepsilon}{\delta} = \cos\theta = \cos(180^\circ - 2\theta)$  (11)

$$\frac{d}{\sin\theta} + \frac{d}{\sin\theta} \cos(180^\circ - 2\theta) = n\lambda \quad (12)$$

de onde:

$$(2\sin^2\theta) = (1 - \cos 2\theta) = n\lambda \quad (13)$$

Ou:

$$2d \sin\theta = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

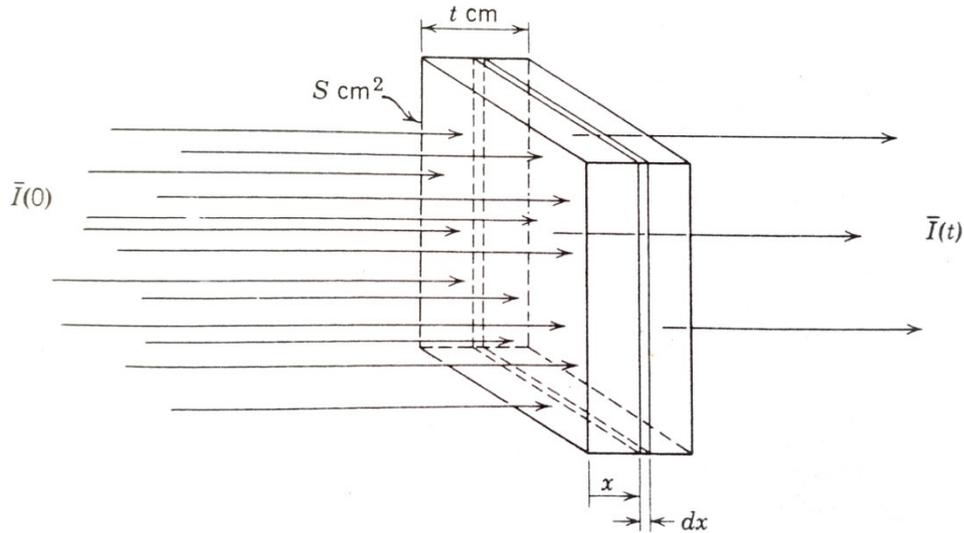
A equação (14) é chamada de Lei de Bragg e mostra as reflexões em diversas ordens para um feixe de Raios X incidentes na superfície da rede cristalina. A intensidade da reflexão é decrescente de acordo com a ordem, isto é, a intensidade do feixe refletido é maior para  $n = 1$ , em seguida para  $n = 2$  e assim por diante. Além disso, a Lei de Bragg mostra que o feixe refletido ocorrerá apenas para determinados ângulos  $\theta$  que satisfaçam a equação 14 (EISBERG, 1979).

### 2.1.6 Atenuação do feixe de Radiação X

A interação de um feixe de Raios X com a matéria revela a possibilidade de ocorrência de espalhamento do feixe na estrutura do material, para uma determinada faixa de energia do feixe incidente; ocorrência de efeito fotoelétrico para outra faixa de energia específica e também um efeito conhecido como produção de pares para uma terceira faixa de energia. Vale salientar que os intervalos de energias comparativas variam de acordo com o material utilizado na seção de choque do feixe de Raios X e essa dependência está associada, diretamente, com o número do mesmo (EISBERG, 1979).

A figura 17 mostra um caso típico da incidência de um feixe de Raios X passando por uma barreira material qualquer. É importante lembrar, que esta situação ilustrada é idealizada, uma vez que o espectro total de emissão de Radiação X é polienergético, sendo composto por fótons com várias frequências e comprimentos de onda. Desta maneira, esta

situação representa um feixe monocromático incidente, cuja intensidade inicial é  $I(0)$ , enquanto que sua intensidade final, após atravessar a folha igual a  $I$ , de modo que as características associadas á atenuação deste feixe de radiação estão relacionadas com as dimensões da barreira, bem como do material que a compõe.



**Figura 17** Feixe de Raios X passando por uma folha. Fonte: (EISBERG, 1979)

Desse modo, a relação entre as intensidades dos feixes incidente e remanescente, após a barreira, será obtida da equação:

$$dI(x) = -\sigma_a N I dx \quad (15)$$

Esta relação resulta da probabilidade de um quanta do feixe de Raios X ser removido do feixe incidente, durante a travessia pela folha, o que é expressa pelo produto  $\sigma_a N dx$ . Assim, a intensidades final e inicial estarão relacionadas a partir da equação obtida para a espessura total da placa que é atravessada, logo:

$$\int_0^t \frac{dI(x)}{I(x)} = -\sigma_a N \int_0^t dx \quad (16)$$

Portanto:

$$\ln \left| \frac{I(t)}{I(0)} \right| = -\sigma_a N t, \quad (17)$$

e finalmente

$$I(t) = I(0) \cdot e^{-\sigma_a N t} \quad (18)$$

O fluxo do feixe atenuado diminui de forma exponencial e depende de  $t$ , enquanto que a quantidade  $\sigma_a N$  é chamada de coeficiente de atenuação, tem dimensão de  $\text{cm}^{-1}$  e depende da espessura da folha atravessada pelo feixe de Raios X. Por outro lado, o comprimento mínimo  $A$  necessário para atenuar um feixe de Raios X é denominado comprimento de atenuação do material e é expresso em função do inverso do coeficiente de atenuação do feixe.

$$A = \frac{1}{\sigma_a N} \quad (19)$$

A partir de todo o exposto, o tema se torna imprescindível nas discussões de Física no EM, na medida em que reforça a necessidade da inserção de conceitos modernos tais como: a Quantização da Energia, o Fóton de Raios X, Dualidade Onda-partícula e Estado Quântico. Tais conceitos são indispensáveis para o completo aprendizado sobre a produção e emissão da Radiação X. Dessa maneira, é possível que estes conceitos possam ser apreendidos a partir da interação com outros conceitos âncora, ou subsunçores, já presentes na estrutura cognitiva do estudante, tais como: Energia, Carga Elétrica, Calor, Potencial Elétrico, Aceleração, Corrente Elétrica, Comprimento de Onda e Frequência, em um processo de ensino-aprendizagem significativo e não literal.

Portanto, a tentativa de promover o aprendizado de conceitos quânticos, a partir de conceitos subsunçores, presentes na estrutura cognitiva do estudante, pode ser uma experiência positiva, principalmente no que tange ao tema escolhido, uma vez que são vastas as aplicações da Radiação X no cotidiano destes estudantes. Esta estratégia pode facilitar na percepção dos fenômenos, na atenção do aluno e no interesse no aprendizado, algo fundamental para esta proposta didática, que pretende inserir a discussão sobre conceitos quânticos, no nível médio, a partir do estudo da Radiação X, com o objetivo de potencializar a aprendizagem significativa destes estudantes.

## **2.2 A aprendizagem significativa segundo Ausubel**

### **2.2.1 O que é a aprendizagem significativa?**

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel é um conjunto de construtos que trata das relações do domínio cognitivo do estudante e mostra as etapas para a ocorrência de aprendizagem significativa a partir de conceitos subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Os principais componentes desta teoria são o professor, o aluno, os materiais e o próprio conhecimento, permitindo um entendimento claro de como o processo de aquisição de conhecimentos ocorre na vida escolar, desde as etapas iniciais, onde parte desses conceitos subsunçores é formada em um processo conhecido como formação de conceitos. Assim a aprendizagem significativa está relacionada ao significado e não à palavra (MOREIRA, 2011).

O uso do termo aprendizagem significativa deve ser utilizado de forma cuidadosa na educação. Para retratar a aprendizagem significativa deve-se fazer um aprofundamento teórico sobre essa proposição (COLL, 2002). Assim para fazer referência à Teoria da Aprendizagem Significativa deve-se reportar a Ausubel, segundo ele, a ‘aprendizagem significativa’, envolve a aquisição de novos significados, que por sua vez, são os produtos finais da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003).

David Paul Ausubel foi um psicólogo da educação norte-americana que defendeu a Teoria da Aprendizagem Significativa partindo do princípio de que as pessoas possuem uma organização cognitiva interna fundamentada em conceitos, e que a sua complexidade depende das relações que os conceitos têm entre si (TARGINO, 2013).

Os primeiros estudos de Ausubel sobre a aprendizagem significativa foram publicados em 1963 com o livro *A Psicologia da Aprendizagem Verbal Significativa* na tentativa de apresentar uma teoria cognitiva de aprendizagem significativa em oposição a uma aprendizagem verbal por memorização (AUSUBEL, 1999). Já no final da década de 70, Ausubel aprofundou seus estudos sobre a aprendizagem significativa com a colaboração de Joseph Novak (TARGINO, 2013).

O conceito primordial da teoria da aprendizagem significativa ausubeliana está no fato de que o estudante pode apreender algo novo a partir do que já conhece ou existe em sua estrutura cognitiva. Neste contexto, o aprendiz atribui significados à realidade em que se encontra, priorizando a aprendizagem cognitiva, enfatizando os processos de compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação. Nessa estrutura o

conteúdo informacional armazenado por um indivíduo influência no seu processo de aprendizagem (OSTERMANN, CAVALCANTI, 2010).

Para desenvolver sua teoria Ausubel distinguiu inicialmente os processos pelos quais se adquire certa aprendizagem. Segundo ele, os processos de aprendizagem são classificados em: *aprendizagem por recepção*, *aprendizagem por descoberta*, *aprendizagem mecânica ou repetitiva*, e *aprendizagem significativa* (PRAIA, 2000), como serão mostrados na seção seguinte.

### **2.2.2 Os tipos de aprendizagem e a importância do subsunçor**

Na aprendizagem por recepção a nova informação é passada em um formato próximo daquele considerado como pronto, é um processo automático, mas de caráter significativo. Já no processo de aprendizagem por descoberta, a nova informação não é dada, mas deve ser descoberta pelo estudante antes que este reúna à sua estrutura cognitiva (PRAIA, 2000). O processo de aprendizagem mecânica ocorre quando a nova informação possui pouca ou nenhuma interseção com a estrutura cognitiva do estudante. Por fim, o processo por aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação é adquirida, presumindo a existência do conhecimento pelo aluno, relacionando-se à organização de conceitos sobre o tema na estrutura cognitiva (MOREIRA, MASINI, 1982).

Ausubel ainda conclui que tanto a aprendizagem por recepção quanto a aprendizagem por descoberta, podem ocorrer por aprendizagem significativa, desde que as informações adquiridas sejam acopladas à estrutura cognitiva (PRAIA, 2000).

É na sala de aula que ocorre grande parte das transformações do aluno, importantes acerca da aquisição de um novo conhecimento por parte do mesmo. Para isso, seus conhecimentos prévios são considerados e ressignificados ao longo de uma cadeia de processos sociais e psicológicos associados ao entendimento científico do tema abordado. Assim o conhecimento:

“É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (“saber”) que envolve a interação entre idéias “logicamente” (culturalmente) significativas, idéias anteriores (“ancoradas”) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender

de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos” (AUSUBEL, 2003 p.1).

Assim, enfatiza Ausubel que “o mais importante fator isolado que influencia a aprendizagem é o que o aprendiz já sabe. Determine isto e ensine-o de acordo” (AUSUBEL, 1980, p. 6).

Ausubel reconhece o papel fundamental que os conhecimentos adquiridos pelo estudante em sua vida pregressa na retenção de novas informações de forma significativa, enfatizando o processo cognitivo e base para que este processo possa ser estabelecido, reconhece também que esse processo é estruturado e não arbitrário e que depende de outros fatores associados ao longo do ensino e da aprendizagem.

A estrutura cognitiva é uma estrutura piramidal, hierarquicamente organizada em termos de traços conceituais altamente inclusivos sob os quais são subsumidos traços de sub-conceitos menos inclusivos, bem como dados de informação específica. Assim, a organização do conteúdo de uma dada disciplina no indivíduo consiste nessa estrutura hierárquica, na qual os conceitos mais inclusivos e menos diferenciados ocupam uma posição no ápice e subsumem progressivamente sub-conceitos menos inclusivos e mais diferenciados, e dados fatuais. (ARAGÃO, 1976).

Segundo Ausubel et al. (1980), a aprendizagem significativa ocorre quando o estudante está disposto a relacionar o material a ser aprendido (uma nova informação) de modo substantivo (não literal) e não arbitrário a sua estrutura cognitiva, a presença de idéias na sua estrutura cognitiva e material potencialmente significativo. Nesse sentido, Ausubel utiliza o “conceito subsunçor” onde, uma estrutura de conhecimento específica interage com a nova informação. O subsunçor presente na estrutura cognitiva do estudante no formato de uma idéia ou de um conceito servirá como uma “âncora” para que o novo conhecimento seja construído de forma significativa.

Assim, é a subsunção que explica a aquisição de novos significados, a extensão do período de retenção de significados, a estrutura hierárquica do conhecimento e a ocorrência eventual do esquecimento (AUSUBEL, ANDERSON, 1966).

Ainda de acordo com Ausubel, o conhecimento se dará, internamente, de forma organizada e obedecendo a uma determinada hierarquia conceitual, isto é, os conceitos mais específicos tendem a ser assimilados por conceitos mais gerais e inclusivos, fortalecendo uma relação de dependência e subordinação significativa entre o novo conhecimento e o conceito que existia na estrutura cognitiva do estudante.

Quando este processo não ocorre, ou seja, quando não existe interação entre a nova informação e a estrutura conceitual existente no aprendiz, a aprendizagem significativa não ocorre. Nesta situação, a informação nova pode ser armazenada por simples memorização, de forma arbitrária, o que caracterizará a aprendizagem mecânica ou memorística (AUSUBEL, 2003). Ou seja, se o estudante não tiver nenhum conhecimento prévio sobre o tema estudado então ocorrerá a aprendizagem mecânica. Pode-se, assim, perceber que os subsunçores podem ter sido originados de uma aprendizagem mecânica. É possível que a aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica ocorram em uma sala de aula, por representarem extremos de um contínuo, possíveis de serem encontrados no universo heterogêneo, presente no ambiente escolar.

Entretanto, na falta de conhecimentos que sirvam como subsunçores para ancorar uma nova idéia ou conceito, é possível estabelecer as condições para que os mesmos sejam construídos a partir de organizadores prévios. Tais organizadores prévios são “pontes cognitivas” entre aquilo que o aprendiz já conhece e aquilo que precisa conhecer para a ancoragem de uma nova idéia ou conceito. Dessa maneira, os organizadores prévios permitem ao estudante conhecer os conceitos que servirão de base para um novo conhecimento se apoiar. Geralmente, estes organizadores prévios são colocados no processo de aprendizagem de forma introdutória e representam um material potencialmente significativo que vai permitir ao estudante entender certas idéias âncora ou simplesmente subsunçores para novos conceitos. Os mesmos são utilizados em um nível mais alto de inclusão, generalidade e abstração (MOREIRA, 2008).

Vários trabalhos que relacionam a preocupação ausubeliana na aquisição de conceitos subsunçores mostram uma direção frutífera para que esta tarefa seja alcançada. É possível, em condições específicas, a utilização de materiais instrucionais com o intuito de construir conceitos âncora ou até mesmo promover a interligação, através da manipulação da estrutura cognitiva do estudante, permitindo a construção ou a relação entre conceitos que pareciam, inicialmente, não relacionados (AUSUBEL, 2003), o que pode proporcionar ao estudante a possibilidade de incorporação de novos conceitos em sua estrutura cognitiva.

Ainda em relação a este aspecto, muitos pesquisadores chamam a atenção para o uso de analogias, metáforas ou modelos específicos para a obtenção de tais conceitos fundamentais ou subsunçores, tratando de um espaço conceitual que inicialmente está fora

de quem aprende e pode servir para que estas idéias fundamentais sejam incorporadas à estrutura cognitiva do estudante aprendiz (BARROS E MELONI, 2005).

Nesse sentido, destaca-se na teoria ausubeliana a possibilidade da verificação da ocorrência destas etapas relacionadas com a aquisição de conceitos e transformação dos mesmos (AUSUBEL, 2003). Assim, cada estudante será capaz de apresentar, no âmbito da ocorrência da aprendizagem significativa, um processo de transformação dos conceitos âncora, de forma organizada e hierarquizada, indicando a existência da *diferenciação progressiva* e da *reconciliação integrativa*.

### **2.2.3 A diferenciação progressiva**

O princípio da diferenciação progressiva do conceito está relacionado com a organização do conteúdo que será apresentado ao estudante. Segundo este princípio, os temas devem ser arranjados de modo que as idéias de maior amplitude ou mais gerais ou mais inclusivas devem aparecer no início da disciplina orientada, e ao longo do tempo, tais conceitos ou idéias gerais deverão ser diferenciadas progressivamente, com a apresentação das idéias mais específica. Desta forma, o conhecimento estará sendo ancorado na estrutura cognitiva do aprendiz de forma organizada e coerente, proporcionando algumas condições para a aprendizagem significativa (TAVARES, 2008).

Existe, portanto, na teoria ausubeliana da aprendizagem significativa uma preocupação em relação à estrutura cognitiva do estudante. Para Ausubel, devem existir, nessa estrutura, ideias mais amplas, a partir das quais, novas idéias mais específicas serão incorporadas ao arcabouço cognitivo do estudante. Este princípio, o da diferenciação progressiva, trata, dessa maneira, da programação dos conteúdos de uma forma que possa privilegiar esta organização ao longo do processo de aprendizagem, o que poderá garantir uma fluidez natural ao processo de ensino-aprendizagem (AUSUBEL, 1980).

Portanto, para um estudante que é submetido a um percurso educacional desta natureza, o processo de ensino-aprendizagem parecerá mais adequado e natural, o que permitirá a este mesmo estudante realizar uma retrospectiva sobre o próprio aprendizado e também apresentar aquilo que foi apreendido de forma organizada e hierarquizada, algo resultante do processo de assimilação, e que demonstra a existência da diferenciação progressiva daquilo que foi incorporado em sua estrutura cognitiva, implicando

diretamente em um processo de especialização do conteúdo e análise de situações inovadoras (AUSUBEL, 1980).

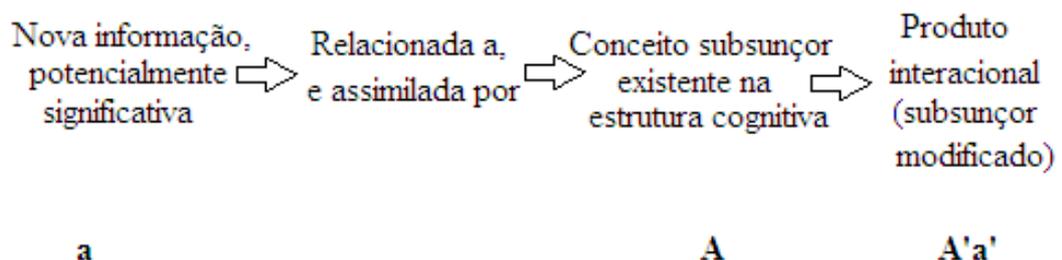
#### 2.2.4 A reconciliação integrativa

O princípio da reconciliação integrativa mostra que o material instrucional deve, a partir de sua organização prévia, está programado de tal maneira, que seja possível para o estudante, estabelecer relações entre conceitos apresentados e reconhecer diferenças e similaridades entre os mesmos (MOREIRA e MASINI, 1982), explorando relações entre as idéias gerais e específicas apresentadas na disciplina. Além disso, o aprendiz deve observar diferenças significativas e promover relações que não estavam diretamente expostas inicialmente, etapa fundamental para a substantiva aprendizagem.

Dessa maneira, a reconciliação integrativa de conceitos é o princípio que trata do reconhecimento do conteúdo a partir de semelhanças e diferenças entre os constituintes desse próprio conteúdo. Este princípio permite, ao estudante, promover relações entre o que foi apreendido e aquilo que já era sabido pelo mesmo, em qualquer ordem de diferenciação, isto é, de idéias mais gerais para mais específicas ou o contrário, em uma etapa mais avançada da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1980), observando que os processos de reconciliação integrativa e diferenciação progressiva são simultâneos no âmbito da aprendizagem significativa proposta por Ausubel (TAVARES, 2008).

#### 2.2.5 Teoria da assimilação e a aprendizagem significativa

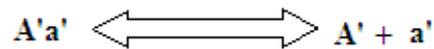
Ausubel afirma que a aprendizagem refere-se, essencialmente, à aquisição, retenção e utilização de grandes conjuntos de informações significativas, tais como fatos, proposições, princípios e vocabulário das várias disciplinas (AUSUBEL, 2003).



**Figura 18** Esquema representativo da teoria da assimilação. Fonte: MOREIRA, 2011.

Para esclarecer o processo de aquisição e organização dos significados, Ausubel propôs a “teoria da assimilação” (Figura 18) justificando a aprendizagem e a retenção (MOREIRA, 2011). Assim, para ocorrer assimilação, um conceito **a**, potencialmente significativo, é assimilado sob um conceito **A**, pré existente na estrutura cognitiva do indivíduo, isso resulta na interação de ambos os conceitos, permitindo com que estes sejam modificados (subsunçor modificado) (MOREIRA, 2011).

Neste sentido, Ausubel indica que a assimilação facilita a retenção. Ele acredita que durante um período o subsunçor modificado permaneça dissociado em entidades individuais (Figura 19).



**Figura 19** Esquema representativo da ancoragem conceitual. Fonte: MOREIRA, 2011.

Dessa maneira, o produto da interação, **A'a'**, permanece dissociado, facilitando a retenção de **a'** (MOREIRA, 2011). Em continuidade ao processo da assimilação, como segundo estágio, temos a assimilação obliteradora. Nesse processo, as novas informações adquiridas passam por uma espontânea e progressiva associação com suas idéias de base ou idéias-âncora ou conhecimentos subsunçores, até que não sejam mais reproduzíveis individualmente, ou seja, em um certo momento, o produto da interação, **A'a'**, não poderá mais se dissociar, passado-se a ser **A'** (MOREIRA, 2011).

Segundo Ausubel:

“A aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material potencialmente significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma não arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado ‘lógico’) e que a estrutura cognitiva particular do aprendiz contenha idéias ancoradas relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e idéias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos. Devido à estrutura cognitiva de cada

aprendiz ser única, todos os novos significados adquiridos são, também eles, obrigatoriamente únicos (AUSUBEL, 2003, p.1).”

Nesse sentido, tanto o material de aprendizagem é *potencialmente* significativo quanto deve existir um mecanismo adequado de aprendizagem para haver uma aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003). Assim, Ausubel retrata que existem três tipos de aprendizagem por recepção significativa: a aprendizagem representacional, a aprendizagem conceitual e a aprendizagem significativa de proposições.

### **2.2.6 As aprendizagens por recepção significativa**

A aprendizagem representacional se aproxima da aprendizagem por memorização, pois ocorre quando os símbolos arbitrários se equiparam aos referentes, possuindo o significado que o referente possui como a atribuição de um nome. No entanto, esse tipo de aprendizagem é significativa pois, tais proposições de equivalência representacional podem relacionar-se de forma não arbitrária a uma estrutura cognitiva existente em cada indivíduo, por exemplo, todos sabem que tudo tem um nome e este significa o que o próprio referente significa (AUSUBEL, 2003).

A aprendizagem conceitual é classificada em dois tipos: de formação conceitual e a de assimilação conceitual. A formação conceitual ocorre nas crianças jovens, na medida em que as propriedades do conceito são adquiridas através experiências diretas, que permitem a formação de termos conceituais próprios nas suas estruturas cognitivas. Já a assimilação conceitual, mais comum em crianças maiores e adultos, é o processo de aquisição de novos conceitos com a combinação de referentes existentes, disponíveis na estrutura cognitiva (AUSUBEL, 2003).

A aprendizagem significativa de proposição verbal se assemelha com a aprendizagem representacional, pois surgem novos significados que interagem com idéias relevantes existentes na estrutura cognitiva. No entanto, a proposição potencialmente significativa consiste numa idéia que se expressa verbalmente numa frase contendo significados de palavras denotativos ou conotativos. Neste caso, o conteúdo cognitivo, resultado de um processo significativo, é um produto interativo de como o conteúdo da nova proposição se relaciona com o conteúdo existente na estrutura cognitiva. Essa relação

pode ser subordinada (de subsunção), subordinante ou uma combinação das duas (combinatória) (AUSUBEL, 2003).

Na relação de aprendizagem proposicional por subsunção, uma proposição significativa se relaciona de forma significativa com proposições subordinantes da estrutura cognitiva do estudante. Esse tipo de aprendizagem pode ser derivativa se a informação adquirida somente reforce o que o estudante já sabia ou pode ser correlativa, caso a nova informação amplie ou modifique a proposição anteriormente aprendida (AUSUBEL, 2003). Já a aprendizagem proposicional subordinante ocorre quando uma nova proposição se relaciona com idéias ou conjunto de idéias subordinadas específicas na estrutura cognitiva, enquanto que a aprendizagem proposicional combinatória acontece quando uma proposição potencialmente significativa não se relaciona com idéias específicas subordinantes nem subordinadas da estrutura cognitiva do estudante, mas com a combinação de informações nessa estrutura.

Assim, pode-se dizer que a aprendizagem proposicional ou é de subsunção ou combinatória (AUSUBEL, 2003). Neste sentido, este tipo de aprendizagem incide na aprendizagem por significados das idéias propagadas por um grupo de palavras e não pelo significado de uma palavra. Segundo Moreira e Masini, (1982) o intuito da aprendizagem de preposições é compreender mais do que os significados das palavras ou conceitos que compõe a preposição. Observa-se que tanto a aprendizagem proposicional como a aprendizagem de conceitos possuem a mesma base e dependem da aprendizagem representacional (PRAIA, 2000). Vale ressaltar que na aprendizagem significativa não ocorre adição da nova informação com a informação existente na estrutura cognitiva.

O que acontece é um processo de aquisição de uma nova informação que irá modificar a informação existente na estrutura cognitiva do estudante, de forma não arbitrária e não literal o que não ocorre no processo de aprendizagem por memorização ou mecânica (AUSUBEL, 2003). Este tipo de processo é, sem dúvida, o objetivo de uma prática docente planejada, na medida em que deverá promover as condições mínimas para que os estudantes possam entrar em contato com as ferramentas adequadas para realização deste processo durante as aulas de Ciências no Ensino Médio, enfatizando a importância do papel do professor, bem como dos materiais e metodologias implementados durante as ações pedagógicas.

### **2.2.7 Condições para a ocorrência da aprendizagem significativa e avaliação**

Para facilitar o processo de aprendizagem significativa são necessárias três condições básicas. A primeira é identificar qual o conhecimento prévio do estudante sobre o tema, ou seja, a estrutura onde serão fixados os novos saberes. A segunda condição é que o estudante esteja interessado em aprender de forma significativa, caso contrário, se dará a aprendizagem mecânica. Por fim, o material deve ser potencialmente significativo, fazendo com que o tema discutido, a partir da inserção deste material, interaja com a estrutura cognitiva do estudante através de uma relação não arbitrária e não literal (PELIZZARI et al. 2002). Assim, é necessário que o estudante revele um mecanismo de aprendizagem significativa ao mesmo tempo em que o material que abrange seja potencialmente significativo, e que a nova informação se relacione com as estruturas de conhecimentos particulares (AUSUBEL, 2003)

O tipo de aprendizagem desenvolvida por um estudante vai depender da situação vivenciada por ele. Por exemplo, um estudante pode desenvolver um mecanismo de aprendizagem por memorização ao se sentir pressionado, ansioso ou fracassado em um determinado componente curricular ou pelo fato de não responder de forma literal às informações dos professores ou módulos utilizados nas escolas. Dessa maneira, os estudantes acabam achando mais fácil memorizar a informação do que compreender seu significado (AUSUBEL, 2003). Logo, é primordial que o estudante desenvolva seu interesse em aprender o que será ensinado de forma não arbitrária e substantiva (PRAIA, 2000). Por outro lado, para um material ser potencialmente significativo, o mesmo deverá estabelecer relações logicamente significativas, não arbitrárias, não aleatórias, relevantes e compreensíveis, ao mesmo tempo em que a aprendizagem depende também da estrutura cognitiva de cada estudante, que deve possuir informações específicas onde serão ancoradas as novas informações relacionáveis (PRAIA, 2000).

Diante desse quadro, para facilitar a aprendizagem significativa, é possível interferir na organização dos conceitos dispostos na estrutura cognitiva do estudante, ainda em sala de aula e de maneira substantiva, usando informações de maior interesse deste aluno e de forma organizada, por meio de uma sequência lógica de informações (AUSUBEL, 1966). Ou seja, o conteúdo a ser ensinado deve seguir uma sequência lógica de acordo com a estrutura cognitiva do estudante (PRAIA, 2000). O que não ocorre com

freqüência nos materiais educativos, não facilitando a interação com o conhecimento prévio do estudante (MOREIRA, 1997).

Como já foi expresso neste trabalho, o interesse do aluno, para Ausubel, é um fator importante e uma condição necessária para a construção de uma aprendizagem significativa. Havendo este interesse, e sendo detectada a presença de subsunçores, é possível que ocorra esta aprendizagem significativa. Esta aprendizagem pode ser aferida ou avaliada a partir da compreensão ampla ou genuína a respeito de um conceito ou mesmo de uma proposição acerca deste mesmo conceito de forma clara, precisa, diferenciada e transferível (MOREIRA, 2001). Estas características, segundo Ausubel, denotam o domínio e a posse dos significados inerentes à aprendizagem significativa.

Entretanto, para não cometer enganos em relação á percepção de evidências da aprendizagem significativa, é importante promover avaliações não habituais, fora do padrão de exames, testes de vestibulares e provas de aferição direta de conteúdo, que são costumeiramente aplicados aos estudantes e presentes na maioria dos materiais instrucionais. Esta maneira de atuação pode evitar que os estudantes respondam às questões de forma mecânica, já que costumam treinar para os exames de maneira memorística. Assim, os instrumentos de avaliação devem contemplar tais características, no sentido de promover uma situação nova para o estudante no momento da avaliação, e, portanto, avaliar se houve ou não aprendizagem significativa do aprendiz, evitando a chamada “simulação de aprendizagem significativa”, o que seria um engano na detecção da verdadeira posse significativa dos conceitos (MOREIRA, 2011).

### **2.2.8 Conceitos subsunçores para o processo de ensino-aprendizagem da FMC a partir da Radiação X**

Diante do exposto nas seções anteriores, e levando em consideração o caso específico de uma sala de aula de Física, é possível, a partir de um conjunto de conceitos subsunçores, tais como: aceleração, diferença de potencial, carga elétrica, energia, onda mecânica, onda eletromagnética, calor, comprimento de onda e freqüência, planejar um processo de ensino-aprendizagem de conceitos quânticos, tomando como tema central, a Teoria de Produção e Emissão de Radiação X. A existência destes conceitos subsunçores na estrutura cognitiva dos estudantes ou a construção dos mesmos, a partir da utilização de organizadores prévios, servirá de base para a inserção de novos conceitos relacionados à

Mecânica Quântica, no contexto de estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X, com ênfase para os conceitos de Quantização de Energia, Dualidade Onda-Partícula, Fóton de Raios-X e Estado Quântico.

Busca-se, neste caso, um processo de aprendizagem por significação, proposto na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, ou seja, os conceitos âncora servirão como plataforma para a construção de novos significados, sendo também modificados ao longo do processo de ensino-aprendizagem. Espera-se que o estudante seja capaz de fazer uma correspondência substantiva entre aquele conhecimento presente na sua estrutura cognitiva, isto é, de sua base de conhecimentos subsunçores, com aquilo que está sendo apresentado a partir do novo material, promovendo a construção de novos significados e remodelando aqueles que já estavam estabelecidos em sua estrutura cognitiva.

Entretanto, é possível que os conceitos subsunçores apresentados no início desta seção, necessários para o ensino de conceitos quânticos por um processo de ancoragem e de acordo com a teoria da aprendizagem por recepção significativa proposta por Ausubel, não existam ou não estejam claros na estrutura cognitiva do estudante que será submetido ao processo de ensino-aprendizagem. Neste caso, uma importante ferramenta poderá ser utilizada para a realização da tarefa de promover a construção de tais conceitos âncora, trata-se do organizador prévio, proposto por Ausubel como ponte cognitiva cujo papel pode ser desempenhado por um objeto de aprendizagem específico para o contexto. Nas seções a seguir, é apresentada a importância deste construto no cenário de busca pela aprendizagem significativa de conceitos.

## **2.3 A utilização de organizadores prévios e objetos de aprendizagem no contexto da aprendizagem significativa**

### **2.3.1 O que são os organizadores prévios**

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, torna-se imprescindível, na ausência de conceitos subsunçores por parte do aprendiz, a utilização de organizadores prévios que servem como pontes entre aquilo que o estudante já sabe e aquilo que ele precisa saber para a ocorrência do processo de aprendizagem significativa, isto é, a construção dos conceitos subsunçores ou âncoras, necessários para a fixação dos novos saberes (AUSUBEL, 1980). Neste sentido, os organizadores prévios se sustentam

nos conceitos já existentes na estrutura cognitiva do estudante, permitindo a interação entre o novo material e o conceito já estabelecido. Além disso, uma boa estrutura para o aprendizado de conceitos âncora ou subsunçores pode ser estabelecida com a utilização de organizadores prévios em um nível de inclusividade adequado que permita a subordinação dos conceitos subsunçores, se houvesse, à estrutura cognitiva do estudante (AUSUBEL, 1980).

Nesse sentido, e de acordo com Ausubel (1980), os organizadores prévios são materiais iniciais que são apresentados ao aprendiz antes do material principal (MOREIRA, 2008). Para Moreira e Masini (1982), organizador prévio é um:

Material introdutório apresentado antes do material a ser aprendido, porém em nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração do que o material em si e, explicitamente, relacionado às idéias relevantes existentes na estrutura cognitiva e à tarefa de aprendizagem. Destina-se a facilitar a aprendizagem significativa, servindo de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender o novo material de maneira significativa. É uma espécie de ponte cognitiva. (MOREIRA E MASINI, 1982, p. 103).

Ainda segundo Ausubel, um organizador prévio tem um papel fundamental e amplo dentro da aprendizagem significativa, dando conta das possibilidades de fornecimento de idéias âncora ou conceitos subsunçores e também permitindo que o estudante possa reconhecer relações entre conceitos e proposições da estrutura cognitiva que anteriormente não seria capaz de relacionar. Além disso, pode promover a relação dos conceitos da estrutura cognitiva do aluno com os conceitos ou idéias do material principal ou conteúdo que será apreendido por este estudante em um determinado contexto (MOREIRA, 2008).

Para a situação onde serão estudados conteúdos diferentes da realidade do aluno é recomendado um organizador prévio expositivo, isto é, elaborado a partir daquilo que o estudante domina, porém aplicado em outras áreas do conhecimento. Isso vai suprir a falta de conceitos e servirá de ponte cognitiva facilitadora da aprendizagem. Para a situação onde os conteúdos são próximos da realidade dos estudantes, é recomendado o uso de um organizador prévio comparativo, neste caso a aprendizagem ocorre por similaridade conceitual, isto é, os conceitos âncora são semelhantes aqueles presentes na estrutura cognitiva do estudante (MOREIRA, 2008).

Entretanto não se deve confundir um organizador prévio com uma introdução do material ou um pseudo-organizador prévio. Uma introdução ou um pseudo-organizador prévio é colocado no mesmo nível de generalidade do material que será estudado. Por outro lado, um organizador prévio obedece a um nível mais geral de inclusividade e também de abstração, permitindo que se possam destacar aspectos importantes do novo material a ser apreendido. Além disso, um organizado prévio é caracterizado pela possibilidade de relevar o conteúdo na estrutura cognitiva, explicando a importância desse conteúdo na aprendizagem significativa dos estudantes (MOREIRA, 2008).

Outra característica importante de um organizador prévio diz respeito ao fato de salientar as relações mais importantes do material a ser apreendido, embora estas observações sejam feitas em um nível maior de abstração, o que permitirá ao aluno a percepção do conceito estudado em vários cenários diferentes (MOREIRA, 2008). Por exemplo, o conceito de energia pode ser investigado na mecânica, na termologia ou na teoria da radiação X, diferenciando-se apenas em aspectos particulares de cada uma destas abordagens físicas. Ainda nesta linha de pensamento, pode-se destacar a organização inclusiva que cabe ao organizador prévio (MOREIRA, 2008). Isto é feito levando-se em consideração aspectos fundamentais do conteúdo e ao mesmo tempo, permite a construção de um cenário ideal para a ocorrência da aprendizagem significativa, uma vez que dará conta de pontos específicos do material, porém organizados de forma inclusiva.

Para a realidade de uma sala de aula de Física, onde é feita a abordagem de conceitos abstratos e pouco intuitivos, a maior dificuldade dos professores é exatamente tornar estes conceitos claros na cabeça do estudante ou associar um organizador prévio que faça este papel com sucesso. Portanto, é muito comum a utilização de equações e modelos matemáticos para a representação de uma realidade física ou fenômeno, na medida em que a maioria dos estudantes tem facilidade de associar significados ao que é visto ou representado. Assim, Tornar esta relação de entendimento direta para cada estudante é uma tarefa importante associada ao processo de ensino- aprendizagem no contexto significativo (RIBEIRO, SILVA, KOSCIANSK, 2012).

Neste sentido, é importante que o docente possa utilizar ferramentas educacionais corretas para que o resultado não seja apenas decorativo, mas significativo. Para isso é possível lançar mão da tecnologia educacional, incorporando organizadores prévios adequados ou até mesmo a apresentação do material principal com o auxílio de vídeos,

filmes, simulações e animações. Estas ferramentas geralmente aumentam a chance de sucesso do processo educacional e podem fazer com que os estudantes possam associar algum significado a um determinado contexto que outrora era muito abstrato. Além disso, tais materiais instrucionais acabam chamando à atenção dos estudantes, o que proporciona maior atenção e foco nas aulas de Física na escola básica, promovendo condições para que ocorra a aprendizagem significativa. Estas ferramentas podem ser da tecnologia da informação ou até mesmo aparatos laboratoriais que facilitam a compreensão e associação de conceitos abstratos com a estrutura cognitiva dos estudantes (RIBEIRO, SILVA, KOSCIANSK, 2012)

### **2.3.2 Objetos de aprendizagem e aprendizagem significativa: o que são os objetos de aprendizagem**

A tecnologia começa a ser utilizada nos primórdios da civilização quando se começa a usar ferramentas de caça e proteção e desde então, vem sofrendo transformações e atuações em diversas áreas, inclusive na educação. Nas décadas de 50 e 60 do século XX, a Tecnologia Educacional passou a ser considerada como geradora de aprendizagens (SIMÕES, 2002), surgindo como uma alternativa ou meio para atender as exigências da racionalidade e eficiência (MAZZI, 1981). Neste contexto, pode-se destacar a importância dos Objetos de Aprendizagem dentro do cenário que pretende proporcionar a aprendizagem significativa, uma vez que, quando utilizados de forma correta, podem potencializar o aprendizado, o entendimento e também o interesse dos estudantes pelas aulas em sala ou no laboratório. Assim, atentar para o uso das tecnologias educacionais pode trazer bons resultados para o processo de ensino-aprendizagem dos alunos nos dias atuais.

Os objetos de aprendizagem são entendidos como recursos educacionais (Learning Objects, “LOs”), terminologia esta, criada pelo Learning Technology Standards Committee (LTSC) do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), que define estes objetos de aprendizagem como sendo qualquer material digital ou não, utilizado, reutilizado ou referenciado durante o ensino com base tecnológica (IEEE/LTSC, 2000).

O IEEE (2000) relata que:

“Exemplos de aprendizagem suportada por tecnologias incluem: sistemas baseados na utilização do computador, ambientes de aprendizagem interativos, sistemas de ensino a distância e ambientes de aprendizagem colaborativa.

Exemplos de objetos de aprendizagem incluem conteúdo multimídia, conteúdo instrucional, objetivos de aprendizagem, software e ferramentas de software instrucional.” (IEEE, 2000).

Neste contexto, um dos grandes avanços da tecnologia foi a criação da internet, interligando redes de computadores pelo mundo inteiro e permitindo que os usuários tivessem acesso à informação de alcance mundial. Dessa maneira, a Internet tem contribuído para transformar o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que permite o desenvolvimento de recursos educacionais interativos e integrados, que podem ser utilizados em um novo modelo de ensino (SANTOS; FLORES; TAROUCO, 2007). Além disso, o surgimento de tecnologias educacionais específicas contribuiu para a mudança no paradigma educacional, no qual o professor era a única fonte de conhecimento, na medida em que a utilização de materiais educacionais ou objetos de aprendizagem desenvolvidos nas últimas décadas tem um forte viés tecnológico, o que permite uma interatividade entre pessoas e saberes (WILEY, 2000).

GUTIERREZ (2004) define que:

“Um objeto de aprendizagem pode ser conceituado como sendo todo o objeto que é utilizado como meio de ensino/aprendizagem. Um cartaz, uma maquete, uma canção, um ato teatral, uma apostila, um filme, um livro, um jornal, uma página na web, podem ser objetos de aprendizagem. A maioria destes objetos de aprendizagem pode ser reutilizada, modificada ou não e servir para outros objetivos que não os originais. Em muitas escolas existe aquele famoso depósito, nem sempre muito organizado, onde se guardam (às vezes, sepultam) objetos que fizeram parte de aulas e projetos. Um depósito de onde se recuperam estes objetos para reutilização, modificação, até que o desgaste inviabilize novas transformações e utilizações.” (GUTIERREZ, 2004).

Ainda segundo Wiley (2000), um objeto de aprendizagem é qualquer recurso digital que pode ser reutilizado para auxiliar na aprendizagem e distribuídos pela rede. Este autor faz referência a um átomo, um elemento pequeno que pode ser combinado e recombinação com outros elementos pequenos formando um elemento maior. Logo, cada objeto de aprendizagem, com conteúdo auto-explicativo, pode associar-se a outro objeto de aprendizagem com a finalidade de construir um material didaticamente mais rico. Além disso, Wiley (2000) acrescenta que um átomo não pode ser recombinação com qualquer

outro tipo de átomo, ou seja, os objetos de aprendizagem precisam estar em um mesmo contexto para se relacionarem.

Neste mesmo sentido, CAREO, (2002) descreve que:

“um objeto de aprendizagem é qualquer recurso digital com um valor pedagógico demonstrado, que pode ser usado, reusado ou referenciado para suporte de aprendizagem. Os objetos de aprendizagem podem assim ser uma applet11 Java, uma animação Flash, um quiz online ou um filme QuickTime, mas pode também ser uma apresentação Power Point ou arquivo .pdf, uma imagem, um site ou uma web Page.” (CAREO, 2002).

Flôres e Tarouco (2008), ainda, alegam que objetos de aprendizagem são meios digitais distribuídos pela Internet, permitindo ser acessados por qualquer pessoa e isto significa que todos podem acessá-los e usá-los concomitantemente, o que difere dos materiais tradicionais da educação. Observa-se que estes e muitos outros autores (SÁ FILHO, MACHADO, 2003; BETTIO e MARTINS, 2004; SPINELLI, 2007; BEHAR, 2009) definem objetos de aprendizagem como sendo quaisquer recursos digitais de desígnio educacional. Nesse sentido, a sala de aula de física pode e deve ser explorada a partir destas informações e denominações teóricas. Permitir ao estudante um contato muito mais efetivo entre aquilo que ele sabe e aquilo que precisa ser apreendido com clareza e segurança.

Sendo assim, as animações iterativas, as simulações gráficas, computacionais ou matemáticas, os filmes sobre um determinado evento físico ou um vídeo exibido direto da rede são classificados como potenciais objetos de aprendizagem. Estas ferramentas educacionais permitem ao aluno e ao professor uma abordagem muito mais clara a respeito daquilo que se deseja tratar. Além disso, a utilização de um objeto de aprendizagem, principalmente os digitais, contribui para aumentar a curiosidade e o interesse dos estudantes pelo assunto que está sendo apresentado e discutido, permitindo e facilitando o trabalho do professor e a ocorrência de aprendizagem significativa por parte dos estudantes, o que configura uma das condições primordiais para a ocorrência da aprendizagem significativa segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel.

### **2.3.3 A utilização de objetos de aprendizagem como organizadores prévios da aprendizagem significativa**

Os objetos de aprendizagem podem e devem ser utilizados na aula de Ciências, de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Neste contexto, os objetos de aprendizagem são potenciais organizadores prévios, e podem ser utilizados com o objetivo de permitir que os estudantes possam construir os conhecimentos subsunçores ou âncora, indispensáveis para a sustentação da aprendizagem significativa e não literal de um determinado tema. Assim, estes objetos de aprendizagem podem ser organizados de modo a permitir que os estudantes possam captar significados ou se tornarem mais perceptíveis sobre um determinado conceito ou proposição, facilitando a absorção, por parte dos mesmos, de conceitos subsunçores ou âncora. (TAVARES, 2008).

Esta tarefa é muito mais simplificada quando o professor tem acesso ao uso destas ferramentas educacionais, uma vez que o caminho lúdico pode ser proveitoso no processo de ensino-aprendizagem, permitindo a organização de atividades específicas e voltadas para aprendizagem dos estudantes na sala de aula. Aliado a isso, existe o fato dos estudantes, nos dias atuais, terem maior acesso aos recursos digitais e aparelhos eletrônicos, o que pode ser utilizado em favor de uma prática educacional mais interessante, possibilitando a inserção de conteúdos digitais com a naturalidade usual do mundo da tecnologia e da internet, o que proporciona um ambiente de sala de aula agradável e propício ao aprendizado (TAVARES, 2008).

Outro aspecto importante neste contexto é a possibilidade do trabalho em equipe, tão solicitado pelos docentes nas suas práticas diárias. Neste caso, os objetos de aprendizagem podem ser utilizados de modo a incentivar o trabalho colaborativo e a partilha de tarefas em busca de um objetivo comum, a partir da utilização de recursos tecnológicos específicos e orientações do professor. Logo, uma simulação pode ser explorada por dois ou mais grupos diferentes e os resultados de suas observações podem ser discutidos em um fórum ou as conclusões sobre um filme ou um vídeo exibido na rede podem ser avaliadas do ponto de vista da teoria em questão e isso pode render um ótimo debate em sala de aula, produzindo conhecimentos a partir das percepções iniciais dos estudantes.

No tocante à exploração do tema Física da Radiação X, vários objetos de aprendizagem podem ser utilizados para enriquecer o ambiente de sala de aula. Os mais comuns e que estão mais presentes nas discussões dessa natureza são: as animações interativas, os filmes abordando aspectos das teorias que explicam o fenômeno, no caso específico, a física clássica e a física moderna; as simulações interativas que permitem ao estudante a manipulação de parâmetros associados à produção e emissão deste tipo de radiação e os filmes e vídeos relacionando os aspectos tecnológicos e aplicações deste tipo de radiação em várias áreas do conhecimento em nossa sociedade.

Todas estas possibilidades quando exploradas podem sustentar uma proposta de aprendizagem significativa, uma vez que permite que o professor possa organizar todo o conteúdo a partir de premissas básicas e dominadas pelos estudantes, perpassando pelos conceitos subsunções até chegar à abordagem do tema principal a ser estudado, contando com um ambiente favorável e estudantes potencialmente interessados para que o processo de ensino-aprendizagem possa, de fato, ocorrer.

Nesse sentido, os objetos de aprendizagem devem ser bem estruturados para garantir a produção do conhecimento (SINGH, 2001). Esse autor considera que essa estrutura deve ser definida por **objetivos**, evidenciando ao estudante o que pode ser aprendido com o uso daquele objeto de aprendizagem e os conceitos envolvidos nesse processo; **conteúdo instrucional ou pedagógico**, que corresponde a todo o conteúdo exigido para que o estudante consiga chegar aos objetivos definidos; **prática e feedback**, a cada final de utilização, é importante que o estudante registre o que foi passado com o uso do objeto para a produção do conhecimento, confirmando o aprendido ou o rumo para as opções corretas.

Assim, é possível utilizar um conjunto de objetos de aprendizagem que possam compor uma sequência didática que possa potencializar a aprendizagem significativa dos estudantes em relação a um determinado conteúdo. Dessa maneira, fica claro que a escolha dos objetos de aprendizagem deve levar em consideração cada um dos objetivos explicitados em cada etapa da estratégia de ensino (Sequência Didática), isto é, o tipo de objeto de aprendizagem e sua utilização são dois aspectos importantes para o sucesso da prática educacional onde os mesmos são inseridos. Além disso, os objetos de aprendizagem devem despertar o interesse dos estudantes, aspecto fundamental para

promover um cenário propício à ocorrência de uma aprendizagem significativa e duradoura.

Ainda neste tocante, vale ressaltar que cada objeto de aprendizagem deve ter uma função bem clara dentro do aporte teórico utilizado pelo professor, no desenvolvimento da sua estratégia de intervenção pela busca da aprendizagem significativa. Isso vai facilitar não só a inserção desta ferramenta de aprendizagem como também aumentar a possibilidade de atingir o objetivo educacional traçado anteriormente, além de permitir ao professor uma análise dos resultados observados ao longo do percurso de aplicação desta estratégia para os estudantes.

Entretanto, a sala de aula por ser um ambiente altamente diversificado social e culturalmente, deve ser pensada de forma plural. Sendo assim, o professor deverá contemplar em sua estratégia de ensino, várias técnicas e fazer uso de um conjunto de ferramentas tecnológicas educacionais que possam, de certa maneira, possibilitar o sucesso da prática pedagógica. Neste sentido, é provável que tal objetivo somente possa ser alcançado se o docente estiver preparado do ponto de vista da formação teórica e conheça bem a estratégia que está colocando em prática, bem como as características de cada um dos objetos de aprendizagem que resolveu utilizar.

Longmire (2001) destaca algumas destas características intrínsecas aos objetos de aprendizagem dentro da sala de aula. Entre elas: a *flexibilidade*, que parte do princípio de que os objetos de aprendizagem são construídos de maneira simples, necessitando de manutenção simples; a *facilidade para atualização*, isto é, os elementos referentes ao objeto devem estar armazenados em um banco de informações para facilitar as alterações; a *customização*, os objetos de aprendizagem podem ser adaptados de acordo com a necessidade do contexto; a *interoperabilidade*, que permite que o objeto seja utilizado em qualquer plataforma de ensino. Ainda nesse contexto, devem ser consideradas a *durabilidade*, pois existe a garantia de reuso dos objetos de aprendizagem, mesmo com a mudança de tecnologias e a *acessibilidade*, que permite que se possa acessar recursos educacionais em um local distante e usá-los em vários outros locais (IEEE/LTSC, 2000).

Todas estas características tornam os objetos de aprendizagem um conjunto de ferramentas educacionais importante no tocante ao ensino de Ciências, em especial a Física, privilegiando a atenção, o interesse, a ludicidade e a possibilidade de interatividade nas aulas. Tudo isso pode contribuir para o avanço no caminho de bons resultados nas

escolas, principalmente galgando-se uma aprendizagem significativa dos conceitos em quânticos a partir do estudo da Teoria de produção e emissão da Radiação X.

## **2.4 Mapas conceituais e aprendizagem significativa**

Como já foi dito, a teoria da aprendizagem significativa proposta por Ausubel (1963, 1968; AUSUBEL et al., 1978) baseia-se na idéia de que o conhecimento se dá através da assimilação do conteúdo preexistente dentro da estrutura cognitiva do indivíduo. Essa teoria serviu como alicerce para um programa de pesquisa realizado por Joseph Novak na Universidade de Cornell, Estados Unidos, no qual o pesquisador buscou acompanhar e entender as mudanças na maneira como as crianças compreendiam a ciência (NOVAK; MUSONDA, 1991). Assim, em 1972, um dos resultados do estudo foi o surgimento da técnica associada à construção de mapas conceituais. Os mapas conceituais possuem diversas finalidades, como instrumento de análise do currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem, meio de avaliação (MOREIRA, BUCHWEITZ, 1993). Assim, os mapas conceituais podem ser utilizados para mostrar relações entre os conceitos que o estudante atribuiu a partir de um determinado conhecimento.

### **2.4.1 O que são mapas conceituais e como utilizá-los**

Mapas conceituais são representações gráficas do conhecimento e são construídos através de conceitos que se relacionam por meio de linhas, que possuem palavras ou frases indicando a relação entre dois conceitos mapeados. Do ponto de vista epistemológico, o conceito é uma regularidade (ou padrão), constituído em eventos ou objetos, ou seja, o rótulo, que pode ser uma palavra, frase ou símbolo. (NOVAK, CAÑAS, 2010). Dessa maneira, a relação entre os conceitos destacados em um mapa conceitual é descrita por meio de palavras escolhidas através dos processos de desempenho cognitivo ou de síntese do conhecimento abordado na estrutura do mapa conceitual.

Para Novak (1977) a aprendizagem significativa em um nível mais elevado, pode ser aferida em sujeitos que podem expressar de forma organizada e hierarquizada o conhecimento de uma determinada área, por meio de mapas conceituais, evidenciando comprometimento emocional, busca por novos significados e de novas relações entre conceitos anteriormente não percebidas. Portanto, a construção de mapas conceituais

configura-se como uma frutífera ferramenta para a avaliação de aquisição de conceitos em uma determinada área do conhecimento (ESMONDSON, 2000).

Nesse sentido, os mapas conceituais não devem ser confundidos com organogramas, diagramas de fluxo, hierarquias organizacionais ou de poder (MOREIRA, 2012), embora, as disposições dos conceitos, muitas vezes estejam acondicionadas de forma hierárquica, ou seja, os conceitos mais inclusivos e gerais estão na parte superior, enquanto que os característicos e menos gerais são dispostos na parte inferior do mapa (NOVAK, CAÑAS, 2010). Na visão de Bloom (1956), tais processos evidenciam os níveis mais elevados de cognição do estudante, permitindo a elaboração de mapas conceituais complexos que expressam como está organizado o conhecimento na estrutura cognitiva do estudante.

Em relação à utilização, o mapa conceitual não pode ser inserido no contexto escolar desligado ou desvinculado de uma proposta educacional concreta, que possa descrever, de forma clara, os objetivos e o percurso metodológico a ser estabelecido, dentro da sala de aula, até a aquisição da aprendizagem. Nesse âmbito, o mapa conceitual pode ser caracterizado como uma estratégia do ensino e da aprendizagem, ao mesmo tempo, que pode ser utilizado como ferramenta avaliativa do próprio processo educacional, levando-se em conta aspirações pessoais, valores, crenças teóricas e metodologias que sustentam a prática pedagógica em qualquer contexto escolar (MOREIRA; MASINI, 2001; ONTORIA et al., 2005).

Ainda nesse cenário, o mapa conceitual está associado a um modelo educacional de características bem definidas, no sentido de fortalecer a prática pedagógica que enfatiza o ensino centrado no estudante e não no docente, promovendo o desenvolvimento de características cognitivas que possam permitir ao estudante uma reestruturação daquilo que é conhecido, tornando-o novo. Essa é a base da aprendizagem significativa no contexto ausubeliano, que tem como preceito a integração de novos conceitos à estrutura cognitiva do aprendiz, promovendo a ressignificação e a construção de novas proposições (RUIZ-MORENO, et al., 2007).

Dessa maneira, a utilização de mapas conceituais permite ao estudante a vivência com experiências não habituais em sala de aula. Situações estas que podem promover uma auto-reflexão a respeito do processo educacional, do ensino e da aprendizagem, bem como da metodologia empregada no percurso educacional, permitindo ao estudante o acesso às condições necessárias para a ocorrência da aprendizagem significativa. Isto é, a utilização

de mapas conceituais dá conta do processo como um todo e não somente do resultado, possibilitando uma visão mais ampla sobre metodologias utilizadas, ensino e aprendizagem.

#### **2.4.2 Processo de elaboração de um mapa conceitual**

A construção de um mapa conceitual evidencia diretamente a percepção de um estudante a respeito de um determinado assunto. É através desse mapa que esse estudante, por exemplo, negocia significados, propiciando a discussão e o compartilhamento de idéias e conceitos acerca de um determinado tema. Sendo assim, um mapa conceitual é, portanto, um instrumento adequado para a aferição da relação entre o mundo onde estão os conceitos e as idéias e aquele que apreende e ressignifica tais conceitos (CAVELLUCCI, 2009). Neste cenário, o aprendiz é capaz de interpretar o mundo de sua própria maneira, isto é, à luz de sua estrutura cognitiva, fazendo uma análise única das coisas e dos conceitos, interferindo na elaboração de seu mapa conceitual e na relação entre os conceitos contidos no mesmo.

Isto representa uma expressão da forma como cada estudante tem em sua estrutura cognitiva a ligação entre as idéias e conceitos materializados no mapa conceitual (MOREIRA, 2011). Entretanto uma característica importante associada ao mapa conceitual, a auto explicabilidade, torna-se vital que cada autor de um mapa conceitual possa falar sobre o mesmo ao longo do processo educacional. Esse procedimento vai fazer com que o professor e os demais estudantes possam compreender o porquê daquele mapa conceitual ter sido feito dessa ou daquela maneira, ao mesmo tempo que vai ser materializada, por assim dizer, a relação entre os conceitos que estão presentes na estrutura cognitiva do estudante autor do mapa conceitual.

Dessa maneira, esse procedimento auxilia nos processos de ensino-aprendizagem e avaliação do conhecimento, uma vez que, quando o estudante externaliza a maneira como produziu o mapa conceitual ficará claro para o professor a forma como os conceitos foram articulados, permitindo ao mesmo uma intervenção, se for o caso, no sentido de promover a aprendizagem significativa dos conceitos associados ao tema estudado. Assim, os conceitos quânticos objetivados neste estudo e que foram analisados no contexto de estudo da Radiação X foram: Quantização da energia, Dualidade Onda-partícula, Fóton de Raios X e Estado quântico.

### **2.4.3 Mapas conceituais e avaliação da aprendizagem significativa**

O mapa conceitual utilizado como ferramenta de avaliação estimula os estudantes a usarem padrões de aprendizagem significativos (NOVAK, 1990). O mapa conceitual é empregado como um meio de avaliação que permite identificar as relações significativas entre conceitos-chave, pelo olhar do estudante (MOREIRA, 1997). Nesse sentido, a utilização de mapas conceituais é uma estratégia que possibilita aos aprendizes relacionar fatos, idéias, conceitos e objetos, possibilitando uma aprendizagem significativa sobre o tema estudado. Por outro lado, as avaliações convencionais aferem a aprendizagem mecânica, impedindo que o novo conhecimento possa ser relacionado com conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do estudante, sendo assim, a avaliação deve caracterizar um momento de desafio, trazendo situações novas para o estudante analisar a partir da relação de conceitos estabelecida no campo do conhecimento (BLOOM, 1956; HOLDEN, 1992).

Quando se trabalha com aprendizagem significativa, se fala de significados, que podem ser reproduzidos por mapas conceituais traçados tanto pelo professor, como recurso didático, como pelo estudante em uma avaliação de aprendizagem. O mapa conceitual mostra o destaque sobre o conteúdo e a forma de aprendizagem adquirida pelo estudante (SOUZA, BORUCHOVITCH, 2010). Vale ressaltar, que não existe o mapa conceitual correto para determinado conteúdo, pois a sua finalidade é mostrar se o estudante está aprendendo significativamente o conteúdo (MOREIRA, 1997). Assim, o mapa conceitual pode sofrer alterações conforme o conteúdo está sendo alterado na estrutura cognitiva do estudante (SOUZA, BORUCHOVITCH, 2010).

Moreira (1997) afirma que os mapas conceituais servem para promover a aprendizagem significativa, podendo fazer parte de todas as suas etapas:

“A análise do currículo e o ensino sob uma abordagem ausubeliana, em termos de significados, implicam: 1) identificar a estrutura de significados aceita no contexto da matéria de ensino; 2) identificar os subsunçores (significados) necessários para a aprendizagem significativa da matéria de ensino; 3) identificar os significados preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz; 4) organizar sequencialmente o conteúdo e selecionar materiais curriculares, usando as ideias de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa como

princípios programáticos; 5) ensinar usando organizadores prévios, para fazer pontes entre os significados que o aluno já tem e os que ele precisaria ter para aprender significativamente a matéria de ensino, bem como para o estabelecimento de relações explícitas entre o novo conhecimento e aquele já existente e adequado para dar significados aos novos materiais de aprendizagem.” (MOREIRA, 1997).

No contexto de sala de aula, essa estratégia pode ser entendida como a utilização, por parte do professor, de, no mínimo, dois momentos de construção ou elaboração de mapas conceituais. Esse procedimento permitirá que o docente verifique os avanços de cada estudante em relação ao entendimento e a relação entre os conceitos abordados em cada um dos mapas conceituais construídos, por meio de uma comparação. Essa comparação pode sugerir a compreensão a respeito de como certo conteúdo e seus conceitos relacionados estão organizados na estrutura cognitiva do estudante, permitindo ao professor traçar estratégias, ou utilizar recursos que favoreçam o maior envolvimento do estudante e conseqüentemente, maior aprendizagem significativa sobre o que for estudado.

Dessa maneira, a avaliação dos mapas conceituais possui uma configuração formativa e é essencialmente qualitativa. Esta avaliação formativa permite compreender o modo como o estudante evoluiu na concepção dos conceitos adquiridos, na modificação dos conhecimentos prévios e na progressão das dificuldades de aprendizagem (SOUZA, BORUCHOVITCH, 2010). Assim, segundo Souza e Boruchovitch (2010), os mapas conceituais auxiliam o professor na tarefa de compreender o real estágio do aluno em relação à aprendizagem no âmbito da identificação e análise de erros, permitindo a elaboração de um diagnóstico mais eficaz acerca do funcionamento cognitivo utilizado no processo. Portanto, o uso de mapas conceituais pode mostrar de forma mais precisa como pode ser organizado a prática pedagógica em sala de aula, impactando diretamente na forma de ensinar e conseqüentemente na aprendizagem adquirida pelos estudantes.

Neste sentido, quando um mapa conceitual é utilizado como ferramenta avaliativa, do ponto de vista formativo, apresenta as seguintes características:

“(a) promover feedbacks frequentes e de alta qualidade que ativam o cognitivo e metacognitivo dos educandos; (b) possibilitar a regulação do ensino e a conseqüente promoção de variabilidade didática; (c) situar o erro como etapa do processo de aprendizagem, rompendo com a dicotomia saber/não saber e favorecendo a edificação de pontes entre o

que se considera importante ensinar e o que é possível aprender; (d) ampliar o envolvimento do educando com a gestão de seus percursos de aprendizagem, melhorando sua autoestima e ampliando sua motivação; e, (e) favorecer a autorregulação da aprendizagem, gerando condições para os alunos se responsabilizarem progressivamente pelas suas aprendizagens.” (SOUZA E BORUCHOVITCH, 2010).

Assim, o mapa conceitual na condição de ferramenta avaliativa não é utilizado na quantificação direta de um objeto referido no ensino. O professor, em vez de preocupar-se em atribuir um escore ao mapa traçado pelo aluno, deve procurar interpretar a informação dada pelo aluno no mapa conceitual, com o objetivo de obter evidências de aprendizagem significativa (MOREIRA, 2006). Assim, do ponto de vista da aprendizagem significativa ausubeliana, dois critérios importantes para a percepção da aprendizagem significativa por parte do estudante é a presença da diferenciação progressiva de conceitos e da reconciliação integrativa de conceitos.

#### **2.4.4 Mapas conceituais e a autorregulação do processo de ensino-aprendizagem**

A utilização de mapas conceituais tem um papel fundamental na autorregulação do processo de ensino-aprendizagem, no âmbito dos professores e do estudante. Para Bandura (2008), a autorregulação é o exercício da influência sobre si mesmo, ou seja, todo indivíduo está disposto a acompanhar seu comportamento, julgando-o em relação a algum padrão pessoal de mérito, onde enfatiza as características de autocontrole e auto direcionamento, permitindo o gerenciamento das ações e gestão do ensino, a partir dos objetivos de aprendizagem.

Na visão do aluno, a autorregulação da aprendizagem consiste no gerenciamento dos projetos, progressos e estratégias, mediante tarefas e obstáculos (PERRENOUD, 1999). Esta autorregulação está associada com o fato do comprometimento do estudante em torno do conhecimento, não levando em conta possíveis recompensas ou pontuações no final do processo, isto é, a aprendizagem é a própria bonificação para o percurso didático. Nesse contexto, os mapas conceituais interferem diretamente na aquisição, no armazenamento e na utilização da informação de maneira significativa, elencando-a a uma estrutura pré-existente ou conhecimentos prévios (BORUCHOVITCH, 1999).

Neste contexto, denota-se que o estudante, de alguma forma, esteja motivado e disposto a submeter-se aos processos e etapas para aprendizagem significativa. Essa disposição configura-se como uma condição fundamental para a ocorrência da aprendizagem significativa no âmbito escolar, segundo a visão ausubeliana, uma vez que só é possível ensinar para aquele estudante que está disposto a aprender e colocar em práticas as metodologias subjacentes ao processo educacional. Nesse sentido, a utilização de mapas conceituais, valoriza e reconhece o percurso feito pelo estudante, mediante uma série de objetivos de ensino e aprendizagem a serem alcançados, como o fator mais importante no alcance da aprendizagem significativa.

Sendo assim, o processo deve ser analisado do ponto de vista pedagógico, epistemológico e psicológico, para que se possa entender como o conhecimento é produzido e incorporado a estrutura cognitiva do estudante. A escolha do mapa conceitual como ferramenta para análise desse processo pode facilitar a percepção dos avanços e das dificuldades do estudante no tocante ao objetivo educacional desejado, já que essa ferramenta permite a reestruturação de conhecimentos, conexão entre conceitos anteriormente desconhecidos, bem como a avaliação daquilo que se considera importante sobre o tema. Dessa forma, os conhecimentos mais avançados podem ser adaptados de forma progressiva à estrutura cognitiva do aprendiz, permitindo a elaboração de novas proposições a partir de outras já estabelecidas no arcabouço cognitivo (MOREIRA, BUCHWEITZ, 1993; CRUZ, 2009; ONTORIA et al., 2005).

No cenário da sala de aula de Física, no âmbito da discussão da FMC, o mapa conceitual, a partir das idéias e dos enfoques teóricos abordados, apresenta-se como uma ferramenta adequada para analisar o processo de aquisição e construção de conhecimentos relativos à Mecânica quântica a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X. Neste caso, a teoria ausubeliana permite, de forma muito clara, a utilização dessa ferramenta como estratégia de análise processual e avaliação para aprendizagem significativa a respeito de uma determinada área do conhecimento científico, permitindo assim, apreciar a elaboração e a reconstrução de conceitos relativos a essa teoria, por parte dos estudantes de um determinado grupo social.

Levando em consideração a autorregulação no âmbito do professor, existe a possibilidade real, a partir da observação do percurso pedagógico, da comparação entre o antes e o depois dentro do processo de ensino-aprendizagem. Neste caso, a utilização do mapa conceitual como ferramenta educacional permite avaliar os ganhos individuais dos

estudantes, bem como uma visão geral da turma em determinado período, possibilitando ao docente, uma percepção diferenciada sobre o processo, ao mesmo tempo em que traz as condições necessárias para uma intervenção mais ajustada com o objetivo de proporcionar uma aprendizagem significativa em oportunidade futuras. Sendo assim, fica aberto o caminho para a reflexão sobre as condições gerais do processo de ensino-aprendizagem e a possibilidade de tornar este processo mais organizado e inteligível, na medida em que o professor deixa de ser apenas um passador de conteúdos, assumindo uma posição de gestor da sala de aula em todas as etapas de construção do conhecimento, a partir de uma autorregulação docente.

Portanto, a utilização de mapas conceituais, no âmbito da educação básica, permite uma análise global e pontual dos percursos metodológico, pedagógico e também epistemológico. Mostra a importância da associação do erro no processo de aprendizagem e abre caminho para um entendimento mais profundo sobre as demandas comuns de uma sala de aula, permitindo aos gestores uma análise precisa a respeito do conhecimento e da aprendizagem deste conhecimento por parte dos estudantes.

## **2.5 A Taxonomia de Bloom revisada como instrumento de verificação da aprendizagem significativa**

Para organizar, de forma consciente, o processo educacional, faz-se necessário decidir e definir os objetivos de aprendizagem, com a finalidade de se galgar transformações estruturais nas atitudes e nas reflexões de cada indivíduo envolvido no processo educacional, implicando assim, em novas ações efetivas para alterar a realidade vigente (FERRAZ; BELHOT, 2010). Assim, para auxiliar na avaliação do processo de aprendizagem, foi criada a Taxonomia dos Objetivos Educacionais, proposta por Bloom et al (1972), que define a classificação dos níveis de aprendizagem. Bloom afirma que esta taxonomia facilita a comunicação, permitindo uma troca de experiências entre pesquisadores educacionais (BLOOM et al, 1972). Tal taxonomia classifica os objetivos educacionais em três domínios: o cognitivo, o afetivo e o psicomotor, sendo assim:

“Seu intuito era desenvolver um método de classificação para comportamentos que fossem importantes para o aprendizado. No trabalho intitulado como A Taxonomia dos Objetivos Educacionais, foram identificados três

domínios educativos: o cognitivo, o emocional e o psicomotor.” (TAVARES et al., 2007).

O domínio cognitivo do conhecimento está diretamente relacionado com o princípio de construção da Teoria da Aprendizagem Significativa, uma vez que o processo que resulta em um armazenamento organizado de informações na mente do aprendiz é denominado aprendizagem cognitiva (MOREIRA, 2011). A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel tem como foco primordial a aprendizagem cognitiva, enfatizando todas as etapas do processo de aquisição do conhecimento (MOREIRA, 2011). Logo, essa aprendizagem é o processo pelo qual a nova informação será relacionada com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento cognitivo do indivíduo, envolvendo a interatividade da nova informação a uma estrutura específica e pré-existente no domínio cognitivo do estudante, ou conceito subsunçor ou apenas subsunçor (AUSUBEL, 1966).

Nesse contexto, os objetos de aprendizagem, de acordo com a Taxonomia de Bloom, podem ser hierarquizados em uma escala crescente de complexidade e organização do conhecimento, sendo que a aplicação dessa escala permite desenvolver e avaliar atividades das mais simples até as mais complexas, com o objetivo de medir o domínio cognitivo de um estudante (BLOOM et al, 1972). Levando em consideração a estrutura dessa Taxonomia, esse domínio cognitivo é subdividido em seis categorias: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação (Quadro 1).

<b>NÍVEIS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>VERBOS</b>
Conhecimento	Lembrar informações sobre: fatos, datas, palavras, teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos, etc.	Identificar, descrever, nomear, rotular, reconhecer, reproduzir, seguir.
Compreensão	Entender a informação ou o fato, captar seu significado, utilizada em contexto diferentes.	Resumir, converter, defender, parafrasear, interpretar, dar exemplos
Aplicação	Aplicar o conhecimento em situações concretas.	Criar, fazer, construir, modelar, prever, preparar
Análise	Identificar as partes e suas interrelações.	Comparar/contrastar, dividir, distinguir, selecionar, separar
Síntese	Combinar partes não organizadas para formar um todo.	Categorizar, generalizar, reconstruir
Avaliação	Julgar o valor do conhecimento	Avaliar, criticar, julgar, justificar, argumentar, respaldar

Quadro 1 – Taxonomia de Bloom. Fonte: TAVARES, 2007; FERRAZ; BELHOT, 2010.

As subclassificações do domínio cognitivo da Taxonomia de Bloom são inclusivas em uma escala crescente, isto é, um nível mais elevado desse domínio contempla necessariamente os níveis inferiores a ele, o que significa que um estudante que domina o nível da compreensão também já o fez para os níveis anteriores a ele, da escala crescente de Bloom (TAVARES, 2007). Esta necessidade da hierarquização parte do princípio de que, um comportamento simples e particular ao interagir com outros, igualmente simples, se tornaria mais complexo (BLOOM et. al, 1972). Dessa maneira, é possível estruturar as atividades de sala de aula, assim como as avaliações, de modo a contemplar esses níveis taxonômicos, facilitando ao docente a percepção da evolução do aprendizado de cada um de seus estudantes (TAVARES, 2007).

Uma das maiores contribuições da Taxonomia de Bloom, que propõem a classificação dos níveis do domínio cognitivo de forma hierárquica, é a possibilidade de permitir ao professor desenvolver métodos que incentivem a aprendizagem dos estudantes em um patamar organizado e abstrato, sem comprometer os objetivos mais básicos do processo educacional (CONKLIN, 2005). Neste caso, os objetivos mais básicos relacionados ao processo de aprendizagem são chamados de objetivos instrucionais, através dos quais é possível mensurar a natureza e o grau de complexidade das habilidades que deverão ser adquiridas por cada um dos estudantes. A taxonomia de Bloom pode ser empregada em conformidade com tais objetivos, o que admite ao professor se dispor de técnicas e planejamentos adequados à realidade de cada grupo social, no sentido de permitir que, cada estudante desse grupo possa adquirir habilidades específicas, desenvolver abstração e raciocínio organizado (ABBAD; BORGES, 2004).

O conhecimento, comumente, é o principal objetivo na educação, uma vez que, a pretensão ao final de cada período letivo é a de que o estudante tenha mudado quanto ao grau e ao tipo de conhecimento que possuía (BLOOM, et. al, 1972). Segundo o autor, o estudante deverá mostrar através do seu nível de conhecimento, que há informações adquiridas por ele durante seu processo educacional, sendo capaz de recordar tais informações ou idéias que tenha aprendido, de forma clara e organizada. Este comportamento seria uma evidência de que, ao final do processo de ensino-aprendizagem, este estudante apresenta um domínio sobre determinado tema estudado, de que este domínio ocorre em uma escala cognitiva, sendo uma marca de uma aprendizagem do tipo significativa.

Nesta mesma Taxonomia, a compreensão se relaciona à comunicação, pois através desta, o estudante pode transformar a informação que lhe foi dada, de forma que esta seja mais compreensível para o mesmo (BLOOM, et. al, 1972). Bloom et. al (1972) ainda relata que “ em sua resposta, o aluno também pode ir além do que lhe é oferecido na própria comunicação.” Nesse sentido, seguindo a ordem hierárquica, a compreensão dos métodos, teorias e princípio é primordial para que o estudante possa aplicar algo, ou seja, a compreensão permite que o estudante desenvolva a capacidade de utilizar a informação adquirida em algo concreto (BLOOM, et. al, 1972; FERRAZ; BELHOT, 2010).

Quanto à análise, o estudante desenvolve a habilidade de fragmentar a informação geral com o objetivo de entender a estrutura final da comunicação, desse modo:

“Ainda que a análise se constitua em um simples modo operacional de descobrir a organização e a estrutura de uma comunicação, sendo, portanto, seu próprio término, do ponto de vista educacional é mais válido considerá-la como uma ajuda para o alcance de maior compreensão, ou como uma etapa prévia na avaliação do material.” (BLOOM, et. al, 1972).

Assim, é possível estabelecer relações entre os fragmentos da informação, sendo esta compreendida pelo estudante, permitindo que este esteja apto para o nível da avaliação.

O seguindo o nível hierárquico, a síntese permite que o estudante reúna todas as informações colhidas durante o seu processo educacional, com as informações recém adquiridas, a fim de formar uma única estrutura. Neste nível, ao estudante, é permitido criar, obedecendo aos limites pré-estabelecidos. (BLOOM et.al, 1972). Finalmente, a avaliação é a habilidade de julgamento de valores a cerca de idéias, trabalhos, soluções, métodos utilizados (BLOOM et.al, 1972). Segundo os autores, os estudantes, como decorrência da aprendizagem, considerem um maior número de dimensões dos fenômenos que vai avaliar, adquirindo maior clareza dos critérios de referência.

Lorin Anderson, aluno de Bloom, deu continuidade aos estudos, publicando, a Taxonomia de Bloom revisada (ANDERSON et al.,2001). Nessa revisão, o autor e colaboradores introduziram os tipos de conhecimentos que devem ser adquiridos, dimensão do conhecimento, bem como uma dimensão associada ao processo cognitivo (TAVARES, 2007). Assim, na nova versão, a Taxonomia de Bloom passa a ter um caráter bidimensional, possibilitando a intercalação das categorias do processo cognitivo

(KRATHWOHL, 2002). Além disso, as dimensões do processo cognitivo foram renomeadas de substantivos para verbos: lembrar, entender, aplicar, analisar, avaliar e criar (Quadro 2). Estas dimensões do conhecimento estão situadas na coluna vertical e as dimensões do processo cognitivo na linha horizontal, enquanto que nas interseções são inseridos os objetivos, que podem aparecer em mais de uma célula, no entanto, nem todas, necessariamente serão preenchidas (FERRAZ; BELHOT, 2010).

Dimensão do conhecimento	Dimensão do processo cognitivo					
	Relembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Conhecimento efetivo/factual						
Conhecimento conceitual						
Conhecimento procedimental						
Conhecimento metacognitivo						

Quadro 2 – Taxonomia de Bloom revisada. Fonte: TAVARES, 2007.

Neste contexto, o conhecimento efetivo está relacionado ao conteúdo básico, isto é, aquilo que o estudante reconhece facilmente em determinado campo do conhecimento, evidenciando sua gama de saberes prévios ou concepções alternativas sobre determinado fenômeno observado. Geralmente está apoiado em fatos, não sendo necessário um entendimento mais aprofundado ou combinações específicas, apenas reproduções na forma em que são apresentados. O Conhecimento conceitual está relacionado com a possível organização dos saberes elementares em um contexto específico e mais elaborado, algo que os discentes seriam capazes de descobrir em um estágio mais evoluído do processo de ensino-aprendizagem. Neste contexto, os saberes mais elementares são abordados ou organizados em uma estrutura mais elaborada, a partir da construção de esquemas, argumentos e modelos, promovendo uma consciência sobre a existência e a importância do conhecimento adquirido no contexto escolar (FERRAZ; BELHOT, 2010).

Ainda neste sentido, o conhecimento procedimental está relacionado ao conhecimento de como realizar determinadas tarefas relacionadas a um campo específico do saber, isto é, trata-se das habilidades necessárias à operacionalização, a partir de uma metodologia ou ferramenta. Finalmente, o Conhecimento metacognitivo está relacionado com a percepção de como ocorre o processo de ensino, do ponto de vista cognitivo, evidenciando uma consciência mais elevada sobre a profundidade e a importância do conhecimento adquirido (FERRAZ; BELHOT, 2010). Dessa forma, a Taxonomia de Bloom revisada permite avaliar como o conhecimento produzido por um estudante em determinada área do conhecimento é organizado e hierarquizado, do ponto de vista

cognitivo, possibilitando localizar o nível de desenvolvimento desse estudante, a partir de suas respostas a uma intervenção pedagógica planejada em sala de aula.

Neste sentido, a Taxonomia de Bloom revisada serve como instrumento para avaliar a aprendizagem significativa após o uso de uma estratégia para o ensino de conceitos quânticos a partir do estudo da Radiação X, uma vez que, permite avaliar o que foi aprendido, apontando para todo o processo de ensino-aprendizagem. Segundo Ausubel, 1982, quanto mais complexo e organizado estiver o conhecimento na estrutura cognitiva do estudante, maiores são as evidências da ocorrência da aprendizagem significativa, isto é, o uso de um instrumento que contempla as dimensões do conhecimento e do processo cognitivo, explicitados na Taxonomia de Bloom revisada, poderá aferir o grau da aprendizagem desse estudante, durante o processo de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, foi utilizado um questionário com 10 problemas, e que serviu de pré-teste e teste, a fim de acompanhar a evolução do aprendizado do estudante em todos os níveis hierárquicos.

A utilização da Taxonomia de Bloom revisada pode ser relacionada com a aquisição substantiva ou não arbitrária do conhecimento por parte de um estudante, durante o processo de ensino-aprendizagem. Isso somente é possível, porque este instrumento revisado está baseado numa visão ampla de aprendizagem, que preconiza não somente esta aquisição direta de conhecimento, como também a capacidade de relacionar tal conhecimento na própria disciplina e em novas situações, o que caracteriza a aprendizagem significativa (MAYER, 2002). Ocorre, nesta situação, uma transferência na utilização deste conhecimento para áreas diferentes, indicando que o aprendiz construiu, de forma substantiva ou não literal, os novos conhecimentos apresentados, sendo capaz de significá-los em contextos distintos.

Por outro lado, a Teoria da Aprendizagem Significativa nos mostra a importância do material instrucional potencialmente significativo, para que o objetivo maior, a aprendizagem, seja alcançado (AUSUBEL, 2003). A apresentação dos temas deve ir além daquilo que se considera como “conhecimento factual”, definido na taxonomia de Bloom revisada, e que deve ser refletido nas atitudes dos estudantes e também nas avaliações que são aplicadas aos mesmos. Tais avaliações devem ser capazes de aferir relações de transformações do conhecimento e não meros instrumentos que proporcionam o relembrar do conhecimento factual apresentado, aspectos que são propostos e contemplados com a utilização de uma avaliação embasada por esta ferramenta.

## 2.6 Uma definição para sequência didática

Uma SD representa algo muito mais amplo do que uma sequência de conteúdos específicos (MÉHEUT, 2005). A SD, também conhecida como sequências de ensino e aprendizagem (TLS), mostra como estão organizados os objetivos para a aprendizagem em um contexto específico de ensino, levando em consideração aspectos pedagógicos, metodológicos e epistemológicos, sendo definida também como um conjunto de ações educacionais que usam a organização do conhecimento a ser explorado pelo estudante em um determinado contexto. Segundo Zabala (1998), a SD é “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, tendo um princípio e um final, conhecidos tanto pelo professor, como pelos alunos”. O professor organiza as atividades desenvolvidas no seu ensino, através de uma SD, expondo os conteúdos que serão abordados e os procedimentos utilizados (ARAÚJO, 2013).

Assim, uma SD é um conjunto de etapas elaboradas com a finalidade de facilitar ensino e a aprendizagem. Para Méheut e Psillos (2004), a SD deve incluir o conhecimento do aluno, contemplar aspectos conceituais de uma determinada área do conhecimento, e sua aplicação demanda um período temporal bem definido, bem como a aferição das concepções próprias dos estudantes. Logo, o objetivo da SD é fazer com que o aluno compreenda o conhecimento que está sendo passado a ele (MÉHEUT, 2005). Para isso, Méheut (2005) utiliza um modelo (Figura 20) composto por quatro componentes: professor, alunos, mundo material e conhecimento científico, utilizando duas considerações na proposta de uma SD: a dimensão epistêmica e a dimensão pedagógica.



**Figura 20** Um losango didático para descrever o desenho de uma SD. Fonte: MÉHEUT, 2005.

O eixo vertical representa a dimensão epistêmica, significando a relação entre o conhecimento científico e o mundo material ou mundo real, ou seja, este eixo consiste de conjecturas sobre os métodos científicos, elaboração e validação de conhecimentos científicos. O eixo horizontal representa a dimensão pedagógica, nele se encontra os aspectos sobre papel do professor, as interações entre professor e aluno e o que se espera das interações dos alunos entre si (MÉHEUT, 2005). Esse losango didático permite a organização de várias condições durante o processo de construção da SD, mostrando que existe uma relação de independência entre a dimensão epistêmica e pedagógica, podendo combinar as duas dimensões na elaboração da SD (MÉHEUT e PSILLOS; 2004).

Nesse sentido, algumas correntes foram abordadas na utilização do losango didático, entre elas estão o construtivismo psicológico, apresentando abordagens de ensino centradas no aluno, o construtivismo epistemológico, com abordagens centradas no conteúdo científico a ser desenvolvido e não no aluno e professor e o construtivismo integrado que considera a relação das dimensões epistemológica e pedagógica (MÉHEUT e PSILLOS; 2004). Essa última corrente, o construtivismo integrado, considera inicialmente o conhecimento prévio do aluno (MÉHEUT e PSILLOS; 2004). Sendo assim, essa tendência se adéqua para a finalidade de uma aprendizagem significativa segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O conceito primordial da Teoria da Aprendizagem Significativa ausubeliana está no fato de que o estudante pode apreender algo novo a partir do que já conhece ou existe em sua estrutura cognitiva, o conceito subsunçor.

Sendo assim, é possível apreender algo novo a partir daquilo que já é estabelecido no indivíduo, do ponto de vista cognitivo, o que representa uma possibilidade para estabelecer o processo de ensino-aprendizagem. (AUSUBEL, 1980). Para assegurar que a SD tenha atendido ao seu objetivo, é necessário que ela passe pela validação. Para isso, algumas abordagens metodológicas têm como objetivo avaliar a eficácia de uma sequência através da comparação entre o estado cognitivo final e inicial do aluno (MÉHEUT e PSILLOS; 2004). Uma dessas abordagens é a utilização do pré-teste e pós-teste, com o intuito de avaliar o conhecimento prévio do aluno e comparar com o conhecimento adquirido. Ainda nessa abordagem existe a comparação do conhecimento adquirido por um grupo de alunos que foi submetido à SD, “avaliação interna”, com um grupo de alunos que não entraram em contato com a SD, “avaliação externa” (MÉHEUT e PSILLOS; 2004).

Dessa forma, antes de iniciar a construção de uma SD, deve-se ter em mente o conceito da Engenharia Didática. Nesse sentido, Artigue (1996) diz que a Engenharia Didática é um referencial da união entre o conhecimento teórico e o conhecimento prático, para o desenvolvimento de novos produtos didáticos. Ela é desenvolvida em quatro fases consecutivas: as análises prévias; a concepção e análise *a priori* das situações didáticas da engenharia; o desenvolvimento da experimentação; análises *a posteriori* e validação (ARTIGUE, 1996). A concepção e análise *a priori* tem como objetivo tornar clara a sequência, enquanto que as análises *a posteriori* para validação consideram a avaliação interna e a avaliação externa (MÉHEUT, 2005; RODRIGUES, FERREIRA, 2011).

Artigue (1996), ainda sugeriu três dimensões principais para a análise *a priori*: uma dimensão epistemológica, o qual analisa os conteúdos a serem ensinados, os problemas a serem respondidos, sua gênese histórica, ou seja, esta relacionada às características do saber; uma dimensão cognitiva, que auxilia na análise das características cognitivas dos alunos; e uma dimensão didática, que serve para analisar o funcionamento do ensino. Assim, destaca-se a importância da utilização de uma SD específica para o ensino de Física no nível médio, enfatizando conceitos quânticos singulares, a partir do estudo da Radiação X. Essa SD apresenta características epistemológicas e pedagógicas comuns à área de conhecimento da FMC (Teoria Quântica) e auxiliará o processo de aplicação, desenvolvimento e avaliação dos conhecimentos adquiridos pelo estudante ao longo de sua aplicação.

## **2.7 Ensinando FMC a partir da Radiação X: estudos relacionados**

A revisão da literatura no modelo sistemático “é uma revisão planejada para responder uma pergunta específica e que utiliza métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos, e para coletar e analisar os dados destes estudos incluídos na revisão” (CASTRO, 2006). A revisão sistemática tem como objetivo sintetizar os estudos existentes sobre um determinado tema, utilizando métodos claros (WHATIS, 2014). Uma das características desse tipo de revisão é a transparência de todas as etapas da pesquisa, para que outros pesquisadores possam repeti-la, no entanto, não é imprescindível que a pesquisa tenha todos os passos (RAMOS et al, 2014)

Neste sentido, essa revisão sistemática da literatura sobre o ensino da FMC (Conceitos Quânticos), tendo como tema central a Teoria de Produção e Emissão da

Radiação X, no nível médio, foi formulada a partir da seguinte pergunta norteadora: *Quais são os estudos científicos relacionados com a inserção da Física Moderna e Contemporânea, no nível médio de ensino, tendo a Teoria da Radiação X como tema central?* Foram consultadas as bases de dados da Biblioteca Virtual Scielo, Google Acadêmico, além das publicações produzidas pelos programas de Ensino de Física da Universidade federal do rio Grande sul (UFRGS), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e Universidade Tecnológica federal do Paraná (UFTPR).

Nesta revisão sistemática, a busca nos sítios digitais foi feita a partir das seguintes palavras-chave: Física Moderna, Ensino Médio e Raios X, o que indicou a existência de poucos trabalhos científicos discutindo o ensino de conceitos quânticos, no nível médio, a partir desta temática. Os critérios de inclusão para os estudos foram: a abordagem do ensino da Radiação X no EM e a discussão de conceitos quânticos com base nessa temática, no ensino básico. A primeira entrada na Biblioteca Virtual Scielo utilizou a palavra chave Física Moderna, sendo encontrados 117 artigos sobre o tema, em seguida, esta entrada foi associada à palavra chave Ensino Médio, resultando em um total 25 artigos, sendo finalmente inserida a última palavra chave, Raios X. O resultado apontou apenas dois artigos, de acordo com os critérios. No Google Acadêmico, bem como nos sítios digitais dos programas de Ensino das universidades supracitadas foi realizada uma busca manual, sendo encontrado um artigo sobre o tema, o que completou uma amostra final de apenas 03 (três) trabalhos relacionados com os critérios estabelecidos nesta revisão.

Em face do pequeno número de contribuições para a inserção de conceitos quânticos no EM, a partir do ensino da Radiação X, a proposta indicada neste trabalho tem características específicas e que diferem daquelas apresentadas pelos três autores supracitados nesta revisão, uma vez que traz como objetivo central, a aprendizagem significativa de conceitos fundamentais da Mecânica Quântica, a partir da Teoria da Radiação X. Neste sentido, este trabalho pretende mostrar a importância e a necessidade da utilização de conceitos quânticos específicos, no tratamento e entendimento de fenômenos físicos, evidenciando a importância da FMC para a construção da Ciência, bem como relacionar esta teoria com os avanços tecnológicos e sociais experimentados pelo homem moderno. Dessa maneira, o aprendizado sobre os conceitos de Quantização de Energia,

Fóton de Raios X, Dualidade Onda-partícula e Estado Quântico, comuns à Física Quântica, é fundamental para o correto entendimento acerca da produção e emissão da Radiação X, caracterizando, assim, um aspecto diferenciado e não abordado pelos trabalhos apresentados nesta revisão.

Título do trabalho	Autor (s)	Descrição do trabalho segundo os autores
A produção de Raios X contextualizada por meio do enfoque CTS: um caminho para introduzir tópicos de FMC no ensino médio	Adão José de Souza Mauro Sérgio Teixeira de Araújo	Neste trabalho investigamos a inserção de tópicos de Física Moderna para alunos do Ensino Médio, abordando radiações eletromagnéticas e a produção de Raios X, sua aplicação como diagnóstico médico e possíveis formas de proteção radiológica, contribuindo para a atualização curricular do Ensino de Física, por meio de uma abordagem interdisciplinar com as áreas de Matemática e Biologia (SOUZA, ARAÚJO, 2010).
Física moderna no ensino médio: uma proposta usando Raios-X	Fabio Ferreira de Oliveira Deise Miranda Vianna	O presente trabalho visa desenvolver um modelo didático enfocando o conteúdo dos Raios-X para ser aplicado nas turmas de Física nesse nível de ensino, contribuindo assim, com uma formação mais atualizada e cidadã (OLIVEIRA, VIANNA, 2006).
Produção de um material didático de Física para o estudo de tópicos relacionados a Raios x no ensino médio	Allan Felipe Nunes Perna	Este trabalho apresenta uma análise das características da parte de Física Moderna de sete livros didáticos de física para o ensino médio (PERNA, 2009).

Quadro 03 Extrato dos trabalhos encontrados na revisão sistemática da literatura

Adão José de Souza (2009), escreveu o artigo intitulado *A produção de Raios X contextualizada por meio do enfoque CTS: um caminho para introduzir tópicos de FMC no ensino médio*, retratando o resultado de uma pesquisa-ação realizada com alunos do EM na disciplina de Física, cujo objetivo era a apropriação de conhecimentos significativos relacionados à produção de Raios X e a radioproteção. O estudo foi fundamentado na aprendizagem significativa e utilizou o enfoque Ciências, Tecnologias e Sociedade (CTS). O autor levantou, inicialmente, os conhecimentos prévios (subsunoeres) dos estudantes, sobre o tema Raios X e às radiações do espectro eletromagnético. Em seguida, os alunos foram orientados a realizarem novas pesquisas e elaborar uma síntese sobre o que é o Método

Científico, acompanhada de uma explanação sobre a produção de Raios X em uma unidade hospitalar, utilizado um pôster didático. Dessa forma, ao analisar as respostas obtidas dos questionários aplicados aos estudantes, no final da pesquisa, o autor concluiu sobre a ocorrência aprendizagem conceitual envolvendo o tema.

Fabio Ferreira de Oliveira (2006) elaborou um artigo, no qual apresentou o resultado de uma pesquisa realizada com professores de Física que atuam no ensino público e privado, sobre a introdução de tópicos de Física Moderna no EM, com ênfase em CTS, escolhendo o tópico Raios X como tema central para sua análise. O autor realizou este trabalho em três etapas: Inicialmente verificou as opiniões dos professores de Física do EM sobre a introdução de tópicos de Física Moderna no EM, particularmente os Raios X, utilizando entrevistas. Na segunda etapa, realizou uma análise dos conteúdos existentes nos livros didáticos sobre os Raios X, num enfoque em CTS, e finalmente, elaborou uma proposta metodológica para ser utilizada no EM regular de Física. O autor construiu então três módulos, com orientações aos professores, sendo que o primeiro destes módulos começa com o resgate do que os alunos sabem sobre os Raios X e de que maneira o assunto esta inserido no seu dia a dia. Por fim, o autor construiu um instrumento de avaliação para verificar a opinião dos professores com relação a esse material.

Perna (2003) elaborou seu trabalho de conclusão de curso sobre o tema Produção de um material didático de Física para o estudo de tópicos relacionados a Raios X no EM com o objetivo de Elaborar um material didático de apoio para o professor de física do EM sobre Raios X. O autor analisou a parte referente à Física Moderna de sete livros didáticos, dividindo sua pesquisa em três etapas: elementos esperados nos livros didáticos; uso dos elementos esperados nos livros didáticos; conteúdo de Raios X nos livros. Após análise dos livros, o autor desenvolveu um material de apoio para auxiliar professores de Física do EM que queiram ensinar o tópico Raios X.

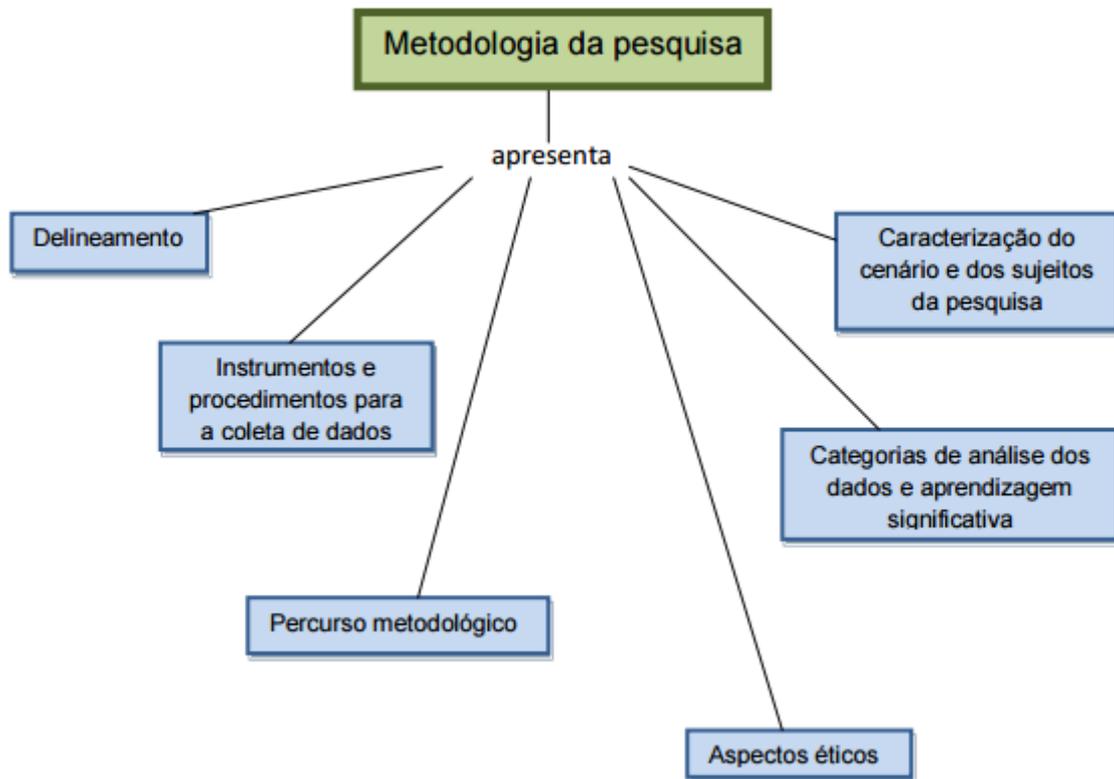
Neste cenário de pesquisa, a aprendizagem significativa sobre tais conceitos quânticos é fundamental para promover um avanço intelectual dos estudantes, no sentido de perceberem a limitação da Física Clássica e a necessidade da utilização da Física Quântica, na explicação satisfatória de alguns fenômenos simples do nosso cotidiano, tal como a produção e emissão da Radiação X, algo latente nesta proposta de intervenção pedagógica para estudantes de nível médio. Outra característica importante deste trabalho é de ordem metodológica, que utiliza uma ferramenta baseada na Taxonomia de Bloom

revisada, associada ao uso de mapas conceituais, para avaliar a aprendizagem adquirida pelos estudantes de nível médio ao longo do tempo de contato com o produto educacional (SD) aplicada para tal objetivo. Neste sentido, este trabalho é pioneiro e mostra que esta ferramenta está de acordo com uma abordagem cognitiva, preconizada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, apresentando uma possibilidade do ensino de conceitos específicos da Mecânica Quântica a partir do estudo da Radiação X.

A utilização de mapas conceituais é uma estratégia testada e reconhecida no Ensino de Ciências e desponta como uma possibilidade na busca das evidências da aprendizagem significativa no contexto ausubeliano, evitando, por parte dos estudantes, a simulação desta aprendizagem (MOREIRA, 2011). Por outro lado, a Taxonomia de Bloom revisada mostra as categorias de organização do conhecimento na estrutura cognitiva do estudante, permitido ao pesquisador ter acesso, por meio de questionários baseados nesta taxonomia, ao grau de desenvolvimento do estudante, sobre uma determinada temática (TAVARE, 2007). Dessa maneira, estas duas ferramentas podem ser utilizadas em sala de aula para avaliar o desenvolvimento dos estudantes e aferir a aprendizagem significativa sobre conceitos quânticos, a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X.

Em relação aos aspectos pedagógicos e epistemológicos, pode-se destacar que, esta estratégia de ensino, baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa, para potencializar o aprendizado de conceitos quânticos, a partir da Radiação X, enfatiza o papel fundamental da Ciência na construção do conhecimento humano. Emprega uma abordagem que prioriza a interação entre estudantes e avanços tecnológicos, fortalecendo a crença de que a Ciência é uma produção coletiva e necessária para o desenvolvimento da sociedade. Neste sentido, este estudo apresenta as aplicações tecnológicas inerentes à Radiação X nas áreas da saúde, indústria, astronomia e segurança, objetivando despertar o interesse dos estudantes para a percepção do papel da Ciência na solução de problemas cotidianos.

Esta atitude visa criar as condições de promoção da aprendizagem significativa, permitindo ao estudante uma transição segura entre os conceitos prévios subsunçores e um patamar de entendimento significativo e duradouro sobre conceitos quânticos específicos no âmbito da Teoria da Radiação X. Portanto, o trabalho de pesquisa, apresentado nesta dissertação se justifica, na medida em que, pode promover novas discussões acerca de aspectos metodológicos, pedagógicos e epistemológicos no contexto da sala de aula de Física,



**Figura 21** Mapa conceitual da metodologia. Fonte: JESUS, 2015

## Capítulo 3

### Metodologia da pesquisa

O presente estudo verificou a influência de uma estratégia de ensino (SD) voltada para a inserção de conceitos quânticos no EM, utilizando como tema central a Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, enfatizando aspectos pedagógicos, metodológicos e epistemológicos. Para a construção da estratégia de ensino (SD), levou-se em consideração o modelo de sequência didática proposto por Méheut (2005) e a fundamentação inerente à Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel, enquanto que a Taxonomia de Bloom revisada foi utilizada como ferramenta de análise dos resultados e também para auxiliar na elaboração do questionário aplicado no pré-teste e teste. A seguir, neste capítulo, será feita uma explanação sobre o contexto geral do estudo e o tipo de abordagem adotada para o mesmo, a caracterização do cenário da pesquisa e dos sujeitos participantes, descrição do percurso metodológico adotado, descrição dos instrumentos utilizados para a coleta de dados, bem como das categorias de análise utilizadas no estudo, além da estratégia adotada para sistematizar e analisar os dados da pesquisa.

#### 3.1 Delineamento

Tratou-se de uma pesquisa de natureza experimental com abordagem quantitativa e também qualitativa. A investigação quantitativa visa estudar elementos de interesse da pesquisa em educação por meio de estudos experimentais ou correlacionais através de medições objetivas e análises quantitativas (MOREIRA, 2011). Este tipo de pesquisa permite manipular uma ou mais variáveis independentes no cenário do estudo (KERLINGER, 1980), permitindo que elementos discretos do fenômeno educacional sejam isolados, no sentido de auxiliar na análise do pesquisador sem comprometimento do cenário como um todo, tornando este pesquisador responsável pela percepção das variáveis importantes em seu estudo (STURMAN, 1998).

Neste tipo de abordagem, a verdade de um fato, sustentado por uma análise, depende da sua correspondência com a realidade do cenário e da semelhança com o campo teórico adotado na pesquisa, uma vez que a esta realidade social não depende do pesquisador. Ou seja, na sua ausência, o fenômeno educacional continuará ocorrendo sem alterações. Nesse contexto, os instrumentos utilizados servem para fornecer um reflexo

mais aprofundado sobre o objeto de estudo, levando em consideração as categorias adotadas pelo pesquisador, uma vez que, através de medidas objetivas, em muitos casos, sustentadas estatisticamente, buscam fatos, dados ou hipóteses para a verificação de uma determinada teoria (STURMAN, 1998).

Na pesquisa de abordagem qualitativa, a realidade é uma construção individual, produzida a partir do contexto social, por meio de interações coletivas. A verdade não é objetiva e sim relativa e está atrelada ao significado atribuído por cada indivíduo em seu contexto social (STURMAN, 1998). Neste tipo de estudo o foco é a experiência individual de situações, o processo diuturno de construção de significados, o "como", existindo a possibilidade de comparação e tradutibilidade dos resultados com outros grupos (SANTOS FILHO E SÁNCHEZ, 2000). Já na abordagem experimental, são utilizados dois grupos como amostra, escolhidos de forma aleatória a fim de evitar viés, onde a variável experimental interveniente é inserida em apenas um dos grupos escolhidos (CAMPBELL; STANLEY, 1979). A presença de um grupo controle elimina qualquer influência do pré-teste no experimento, assim como qualquer outra interferência que possa existir, exceto a variável independente experimental ou variável interveniente, além de permitir uma comparação ou validação externa associada ao método de ensino ou da variável que foi aplicada para interferir no processo (CAMPBELL; STANLEY, 1979; MOREIRA, 2011).

Assim, criam-se as condições suficientes para que se possa fazer uma análise comparativa entre os grupos no final do estudo, enfatizando as mesmas categorias de análise para o grupo controle e experimental, que neste estudo são: a aprendizagem dos estudantes e a validação da estratégia de ensino (SD), o que evidenciará a influência desta última na efetivação da primeira. Neste sentido, apesar de não haver uma relação de causa e efeito entre ensino e aprendizagem, não se pode falar em ensino sem relacionar essa atividade ao aprendizado, assim, o ensino tem como objetivo a aprendizagem (MOREIRA, 1990). Diante do exposto, este trabalho utilizou uma estratégia de ensino na tentativa de influenciar na aprendizagem significativa de conceitos relacionados à Mecânica Quântica (Quantização da Energia, Dualidade Onda-Partícula, Fóton de Raios X e estado Quântico) a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, uma vez que é possível estabelecer uma relação direta entre o método de ensino utilizado e a aprendizagem adquirida pelos estudantes, caracterizando o produto educacional deste trabalho (SD) como a variável independente experimental ou interveniente do estudo.

Deste modo, sabe-se que:

“Na pesquisa educacional, uma variável independente pode ser um certo método de ensino, um tipo de material instrucional, uma recompensa, um período de exposição a uma certa condição. A variável dependente pode ser o escore de um teste, o número de erros ou o tempo gasto para executar uma tarefa. Portanto, as variáveis dependentes são mudanças medidas no desempenho dos alunos atribuíveis à influência das variáveis independentes.” (BEST, 1970).

Sendo assim, a variável independente ou interveniente analisada nesse estudo é a SD, enquanto que a variável dependente analisada foi a aprendizagem significativa sobre conceitos quânticos por parte dos estudantes dos grupos controle e experimental. Neste sentido, as variáveis independentes podem ser manipuladas pelo experimentador, visando determinar sua relação com os fenômenos observados, já somente as variáveis dependentes podem mudar, aparecerem ou desaparecerem com a manipulação das variáveis independentes (BEST, 1970), o que pode evidenciar a sua influência direta ou indireta na aquisição da aprendizagem e ao mesmo tempo validar ou não sua aplicação em um determinado cenário da pesquisa educacional.

### **3.2 Caracterização do cenário e dos sujeitos da pesquisa**

O presente estudo utilizou uma amostra da população de estudantes do terceiro ano do EM de uma escola da rede pública estadual da cidade de Feira de Santana. Nesse sentido, a amostra representativa da população de estudantes do EM foi de duas turmas com cerca de 35 estudantes cada, com idades entre 18 e 19 anos, no turno vespertino. A unidade escolar apresenta boa estrutura física, constando de salas climatizadas, laboratório de informática, laboratório de Ciências, Auditório e Cantina, além de área para a prática de esportes, orientada pelos professores da área. Em relação ao quadro funcional, o mesmo está completo, tanto na esfera administrativa quanto na pedagógica, não havendo cargo vago para professor na escola, isto é, todos os estudantes do EM estão com suas disciplinas sendo ministradas normalmente, com carga horária que varia de 02 (duas) horas aula nas áreas de Ciências da Natureza e Humanas e 03 (três) horas aula nas áreas de Linguagens e Matemática.

Apesar de ser uma escola pública da rede estadual, a maioria dos estudantes participantes do estudo tem acesso a equipamentos midiáticos modernos como aparelhos

celulares dos tipos Smartphones ou Iphones, bem como tablets e laptops, o que facilitou a interação tecnológica necessária ao desenvolvimento do estudo e evidenciou a facilidade com que os estudantes atuais lidam com estas ferramentas, mesmo que em um nível que visa, basicamente, o entretenimento. Além disso, a maioria dos estudantes tem acesso à internet nestes aparelhos móveis ou em suas próprias residências, facilitando a troca de informações em tempo real e a realização de trabalhos escolares.

No terceiro ano, a disciplina de Física é ministrada por um professor do quadro permanente do estado, porém licenciado em Matemática, e nos dois anos iniciais do EM, estes estudantes foram acompanhados por outro professor, também estatutário, mas licenciado em Física. A escolha das duas turmas foi aleatória, sendo o horário disponibilizado pela direção escolar, o único critério para a seleção dos dois grupos participantes do estudo, sendo o primeiro grupo abordado classificado como controle, de forma aleatória, e o segundo denominado grupo experimental.

### **3.3 Instrumentos e procedimentos para a coleta de dados**

Os instrumentos de medida são utilizados a fim de obter dados que possam sustentar uma análise qualitativa ou quantitativa a respeito de um fenômeno educacional. Entre eles, são usados na pesquisa em ensino, os questionários (MOREIRA, 2011), o que facilita a sistematização da coleta dos dados, bem como a análise dos resultados após a aplicação deste tipo de instrumento. Dessa maneira, o questionário utilizado no âmbito da pesquisa quantitativa ou qualitativa, é uma técnica para a obtenção de dados a partir de perguntas estruturadas com base em um campo do conhecimento, com o objetivo de perceber a visão do estudante sobre determinada área de estudo (GIL, 1999).

Neste sentido, o questionário apresenta uma série de vantagens em relação a outros métodos de coleta de dados, entre eles destacam-se: a objetividade na elaboração das questões propostas, a tabulação dos objetivos em cada uma das questões presentes no instrumento, possibilidade de categorização de cada uma das questões de acordo com o interesse do pesquisador (neste caso, a utilização da Taxonomia de Bloom revisada), a garantia do anonimato de cada participante da pesquisa, a possibilidade de atender a um grande número de participantes e a flexibilidade na escolha do momento ideal para responder ao questionário (GIL, 1999).

Entretanto, antes da aplicação deste instrumento ou de qualquer outro, o participante deverá ter ciência a respeito dos objetivos propostos no estudo, da forma adequada para responder ao questionário proposto e informações acerca da natureza do estudo desenvolvido, no sentido de aperfeiçoar o próprio percurso metodológico e garantir a participação efetiva de cada um dos estudantes envolvidos na pesquisa de campo (LAKATOS, 1999). Neste sentido, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), apresentado a cada um dos estudantes antes do início do estudo assegura que estas condições sejam estabelecidas no âmbito da pesquisa, garantindo, aos estudantes, o acesso às informações fundamentais do estudo, inclusive sobre a etapa de aplicação do questionário.

Sendo assim, os questionários apresentados aos estudantes constaram de questões objetivas e discursivas a respeito de conhecimentos prévios para a aprendizagem de conceitos quânticos, conhecimentos referentes à Teoria da Radiação X, do ponto de vista da teoria clássica, bem como questões sobre conceitos específicos da Teoria Quântica no âmbito de produção e emissão de Raios X, entre eles estão: a quantização da energia, dualidade onda-partícula, fóton de Raios X e estado quântico. Este questionário aplicado aos estudantes em duas fases do estudo foi categorizado de acordo com os níveis da Taxonomia de Bloom revisada (VER REFERENCIAL TEÒRICO) e contribuiu para a análise comparativa da aprendizagem dos estudantes nos grupos controle e experimental, no início e no final da realização da pesquisa.

Outro instrumento utilizado na coleta de dados foi o mapa conceitual. Como já apresentado no referencial teórico, a técnica de construção do mapa conceitual, desenvolvida por Novak em 1972, é uma ferramenta importante para a organização do conhecimento e do processo de ensino-aprendizagem. Tal estrutura reflete a forma de compreensão do estudante acerca do conhecimento em determinada área e esclarece a forma como este conteúdo está organizado na sua estrutura cognitiva. Dessa maneira, o mapa conceitual pode ser elaborado em duas etapas do estudo como o objetivo de comparar os dois estágios, permitindo ao docente uma percepção acerca do desenvolvimento do estudante em relação ao tema estudado.

Assim, os mapas conceituais produzidos pelos estudantes dos grupos, controle e experimental, serviram como ferramentas para o levantamento de dados e análise dos resultados logo após a finalização do estudo. Pra isto, os estudantes elaboraram dois

mapas: um no momento do teste e outro no momento do pré-teste, com o objetivo de aferir a aprendizagem a respeito dos conceitos de base da teoria da Radiação X. Vale salientar que a SD foi aplicada apenas para o grupo experimental.

### **3.4 Categorias de análise dos dados e aprendizagem significativa**

Como já foi expresso ao longo deste trabalho, o produto educacional (SD) foi desenvolvido e aplicado com a finalidade de interferir na aprendizagem significativa a respeito dos conceitos de FMC (Mecânica Quântica) por parte dos estudantes participantes desta pesquisa. Desta maneira, para a tarefa de verificação do objetivo central deste estudo foi feita uma análise quantitativa e uma análise qualitativa, para as quais foram atribuídas as seguintes categorias de análise associadas ao o contexto da pesquisa: *A ocorrência da aprendizagem significativa por parte dos estudantes e a validação da estratégia de ensino (SD).*

A primeira categoria foi verificada a partir das seguintes maneiras neste trabalho: a aprendizagem do estudante está relacionada com desempenho nos testes categorizados e aplicados nesta pesquisa, isto é, de acordo com a Taxonomia de Bloom revisada, quanto maior o grau de complexidade dos níveis alcançados por um estudante em um teste, maiores são as evidências da ocorrência da aprendizagem significativa de conceitos. Por outro lado, de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a presença da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa de conceitos são provas da ocorrência da aprendizagem significativa, por parte dos estudantes, o que pode ser avaliado na observação comparativa dos mapas conceituais produzidos pelos mesmos.

Em relação á segunda categoria de análise adotada nesta pesquisa, a validação da estratégia de ensino (SD), a mesma foi verificada a partir de um teste estatístico comparativo. Neste sentido, foi realizada uma análise bivariada mediante o teste Qui-quadrado de Pearson, considerando o intervalo de confiança de 95%, com o auxílio do programa Epi-Info na versão 6.0. (VERSÃO LIVRE), com o objetivo de identificar uma associação estatisticamente significativa entre a variável independente ou interveniente do estudo (SD) e o desempenho (aprendizagem) dos estudantes no teste, após o contato com a estratégia de ensino.

Com a análise comparativa dos resultados apresentados pelos dois grupos de estudantes em relação à resolução dos questionários propostos, no pré-teste e teste, foi possível verificar, a partir da taxonomia de Bloom revisada, o desempenho dos estudantes nas duas fases do estudo e verificar o grau de complexidade e organização do conhecimento dos estudantes. Dessa maneira, foi possível relacionar, a partir das respostas, alguns aspectos interessantes e que estão relacionados com os resultados observados, tais como: a presença e questões objetivas, questões discursivas, exploração de questões de conceitos clássicos e dificuldade operacionais relacionadas à resolução dos problemas.

Por outro lado, a análise qualitativa baseada na observação dos mapas conceituais permitiu verificar a evolução do conhecimento de cada um dos estudantes, das duas turmas, uma vez que a estruturação do mapa conceitual está relacionada com a organização do conhecimento na sua estrutura cognitiva, como foi mostrado no referencial teórico deste trabalho. Assim, a percepção dos princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação de conceitos serviu como critério para indicar ou a ocorrência da aprendizagem significativa por parte dos estudantes.

### **3.5 Percorso metodológico**

Levando em consideração o plano geral do programa de mestrado, isto é, de desenvolver propostas no sentido de incentivar e fortalecer a inserção da FMC no nível médio de ensino, e tendo como problema fundamental de pesquisa a limitação na discussão de tópicos de FMC no nível médio, principalmente na rede pública de ensino, foi estabelecido um plano de trabalho que culminou na elaboração e apresentação do projeto de pesquisa, com o objetivo de construir uma proposta de intervenção que potencializasse a discussão de conceitos quânticos no EM, a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X.

As decisões a respeito da delimitação do referencial teórico (A Teoria da Radiação X, a Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, bem como a Taxonomia de Bloom revisada), e a forma de estratégia de ensino mais adequada para o desenvolvimento desta pesquisa (Sequência didática), foram tomadas ao longo do curso, no âmbito das disciplinas oferecidas no próprio programa. Além disso, a realização de uma revisão sistemática sobre estudos relacionados, já apresentada no capítulo 2 deste trabalho, foi fundamental para a percepção, tratamento e delimitação de alguns aspectos importantes referentes ao contexto

da inserção da FMC no nível médio de ensino. Tais aspectos, não foram contemplados nos trabalhos destacados nesta revisão, permitindo a elaboração de um produto educacional (SD) voltado para a aprendizagem de conceitos quânticos a partir da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X.

Na etapa seguinte, de posse dos resultados indicados pela revisão sistemática da literatura relacionada, foram construídos efetivamente o referencial teórico e a proposta de intervenção pedagógica, no âmbito de uma disciplina específica oferecida pelo programa de mestrado. A realização desta disciplina contribuiu para delimitar as ferramentas e metodologias apropriadas para a implementação do produto educacional (SD) que foi aplicado na fase de campo desta pesquisa. Além disso, Foram delimitados os instrumentos para a coleta de dados (Questionário e Mapa Conceitual), e a metodologia específica para o tratamento dos dados obtidos na fase de campo, baseada nas categorias de análise *aprendizagem dos estudantes e validação do produto educacional (SD)*, o que permitiu a realização de análises das informações à luz do referencial adotado para esta pesquisa.

No início do trabalho de campo, foi inserido o mesmo pré-teste e a tarefa relativa à construção do mapa conceitual para os dois grupos, controle e experimental, com o objetivo de averiguar o conhecimento pré-existente sobre o tema. Em seguida, a variável experimental interveniente (independente), que neste estudo é uma SD, foi apresentada somente a um dos grupos, o grupo experimental. O grupo controle, que não entrou em contato com a SD foi orientado com um plano de aulas seguindo o chamado modelo tradicional. No final do estudo, foi aplicado o teste e elaborado o segundo mapa conceitual pelos dois grupos, o que possibilitou uma análise comparativa da aprendizagem e a possível validação da estratégia de ensino utilizada.

Embora a abstração seja uma marca importante na abordagem de vários conteúdos da Física, os estudantes da turma controle apresentaram-se dispostos para a discussão, mesmo com a utilização de uma metodologia tradicional, o que reflete a curiosidade destes estudantes acerca de tópicos novos, principalmente ligados à Física moderna e Contemporânea. Entretanto, 04 estudantes desta turma negaram-se a participar da pesquisa, apresentando a não pontuação na participação como argumento. Por outro lado, na turma experimental todos os estudantes participaram do estudo, que foi baseado em uma abordagem tecnológica, durante as aulas, de modo que não se sentiram acanhados para participar dos encontros, apesar de muitos considerarem o tema mais difícil.

Neste contexto, a turma experimental, teve acesso à aplicação do produto educacional (SD), uma estratégia de ensino elaborada em várias etapas e que atuou como uma variável independente ou interveniente, na tentativa de auxiliar na aprendizagem significativa de conceitos quânticos, por parte dos estudantes, a partir do estudo da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X. Em relação a este cenário específico, foram utilizados vários objetos de aprendizagem com a função de organizar o conteúdo discutido e permitir ao estudante a obtenção de alguns conceitos fundamentais ou subsunçores para a aprendizagem dos conceitos específicos da Física Moderna, o que caracterizou tais objetos de aprendizagem utilizados como organizadores prévios do conhecimento, em várias situações da sala de aula.

Durante as aulas, na turma experimental, a utilização da internet e de suas ferramentas também proporcionou um ambiente diferenciado para a abordagem dos tópicos e discussões. Em muitos casos, algumas ferramentas eram utilizadas diretamente na rede o que trazia um caráter de instantaneidade para as aulas, permitindo que demandas fossem resolvidas diretamente em sala de aula, por exemplo, uma dúvida ou relação entre dois conceitos poderia ser verificada em situações práticas do cotidiano dos estudantes e estas situações eram exploradas com o auxílio da rede mundial de computadores e a participação espontânea dos estudantes.

Na medida em que a estratégia de ensino era aplicada, em suas várias etapas, na turma experimental, os estudantes mostravam-se mais confiantes e dispostos a participarem do estudo, o que refletiu na presença dos mesmos, quase que na totalidade, durante a intervenção, algo que foi verificado também na turma controle. Além disso, a participação dos estudantes aumentou como o tempo de aplicação, permitindo debates mais longos e produtivos ao durante as aulas, uma vez que tais estudantes passaram a se interessar mais pelos temas abordados, pactuando com uma das condições básicas para a ocorrência da aprendizagem significativa, segundo Ausubel.

No final da intervenção, os estudantes da turma experimental fizeram o teste e produziram o segundo mapa conceitual, bem como explicaram a forma como tinham produzido aquele mapa específico. Estas mesmas tarefas também foram realizadas pelos estudantes da turma controle, permitindo que os resultados fossem comparados com os resultados do pré-teste e também entre as turmas, na tentativa de verificar a eficácia da estratégia de ensino utilizada nesta intervenção. Por fim, os dados obtidos foram analisados

do ponto de vista quantitativo, levando-se em consideração o teste Qui-quadrado de Pearson para verificar a correlação estatística entre a aplicação da estratégia de ensino (SD) e a aprendizagem adquirida pelos estudantes, bem como do ponto de vista qualitativo, enfatizando a organização dos mapas conceituais e a presença da diferenciação progressiva de conceitos e da reconciliação integrativa de conceitos, princípios que reforçam a ocorrência da aprendizagem significativa.

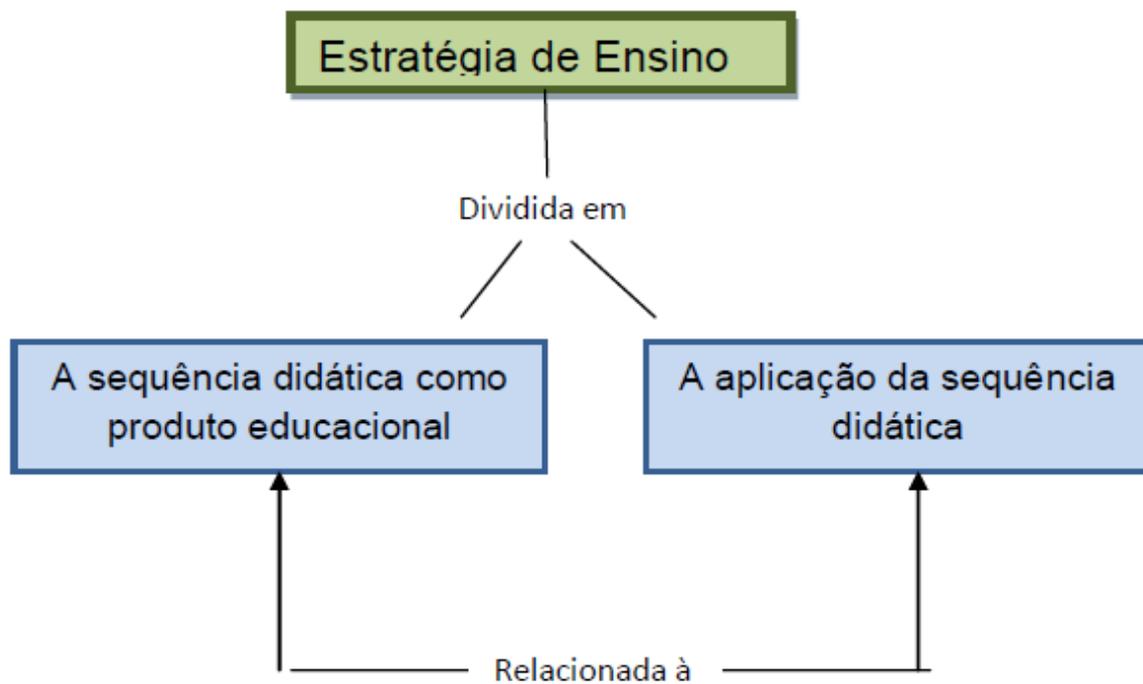
A primeira delas traz uma análise quantitativa baseada no teste Qui-quadrado de Pearson (APÊNDICE G) e o auxílio do Software Epi-Info 6.0 (VERSÃO LIVRE), com a finalidade de verificar a associação estatística entre a aplicação da SD e a aprendizagem adquirida pelos estudantes, a partir do rendimento nos questionários aplicados durante o estudo. A segunda é uma análise qualitativa a respeito da ocorrência da aprendizagem significativa, do ponto de vista da Taxonomia de Bloom revisada, verificando o grau de organização do conhecimento dos estudantes. Finalmente, foi realizada uma análise qualitativa, com base na observação comparativa dos mapas conceituais produzidos pelos estudantes nas duas etapas da pesquisa. Esta análise teve como objetivo verificar a ocorrência da aprendizagem significativa, a partir da percepção da diferenciação progressiva de conceitos e da reconciliação integrativa de conceitos.

Neste sentido, a primeira destas categorias está relacionada com o rendimento dos discentes nos teste aplicados, isto é: a *aprendizagem adquirida pelos estudantes*, seja ela proveniente da intervenção tradicional, seja ela promovida no âmbito da aplicação da SD ao grupo experimental. A segunda categoria é a *validação da estratégia de ensino (SD)*, como uma ferramenta eficaz na tarefa de influenciar positivamente na construção da aprendizagem significativa de conceitos quânticos a partir do estudo da Radiação X.

### **3.6 Aspectos éticos**

Por se tratar de uma pesquisa envolvendo seres humanos e baseando-se nas normas e diretrizes que dispõem a Resolução n. 466 de 12 de dezembro de 2012 do Conselho Nacional de Saúde, que atribui o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) como responsável pela avaliação dos protocolos de pesquisa envolvendo seres humanos, a coleta de dados foi realizada mediante aprovação do projeto pelo CEP da UEFS (BRASIL, 2012). Para isso, foi enviada uma carta à diretoria da Escola de EM (APÊNDICE A), solicitando a autorização para a realização da pesquisa com os estudantes do terceiro ano do EM.

Neste sentido, o estudo foi desenvolvido a partir do consentimento livre e esclarecido dos participantes, manifestado a partir de um termo específico assegurando as condições à participação na pesquisa. Dessa maneira, foi entregue a cada participante o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE C) (BRASIL, 2012). Assim, caracterizou-se risco dessa pesquisa a quebra de sigilo; que foi prevenido através da não divulgação da identidade dos estudantes participantes da pesquisa.



**Figura 22** Mapa conceitual da estratégia de ensino. Fonte: JESUS, 2015.

## Capítulo 4

### A estratégia de ensino

#### 4.1 A sequência didática como produto educacional

O desenvolvimento de uma proposta de intervenção didático-pedagógica para o ensino de Ciências perpassa pelo entendimento claro sobre a forma, o conteúdo e as etapas necessárias à implementação desta proposta em sala de aula (ZABALA, 1998). Neste sentido, esta estratégia contemplar aspectos da Ciência aplicados no cotidiano das pessoas, isto é, a formatação das atividades ou a organização da sequência didática ou produto educacional discute questões importantes, associadas á pesquisa e às aplicações tecnológicas oriundas desse ramo da Ciência (CARROL, 1993).

Diante do que foi abordado, percebe-se que o uso da SD no Ensino de Física pode constituir uma estratégia positiva na tentativa de promover a aprendizagem significativa dos estudantes. Assim é, fundamentada em Ausubel, uma vez que organiza e hierarquiza os procedimentos metodológicos adotados em cada uma das etapas, tornando os objetivos claros para professor e estudantes, ao longo do processo de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, a aplicação desse produto educacional para o ensino de conceitos da FMC (Teoria quântica), a partir do estudo da Radiação X, permitirá ao estudante entrar em contato com metodologias e materiais específicos, na busca pela aprendizagem significativa. Assim, esta SD é localizada no losango metodológico de Méheut, 2005, indicando quais as dimensões trabalhadas durante sua aplicação.



**Figura 23** Losango didático adaptado para localizar a SD aplicada, Fonte: JESUS, 2015

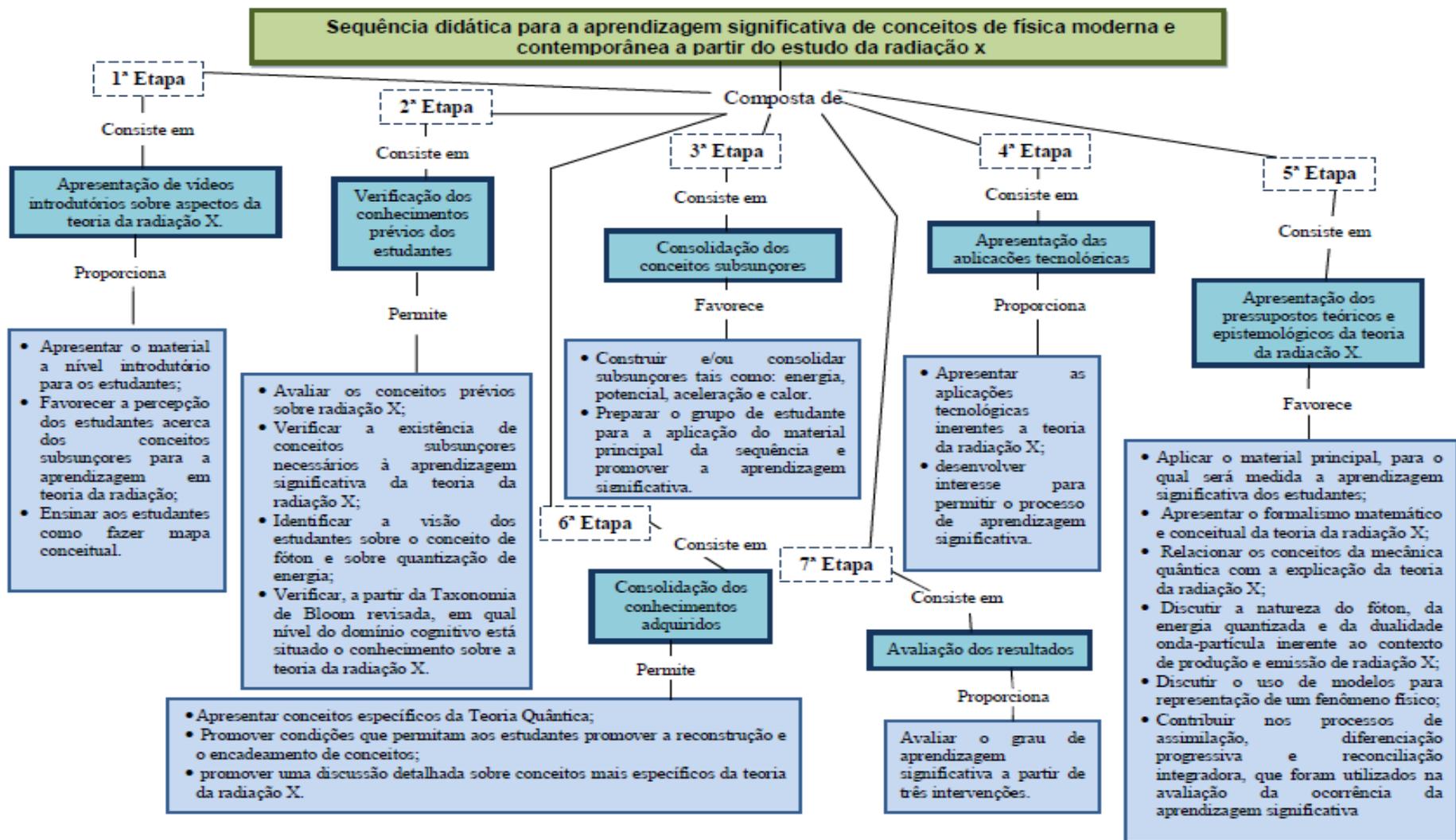


Figura 24 Mapa conceitual da seqüência didática. Fonte: JESUS, 2015.

## 4.2 Aplicação da sequência didática

No início da aplicação da SD, foram esclarecidos, para os estudantes, alguns aspectos fundamentais sobre a proposta de trabalho, no sentido de tornar claro todo percurso metodológico que seria colocado em prática a partir daquele momento. Foi feita uma exposição sobre os objetivos da intervenção, os temas que seriam abordados, as metodologias inerentes ao trabalho do professor e as atividades dos estudantes, bem como as formas de avaliação que seriam empregados durante a pesquisa. Além disso, enfatizou-se sobre a proposta de ensino de conceitos específicos da Teoria quântica, a partir do estudo da Radiação X, salientando-se que o trabalho seria realizado por meio de etapas, que se organizam em torno desse tema principal, evidenciando a necessidade de uma parceria entre estudantes e professor, no sentido de incentivar a participação destes estudantes nas várias etapas de aplicação da SD.

Neste primeiro momento, a maioria dos estudantes mostrou-se receptiva ao trabalho que começava a ser desenvolvido. Muitos deles comentaram sobre a possibilidade de se discutir os temas envolvendo essa parte da Física, principalmente porque, em muitas situações na escola pública, o programa não é integralmente cumprido, gerando uma lacuna importante na formação destes estudantes, fato que ocorre, principalmente com os temas: Ondulatória, Eletricidade, Eletromagnetismo e Física Moderna. Durante este primeiro contato, vários estudantes participantes da aplicação do projeto comentaram sobre a possibilidade de trabalhar tópicos em Física de uma maneira diferente daquela que é comumente colocada em prática nas escolas públicas, com base, por exemplo, na utilização do computador, por meio de programas voltados para a aplicação de simulações e animações, bem como, vídeos e outras ferramentas computacionais.

Ainda neste primeiro contato, uma pequena parcela dos estudantes da turma experimental negou-se a participar do processo de aplicação desse produto educacional (SD), alegando que tal intervenção pedagógica não geraria uma pontuação ao final de cada uma das etapas de aplicação da SD. Este pequeno grupo não assistiu ao conjunto de aulas destinado à realização do projeto, tendo esse direito assegurado aos estudantes participantes da pesquisa, conforme o TCLE aplicado antes do início dos trabalhos, na fase de campo deste estudo (APÊNDICE B).

## **1ª ETAPA→ Apresentação de vídeos introdutórios sobre aspectos da teoria da Radiação X.**

Essa atividade foi desenvolvida com o objetivo de promover aos estudantes a possibilidade de traçar conexões ou relações sobre o domínio do conhecimento discutido, no sentido de atentarem para os conceitos importantes abordados no contexto. Foram apresentados vídeos em um nível de introdução, apresentando alguns aspectos gerais sobre a Teoria Quântica, como construção humana, bem como a exposição sobre características e aplicações da Teoria da Radiação X. A apresentação desse material ocorreu em um nível de introdução ou sumário, configurando-se como pseudo-organizador prévio (SOUZA E MOREIRA, 1981). Neste caso, os materiais introdutórios são expostos no mesmo nível de abstração, generalidade e inclusividade do material principal a ser aprendido, servindo para destacar alguns aspectos principais do material, e ao mesmo tempo, omitindo algumas informações significantes (MOREIRA, SOUZA, SILVEIRA, 1982), isto é, os pseudos-organizadores prévios se destinam a facilitar a aprendizagem de vários tópicos do material principal a ser apresentado (SOUZA, MOREIRA, 1981).

Esse tipo de intervenção pode favorecer as percepções, por parte dos estudantes, no sentido de capturar, ou até mesmo reativar conhecimentos prévios ou subsunçores já existentes na estrutura cognitiva. Dessa maneira, o material apresentado inicialmente aos estudantes, pode ser comparado a um resumo de mesmo nível do material principal, devendo contemplar alguns aspectos deste, ao mesmo tempo, em que outros aspectos, não menos importantes, são omitidos (AUSUBEL, 1980). Nesta etapa também, foi ensinado aos estudantes, um conjunto de técnicas associadas à tarefa de elaboração de um mapa conceitual, objetivando a comparação dos mapas produzidos, por estes estudantes, no início da aplicação da SD, e aqueles elaborados na última fase desta intervenção, permitindo uma validação interna do produto educacional (SD).

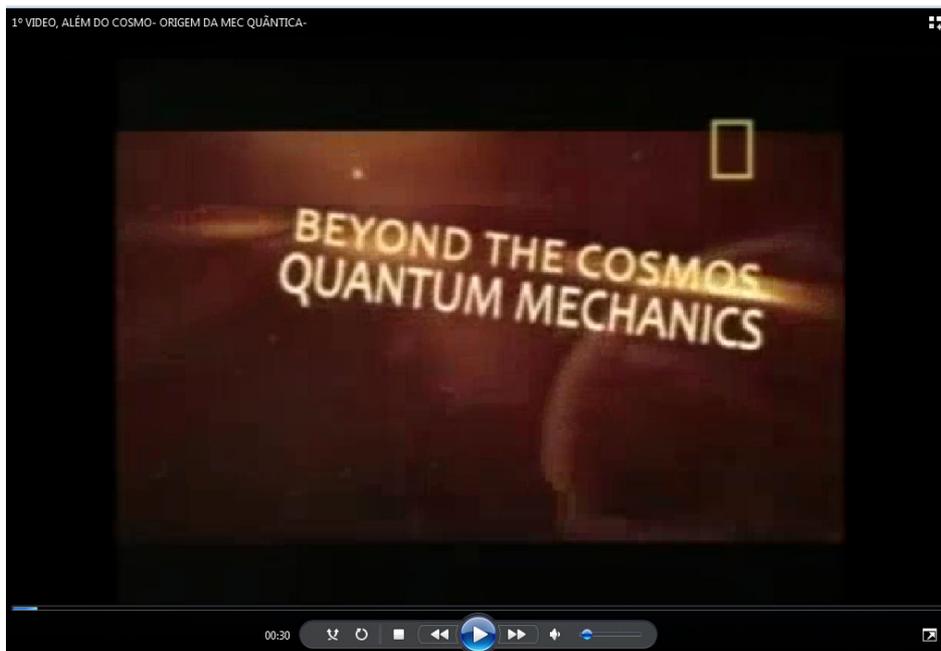
Como já foi esclarecido, os mapas conceituais são uma aplicação da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e foram desenvolvidos por Novak. O objetivo primordial de um mapa conceitual é o de promover as relações significativas entre conceitos e proposições de determinado tema de estudo, possibilitando ao estudante e ao professor ter uma visão geral e esquemática daquilo que foi apreendido (NOVAK E GOWIN, 1988). Estas estruturas esquemáticas servem para organizar determinado conhecimento de forma hierárquica, facilitando o processo de aprendizagem e avaliação

dos conhecimentos adquiridos, apresentando os conceitos gerais e específicos de forma relacionada (MOREIRA, 2012), o que permite uma avaliação mais realista da aprendizagem e do desenvolvimento do educando (SOUZA, BORUCHOVITCH; 2010), algo fundamental neste cenário, para o ensino de conceitos da Teoria Quântica.

Assim, esta etapa teve como objetivos: apresentar o material a nível introdutório para os estudantes; favorecendo a percepção dos mesmos acerca dos conceitos gerais e subsunçores para a aprendizagem sobre a Teoria da Radiação X e suas aplicações, e ensinar, aos estudantes, o processo de construção de um mapa conceitual. A etapa foi iniciada com a discussão sobre as técnicas utilizadas na construção dos mapas conceituais, onde o professor apresentou tais técnicas e exemplificou, para os estudantes, esta construção a partir de um tema desvinculado do tema geral da SD. Em seguida, os estudantes tiveram um tempo para o aprimoramento das técnicas, a partir da utilização de um tema qualquer, escolhido pelo próprio estudante, e a construção de um mapa conceitual.

A segunda intervenção pedagógica desta etapa foi a apresentação dos vídeos: “*Além do Cosmo: Origem da Mecânica Quântica*” (Figura 25) e “*Os curiosos: Física e Tecnologia*” (Figura 26), que abordaram sobre aspectos gerais do tema que foi discutido ao longo do período de aplicação da SD. Os estudantes assistiram aos vídeos e tiveram oportunidade de anotar sobre suas observações para futuras discussões. Esta etapa foi concluída em um período de duas horas aula.

Durante esta etapa, os estudantes mostraram-se atentos às atividades que foram desenvolvidas, dando indícios de que este tipo de abordagem diferenciada, a partir do planejamento das atividades, pode promover um ambiente interessante e capaz de chamar a atenção dos estudantes, aspecto fundamental para promover uma das condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, segundo Ausubel. Os vídeos apresentados nesta etapa serviram como atividade disparadora para o restante da aplicação do produto educacional, despertando a curiosidade dos estudantes, a respeito do que seria mostrado nas próximas etapas da SD. Isso contribuiu para uma assiduidade da maioria dos estudantes, em praticamente todas as fases do projeto, algo imprescindível para a avaliação da amplitude da eficácia dessa intervenção pedagógica. A seguir, são mostrados os vídeos utilizados durante esta etapa.



**Figura 25** Vídeo *Além do Cosmo: Origem da Mecânica Quântica*. FONTE: [Nation-Cosmo 2015]



**Figura 26** Vídeo *Os curiosos: Física e Tecnologia*. FONTE: [Curio-física 2015]

## **2ª ETAPA→ Verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes**

Nessa etapa, foi investigado o nível de conhecimento dos estudantes a respeito do tema, ou seja, o professor identificou os conceitos gerais sobre o tema, bem como a existência de conceitos subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, e que seriam necessários para a abordagem do tema principal. Diante dos resultados dessa etapa, verificou-se a necessidade da utilização de organizadores prévios para a construção de conceitos subsunçores, tais como: Energia, Potencial Elétrico, Aceleração, Carga Elétrica, Onda Eletromagnética, Calor, Frequência e Comprimento de onda. Tais conceitos subsunçores foram abordados ou construídos, na terceira etapa desta aplicação, por meio da utilização de objetos de aprendizagens específicos, que serviram como organizadores prévios do conhecimento subsunçor.

Para esta tarefa de verificação dos conceitos básicos dos estudantes sobre o tema proposto, foi aplicado, pelo professor, um pré-teste (Apêndice C) elaborado a partir da utilização da Taxonomia de Bloom revisada. Vale ressaltar, que foi feita uma avaliação interna e uma avaliação externa, para verificar a eficácia da SD, no final do processo. O pré-teste foi um instrumento, na forma de questionário, contendo 10 questões, com a finalidade de: verificar quais eram os conhecimentos prévios dos estudantes; identificar a existência de subsunçores na estrutura cognitiva dos alunos; aferir o nível de conhecimento destes estudantes acerca da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X; avaliar o conhecimento dos estudantes acerca de conceitos quânticos específicos no âmbito da produção da Radiação X, enfatizando a necessidade da utilização destes conceitos para uma explicação satisfatória, no que tange ao entendimento sobre os espectros contínuo e característico.

As questões utilizadas no pré-teste e teste foram classificadas dentro do quadro referente à Taxonomia de Bloom revisada (Quadro 4). Essa classificação permitiu a avaliação do grau de hierarquização do conhecimento sobre a Teoria da Radiação X, por parte dos estudantes, possibilitando aferir a aprendizagem significativa a partir do grau de complexidade e organização desse conhecimento. Estas questões foram elaboradas de uma maneira a contemplar os aspectos mais relevantes sobre conceitos específicos da Teoria Quântica, a partir do estudo da Radiação X, fazendo também uma associação com alguns conceitos clássicos inerentes ao contexto estudado. Vale salientar, que os problemas foram elaborados em uma linguagem diferente daquela utilizada nos exames corriqueiros, de

modo a evitar a chamada “simulação da aprendizagem significativa”, o que poderia trazer a falsa impressão de aprendizagem significativa na concepção ausubeliana (MOREIRA, 2011). A seguir é mostrada a classificação de cada uma das questões, dentro da Taxonomia de Bloom revisada.

Dimensão do conhecimento	Dimensão do processo cognitivo					
	Relembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Conhecimento efetivo/factual	Q1, Q2	Q3				
Conhecimento Conceitual	Q1, Q2	Q4, Q5, Q6		Q4, Q5, Q6		
Conhecimento procedimental		Q7, Q8, Q9, Q10	Q7, Q8, Q9	Q7, Q8, Q9, Q10		Q8 Q10
Conhecimento metacognitivo						

Quadro 4 – Questões classificadas na Taxonomia de Bloom revisada. Fonte: Elaborada pelo autor.

Também nessa etapa, foi construído, por cada estudante, o primeiro mapa de conceitos acerca do tema estudado, e que serviu para uma análise comparativa com o segundo mapa de conceitos, elaborado no final da aplicação da SD. O objetivo desta atividade é de verificar a evolução no aprendizado de cada estudante, permitindo perceber as evidências da aprendizagem significativa sobre os conceitos quânticos no cenário de estudo da Teoria da Radiação X, sendo que a relação entre estes conceitos no contexto da pesquisa foi percebida através da diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa dos conceitos.

Ausubel, (2003) defende que a construção do conhecimento se dá a partir de idéias mais inclusivas e gerais sobre o tema, para só depois diferenciar os conceitos mais característicos sobre ele. Assim, o mapa conceitual pode ser utilizado na avaliação da aprendizagem, pois com ele pode-se visualizar a organização conceitual que o estudante confere a um conhecimento (MOREIRA, 2012). Trata-se basicamente de uma técnica não tradicional de avaliação, que busca informações sobre os significados e relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino, segundo o ponto de vista do aluno. (MOREIRA, 2012). Dessa forma, a tarefa de construção do mapa conceitual (Apêndice D) caracteriza-se como uma forma de avaliação diferente daquelas que são aplicadas, e por isso pode ser utilizado no sentido de evitar a simulação da aprendizagem significativa por parte dos estudantes.

Os objetivos dessa etapa foram: avaliar os conceitos prévios sobre a Radiação X; verificar a existência de conceitos subsunçores necessários à aprendizagem significativa da teoria da Radiação X; identificar a visão dos estudantes sobre o conceito de Fóton, Dualidade Onda-partícula, Quantização de Energia e Estado Quântico; verificar, a partir da Taxonomia de Bloom revisada, em qual nível do domínio cognitivo está situado o conhecimento sobre tais conceitos no âmbito da produção e emissão da Radiação X. Esta etapa de aplicação foi concluída em duas horas aula. Alguns estudantes, mesmo tendo participado da primeira etapa de aplicação desse produto educacional, desistiram de sua continuidade nesta etapa, alegando dificuldades na realização das tarefas, por conta da falta de embasamento sobre alguns assuntos que deveriam ser abordados nas séries iniciais do EM, tais como dinâmica da energia, calor e eletricidade.

### **3ª ETAPA → Consolidação dos conceitos subsunçores**

Os resultados do pré-teste e da construção do primeiro mapa conceitual, realizados na etapa anterior, indicaram a necessidade do reforço ou da inserção de conceitos subsunçores para sustentar o processo de aprendizagem significativa de conceitos quânticos, no contexto de estudo da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X. A partir da análise destes resultados, foi montada uma intervenção com a finalidade de consolidar esses conceitos de base ou subsunçores. Dessa maneira, alguns objetos de aprendizagem tais como vídeos e animações, que desempenham o papel de organizadores prévios, foram utilizados, no sentido de auxiliar na tarefa de construção destes conhecimentos subsunçores.

Os organizadores prévios servem na tentativa de construção e consolidação de subsunçores necessários à aprendizagem significativa e não literal de um determinado conhecimento (AUSUBEL, 1980). Podem desenvolver, nos estudantes, uma atenção acerca de aspectos importantes, presentes nos materiais instrucionais, ao mesmo tempo em que, atua na organização dos conceitos que foram abordados, no sentido de permitir a significação dos mesmos na estrutura cognitiva dos estudantes (NOVAK, 1981). Neste sentido, um organizador prévio serve como ponte cognitiva entre aquilo que o aprendiz já sabe e aquilo que ele necessita saber para, a partir daí, ocorrer o processo de aprendizagem significativa (AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN, 1980).

Dessa maneira, um organizador prévio pode ser utilizado como estratégia de manipular a estrutura cognitiva do estudante, permitindo a construção e a consolidação de

conceitos subsunçores necessários na aprendizagem significativa de determinado material. Esse organizador prévio deve ser apresentado antes do material principal, e deve ser apresentado em um nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração (MOREIRA, 2011). Assim, a consolidação dos conhecimentos subsunçores para uma determinada área do conhecimento, vai permitir que a aprendizagem significativa ocorra a partir desse momento, por assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa de conceitos, mesmo havendo, ainda, a possibilidade de formação de algum outro conceito (MOREIRA, 2011), isto é, os conhecimentos subsunçores servirão de âncora para a introdução dos novos conceitos e a aprendizagem significativa, o que permitirá a aplicação do material principal na etapa seguinte.

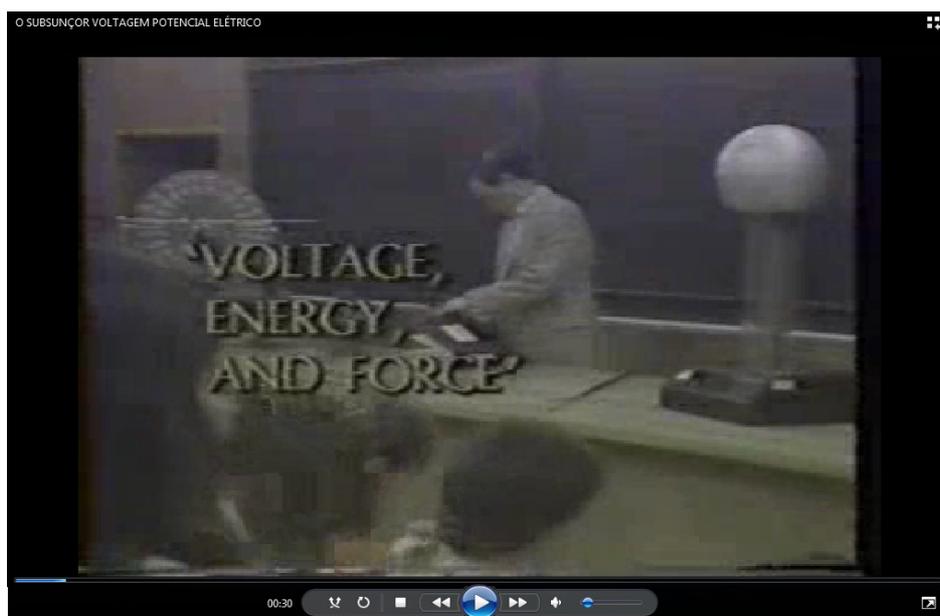
Nesse contexto, podem ser utilizadas analogias e metáforas, com a função de auxiliar no processo de consolidação dos subsunçores necessários à aprendizagem. Muitos pesquisadores chamam a atenção para o uso destas analogias ou metáforas, bem como de modelos específicos, na tentativa de obtenção de tais conceitos fundamentais, tratando de um espaço conceitual que, inicialmente, está fora da estrutura cognitiva de quem aprende e pode servir para que estas idéias fundamentais sejam incorporadas à estrutura cognitiva do estudante aprendiz (BARROS E MELONI, 2005). Os objetos de aprendizagem utilizados como organizadores prévios, nessa etapa, foram: vídeos e animações, que foram apresentados em um nível mais geral e inclusivo, com o objetivo de construir e/ou consolidar subsunçores, tais como: Energia (Figura 27), Potencial elétrico (Figura 28), Onda (Figura 29), Onda Eletromagnética (Figura 30), Carga Elétrica (Figura 31) e Corrente elétrica (Figura 32). Esta etapa serviu para preparar o grupo de estudantes para a aplicação do material principal da SD.

Cada um dos vídeos dessa etapa, bem como a animação relacionada, foi visto separadamente, seguido de uma discussão sobre o conceito subsunçor em questão, enfatizando a amplitude desse conceito em várias áreas da Física, inclusive para o cenário referente à teoria da Radiação X. Os estudantes fizeram diversas perguntas e comentários sobre o entendimento e as concepções de cada um dos conceitos apresentados, o que possibilitou, ao professor, uma abordagem dialógica reforçando, quando o conceito foi entendido adequadamente, e no sentido de esclarecimento, quando o entendimento ocorreu de forma equivocada. Pelo fato de ser uma turma heterogênea, ocorreram intervenções diferenciadas, no sentido de construção mais primária do conceito subsunçor em questão.

Cada um dos subsunçores importantes para o entendimento da produção e emissão da Radiação X foi apresentado de forma ampla, generalizada e relacionada às várias situações do cotidiano dos estudantes, promovendo um entendimento conceitual de cada uma destas grandezas.



**Figura 27** Vídeo *Energia*. Fonte: [D'Incao –Energ 2015].



**Figura 28** Vídeo *Voltagem, potencial elétrico*. Fonte: [Univ-Volt 2015].



Figura 29 Animação: *Ondas no cotidiano*. Fonte: [UFPB- Ondas 2015].



Figura 30 Vídeo Os curiosos: *Ondas Eletromagnéticas*. Fonte: [MEC- ondas 2015]



**Figura 31** Vídeo *Carga elétrica*. Fonte: [Educa-Carga 2015].



**Figura 32** Vídeo *Corrente elétrica*. Fonte: [MEC-Corren 20015]

Esses subsunçores contribuíram, ao final dessa etapa, para que cada um dos estudantes pudesse traçar conexões sobre tais conceitos primordiais em vários ramos da Física, inclusive no cenário em que foi explorado o tema principal: a Teoria de Produção e Emissão de Radiação X, com a finalidade de promover o aprendizado significativo de conceitos específicos da Teoria da Física Quântica, tais como: Quantização da Energia, Fóton de Raios X, Dualidade Onda-partícula e Estado Quântico. Vários dos conceitos subsunçores, consolidados nesta etapa, pertencem ao campo conceitual da Física Clássica, sendo fundamentais para o entendimento do tema principal e também para o entendimento da relação entre estes conceitos inerentes à Mecânica Quântica no cenário de estudo da Produção e emissão da Radiação X.

Além da apresentação dos conceitos subsunçores, de forma geral e inclusiva, para os estudantes, a partir dos vídeos supracitados, foi apresentada também uma animação (Figura 33) reunindo alguns aspectos importantes para a produção e emissão de Radiação X. Esta animação serviu para chamar à atenção dos estudantes sobre a maneira como tais conceitos subsunçores estão organizados no processo de produção e emissão da Radiação X, servindo para alertar sobre a utilidade dessa radiação cotidianamente, além de instigar os estudantes, no sentido de perceberem a necessidade de alguns conceitos quânticos para a explicação mais satisfatória da teoria estudada, embora esta tarefa tivesse sido realizada com maior ênfase em etapas mais avançadas da aplicação da SD.

O uso da animação, nessa etapa, foi livre, isto é, os estudantes manipularam a animação por alguns minutos, com a tarefa de tentar perceber como os conceitos subsunçores supracitados e discutidos anteriormente, na mesma etapa, estão relacionados no contexto geral de produção e emissão de Radiação X e sua interação com a matéria, fato que sustenta a inserção dos conceitos quânticos supracitados neste trabalho. O objetivo dessa intervenção foi o de promover um cenário de percepção de um contexto muito familiar para a maioria dos estudantes, já que se tratou de uma situação muito comum no cotidiano das pessoas, a utilização da Radiação X no serviço de saúde, com a finalidade de produzir uma imagem radiográfica para apoiar um diagnóstico médico.

Em seguida, os estudantes voluntários tiveram a oportunidade de expressar suas percepções a respeito da tarefa proposta, o que contribuiu para arraigar tais conceitos subsunçores na estrutura cognitiva dos mesmos, facilitando o processo de inserção do tema principal, e da discussão sobre a importância e necessidade da utilização de conceitos

quânticos para uma explicação satisfatória da produção e emissão da Radiação X, o que ocorreu na quinta etapa de aplicação desse produto educacional (SD). As intervenções pedagógicas utilizadas nesta terceira etapa foram: a aplicação dos organizadores prévios para os estudantes da turma experimental e a discussão acerca dos conceitos subsunçores presentes no material instrucional não principal. A aplicação desta etapa foi feita em quatro horas aula, com a presença de cerca de 90% dos estudantes da turma.

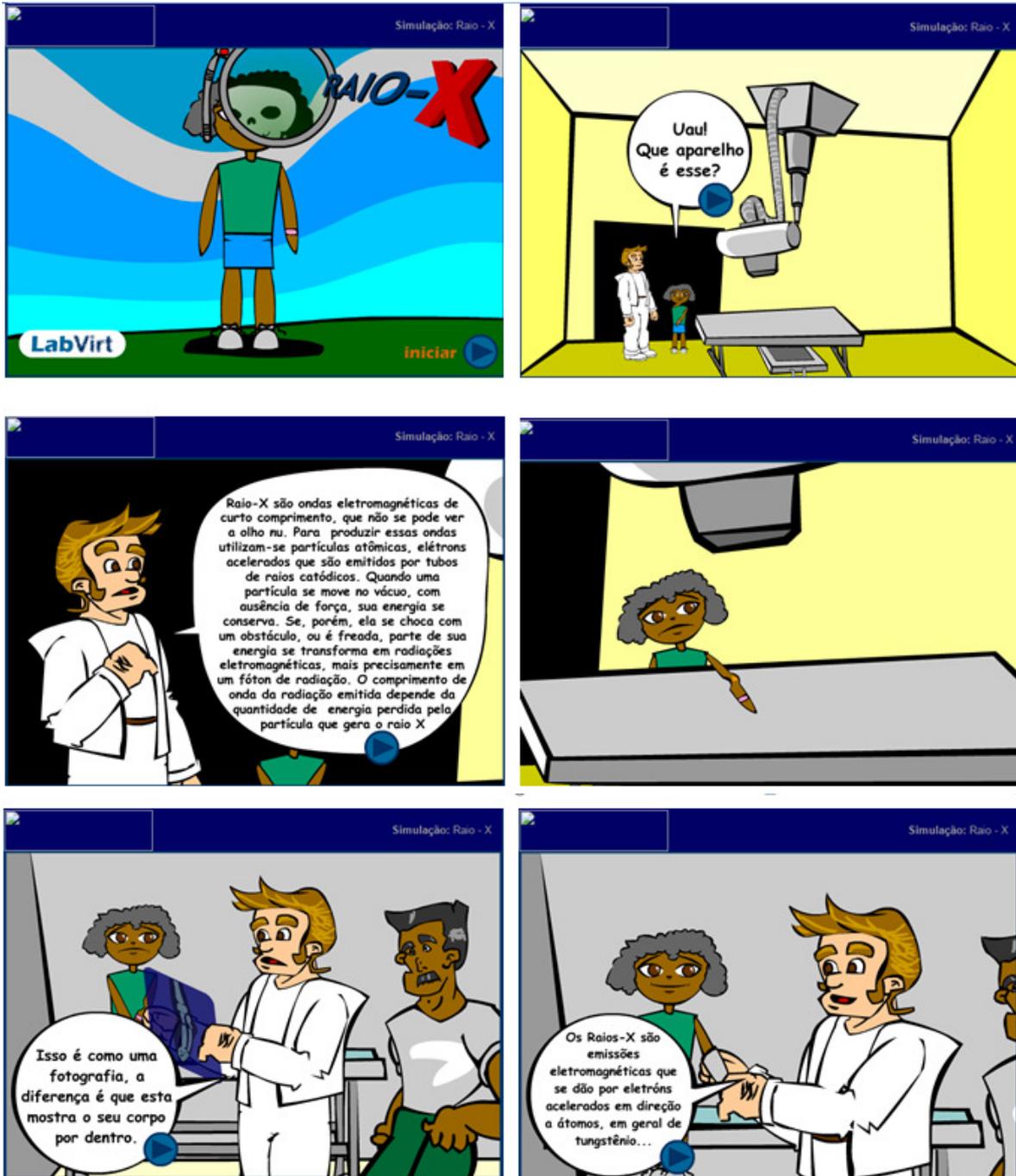


Figura 33 Ilustração da animação Raios X. Fonte: [USP- Raios X]

#### **4ª ETAPA → Apresentação das aplicações tecnológicas**

Para a ocorrência da aprendizagem significativa, Ausubel nos chama a atenção para algumas condições importantes: Os estudantes devem apresentar uma disposição para esta aprendizagem, isto é, o interesse do estudante é fundamental no processo de ensino-aprendizagem, na concepção ausubeliana. O material utilizado para este fim deve apresentar uma relação não arbitrária com aquilo que o estudante conhece e tem estabelecido em sua estrutura cognitiva, apresentando significados lógicos, e por fim, os estudantes devem possuir conhecimentos subsunçores necessários à ancoragem do novo conhecimento (AUSUBEL, 2002).

Nessa etapa, foram apresentadas, de forma sistemática, várias das aplicações cotidianas para a Radiação X em várias áreas do conhecimento na sociedade, entre elas podemos destacar as áreas da saúde, da indústria, da segurança e da astronomia. A finalidade desta apresentação foi fazer com que os estudantes associassem os conhecimentos prévios e os conceitos subsunçores da teoria com as aplicações tecnológicas cotidianas. Vários foram os estudantes que reconheceram as situações explicitadas nas apresentações, e isso serviu de base para um aprendizado estruturado naquilo que os estudantes já trouxeram para a sala de aula, isto é, suas experiências cotidianas. Esta intervenção permitiu, aos estudantes, a verificação da praticidade da Ciência como construção humana, tornando-os mais dispostos a participarem da discussão do tema principal, contribuindo diretamente para o aumento do interesse dos mesmos.

O interesse é uma condição primordial para que ocorra o processo de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1982). Sua ocorrência está atrelada à possibilidade do estudante poder relacionar, de forma não arbitrária ou substantiva, o novo material, potencialmente significativo, à sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 2011). Isso significa que:

“independentemente de quão potencialmente significativo seja o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz for simplesmente a de memorizá-lo, arbitrária e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como o seu produto serão mecânicos (ou automáticos). De maneira recíproca, independentemente de quão disposto para aprender estiver o indivíduo, nem o processo nem o produto da aprendizagem serão significativos, se o material não for potencialmente significativo (MOREIRA, 2011. p.164).

Assim, é necessário, para que ocorra aprendizagem significativa, que o material a ser aprendido seja relacionável ou incorporável a estrutura cognitiva disponível no estudante, necessitando de subsunçores apropriados para o processo. O material que apresenta tais características pode ser classificado, de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa, como potencialmente significativo (MOREIRA, 2011). Sendo assim, cada uma das aplicações apresentadas serviu como potencialmente significativa e possibilitou ao estudante confrontar-se com a usabilidade da Radiação X no seu cotidiano, tornando-o mais interessado na aprendizagem significativa dessa teoria.

Os objetivos dessa etapa foram: apresentar as aplicações tecnológicas cotidianas inerentes à teoria da Radiação X e contribuir para despertar o interesse, permitindo o processo de aprendizagem significativa acerca dos conceitos quânticos envolvidos com a produção e emissão de Raios X. As intervenções pedagógicas foram: a leitura de artigos científicos (Figuras 34 e 35) e a exibição de vídeos referentes às aplicações cotidianas da Radiação X (Figuras 36, 37, 38, 39), seguidas de discussões coletivas sobre os aspectos importantes envolvendo os benefícios e perigos destas aplicações. Durante esta etapa, foi percebido que a maioria dos estudantes já se expressava sobre suas experiências relacionadas com a teoria principal de forma espontânea. Esse comportamento da turma experimental foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho e para as discussões mais detalhadas sobre a teoria da Radiação X, enfatizando a relação entre os conceitos quânticos específicos objetivados neste trabalho, realizadas na quinta etapa.

*Quim. Nova*, Vol. 32, No. 1, 263-270, 2009

---

#### RAIOS-X: FASCINAÇÃO, MEDO E CIÊNCIA

---

Rodrigo da Silva Lima e Júlio Carlos Afonso\*

Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, 21941-909 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Luiz Cláudio Ferreira Pimentel

Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Av. Salvador Allende, s/n, 22780-160 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Recebido em 25/10/07; aceito em 20/6/08; publicado na web em 10/12/08

---

X-RAYS: FASCINATION, FEAR AND SCIENCE. This work presents the discovery and the use of x-rays at the end of the XIXth and the beginning of the XXth century. X-rays greatly impacted science and everyday life. Their existence broke the idea that knowledge had reached a limiting step. In general, people regarded x-rays as a marvel of science, but reactions against their use were also found. Several applications were proposed, especially in medicine. However, little or no attention was paid to security measures, leading to health damages and even death. The development of the radiological protection took into account the accidents with the x-rays.

Keywords: x-rays; radiography; radiation.

**Figura 34** Artigo *Raios-x: fascinação, medo e ciência*. Fonte: LIMA et al, 2009.

## Radiologia: 110 anos de história

Fabiano Celli Francisco<sup>1</sup>, Waldir Maymone<sup>2</sup>, Antonio Carlos Pires Carvalho<sup>3</sup>,  
Vivian Frida Murta Francisco<sup>4</sup>, Marina Celli Francisco<sup>5</sup>

Contar a história de algo ou de alguém é uma experiência fascinante, tanto para o contador quanto para quem, conhecendo ou não os personagens, viaja num mundo imaginário que abre um novo universo para os que a desconheciam e oferece novas alternativas de interpretação para quem viveu ou assistiu parte do enredo ali desfiado.

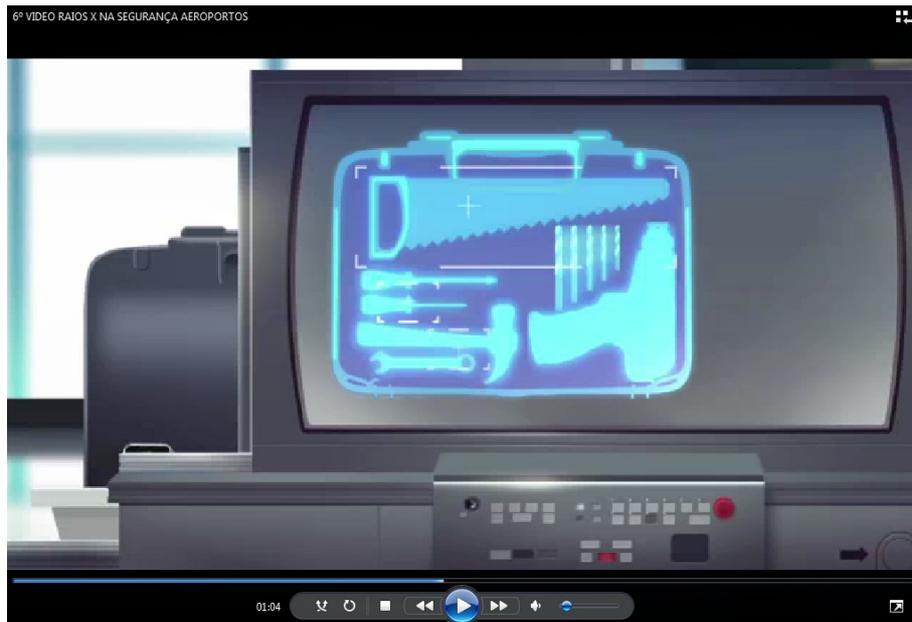
A história da Radiologia é um projeto ambicioso que deve ser lido, interpretado e admirado por todos os que de alguma forma se interessam por nossa especialidade, responsável por uma grande mudança nos rumos da Medicina mundial.

**Figura 35** Artigo Radiologia: 110 anos de história. Fonte: FRANCISCO et al.2005.

A leitura dos artigos foi proposta, inicialmente em grupos, e em seguida foi feita a discussão coletiva sobre os aspectos importantes que foram percebidos pelos estudantes. Este procedimento foi realizado para os dois artigos e foi dado um tempo para o debate das idéias com a participação do professor. Os artigos escolhidos discutem, de forma geral, a descoberta histórica e a construção do conhecimento referente à teoria da Radiação X e sua relação com os conceitos da Mecânica Quântica, o que serviu para situar os estudantes quanto à evolução dos pensamentos relacionados a esse campo da Ciência, bem como a necessidade da Física moderna para sua satisfatória explicação. Além da leitura foram apresentadas várias aplicações da Radiação X em várias áreas do conhecimento, entre elas destacam-se: saúde, segurança, astronomia e indústria, como mostram os vídeos a seguir:



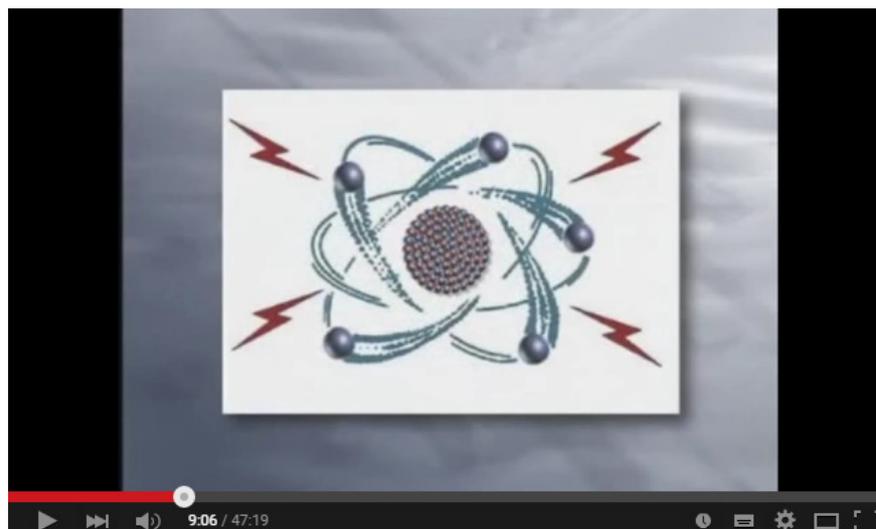
**Figura 36** Vídeo O que é um exame de Raio-X. Fonte: [COSTA-Fluor2015].



**Figura 37** Vídeo *Raio X na segurança: Aeroportos*. Fonte: [GRU-.Raio X 2015]



**Figura 38** Vídeo *Raio X na Astronomia*. Fonte: [TV escola – astro 2015].



**Figura 39** Vídeo *Raio X industrial*. Fonte: [Telec- indust 2015].

Esta etapa teve suas atividades realizadas em um período de três horas aula e o encaminhamento para a próxima etapa levou em consideração todos os conceitos prévios e subsunções discutidos e apresentados anteriormente.

### **5ª ETAPA** → **Apresentação dos pressupostos teóricos e epistemológicos da teoria da Radiação X.**

Trata-se da apresentação do material principal a ser apreendido por cada uma dos estudantes. Nesta etapa os conceitos fundamentais da teoria da Radiação X foram apresentados e discutidos a partir dos conceitos subsunções já estabelecidos na estrutura cognitiva dos estudantes. Para Ausubel (2002) esta é uma condição necessária para a ocorrência da aprendizagem significativa, ensinar a partir de conceitos subsunções estabelecidos na estrutura cognitiva do estudante. Nessa fase foram organizados os conceitos da teoria da Radiação X, historicamente e cronologicamente, atentando inicialmente para a descoberta dos Raios X e de sua produção a partir das condições estabelecidas pela Teoria Clássica. Dessa maneira, cada uma das grandezas físicas, tais como, energia, diferença de potencial, carga elétrica, corrente elétrica e onda eletromagnética foram utilizadas para demonstrar a produção do espectro contínuo e característico da Radiação X, em um tubo de vácuo.

Em seguida, foi realizada uma discussão sobre a produção do espectro contínuo e também característico (espectro de linhas de Raios X), a partir da utilização dos conceitos quânticos Fóton de Raios X, Quantização da Energia, Dualidade Onda-partícula e Estado

Quântico. Esta intervenção teve como objetivo permitir que cada estudante percebesse a necessidade da utilização destes conceitos quânticos para a explicação satisfatória da produção e emissão da Radiação X, evidenciando uma limitação da Teoria Clássica, em explicar alguns aspectos importantes, relativos ao fenômeno de produção deste tipo de radiação. Essa abordagem serviu para situar cada estudante no cenário histórico e epistemológico dessa construção conceitual, isto é, de perceber a necessidade, por parte da Ciência, de elaboração de um novo conceito ou do uso de um conceito já existente, na explicação complementar de um fenômeno físico.

Assim, tentou-se esclarecer para os estudantes que tais conceitos quânticos ou modernos são indispensáveis para a organização do conhecimento e o esclarecimento relativo à produção do espectro total da Radiação X, de forma mais detalhada e coerente. Além disso, foi mostrada a transição conceitual do modelo orbital clássico para o modelo de nível e subníveis de energia, tão comum a Física Quântica, e fundamental para explicar a emissão de Radiação X a partir da mudança de estado quântico de um elétron de um átomo, o que promoveu avanços, principalmente no entendimento sobre o espectro de linhas da Radiação X. Sendo assim, essa etapa foi elaborada no sentido de promover uma organização e diferenciação conceituais, a partir dos conceitos subsunçores anteriormente incorporados à estrutura cognitiva dos estudantes.

É mais fácil promover a aprendizagem de conceitos diferenciados, a partir de outros mais gerais, do que o processo contrário, isto é, através da diferenciação progressiva. Dessa forma, torna-se importante a organização do material a ser utilizado, com o objetivo de promover a aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2002). Por outro lado, a partir do momento que tais conhecimentos são estabelecidos na estrutura cognitiva dos estudantes, os mesmos serão capazes de perceber algumas relações que, inicialmente, não eram claras, trata-se da reconciliação integrativa entre conceitos, resultante do processo de assimilação. Assim, a organização das aulas é muito importante para promover as condições para que tais processos ocorram. (AUSUBEL, 2002).

Essa etapa teve como objetivos: a aplicação do material principal, para o qual foi medida a aprendizagem significativa dos estudantes; apresentar o formalismo matemático e conceitual da teoria da Radiação X; relacionar os conceitos da mecânica quântica com a produção e emissão de Radiação X; discutir a natureza epistemológica dos conceitos de Quantização da Energia, Fóton de Raios X, Dualidade Onda-partícula e Estado Quântico,

inerentes ao contexto de produção da Radiação X; discutir o uso de modelos para representação de um fenômeno físico e contribuir nos processos de assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, que foram utilizados na percepção da ocorrência da aprendizagem significativa.

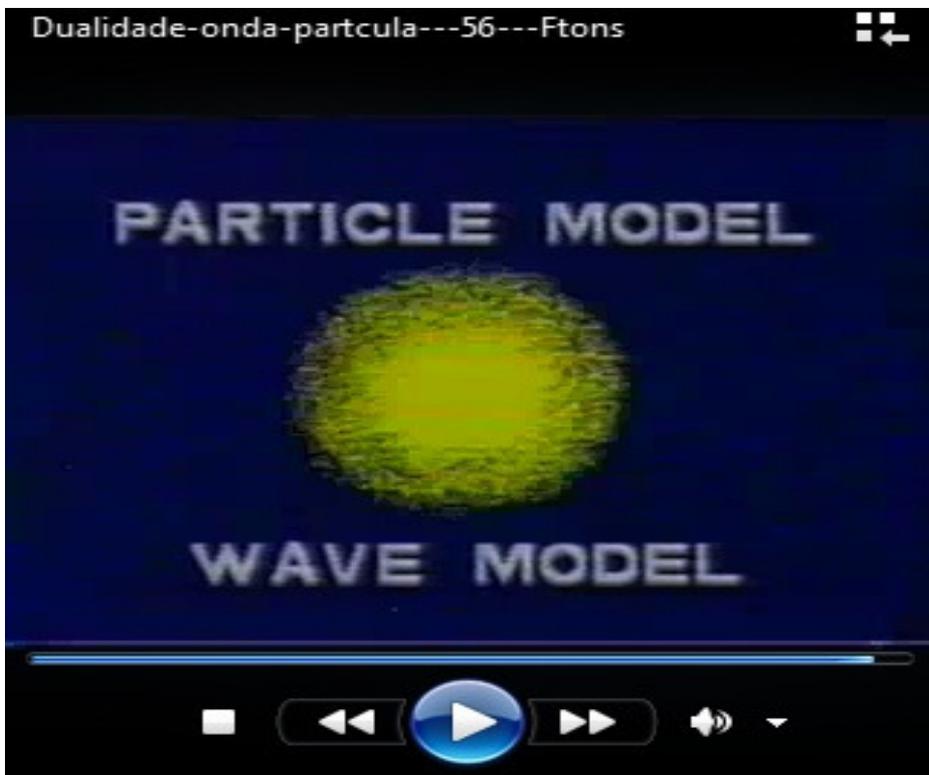
Inicialmente, foram apresentados alguns vídeos (Figura 40, 41, 42, 43 e 44) discutindo a organização conceitual e a relação da Física Clássica com o espectro contínuo e característico da Radiação X, atentando para a limitação desta teoria, na previsão de comprimento mínimo de onda para a Radiação X produzida por frenagem. Logo após foram apresentados alguns vídeos expondo a necessidade da inserção dos conceitos quânticos para a explicação da produção Radiação X, enfatizando o espectro característico ou de linhas para a Radiação X, bem como o espectro contínuo. Em seguida, foi apresentada uma animação comentada, explicando, de uma forma lúdica, as diferenças entre o espectro contínuo e espectro característico de Radiação X (Figura 45), e finalmente foi feita uma explanação dialógica abordando os aspectos conceituais da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, enfatizando a evolução sobre a explicação para este fenômeno físico. Alguns estudantes, por iniciativa própria, participaram dos debates e resolução de exercícios. Os vídeos e animação desta etapa são apresentados a seguir e esta fase da aplicação da Sequência Didática foi realizada em três horas aula.



**Figura 40** Vídeo *A saga do prêmio Nobel: Os instrumentos da medicina*. Fonte: [Nobel-med 2015].



**Figura 41** Vídeo *O conceito de Fótons*. Fonte: [Nobel- fótons 2005].



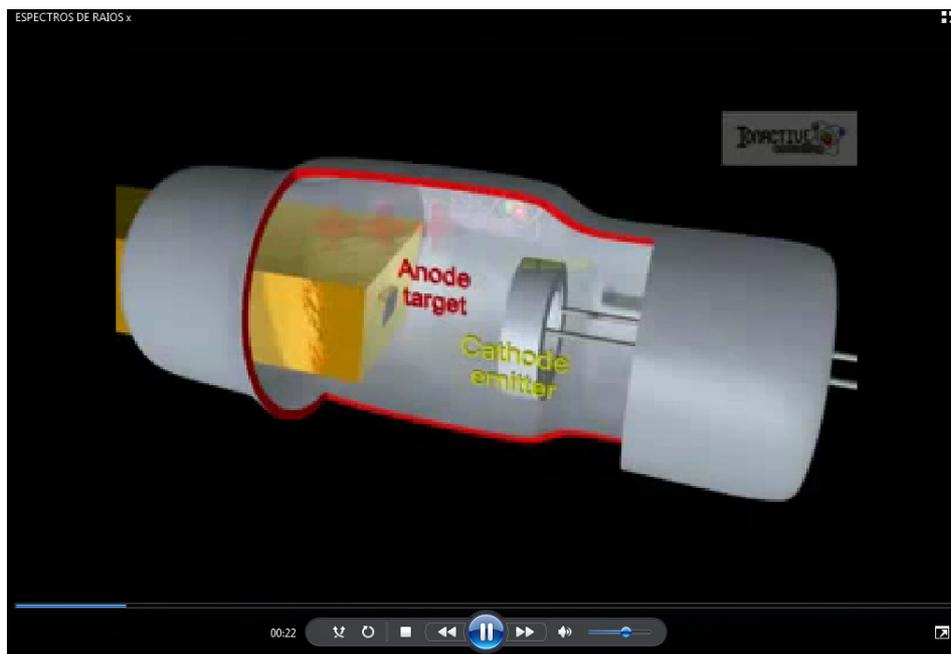
**Figura 42** Vídeo *Dualidade onda-partícula*. Fonte: [Onta- Dual 2015]



**Figura 43** Vídeo *Espectros de Radiação X*. Fonte: [UFF- espectros 2015].



**Figura 44** Vídeo *Difração de Raios X*. Fonte [UFF- Difração 2015].



**Figura 45** Animação comentada: *Espectros de Raios X*. Fonte: [Grallator- Espectro 2015]

### **6ª ETAPA → Consolidação dos conhecimentos adquiridos**

Ao longo dessa etapa, os estudantes tiveram a oportunidade de promover uma síntese e aprofundamento sobre aquilo que foi produzido nas etapas anteriores, o que esteve relacionado diretamente com o grau de aprendizagem dos conceitos quânticos relativos à Teoria de Produção e Emissão de Radiação X. Através desse processo organizacional dos conceitos, na estrutura cognitiva, cada estudante esteve em contato com as condições de promoção de sua aprendizagem significativa, percebida a partir dos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, aferidos a partir da observação comparativa dos mapas conceituais construídos pelos estudantes, e da organização conceitual e grau de complexidade desse conhecimento, observados na avaliação comparativa dos questionários baseados na Taxonomia de Bloom revisada.

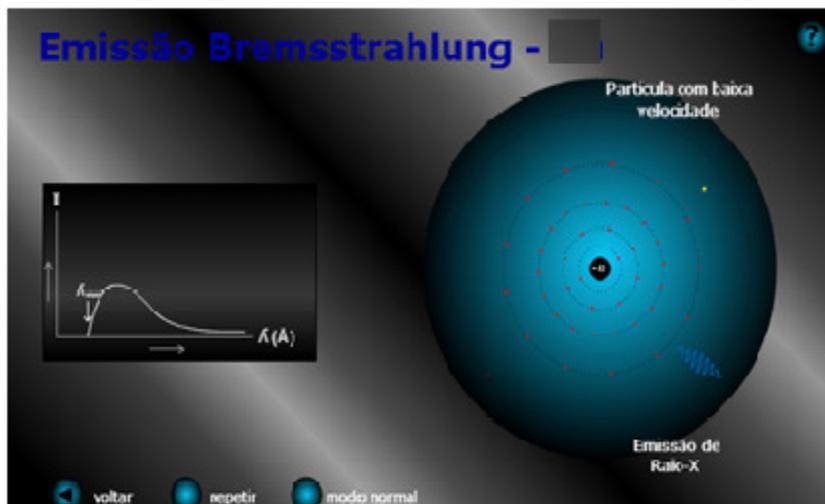
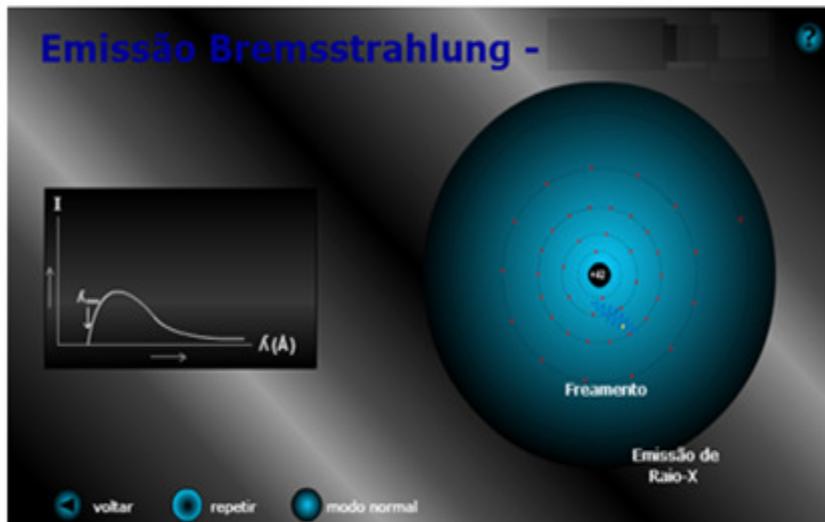
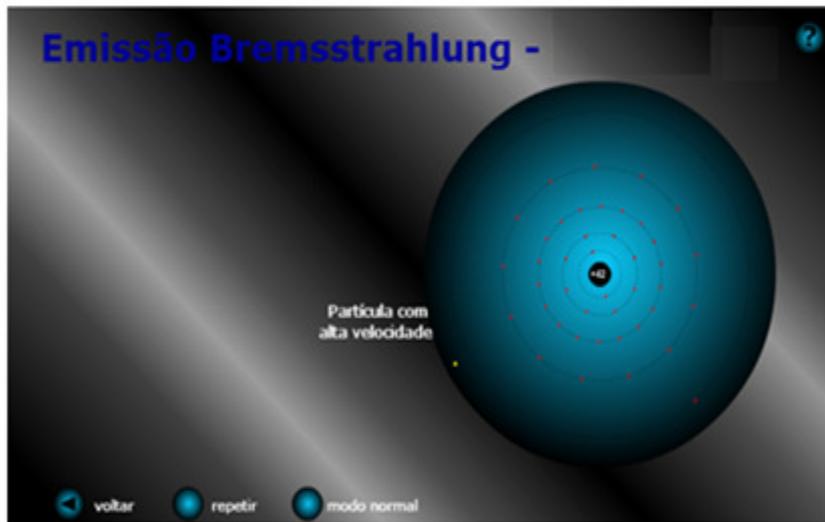
Houve, nessa etapa, uma difusão dos conceitos em níveis mais aprofundados, o que permitiu aos estudantes a reconstrução de conceitos da teoria estudada em suas estruturas cognitivas. Ao final dessa etapa, cada estudante deveria ser capaz de relacionar conceitos gerais e específicos da teoria da Radiação X, inclusive os conceitos que envolvem a mecânica quântica. Os objetivos dessa etapa foram: apresentar os conceitos da quantização da energia, fóton de Raios X, dualidade onda-partícula e estado quântico e relacioná-los

com a produção e emissão da Radiação X; promover condições que permitissem aos estudantes a reconstrução e o encadeamento de conceitos; promover uma discussão detalhada sobre tais conceitos. Foram utilizadas simulações computacionais para favorecer o processo de aprendizagem, permitindo a interação dos alunos com conceitos gerais e específicos da teoria abordada.

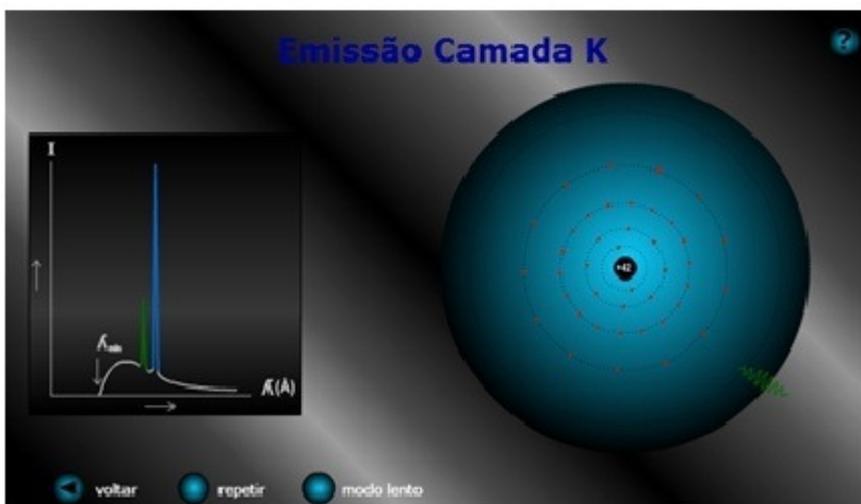
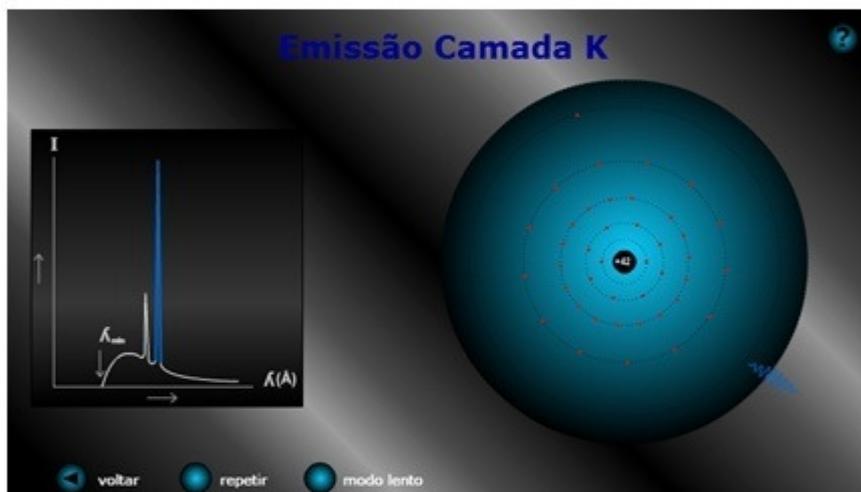
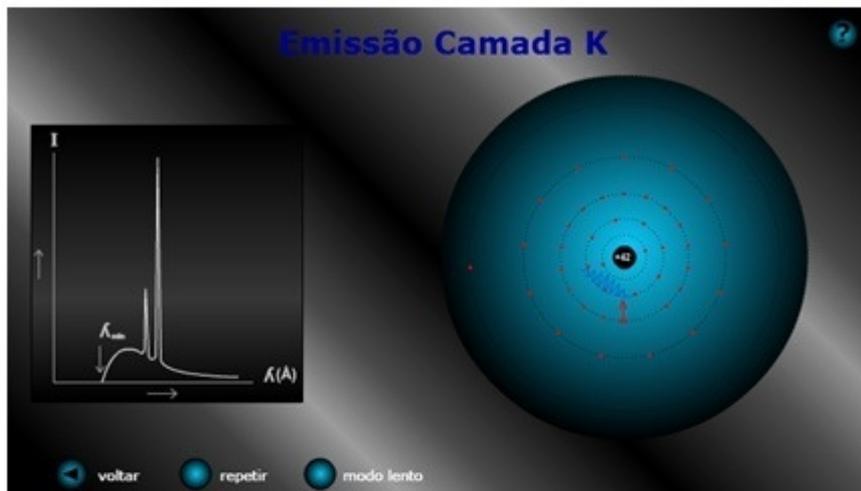
Em um primeiro momento, os alunos tiveram acesso a uma simulação que abordou aspectos conceituais, diferenciando a produção de Radiação X de espectro contínuo e Radiação X de espectro característico, enfatizando algumas das etapas principais para a geração de Raios X em um contexto geral. Além disso, esta primeira simulação mostrou também o efeito de difração com Raios X em uma superfície cristalina, dando a oportunidade aos estudantes de manipularem a simulação, o que gerou uma série de perguntas sobre o fenômeno em questão. O objetivo desta primeira intervenção da sexta etapa foi de promover uma maior familiaridade dos estudantes com os conceitos abordados nas etapas anteriores e o aprofundamento das discussões sobre o tema geral.

A maioria dos estudantes participou desta etapa, durante a aplicação em sala de aula, e se mostraram à vontade para a manipulação da simulação, promovendo a integração entre os mesmos, o que possibilitou a realização de um debate coletivo sobre os aspectos clássicos e modernos relacionados com a Teoria de Produção e Emissão da Radiação X. Esse debate teve um papel importante no aprofundamento e na consolidação, por parte dos estudantes, sobre conceitos específicos relacionados com a teoria estudada e também com a percepção dos conceitos modernos no contexto específico. Depois da aplicação em sala, o software com a simulação foi disponibilizada para os estudantes, para que os mesmos pudessem explorar o programa, em outro momento, permitindo uma futura discussão sobre as possíveis dúvidas relacionadas ao tema estudado.

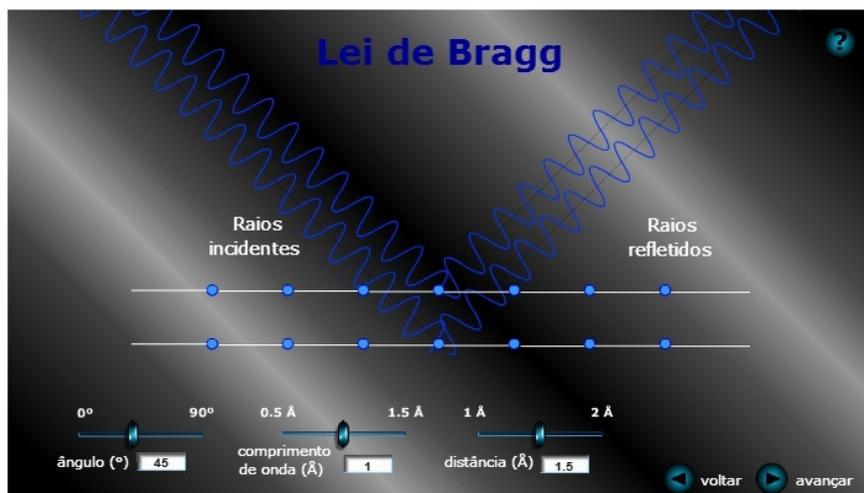
A seguir, são mostradas algumas das telas desta primeira simulação aplicada para o grupo de estudantes da turma experimental. Esta simulação foi produzida pelo LABVIRT-UFRGS e é um conteúdo de livre acesso na rede mundial de computadores, como foi indicado nas referências deste trabalho de pesquisa. Ela explora a produção do espectro contínuo de Radiação X e também trata da liberação de Radiação X característica, o que permitiu uma reflexão sobre a limitação da física Clássica na explicação satisfatória sobre este fenômeno, sendo fundamental a utilização de conceitos inerentes à Mecânica quântica para entender a produção do espectro total da radiação X.



**Figura 46** Simulação: *produção de Radiação X de espectro contínuo*. Fonte: [UFRGS - Raio X 2015]



**Figura 47** Simulação: *Produção de Raio X característico*. Fonte: [UFRGS - Raio X 2015]



**Figura 48** Simulação: *Difração com Raios X*. Fonte: [UFRGS - Raios X, 2015]

Na segunda simulação (Figura 49), os estudantes tiveram a oportunidade de alterar/variá-los os parâmetros físicos matemáticos e relacionar os conceitos estudados com a geração de Radiação X em um tubo de vácuo. O objetivo foi o de promover o aprofundamento conceitual relacionado com a utilização dos conceitos quânticos abordados e apresentar a estrutura matemática associada com a produção e emissão de Radiação X. Além disso, os estudantes promoveram um debate sobre a influência dos parâmetros mostrados nas telas da simulação em cada uma das grandezas físicas relacionadas com a teoria da Radiação X, contribuindo para o enriquecimento do momento didático e a aprendizagem significativa dos estudantes, por meio da interação com o objeto de aprendizagem.

As simulações, nesta etapa, foram exploradas com o auxílio de um computador e um projetor de imagens, e os estudantes interessados manipularam as simulações. Esta situação gerou um conjunto de perguntas e sugestões sobre a alteração dos vários parâmetros mostrados na simulação, um cenário de trocas de experiências e motivador para a aprendizagem. O objeto de aprendizagem “RAX”, utilizado como uma das simulações deste produto educacional (SD), foi idealizado pelo autor deste trabalho e desenvolvido pela estudante de engenharia da computação Bianca Leite Santana, que empregou uma fundamental e importante colaboração na implementação deste objeto educacional. Esta simulação permitiu enfatizar os conceitos da dualidade onda-partícula, quantização da energia e fóton de raios X e estado quântico.

Retornar

# Máquina de Raios-X

Este é o tubo de raios-x, onde os raios-x são produzidos e direcionados para a mesa.

Saiba mais!

Aqui fica o filme onde será impresso o resultado do exame. As partes do corpo com mais densidade de cálcio absorvem mais os raios-x, por isso os ossos são bem representados.

## TUBO DE RAIOS-X

Parâmetros da Simulação

Voltagem aplicada ao cátodo: 0 V (0 to 5 volts)

Voltagem aplicada ao eletrón: 0 V (0 to 100.000 volts)

Energia do fóton radiante: 1 J

Frequência do fóton de raio X: 1 Hz

Comprimento de onda do fóton: 1 metros

Energia cinética do eletrón incidente: 1 Joules

Intensidade da corrente no cátodo: 10,39 Amperes

[Voltar para o Menu Principal](#)

A corrente elétrica que circula no cátodo faz com que os átomos abram mão de alguns dos seus elétrons das últimas camadas, tornando uma "nuvem de elétrons".

## TUBO DE RAIOS-X

Parâmetros da Simulação

Voltagem aplicada ao cátodo: 3 V (0 to 5 volts)

Voltagem aplicada ao eletrón: 75000 V (0 to 100.000 volts)

Energia do fóton radiante:  $1,20 \times 10^{-14}$  Joules

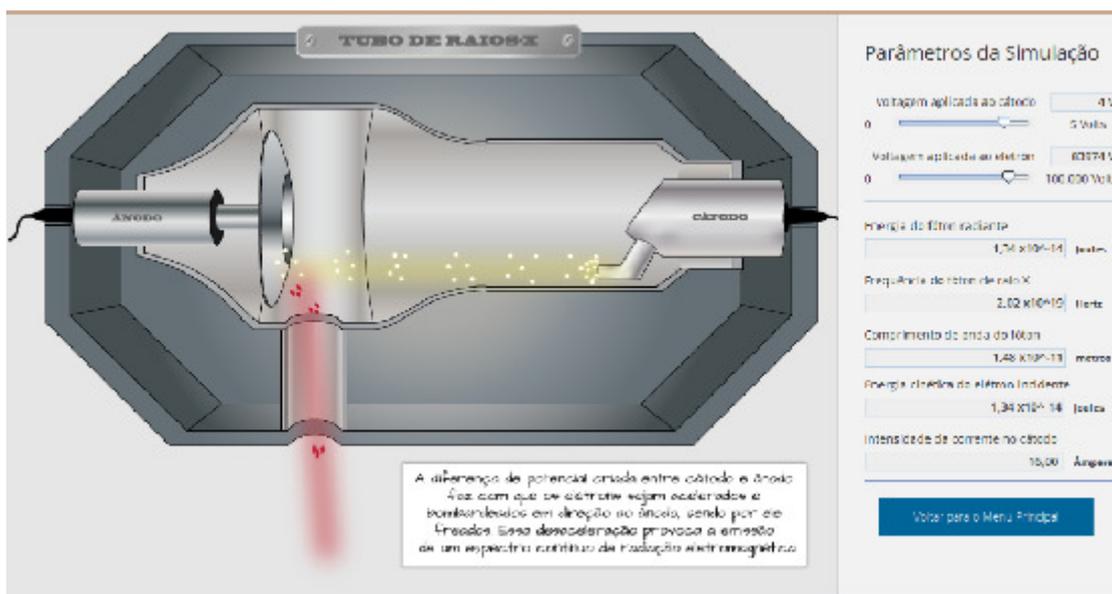
Frequência do fóton de raio X:  $1,81 \times 10^{19}$  Hertz

Comprimento de onda do fóton:  $1,65 \times 10^{-11}$  metros

Energia cinética do eletrón incidente:  $1,20 \times 10^{-14}$  Joules

Intensidade da corrente no cátodo: 10,39 Amperes

[Voltar para o Menu Principal](#)



**Figura 49** Simulação interativa: produção de Raios X em um tubo de vácuo. Fonte: JESUS e SANTANA, 2015.

## **7ª ETAPA → Avaliação dos resultados**

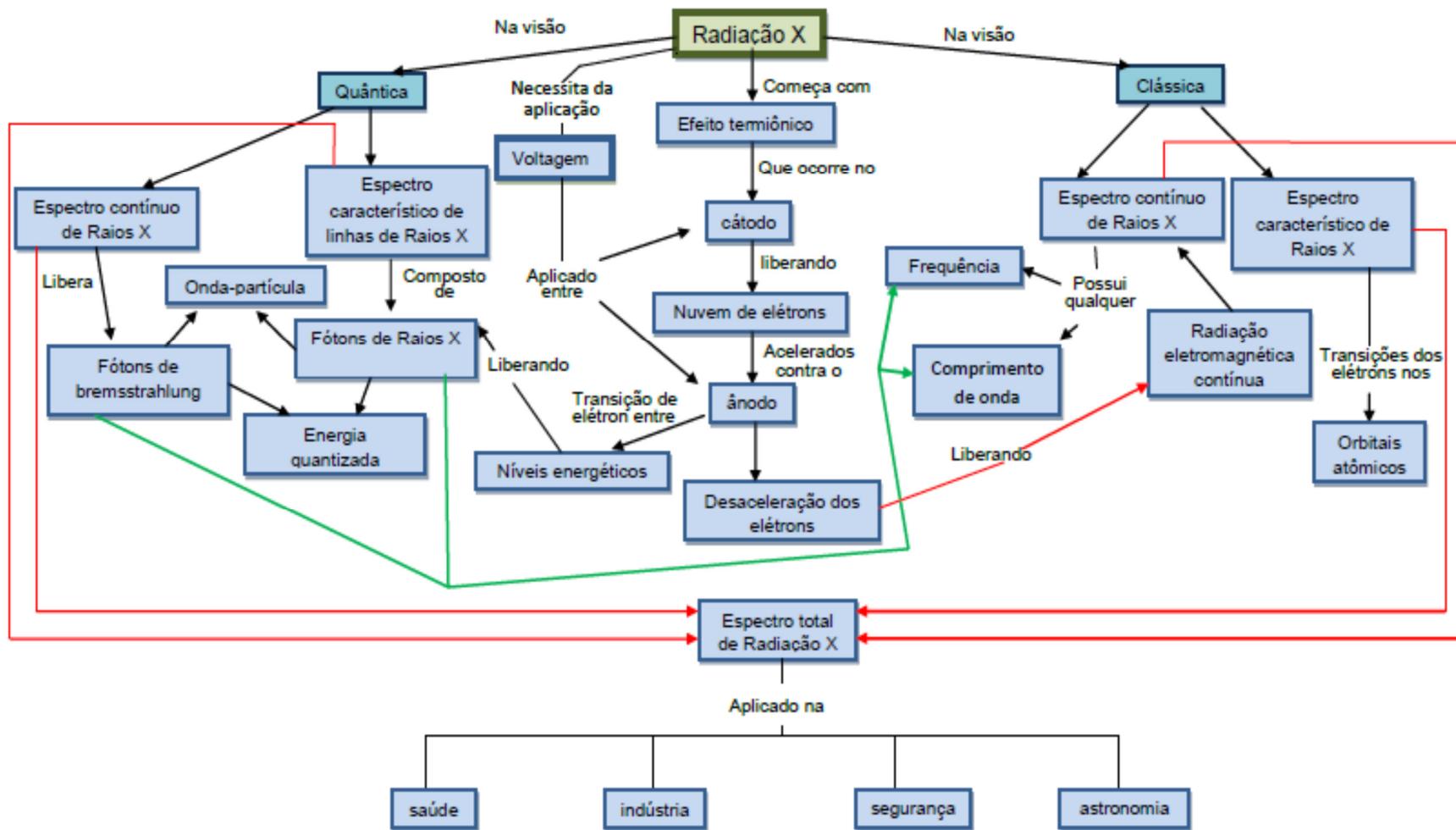
Nesta etapa foi avaliado o grau de aprendizagem significativa a partir das seguintes intervenções pedagógicas:

### **I- Aplicação do teste para as turmas controle e experimental.**

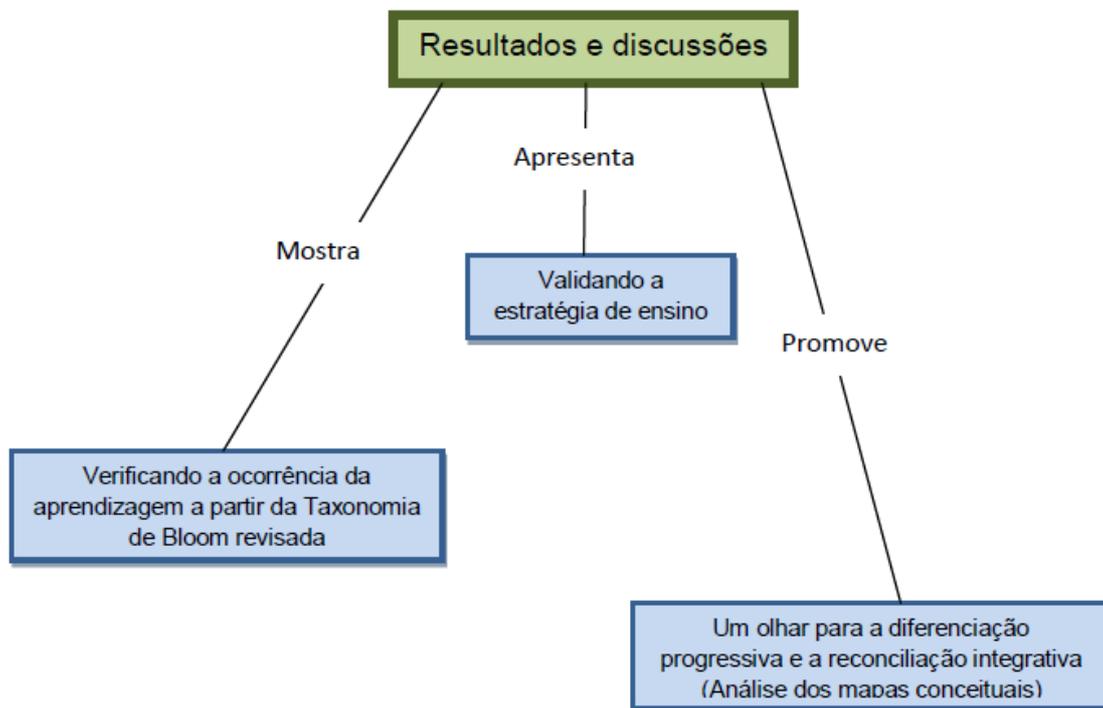
Esta aplicação foi feita levando-se em consideração os níveis taxonômicos de Bloom revisados (Quadro 4), o que permitiu avaliar o grau de complexidade associado ao conhecimento adquirido e compará-lo com a situação do pré-teste.

### **II- Construção de um mapa de conceitos acerca da teoria da Radiação X seguido do comentário sobre essa construção**

Os estudantes produziram um mapa de conceitos com o encadeamento dos conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores e em seguida esses mapas conceituais foram comparados aos mapas produzidos no pré-teste, com o objetivo de avaliar a evolução do conhecimento a partir da diferenciação progressiva conceitos e da reconciliação integrativa dos conceitos. O uso do mapa conceitual, nesta etapa, consistiu em uma ferramenta não convencional de avaliação, o que descartou a chamada simulação da aprendizagem significativa, mostrando uma análise mais fidedigna da aprendizagem adquirida pelos estudantes durante o processo. A seguir, é mostrada a representação de um possível mapa conceitual para a Teoria de Produção e Emissão da Radiação X.



**Figura 50** Um possível mapa conceitual para produção e emissão da Radiação X. Fonte: JESUS, 2015.



**Figura 51** Mapa conceitual dos resultados e discussões. Fonte: JESUS, 2015.

## Capítulo 5

### Resultados e discussões

Para facilitar o entendimento das análises realizadas, os resultados serão expostos a seguir, em três seções, levando em consideração, primeiramente, os dados extraídos dos questionários, e que foram utilizados nas duas primeiras análises indicadas na metodologia deste trabalho: uma análise quantitativa comparativa utilizando o teste Qui-quadrado de Pearson e uma análise qualitativa utilizando a Taxonomia de Bloom revisada. Em seguida, será feita a terceira análise, com base na exposição dos mapas conceituais produzidos pelos estudantes das duas turmas, controle e experimental. Esta análise dos resultados dos mapas conceituais foi realizada com a totalidade dos mapas conceituais produzidos durante as duas fases do estudo, entretanto estão expostos aqui, na terceira seção deste capítulo, apenas alguns destes mapas para a ilustração da análise global que foi realizada. Vale salientar que as categorias que permeiam todas estas análises são: *a aprendizagem significativa dos estudantes e a validação da estratégia de Ensino (SD) como produto educacional* significativa para o ensino de conceitos da Mecânica Quântica, tendo a Teoria de Produção e Emissão da Radiação X como tema central.

#### 5.1 Validando a estratégia de ensino (SD)

A validação dessa estratégia de ensino (SD) foi realizada, nesta primeira etapa, a partir do desempenho comparativo obtido pelos estudantes das duas turmas nos questionários aplicados durante o estudo. Para facilitar o entendimento desta análise, é apresentada a seguir, uma versão simplificada do questionário utilizado no pré-teste e teste, sendo que a versão completa, deste mesmo questionário, encontra-se no APÊNDICE C deste trabalho. O objetivo da explanação deste questionário simplificado é o de permitir ao leitor uma rápida conferência sobre o texto norteador das questões e o tipo de abordagem feita por cada uma delas, o que interfere diretamente na análise de suas respostas no contexto da de aquisição da aprendizagem por parte dos estudantes. Ressalta-se também, que tal estratégia de ensino (SD) foi aplicada apenas na turma experimental, enquanto que na turma controle foi realizada uma série de aulas, sem a utilização de metodologias consideradas inovadoras ou suporte tecnológico, isto é, conduzidas a partir do método chamado de “tradicional”, abordando os aspectos importantes da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X.

QUESTAO 01: Do ponto de vista da teoria clássica da Física, o espectro contínuo de emissão da Radiação X se manifesta na emissão de: (TEORICA OBJETIVA)

QUESTÃO 02: Do ponto de vista da teoria Clássica da Física, a Radiação X pode ser classificada como: (TEORICA OBJETIVA)

QUESTAO 03: Do ponto de vista da teoria Clássica da Física, a Radiação X de espectro contínuo pode ser produzida a partir: (TEORICA OBJETIVA)

QUESTÃO 04: Com base na teoria moderna da Física, a Radiação X de espectro contínuo pode ser entendida como: (TEORICA OBJETIVA)

QUESTAO 05: Com base em uma formulação semi-Clássica da Física, a Radiação X de espectro característico é liberada quando: (TEORICA OBJETIVA)

QUESTÃO 06: Com base na teoria moderna da Física, a liberação de Radiação X de espectro característico ou de linhas decorre: (TEORICA OBJETIVA)

QUESTÃO 07: Um elétron de energia 40,0 KeV é desacelerado por um núcleo pesado em uma placa metálica adequada para o processo. A partir desta informação e sabendo que a constante de Planck para o caso vale  $6,63 \times 10^{-34}$  J.s determine o comprimento mínimo, medido em metros, para o fóton de Raios X produzido nesse processo. (PROCEDIMENTAL OBJETIVA)

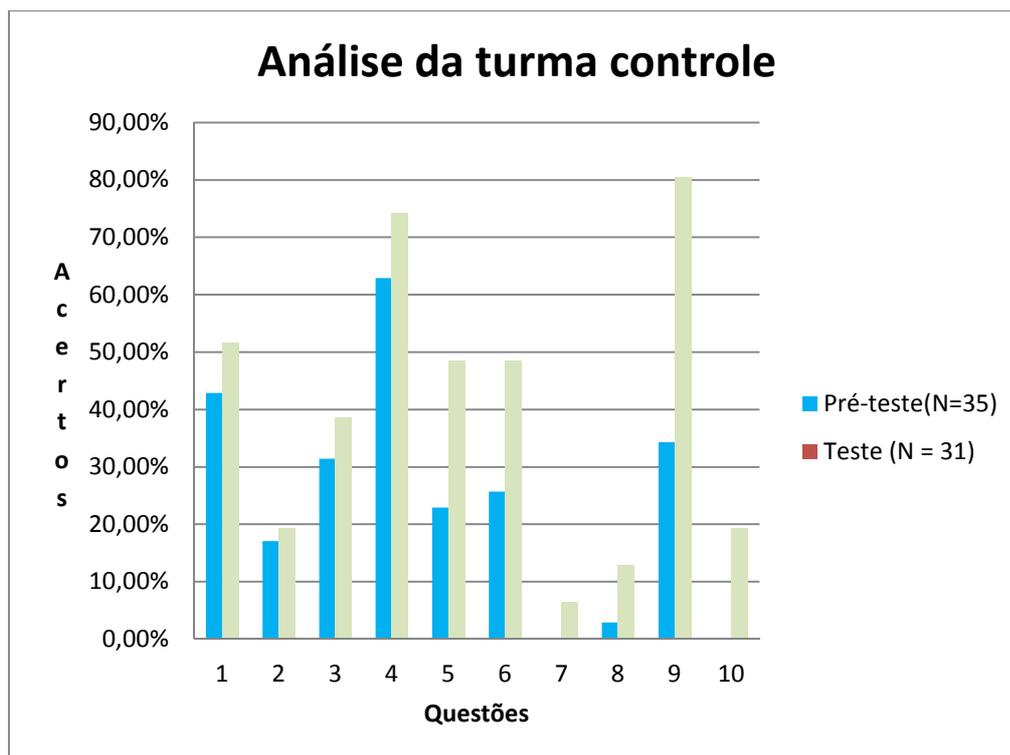
QUESTÃO 08: Para a obtenção de um feixe de Radiação X, elétrons são acelerados, a partir do cátodo, e lançados contra o ânodo, formado por certo elemento químico. Neste processo, um elétron do primeiro nível atômico do núcleo do material do ânodo foi arrancado por uma colisão do elétron incidente, tendo sua vaga, nesse primeiro nível, sido ocupada por um elétron proveniente do segundo nível atômico deste átomo do núcleo. Tomando esta informação com base para o seu problema, classifique o feixe de Radiação X produzida e calcule a frequência do fóton de Raios X produzido no processo. (PROCEDIMENTAL DISCURSIVA)

QUESTAO 09: A tecnologia resultante da teoria de produção e emissão da radiação X pode ser utilizada em processos relacionados à saúde, indústria e segurança. Neste contexto, as alternativas onde apenas aparecem procedimentos e aplicações cotidianas para este tipo de tecnologia são. (TEORICA DE APLICAÇÃO)

QUESTÃO 10: Com base na teoria quântica, explique a utilização do modelo de subníveis para o entendimento da produção e emissão da radiação X, indicando aspectos/diferenças não contemplados na teoria clássica. (TEORICA DISCURSIVA)

**Figura 52:** Questionário simplificado. FONTE: JESUS, 2015.

Os resultados obtidos pelos estudantes ao resolverem este questionário, no pré-teste e teste, são apresentados a seguir, de forma comparativa, isto é, o desempenho global das turmas controle e experimental, para cada uma das questões presentes no instrumento, nas duas etapas nas quais este questionário foi aplicado. Isso viabilizou a análise interna (restrita a cada um dos grupos de estudantes) e externa (comparação dos resultados entre os grupos das turmas controle e experimental), o que serviu para fundamentar esta primeira análise. Neste caso, o desempenho dos estudantes pode ser relacionado diretamente com o grau da aprendizagem adquirida por eles durante o processo de ensino-aprendizagem, refletindo a forma e a metodologia com as quais o conteúdo principal foi abordado durante o percurso em sala de aula, o que permite que se faça uma inferência segura sobre o real papel da estratégia de ensino utilizada como o objetivo de potencializar a aprendizagem de conceitos quânticos a partir do estudo da Teoria da Radiação X. O Gráfico a seguir (Figura 53) mostra o desempenho da turma controle na aplicação do questionário nas duas etapas da pesquisa.



**Figura 53.** Desempenho da turma controle nas aplicações do questionário

A partir do Gráfico (figura 53), é perceptível o aumento no desempenho da turma em todas as questões constantes neste instrumento de avaliação, indicando que a utilização do método tradicional, neste caso, foi capaz de produzir resultados positivos para o cenário da sala de aula de Ciências, refletindo a viabilidade desta abordagem, principalmente em situações onde são privilegiados a abstração e os procedimentos operacionais (PEDUZZI, 1997). Neste caso, o ensino da Teoria da Radiação X, com a finalidade de inserir tópicos relacionados à FMC, a partir do método tradicional, expressa um processo de ensino-aprendizagem centrado no professor como condutor das ações, determinando as diretrizes em sala de aula, ao mesmo tempo em que delimita o arcabouço teórico que será explorado, a partir daquilo que os estudantes já conhecem (SANTOS, 2011). Além disso, o método tradicional permite a esse professor um maior controle da aula, evitando que outros assuntos não relacionados com a discussão central possam ser abordados, caracterizando uma vantagem para esta abordagem (PINHO et al., 2010).

Por outro lado, a utilização do método tradicional, apesar de promover bons resultados para um grupo menor de estudantes, torna as aulas mais distantes da prática e também mais abstratas, eventos que podem interferir diretamente na aquisição da

aprendizagem dos estudantes, dificultado a percepção dos mesmos sobre as aplicações cotidianas relacionadas com os temas abordados em sala de aula (WEINTRAUB; HAWLITSCHKE; JOÃO, 2011). Neste sentido, os resultados obtidos em um cenário com abordagem tradicional, costumam apresentar um distanciamento daqueles que seriam observados com um grupo de indivíduos semelhantes, expostos a uma metodologia alternativa, capaz de promover um processo de ensino-aprendizagem no qual a Ciências não é tida como dogmática ou neutra, ao contrário, representa uma produção humana legítima (GONÇALVES E GALIAZZI, 2004).

Apesar de o ensino médio ser caracterizado, comumente, por uma estrutura rígida, onde as disciplinas de Ciências focam na abstração e na matemática, em detrimento da fenomenologia e da relação destes conhecimentos com o cotidiano dos estudantes (FISHER, 2004), nota-se claramente, que o maior grau de acerto ocorreu para as questões onde não houve a necessidade da utilização de recursos matemáticos, o que pode indicar uma fragilidade no domínio de operações matemáticas básicas e comuns aos estudantes da terceira série do EM. Esta percepção é reforçada pela observação do pré-teste no qual as questões que dependiam destes recursos matemáticos (*Questões 07 e 08*) terem sido pouco exploradas, inclusive aquelas cujos temas já deveriam ser do domínio dos estudantes.

Dessa análise, também emergiu o fato de que as questões que dependeram de uma resposta baseada em um domínio conceitual relacionado com o contexto da FMC (*Questões 08 e 10*) tiveram uma frequência pequena, em relação aos acertos, tanto no pré-teste quanto no teste, embora tenha ocorrido um avanço no número de estudantes que resolveram estas questões na última etapa. Esse episódio indica que uma pequena parcela dos estudantes obteve uma compreensão satisfatória a respeito da construção conceitual sobre a teoria abordada, denotando uma limitação para o método utilizado, o tradicional. Neste caso, a maioria dos estudantes não atingiu um grau de desenvolvimento mais elaborado, o que pode ser justificado pela falta de interesse destes estudantes na aprendizagem sobre a temática, abordada neste formato tradicional, e que na maioria das situações desperta, apenas, a curiosidade daqueles estudantes que se identificam diretamente com a disciplina, o que é corriqueiro neste tipo de abordagem (FISHER, 2004).

Em relação às questões que trataram da utilização de conceitos modernos relacionados com a teoria de Produção e Emissão de Radiação X (*Questões 04, 06 e*

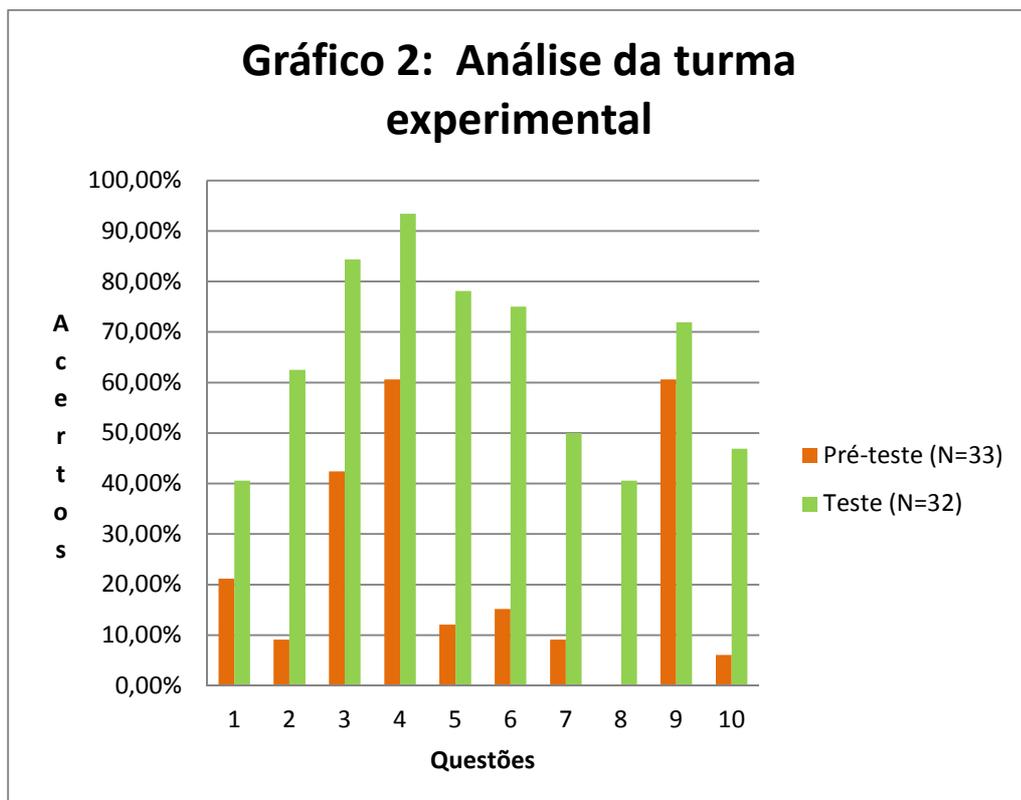
10), as mais exploradas foram as duas primeiras, inclusive com um grau elevado para o rendimento depois da aplicação do teste, algo que pode estar relacionado ao caráter objetivo destas questões. Nota-se, neste caso, que o ensino tradicional ainda pode promover bons resultados e avanços em relação ao conhecimento e aprendizado dos estudantes. Entretanto, este formato de ensino, mostra-se limitado na tarefa de permitir, principalmente, em situações de discussão mais elaboradas, o envolvimento da maioria dos estudantes durante as aulas, refletindo a necessidade de uma abordagem diferenciada em relação à tratativa dos tópicos de FMC no nível médio. Neste caso, muitos dos estudantes pensam no aprendizado apenas como um requisito para sua aprovação na série, reforçando a percepção de um cenário em que a maioria deseja apenas cumprir os ritos escolares, desistindo daquelas tarefas que parecem mais elaboradas ou desafiadoras (PIETROCOLA, 2001).

Em relação à última questão (*Questão 10*), a mesma foi de caráter discursivo, o que necessitou de uma elaboração e formatação por parte do aluno para chegar a uma resposta conceitualmente estruturada e que contemplasse alguns aspectos importantes sobre a utilização de conceitos modernos na produção e emissão de Radiação X. Para este problema, uma pequena parcela dos estudantes mostrou ter adquirido uma compreensão satisfatória a respeito da relação entre tais conceitos abordados, refletindo em um nível de acerto igual a 19,4% desta questão no teste. Vale salientar, que neste cenário, a relação entre os conceitos da Teoria Quântica é demasiadamente complexa (OSTERMANN e MOREIRA, 2001), algo que exige do professor a aplicação de uma metodologia que possa ser capaz de promover o desenvolvimento do tema de forma a interessar a maior parte dos estudantes, tarefa que não é cumprida, para todos os estudantes, quando se utiliza do método tradicional para a discussão desta temática no EM (MENEZES, 2000).

Para a (*Questão 09*), que trata da idéia geral sobre a Radiação X do ponto de vista de algumas de suas aplicações básicas no cotidiano, verificou-se um significativo aumento do número de acertos no teste, indicando que este tipo intervenção permitiu que os estudantes relacionassem o tema com algumas de suas principais aplicações tecnológicas em várias áreas do conhecimento. Esse comportamento evidencia a importância e a necessidade de uma abordagem escolar voltada para a relação entre a ciência e a tecnologia, mesmo em uma abordagem tradicional, o que possibilita relacionar diretamente aquilo que se estuda com o que é visto no dia a dia dos

estudantes. Isto é fundamental para, nos dias atuais, promover uma integração entre os estudantes e o mundo das Ciências, na medida em que transforma a visão estática que se tem, comumente, sobre a mesma (BAZZO, 1998).

Na observação dos resultados da turma experimental, verificou-se que o rendimento para a mesma aumentou após a aplicação do produto educacional (SD) para este grupo de estudantes. O Gráfico 2 (figura 54) mostra o desempenho dos estudantes comparando o pré-teste e o teste em cada uma das questões presentes no instrumento de avaliação.



**Figura 54.** Desempenho da turma experimental nas aplicações do questionário

Nota-se, a partir do Gráfico 2 (figura 54), que houve um aumento no desempenho dos estudantes em praticamente todas as questões, após a aplicação do produto educacional (SD) em todas as suas etapas, mostrando uma pujança entre a intervenção pedagógica e os resultados obtidos pelos estudantes durante o processo. Vale salientar, que a turma experimental era composta por estudantes com o mesmo perfil dos estudantes da turma controle, apresentando dificuldades relacionadas com os aspectos conceituais e ferramentas matemáticas fundamentais para o desenvolvimento da série em questão, cenário comumente encontrado nas escolas da rede pública, em

curso e também uma limitação em relação a alguns temas fundamentais para esta série de ensino, tornando desafiador o trabalho do professor neste contexto escolar particular.

Fica claro, neste caso, que a metodologia de abordagem desempenhou um papel fundamental na tentativa de promover as condições para a promoção da aprendizagem significativa, enfatizando a importância de uma estratégia que possa estabelecer uma comunicação legítima entre Ciência e Escola, no âmbito de suas aplicações tecnológicas associadas a anseios sociais (LÉVY, 1999). Além disso, centrar o processo de ensino-aprendizagem de conceitos da FMC utilizando Raios X, a partir desta abordagem no cenário escolar contribuiu para o entendimento dos estudantes sobre o papel do pesquisador na sociedade (PIETROCOLA, 2001), ao mesmo tempo em que reforçou os pressupostos para a ocorrência da aprendizagem significativa, estabelecendo uma relação entre aquilo que o estudante já conhece e o novo conhecimento construído em sala de aula (AUSUBEL, 1982).

Percebeu-se, para este grupo de alunos, que o rendimento aumentou de forma considerável naquelas questões onde se necessitava de um aporte conceitual matemático mais elevado (*Questões 07 e 08*), quando comparamos os resultados com o pré-teste, indicando que a forma com que estes conceitos foram inseridos e abordados está relacionada com este aumento no rendimento. Neste cenário, a utilização de uma abordagem pautada no uso de recursos tecnológicos, exige dos educadores uma maneira diferente para organizar o processo de ensino-aprendizagem, tornando-o mais interessante e capaz de promover transformações na realidade de cada um dos estudantes (LÉVY, 1999). Assim, a aplicação do produto educacional (SD) permitiu despertar o interesse dos estudantes, algo fundamental para a aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1982), o que refletiu no desempenho dos alunos, apesar da dificuldade generalizada em relação ao domínio de conceitos matemáticos.

Outro fato importante emerge da observação da *Questão 10* deste instrumento de avaliação. Por se tratar de uma questão discursiva, de elaboração mais complexa e organizada, na qual os estudantes precisavam fazer uma análise sobre a relação dos conceitos quânticos na Teoria de Produção de Radiação X, percebeu-se que o avanço após a aplicação da estratégia de ensino foi significativo, influenciado pela maneira com que tais conceitos foram relacionados com a teoria estudada ao longo da aplicação do produto educacional (SD). Ficou claro que, a abordagem pautada na construção do conhecimento a partir da relação com situações cotidianas e a correta utilização dos

recursos tecnológicos no cenário de sala de aula, no sentido de construir uma visão adequada sobre a Ciência são medidas fundamentais para tentar garantir o sucesso da prática educacional (GONÇALVES E GALIAZZI, 2004), o que, neste caso, refletiu nesta melhora no grau de acerto envolvendo esta questão.

Ainda neste tocante, houve um aumento no rendimento nas *Questões 01, 02 e 03*, que fizeram alusão á teoria clássica envolvida no contexto de produção da Radiação X, refletindo a importância da utilização dos organizadores prévios na tarefa de construção dos conhecimentos de base para a ocorrência da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1988). Neste caso, tais subsunçores para a inserção da FMC no nível médio foram essencialmente clássicos. Este aumento também foi percebido nas *Questões 04 e 07*, nas quais as respostas estavam relacionadas com algum conceito moderno, no contexto estudado, explicitando uma relação mediada entre a presença do produto educacional (SD) e o rendimento obtido pelos estudantes no teste aplicado, isto é, os materiais utilizados foram potencialmente significativos no contexto escolar, influenciando positivamente na aquisição de aprendizagem significativa por parte dos estudantes (AUSUBEL, 1988).

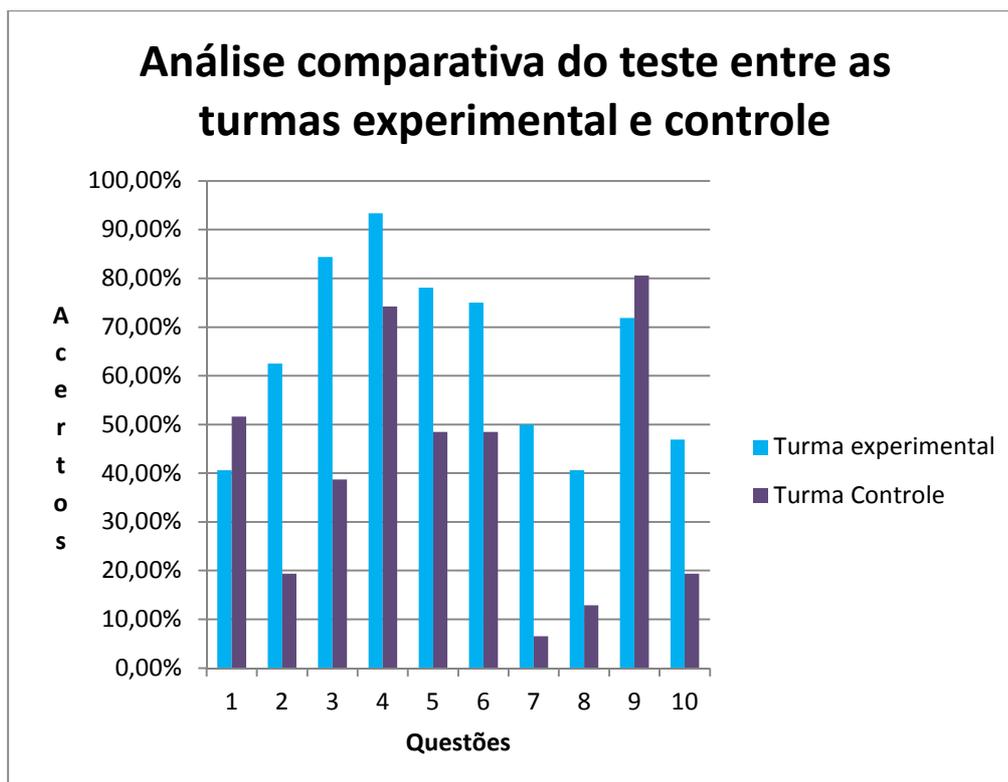
Em relação às *Questões 05 e 06*, onde foram abordados aspectos específicos da Radiação X, tanto para o espectro contínuo quanto para o espectro característico, o rendimento dos estudantes também aumentou de forma considerável, bem como ocorreu com a *Questão 09*, que tratou de definições básicas e da aplicabilidade da Radiação X no cotidiano dos estudantes. Neste sentido, o produto educacional (SD), com um formato não usual para a inserção de conceitos quânticos com base na abordagem da Teoria da Radiação X, promoveu o aumento do interesse dos estudantes, algo fundamental no cenário que pretende construir uma aprendizagem significativa e duradoura (AUSUBEL, 1988). Além disso, a aplicação deste produto educacional desenvolveu, nos estudantes, a percepção de que a Ciência (Física) está completamente relacionada com seu dia a dia, evidenciando a relação entre a mesma e a escola, cenário desejável para a o ensino de Física nos dias atuais (GONÇALVES E GALIAZZI, 2004).

Contudo, o aumento percebido nas *Questões 04 e 05* foi menor do que aquele observado para a *Questão 09*. Esse fato pode ser explicado pela inserção dos vídeos introdutórios que tiveram a função de pseudos organizadores prévios (MOREIRA, 2011), na primeira etapa de vivência deste produto educacional (SD). Estes vídeos chamaram a atenção dos estudantes, em um nível próximo de inclusividade, para alguns

aspectos relacionados com a teoria da Radiação X, inclusive sobre suas possíveis aplicações, fazendo com que muitos deles acertassem essa questão já no pré-teste. Este fato reforça a idéia de que o ensino de FMC no nível médio deve englobar situações vivenciadas pelos estudantes, como uma estratégia de promover a aprendizagem significativa, uma vez que este ramo da Física está relacionado com o surgimento de várias tecnologias benéficas ao homem (PIETROCOLA, 2001), tais como os avanços nas áreas da saúde, indústria, segurança e astronomia.

Levando em consideração tudo aquilo que foi apresentado até o momento, nesta seção, observa-se, a partir das intervenções nas turmas controle e experimental, que embora tenha ocorrido um aumento no rendimento para a turma controle, submetida a uma intervenção pedagógica tradicional, o aumento de rendimento verificado na turma experimental foi mais expressivo em praticamente todas as questões, o que nos leva à conclusão sobre a eficácia (validação) da aplicação do produto educacional (SD) para o grupo de estudantes dessa última turma. Entretanto, esta verificação da existência de associação (relação direta) entre o rendimento obtido pelos estudantes e a aplicação do produto educacional (SD), durante o processo de intervenção pedagógica, foi feita com a utilização do teste Qui-quadrado de Pearson (APÊNDICE G). O Gráfico a seguir (Figura 55), mostra os dados relativos aos testes das turmas controle e experimental, apresentados de forma comparativa, e que serviram de base para esta análise de cunho estatístico.

A comparação estatística a partir da utilização do teste de Pearson indicará o tipo associação estatística, o que reforçará ou refutará a hipótese de relação entre a aplicação do produto educacional (SD) e a aprendizagem experimentada pelos estudantes, a partir da observação do rendimento, algo que já foi verificado pelos gráficos apresentados. Neste sentido, a análise estatística traz confiança ao resultado experimentado no evento em questão e ao mesmo tempo mede o grau desta possível associação, contribuindo para uma conclusão mais segura sobre os fatos observados durante a aplicação da SD.



**Figura 55** Análise comparativa de desempenho das turmas experimental e controle

Neste caso específico, analisou-se a relação entre as seguintes variáveis: *rendimento dos estudantes*, variável associada à ocorrência da aprendizagem no contexto escolar, e a *aplicação da SD*, variável independente e interveniente, neste estudo, no sentido de responder à seguinte questão: existe associação estatisticamente significativa entre o rendimento dos estudantes e a aplicação da SD? Nesta situação, as hipóteses utilizadas para a análise foram:

*Ho (hipótese de nulidade):* Não existe associação entre o rendimento e a aplicação do produto educacional (SD)

*Ha (hipótese alternativa):* Existe associação entre o rendimento e a aplicação do produto educacional (SD)

Como é mostrado no Apêndice G, o tipo de associação está relacionado com os valores dos parâmetros encontrados no âmbito de realização do teste de Pearson para um conjunto de dados experimentais. Neste sentido, a tabela a seguir mostra os parâmetros associados ao teste de Pearson para cada uma das questões realizadas nos testes das turmas controle e experimental.

Questões	N	n	%	IC	p-valor	$\chi^2$
1						
Turma Experimental	32	13	40,6	0,4-1,3	0,4	0,77
Turma Controle	31	16	51,6	-	-	-
2						
Turma Experimental	32	20	62,5	1,5-6,9	0,0005	12,09
Turma Controle	31	06	19,4	-	-	-
3						
Turma Experimental	32	27	84,4	1,3-3,5	0,0002	13,92
Turma Controle	31	12	38,7	-	-	-
4						
Turma Experimental	32	30	93,4	1,01-1,5	0,03	4,51
Turma Controle	31	23	74,2	-	-	-
5						
Turma Experimental	32	25	78,1	1,1-2,4	0,01	6,01
Turma Controle	31	15	48,5	-	-	-
6						
Turma Experimental	32	24	75,0	1,02-2,4	0,03	4,73
Turma Controle	31	15	48,5	-	-	-
7						
Turma Experimental	32	16	50,0	1,9-30,9	0,0001	14,63
Turma Controle	31	02	6,5	-	-	-
8						
Turma Experimental	32	13	40,6	1,1-8,6	0,01	6,14
Turma Controle	31	04	12,9	-	-	-
9						
Turma Experimental	32	23	71,9	0,7-1,2	0,4	0,67
Turma Controle	31	25	80,6	-	-	-
10						
Turma Experimental	32	15	46,9	1,08-5,4	0,02	5,37
Turma Controle	31	06	19,4	-	-	-

**Tabela 02** Parâmetros para o teste de Pearson na comparação dos testes das turmas controle e experimental

Para os dados apresentados na Tabela 02, foi adotado um índice de significância para a validação da hipótese de nulidade igual a 5%, isto é, um p-valor ( $p < 0,05$ ) indica uma associação estatisticamente significativa entre as variáveis: estudadas. Neste sentido, a partir da observação dos resultados mostrados na Tabela anterior, é possível concluir que, não só existiu uma associação estatisticamente significativa entre o rendimento obtido pelos estudantes na turma experimental e a aplicação do produto educacional (SD), como foi esta aplicação do produto educacional (SD), a responsável pela elevação da aprendizagem adquirida pelos estudantes na etapa final da intervenção pedagógica. Esta constatação valida a tese sobre a eficácia da estratégia de ensino para

promover uma aprendizagem significativa e diferenciada sobre conceitos quânticos a partir do estudo da Teoria da Produção e Emissão de Radiação X.

Portanto, o ensino de Física ou qualquer outra Ciência, fundamentado em uma abordagem crítica e social, na qual os temas selecionados e discutidos possam fazer uma relação direta com o cotidiano dos estudantes, bem como facilitar a percepção das aplicações de suas tecnologias no dia a dia, apresenta-se como uma alternativa viável para promover o interesse dos estudantes em sala de aula (FISHER, 2004). A construção deste cenário pode ser efetivada na implementação, por parte dos professores, das condições fundamentais para a ocorrência da aprendizagem significativa: a percepção dos conhecimentos prévios dos estudantes, uso de um material adequado e o estímulo ao interesse dos estudantes (AUSUBEL, 1988). Esta tarefa pode ser facilitada, na medida em que é utilizada uma metodologia de ensino diferenciada, bem como a utilização das tecnologias da informação ou recursos computacionais, como o objetivo de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais organizado e interessante para os estudantes (LEOPOLDO, 2004).

## **5.2 Verificando a ocorrência da aprendizagem significativa a partir da Taxonomia de Bloom revisada**

Alguns aspectos importantes desse estudo emergiram a partir da análise dos dados utilizando a taxonomia de Bloom revisada. Neste sentido, os testes resolvidos pelos estudantes após o contato com o produto educacional (SD), foram observados do ponto de vista da organização conceitual e hierarquização na construção do conhecimento, fato que denota a ocorrência de aprendizagem significativa sobre o tema abordado em sala de aula (BLOOM, et al, 1972). Dessa maneira, em relação ao questionário elaborado e aplicado de acordo com esta taxonomia, suas questões foram classificadas conforme sua *dimensão do conhecimento* e sua *dimensão do processo cognitivo*, sendo que algumas questões são pertencentes, simultaneamente a vários campos desta classificação taxonômica. Nesse sentido, vale ressaltar que a aprendizagem significativa é um processo cognitivo (AUSUBEL, 1988), sendo, a avaliação da organização do conhecimento do estudante, com base nesta dimensão cognitiva, na Taxonomia de Bloom revisada, uma marca importante para a sua ocorrência.

Em relação à dimensão do conhecimento, podemos destacar o alcance dos níveis de sua possível organização como uma marca da hierarquização do conhecimento ou da aprendizagem adquirida pelos estudantes durante o processo de ensino-aprendizagem, configurando um aspecto importante da expressão da complexidade dessa aprendizagem (BLOOM, 1956). No cenário de percepção de ocorrência da aprendizagem significativa, uma informação simples, fundamental ou um subsunçor interage com outra informação de forma substantiva, gerando um novo conceito mais organizado e complexo, denotando a construção do conhecimento de forma hierarquizada e mais ampla (AUSUBEL, 1996). É neste contexto que a percepção do conhecimento do estudante em níveis taxonômicos mais elevados mostra esta hierarquização ou ocorrência de aprendizagem significativa no cenário escolar (BLOOM, 1956).

Com relação à dimensão do conhecimento factual, isto é, aquele conhecimento fundamental e mais geral em um nível de inclusividade sobre o tema, as *Questões 01, 02 e 03* foram utilizadas para aferir o grau de conhecimento acerca da relação da teoria ondulatória e a produção de Radiação X. Nesta dimensão, as *Questões 01 e 02* pertencem ao campo lembrar do processo cognitivo, campo mais geral que o campo entender e serve como uma “porta de entrada” para a organização do conhecimento na estrutura cognitiva do estudante, identificando os conhecimentos de base para estabelecer o início do processo de aprendizagem significativa, isto é, o conceito subsunçor (AUSUBEL, 1988). Entretanto, vale ressaltar que, vários dos conhecimentos prévios que os estudantes possuem sobre este tema são, em muitos casos, construídos de forma cultural e errônea (POZO E CRESPO, 2009), e não podem ser classificados como subsunçores para a fundamentação da aprendizagem significativa, impondo a necessidade da utilização de organizadores prévios durante o processo de ensino-aprendizagem.

Ainda em relação a esta primeira dimensão do conhecimento, a factual, a *Questão 03* foi classificada no campo entender do processo cognitivo. Este campo é mais específico que o campo lembrar e já utiliza conceitos mais diferenciados em relação ao primeiro campo desta dimensão observada. Os conhecimentos diferenciados expressam uma evolução no grau de aprendizado do estudante, mostrando uma organização na construção de novos conceitos a partir de ideias mais gerais ou inclusivas, processo fundamental para efetivação e percepção da aprendizagem significativa dos estudantes no contexto escolar (AUSUBEL, 1996). Para esta

dimensão, os testes apontaram um aumento expressivo no rendimento, sobretudo nas *Questões 02 e 03*, evidenciando uma organização do conhecimento mais diferenciada e específica para a maioria dos estudantes que tiveram contato com a SD.

A segunda dimensão analisada foi a do conhecimento conceitual e nesta dimensão foram classificadas as *Questões 01, 02, 04, 05 e 06*, distribuídas nos seguintes campos do processo cognitivo: lembrar, entender e analisar. Esta dimensão é mais elaborada que a dimensão factual, numa escala de hierarquização vertical da taxonomia, e requer o domínio conceitual em vários campos cognitivos para que se possa resolver o referido teste. Em relação aos campos do processo cognitivo, o campo analisar é mais específico que os campos lembrar e entender, pois o estudante necessitou fazer uma análise refinada sobre a relação dos conceitos específicos da teoria estudada. Isto é, conceitos específicos sobre o espectro contínuo de Raios X, espectro característico de Raios X e Fóton de Raios X.

Neste sentido, o processo de ensino-aprendizagem deve ser organizado e planejado e forma não usual, utilizando materiais instrucionais potencialmente significativos (MOREIRA, 2011), tais como foram evidenciados com a aplicação deste produto educacional (SD), objetivando promover uma aprendizagem significativa, duradoura e propositiva pelos estudantes. Este fato pode ser evidenciado por uma organização cada vez mais elaborada, de acordo com os níveis taxonômicos de Bloom, e expressa a interligação entre vários conceitos fundamentais e avançados sobre uma determinada área do conhecimento (TAVARES, 2007), marcas irrefutáveis da ocorrência da aprendizagem significativa, segundo Ausubel, 1996. Neste sentido, os resultados mostraram que a SD esteve diretamente relacionada com a maneira com que os estudantes passaram a relacionar tais conceitos, no contexto da produção e emissão da Radiação X, contribuindo para um aprendizado diferenciado sobre conceitos da FMC, fato evidenciado pela evolução no rendimento relacionada ao campo analítico do processo cognitivo.

As *Questões 07, 08, 09 e 10* foram classificadas na dimensão do conhecimento procedimental e estão distribuídas nos seguintes campos do processo cognitivo: entender, analisar, aplicar e criar, o que mostra um deslocamento horizontal na taxonomia, isto é, campos que dependem de ações do estudante diante daquilo que foi apreendido no contexto escolar, necessitando tanto de um domínio conceitual quanto um controle sobre a operacionalidade matemática, algo importante para a discussão e

análise da relação entre grandezas físicas da teoria estudada. Dessa forma, o processo de ensino-aprendizagem elaborado de modo a perceber a evolução do conhecimento dos estudantes, de acordo com os níveis taxonômicos de Bloom, evidencia o objetivo comum à aprendizagem significativa proposta por Ausubel, uma vez que este instrumento auxilia no entendimento da organização do desenvolvimento cognitivo (FERRAZ E BELHOT, 2010), ao mesmo tempo em que permite que o conteúdo possa ser organizado de forma a promover um avanço no grau de aprendizagem de forma natural e contextualizada

Neste sentido, as *Questões 07 e 08* trouxeram problemas que aplicam o conhecimento prático da teoria da Radiação X, ao mesmo tempo em que enfatizou o uso de operações matemáticas no contexto de obtenção de grandezas quantificadas no âmbito da FMC. Estas ações expressam o caráter propositivo da aprendizagem significativa, fato que denota uma percepção clara e diferenciada entre os conceitos, abordados, inclusive entre aqueles que aparentemente não estavam relacionados anteriormente, indicando a ocorrência da reconciliação integrativa (MOREIRA, 2011). Nestas questões, esperava-se que os estudantes pudessem utilizar as equações fundamentais da teoria para quantificar grandezas relacionadas com a teoria de Produção e Emissão da Radiação X e fazer uma análise crítica sobre tais quantidades aferidas nos exercícios. Os resultados dos testes mostraram um avanço significativo para a turma que experimentou o produto educacional (SD), lembrando que tais problemas tiveram um grau de rendimento mínimo ou nulo na etapa anterior à aplicação da SD para a turma experimental.

A *Questão 09*, que tratou das aplicações cotidianas da Radiação X, teve um avanço mais tímido que as demais questões analisadas, de acordo com a taxonomia de Bloom revisada, entretanto o rendimento para esta questão já havia sido elevado no pré-teste, possivelmente influenciado pela utilização dos vídeos introdutórios como pseudos organizadores prévios. Nesta questão, esperava-se que os estudantes pudessem relacionar e reconhecer aquelas aplicações citadas ao longo da aplicação do produto educacional (SD), o que já ocorreu desde a apresentação dos vídeos introdutórios, fato que foi implementado em nível de inclusividade mais próximo da temática principal, inclusive para as possibilidades de aplicações cotidianas.

Na dimensão procedimental também foram utilizadas duas questões no campo cognitivo criar, (*Questões 08 e 10*). O alcance desta dimensão, por parte dos estudantes,

expressa um controle sobre o uso da relação entre os conceitos apreendidos de forma significativa, na tarefa de proposição e resolução de situações problema (TAVARES, 2007), uma característica associada ao domínio conceitual, à diferenciação progressiva e à reconciliação integrativa dos conceitos (AUSUBEL 2003). A primeira destas questões buscou explorar aspectos puramente conceituais sobre a Teoria de produção de Radiação X, enquanto a segunda tratou de uma combinação entre aspectos conceituais e operacionais. Neste sentido, esperava-se que os estudantes pudessem relacionar conhecimentos de outras dimensões da taxonomia, envolvendo vários campos cognitivos para perceber e aplicar os conceitos específicos da FMC no estudo da Radiação X, evidenciando a adoção de uma estratégia para estruturação do problema, do ponto de vista matemático e conceitual.

Como foi explicitado anteriormente, do ponto de vista da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, os conceitos mais elaborados são construídos a partir do processo de ancoragem de novas informações na estrutura cognitiva do aluno, processo pelo qual ocorre a assimilação e os outros estágios da aprendizagem substantiva ou não arbitrária (MOREIRA, 2011). Portanto, tal processo é completamente relacionável e explicado com base na utilização da Taxonomia de Bloom revisada (TAVARES, 2007), uma vez que, ao atingir os níveis taxonômicos mais elevados ou elaborados, tanto verticalmente, quanto horizontalmente, nesta taxonomia, o estudante mostra não só que ocorreu este tipo de aprendizagem como também, evidencia que tal processo foi o responsável pela reestruturação cognitiva ocorrida durante o processo de ensino-aprendizagem, evidenciado por este instrumento.

Neste sentido, as *Questões 08 e 10*, mostram algumas das estratégias e procedimentos adotados pelos estudantes ao lidarem com estes problemas, algo que denota seu domínio conceitual sobre a situação apresentada pelo professor. A seguir, são apresentadas algumas das abordagens avaliadas como significativas para a resolução destes problemas, por parte dos estudantes da turma experimental, no âmbito de aplicação da SD, sendo que outras abordagens, não mostradas aqui, e também encontradas neste contexto, mostraram uma evolução na forma de lidar com o conhecimento construído ao longo da intervenção pedagógica, na turma experimental.

Questão 08: Para a obtenção de um feixe de radiação X, elétrons são acelerados, a partir do cátodo, e lançados contra o ânodo, formados por certo elemento químico. Neste processo, um elétron do primeiro nível atômico do núcleo do material do ânodo foi arrancado por uma colisão do elétron incidente, tendo sua vaga, nesse primeiro nível, sido ocupada por um elétron proveniente do segundo nível atômico deste átomo do núcleo. Tomando esta informação com base para o seu problema, classifique o feixe de radiação X produzida e calcule a frequência do fóton de raio X produzido no processo.

A EMISSÃO QUE OCORRE É DE QUANTIZAÇÃO DE ENERGIA DO FÓTON DE RAIOS X

RESULTADO DA TRANSIÇÃO DE ELÉTRONS NOS NÍVEIS DO MATERIAL

$$c = \lambda \cdot f$$

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} \rightarrow \text{FREQUÊNCIA}$$

Questão 08: Para a obtenção de um feixe de radiação X, elétrons são acelerados, a partir do cátodo, e lançados contra o ânodo, formados por certo elemento químico. Neste processo, um elétron do primeiro nível atômico do núcleo do material do ânodo foi arrancado por uma colisão do elétron incidente, tendo sua vaga, nesse primeiro nível, sido ocupada por um elétron proveniente do segundo nível atômico deste átomo do núcleo. Tomando esta informação com base para o seu problema, classifique o feixe de radiação X produzida e calcule a frequência do fóton de raio X produzido no processo.

Sistema de raios X  $\rightarrow$  Raios X característicos  $\rightarrow$  Transição de elétrons nos níveis quânticos do átomo

Energia do fóton  $\rightarrow h \cdot f$

$$h \cdot f = \Delta E$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = \Delta E$$

$$\Delta E \cdot \lambda = h \cdot c$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E_{\text{nível}}}$$

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\Delta E_{\text{nível}}}$$

Figura 56 Resposta da questão 08 da turma experimental

Para a *Questão 10*, esperava-se que o estudante pudesse criar/elaborar um texto indicando e explorando a relação entre os conceitos quânticos no contexto da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, enfatizando os conceitos de Fóton de Raios X, Dualidade Onda-Partícula, Quantização da energia e Estado Quântico, bem como a utilização do modelo de níveis e subníveis, na explicação do espectro característico da Radiação X. Nesta tarefa, os estudantes necessitaram do domínio de outros conhecimentos das etapas anteriores da taxonomia, uma vez que o campo criar trata de estruturas muito mais específicas e relações diferenciadas, dentro do processo de aprendizagem, indicando uma maturidade do estudante, no âmbito da aplicação do produto educacional (SD), evidenciando sua eficácia para o ensino de conceitos quânticos no nível médio de ensino. A seguir são mostradas algumas destas abordagens apresentadas pelos estudantes.

**Questão 10:** Com base na teoria quântica, explique a utilização do modelo de subníveis para o entendimento completo da produção e emissão da radiação X, indicando aspectos/diferenças não contemplados na teoria clássica.

Os subníveis é usado para mostrar como ocorre a emissão de raios X característicos, emite feixes de raios X com frequência e comprimento de onda. O feixe não é da teoria clássica, é da teoria quântica que explica a liberação desse tipo de raios X. Também pode observar o conceito de onda partícula na física quântica para explicação dos raios X.

**Questão 10:** Com base na teoria quântica, explique a utilização do modelo de subníveis para o entendimento completo da produção e emissão da radiação X, indicando aspectos/diferenças não contemplados na teoria clássica.

O modelo de níveis de energia usa os subníveis que explica o que ocorre nos picos de raios X quando um elétron é arrancado depois de uma colisão, outro elétron vai pra esse lugar e libera feixe de raios X, os feixes são formados de pacotes de energia que se propagam no espaço (raios X característicos), com frequência, comprimento de onda e energia.

**Figura 57** Resposta da questão 10 da turma experimental

Os resultados mostraram que, para os dois problemas que exploraram o campo criar, no processo cognitivo, os estudantes tiveram um avanço muito significativo em relação ao pré-teste aplicado. Esta é uma indicação clara, a partir da taxonomia utilizada, que a estratégia de ensino baseada na aplicação do produto educacional (SD) influenciou nos resultados, uma vez que a maioria ou totalidade dos estudantes não haviam sequer explorado tais questões anteriormente. Vale ressaltar que este tipo de problema pode ser influenciado pela visão de mundo que cada estudante possui, e tal comportamento é uma vertente importante no processo de construção significativa da aprendizagem (MOREIRA, 2011).

A partir da análise, verificou-se que o rendimento dos estudantes aumentou gradativamente, para as questões que pertencem a níveis taxonômicos mais elevados, na classificação de Bloom revisada. Esta percepção reforça a constatação da ocorrência de aprendizagem significativa no processo, uma vez que tal aprendizagem está relacionada com ao grau de complexidade de organização do conhecimento na estrutura cognitiva do estudante (AUSUBEL, 2003), isto é, na medida em que os estudantes tratam e

resolvem problemas associados aos campos cognitivos mais avançados e pertencentes a dimensões mais elaboradas do conhecimento, maiores são as evidências da ocorrência da aprendizagem significativa, decorrente da intervenção pedagógica utilizada no processo (TAVARES, 2007).

### **5.3 Um olhar para a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (Análise dos mapas conceituais)**

A análise comparativa envolvendo os mapas conceituais produzidos pelos estudantes participantes da pesquisa consistiu na observação da presença da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora de conceitos ao longo da intervenção pedagógica. Estes conceitos são indícios irrefutáveis da ocorrência da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1988), embora a reconciliação integradora de conceitos seja mais sutil e dependa de um tempo maior da vivência do conteúdo por parte dos estudantes. A partir da proposta da tarefa de construção dos mapas conceituais, esperava-se que os estudantes pudessem organizar o máximo conteúdo relacionado à Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, enfatizando os conceitos da Teoria Quântica, aplicações cotidianas desta radiação, bem como os conceitos de base ou subsunçores para a sua produção e emissão.

Neste contexto de aplicação de um produto educacional (SD) para o ensino de conceitos quânticos a partir da Teoria da Radiação X, a diferenciação progressiva está relacionada com a construção do conhecimento partindo de conceitos mais gerais e inclusivos e depois diferenciando-os em uma escala progressiva (MOREIRA, 2011), isto é, os conceitos mais específicos de certa teoria deveriam aparecer em uma fase mais aprofundada da estrutura do mapa conceitual. Entretanto, o próprio mapa conceitual não segue uma forma rígida para sua construção e nem tem um formato pré-definido (NOVAK, 1997), o que mostra a necessidade de uma análise sobre cada situação, na tentativa de perceber a diferenciação progressiva dos conceitos em sua estrutura.

Por outro lado, a reconciliação integradora pode ser percebida a partir das possíveis relações de similaridade, interligação, semelhança ou diferenças entre os conceitos chave presentes em uma teoria (MOREIRA, 1982). Para o contexto de ensino de conceitos quânticos, com base na exploração da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X, a reconciliação integradora de conceitos, indica uma percepção mais

refinada dos estudantes sobre como os conceitos mais complexos estão relacionados, e de como estes conceitos se relacionam com conceitos que aparentemente não estavam relacionados.

Os resultados destas análises são mostrados aqui, na medida em que as observações realizadas verificaram um comportamento similar para as estruturas construídas pelos estudantes. Os mapas conceituais comparados e apresentados, aqui nesta seção, foram construídos pelos mesmos estudantes nas fases inicial e final do estudo, nas turmas controle e experimental, o que proporcionou a possibilidade de comparação entre a evolução ocorrida no processo de organização do conhecimento para os dois grupos de estudantes. Assim, nesta exposição analítica dos mapas conceituais, a presença da diferenciação progressiva é indicada por meio de uma seta com a sigla DP, enquanto a reconciliação integradora é assinalada por outra seta com a sigla RI.

Observou-se nesta análise, que os estudantes, de forma geral, produziram mapas conceituais mais completos e organizados que aqueles produzidos na fase inicial do estudo. A maioria buscou organizar os conteúdos a partir da explicação da teoria de Produção e Emissão da Radiação X, encadeando justificativas clássicas e também utilizando conceitos e argumentos presentes na Física Moderna, o que mostra o caráter positivo da intervenção pedagógica, tanto para a turma controle, onde foi adotada uma estratégia considerada tradicional, quanto para a turma experimental, onde foi vivenciada uma estratégia de ensino baseada na aplicação da SD.

Entretanto, na busca pela organização do conhecimento adquirido durante a intervenção pedagógica, verificou-se, a partir dos mapas conceituais que ilustram esta análise, que houve, em muitas situações, um encadeamento confuso ou incorreto sobre alguns conceitos fundamentais para a teoria estudada, principalmente para o grupo de estudantes da turma controle, denotando a limitação na ocorrência da diferenciação progressiva ou reconciliação integrativa de conceitos. Isso fica claro quando são observados os mapas conceituais produzidos por estes estudantes, nos quais, a relação entre os conceitos e a ordem de ocorrência dos fenômenos físicos não foram explicitados de forma adequada. Apesar desta limitação, houve um avanço em relação à percepção da necessidade dos conceitos quânticos para a explicação satisfatória do tema estudado, que neste caso, foi a Teoria da Radiação X. Os mapas das figuras 58, 59, 60 e 61 foram produzidos por estudantes da turma controle nas duas fases do estudo.

A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

C Aluno 01



A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

C Aluno 02



Figura 58 Mapas conceituais do pré teste da turma controle dos alunos 01 e 02

A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

C. Aluno 03



Figura 59 Mapa conceitual do pré teste da turma controle do aluno 03

A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

C. Aluno 01

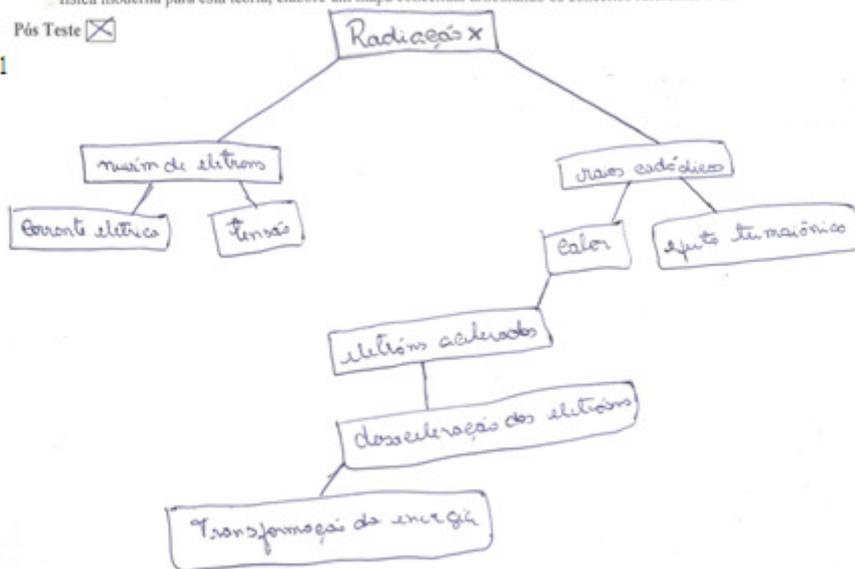
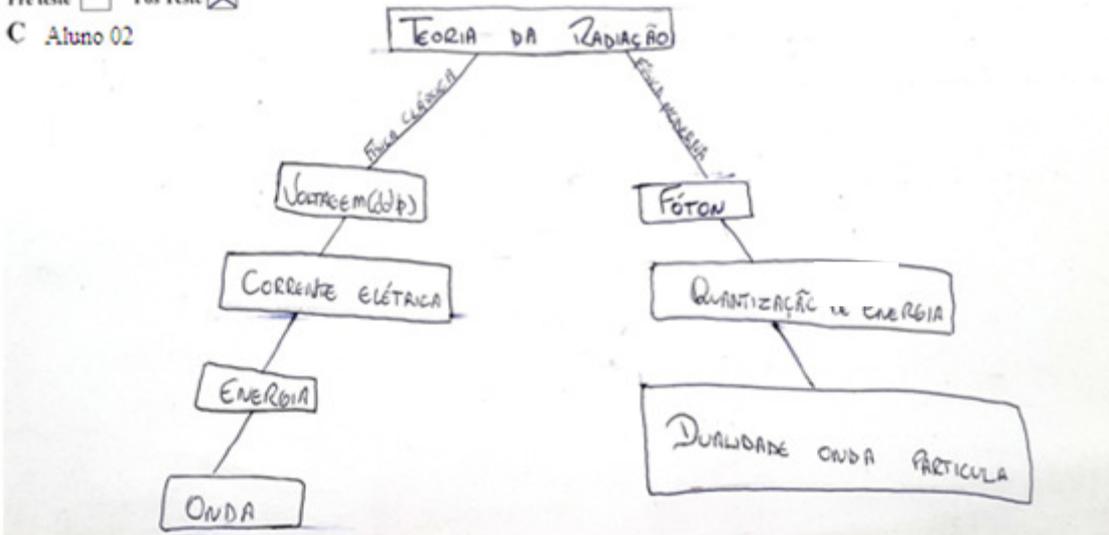


Figura 60 Mapa conceitual do pós teste da turma controle do aluno 01

A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

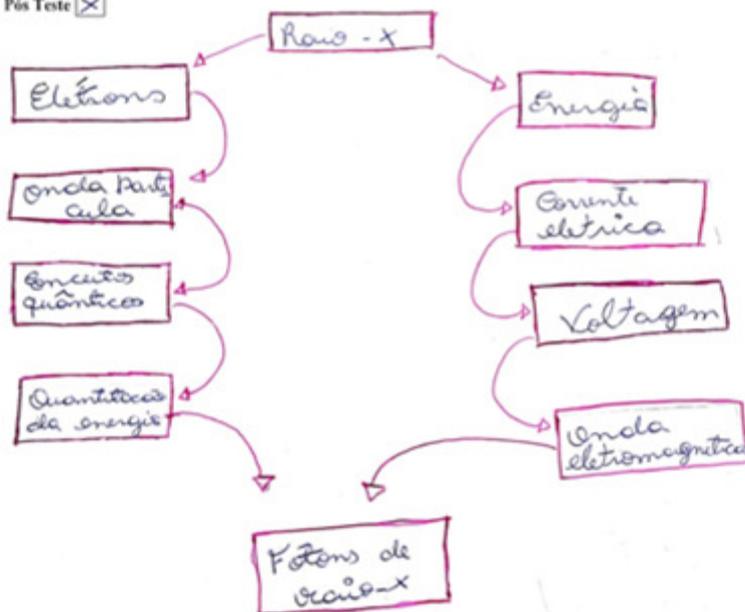
C Aluno 02



A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

C Aluno 03



**Figura 61** Mapas conceituais do pós teste da turma controle dos alunos 02 e 03.

A partir da observação dos mapas conceituais apresentados, percebe-se que muitas propriedades ondulatórias apresentadas pelos estudantes nos mapas do pré-teste estão organizadas de forma confusa no contexto, enquanto nos mapas do teste os conceitos clássicos e modernos não estão em uma ordem de diferenciação adequada à teoria estudada. Contudo, percebe-se a diferenciação progressiva em algumas organizações conceituais, que chama a atenção para a importância de conceitos quânticos no contexto estudado, fato que é mais raro em relação à reconciliação

integrativa entre os conceitos, feita de forma diretiva, sem preocupação com o fenômeno físico em questão.

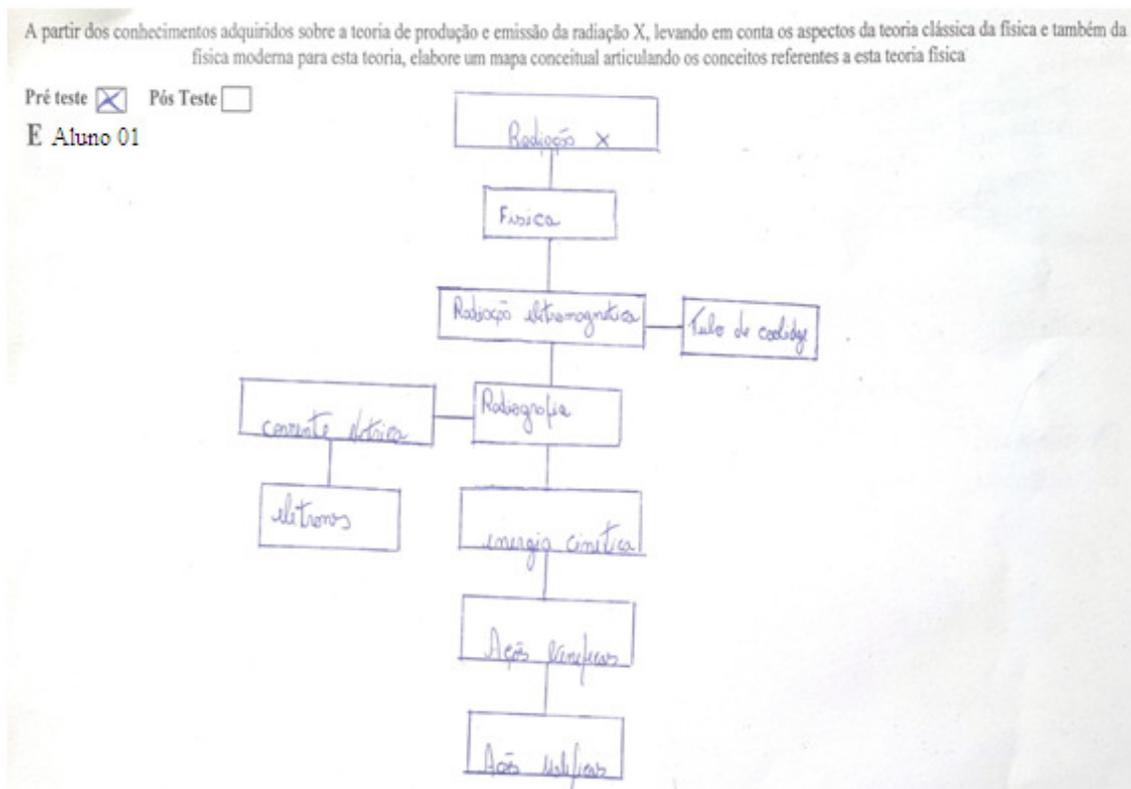
A expressão de um encadeamento confuso, apresentado por um estudante no âmbito da construção de um mapa de conceitos, segundo Novak, pode denotar a limitação da metodologia utilizada, no sentido de promover um desenvolvimento mais amplo e significativo do estudante em relação à sua aprendizagem. Segundo o autor, o processo de ensino-aprendizagem deve ser elaborado de modo a promover uma evolução ou aumento na complexidade de forma natural, permitindo ao estudante a percepção e a elaboração dos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (NOVAK, 2003), tarefa que é dificultada em um cenário que utiliza apenas a metodologia tradicional para organizar o processo de ensino-aprendizagem, pelo menos, para a maioria dos estudantes.

Neste tocante, a metodologia tradicional tende a ser mais eficiente para os estudantes que se identificam com a disciplina (PEDUZZI, 1997), em detrimento daqueles que precisam ser motivados e encorajados a participarem do processo de ensino-aprendizagem nas aulas de Física, algo que é refletido na materialização deste conhecimento, através da construção dos mapas conceituais, após um período de intervenção pedagógica. Sendo assim, não será possível, para a grande parte dos estudantes, alcançarem resultados satisfatórios, do ponto de vista da aprendizagem significativa, sem a implementação de uma metodologia que possibilite a interação destes estudantes com o próprio processo de aprendizagem (NOVAK, 2003), uma vez que o caráter dinâmico da Ciência (Física) precisa ser associado de forma significativa e não arbitrária com o cotidiano do aprendiz, condição fundamental para a ocorrência da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003).

Dessa maneira, os resultados apresentados pelos mapas conceituais produzidos pelos estudantes da turma controle reforçam a existência de uma limitação desta metodologia na tarefa de inserir e discutir os tópicos associados à FMC no nível médio de ensino, para a maioria dos estudantes, apesar deste estudo indicar avanços, principalmente sobre a conscientização a respeito do papel da Física Moderna no cotidiano das pessoas, e também sobre a necessidade dessa abordagem para a explicação e entendimento da Teoria de Produção e Emissão de Radiação X. Dessa realidade, emerge o fato de que o conhecimento adquirido pela maior parte dos estudantes é ainda deliberadamente introdutório ou diretivo, ficando claro que existe

uma limitação na organização dos conceitos em um patamar mais avançado, mesmo com o interesse dos estudantes. Tal cenário pode ser alterado com a utilização de ferramentas adequadas para promover a inserção da FMC de uma forma não usual e relacionada ao cotidiano dos estudantes.

A seguir, são apresentados os mapas conceituais produzidos por estudantes da turma experimental nas duas fases do estudo, figuras 62, 63, 64, 65 e 66. Em relação aos mapas conceituais produzidos por este grupo, verificou-se a tentativa de organização dos conceitos abordados conforme a ocorrência de Produção e Emissão da Radiação X, enfatizando certa polarização nos argumentos e conceitos utilizados neste contexto de explicação dos espectros característico e contínuo para a Radiação X. Além disso, ficou mais latente, nos mapas conceituais apresentados nos testes, que a ordem para a produção e emissão da Radiação X é mais clara para a grande parte dos estudantes.

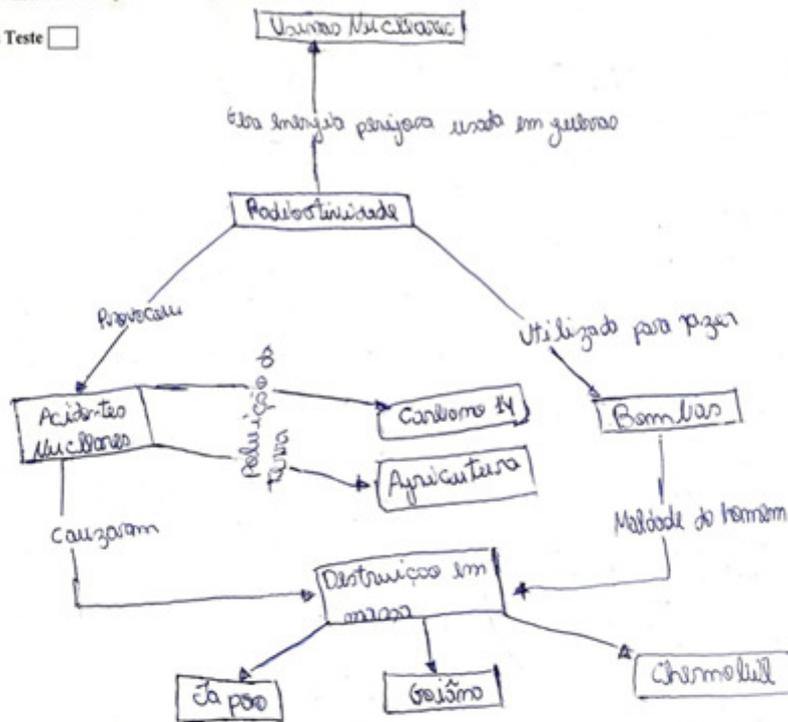


**Figura 62** Mapa conceitual do pré teste da turma experimental do aluno 01

A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

E. Aluno 02



A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

Pré teste  Pós Teste

E. Aluno 03

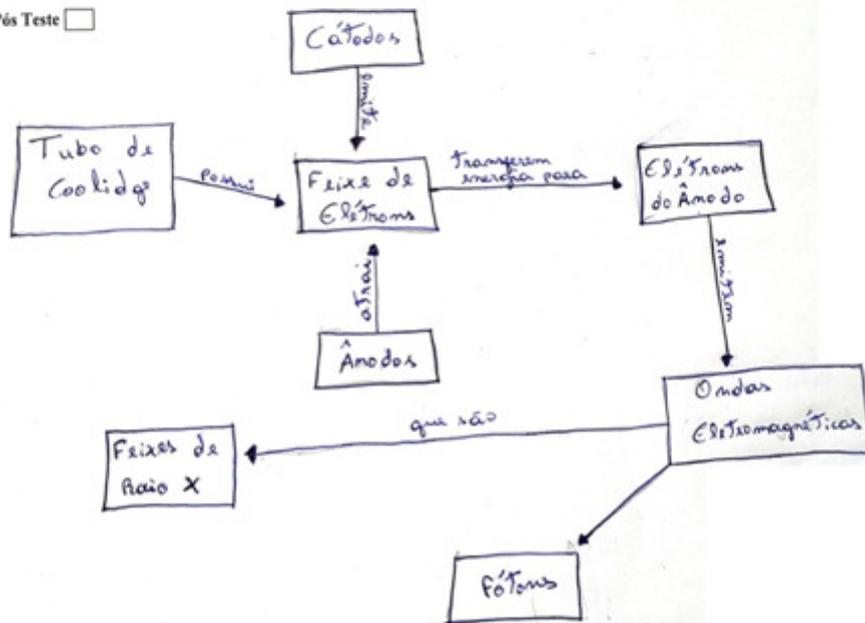


Figura 63 Mapas conceituais do pré teste da turma experimental dos alunos 02 e 03

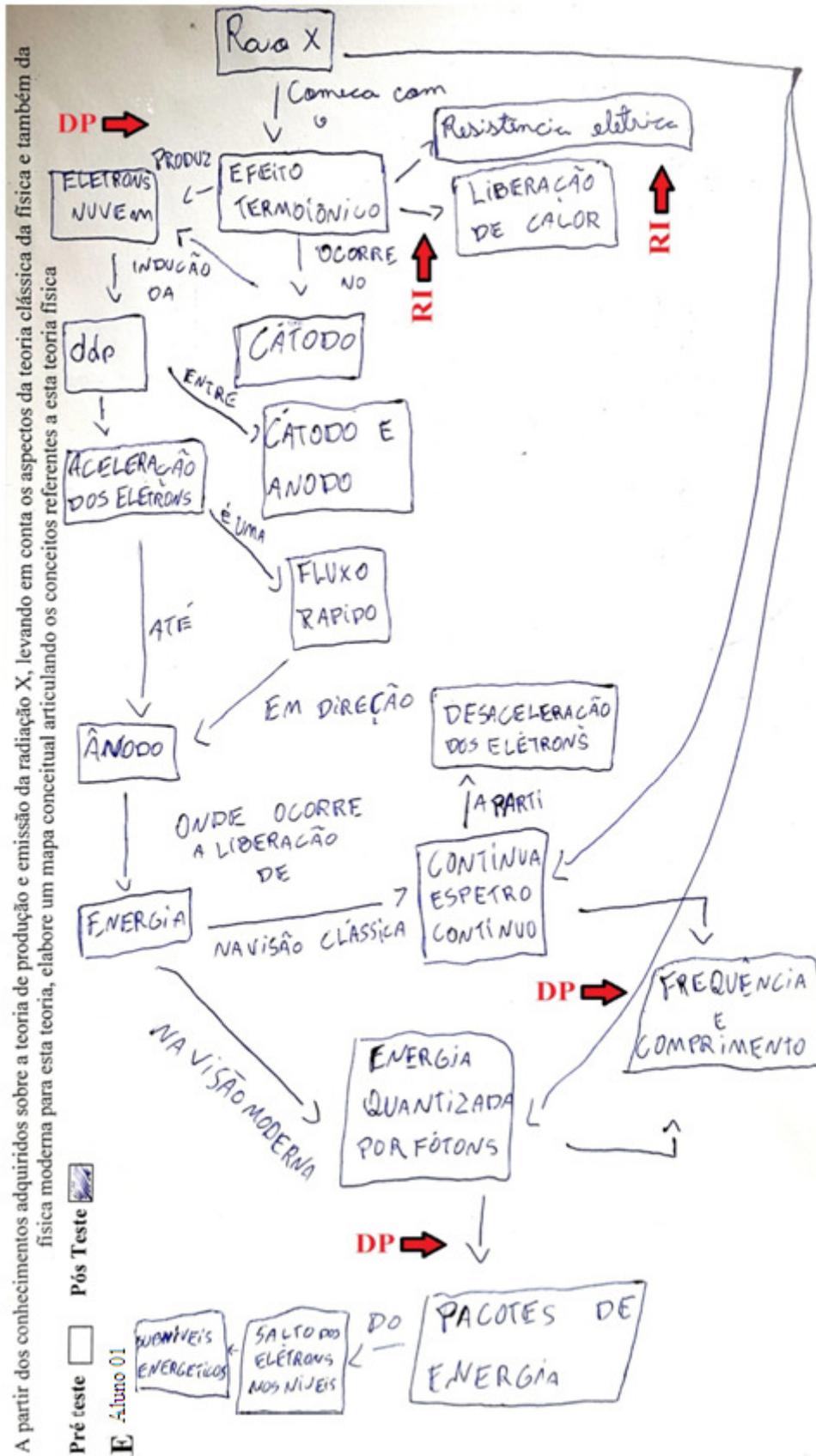


Figura 64 Mapa conceitual do pós teste da turma experimental do aluno 01

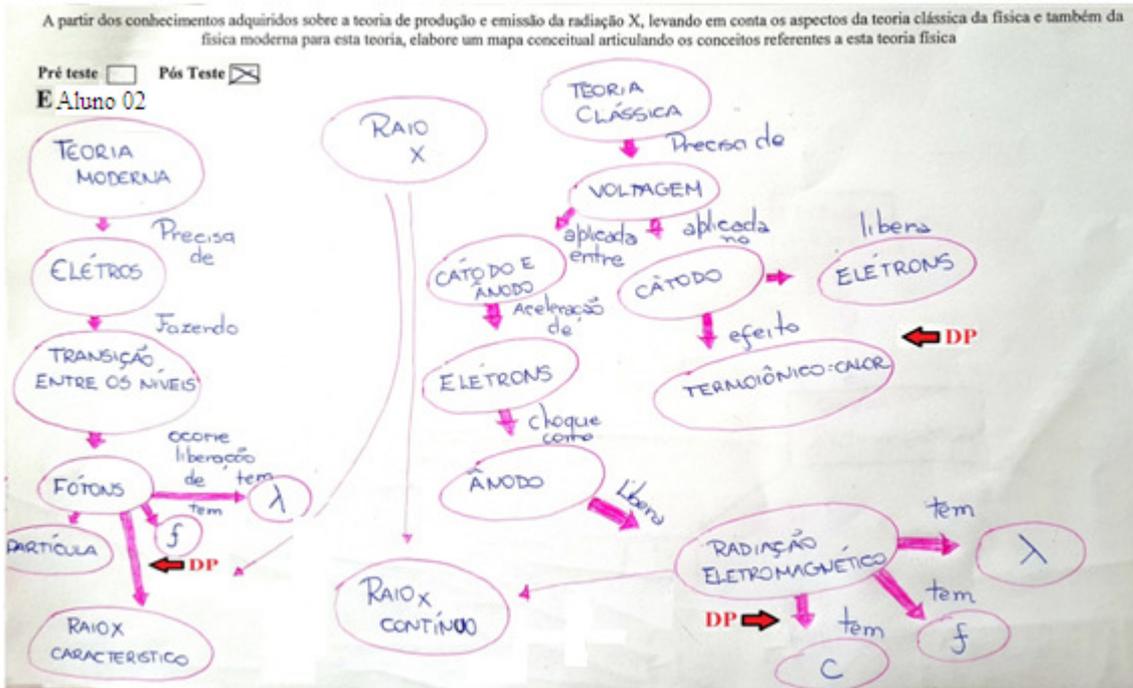


Figura 65 Mapa conceitual do pós-teste da turma experimental do aluno 02

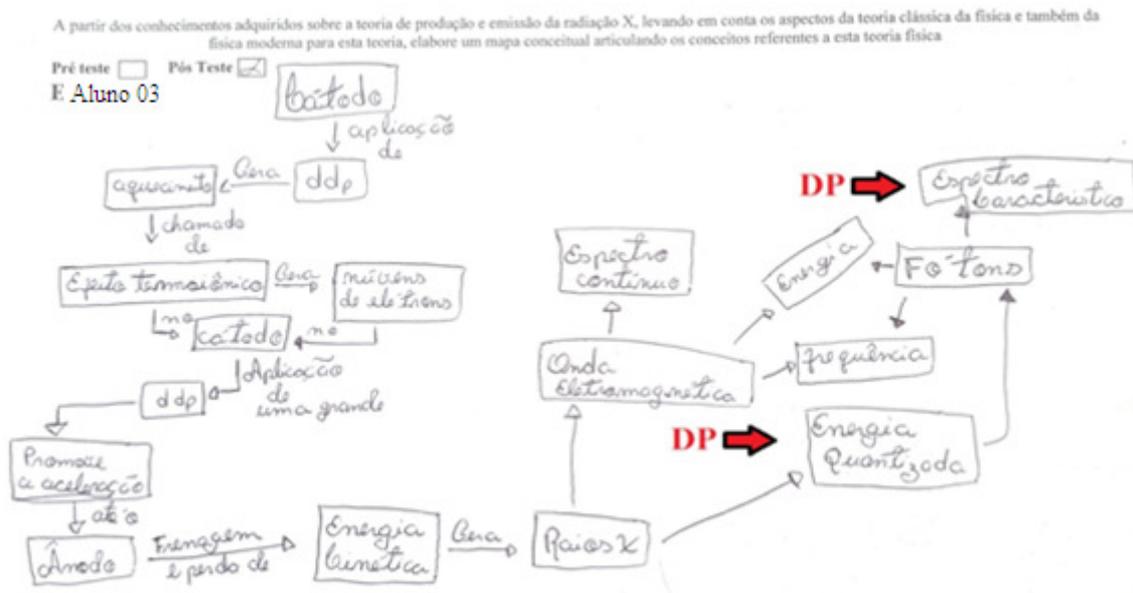


Figura 66 Mapa conceitual do pós-teste da turma experimental do aluno 03

Fica claro, nas representações, que a forma de estruturar o conhecimento adquirido durante o processo de ensino-aprendizagem, evoluiu de forma significativa, na medida em que vários conceitos são abordados a partir de outros que são mais gerais, permitindo a construção de um encadeamento lógico e claro. Esta é uma evidência da

diferenciação progressiva no processo e reforça a ocorrência da aprendizagem significativa (NOVAK, 1997). Além disso, há uma evolução da organização, quando comparada aos mapas conceituais apresentados no pré-teste, evidenciando a capacidade atrelada a essa ferramenta, na avaliação do percurso entre os conhecimentos iniciais e aqueles mais evoluídos, dentro do processo de formação do estudante, sendo uma ferramenta não usual para medir ou aferir a aprendizagem dos alunos (MOREIRA, 2011).

Neste sentido, é possível perceber que os estudantes passam a abordar situações e encadeamentos que não foram discutidos nem apresentados inicialmente, reforçando a validação do produto educacional (SD) aplicado no contexto. Em outros momentos, mesmo que em uma percepção mais sutil, existe a articulação entre conceitos mais amplos e que não são geralmente relacionados por estudantes do EM neste contexto, como por exemplo, a associação entre conceitos da eletricidade estática e da eletrodinâmica com a produção e emissão da Radiação X, caracterizando a reconciliação integradora de conceitos, algo que expressa um domínio conceitual mais elevado por parte do estudante (TAVARRS, 2007). Muitos destes conceitos também foram elencados no pré-teste, porém de forma errônea ou com um encadeamento inadequado para o fenômeno estudado.

Outro aspecto importante presente na maioria dos mapas construídos pelos estudantes da turma experimental após a aplicação da SD foi uma evolução na organização estrutural do conhecimento apreendido. Esta percepção está muito clara na tentativa de se mostrar as duas visões necessárias para a explicação da Teoria da Radiação X: a visão clássica e a visão moderna. Vários estudantes montaram a estrutura do mapa atentando para uma polarização que sinalizava como os conceitos estavam organizados em cada uma destas abordagens científicas, embora tenham deixado claro, em vários momentos, que alguns conceitos são comuns às duas abordagens científicas para a emissão da Radiação X. Este fato expressa um avanço no domínio conceitual da teoria estudada e uma reestruturação desse conhecimento na estrutura cognitiva do estudante, o que evidencia os processos da diferenciação progressiva e consequentemente a ocorrência da aprendizagem significativa (MOREIRA, 1982).

Esta análise ainda revelou uma significativa evolução, no que se refere à ordem de causas e efeitos envolvendo a produção da Radiação X, principalmente para o grupo da turma experimental. Muitos estudantes verbalizaram sobre a construção dos mapas,

ênfatisado as principais etapas dessa produção, como por exemplo, a necessidade do efeito termoiônico, da aplicação de uma voltagem, aceleração dos elétrons até o ânodo, bem como a desaceleração deste feixe, seguida da emissão de Raios X. Esta percepção, a partir das falas dos estudantes, reforça a ocorrência da aprendizagem significativa, uma vez que os conceitos apreendidos devem ser transferidos de maneira verbal e também visual, constituindo um aspecto importante na constatação desse tipo de aprendizagem (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Além disso, evidencia a diferenciação progressiva, verificando a ocorrência da aprendizagem significativa, ao mesmo tempo em que, mostra a importância do mapa conceitual, não só como um instrumento de avaliação, mas também como uma ferramenta importante no planejamento das ações didáticas do professor (NOVAK, 1982).

Os mapas que foram apresentados neste capítulo foram produzidos pelos mesmos estudantes nas duas fases do estudo, o que mostra que a utilização do mapa conceitual é uma ferramenta frutífera para a avaliação da aprendizagem significativa, uma vez que se caracteriza como uma estratégia não usual para a tarefa de avaliação (NOVAK, 2003). Esta ferramenta permite uma avaliação global, processual e também formativa para os estudantes, promovendo, através do seu uso, uma possibilidade de reflexão sobre as maneiras de estruturar o ensino para atender a um determinado objetivo educacional (TAVARES, 2007). Além disso, cada mapa conceitual apresentou-se com uma ferramenta não convencional de avaliação, desenhando um panorama desafiador para o estudante e evitando a simulação da aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011), na medida em que explora, de maneira nova, a forma como o conhecimento foi construído e organizado.

Dessa forma, o uso de mapas conceituais mostrou-se eficaz na tarefa de perceber a evolução do conhecimento adquirido pelos estudantes ao longo da intervenção pedagógica, influenciando diretamente na forma com que estes estudantes passarão a enxergar o processo educacional daqui por diante, mesmo para os estudantes que não tinham empatia para com a disciplina Física. Portanto, a estratégia de ensino mostrou-se produtiva para a inserção dos conceitos quânticos a partir do estudo Radiação X no ensino médio, servindo para despertar o interesse dos estudantes para este campo da Ciência e chamando a atenção para a complexidade e importância do entendimento do processo de ensino-aprendizagem em sala de aula.

## Capítulo 6

### Considerações Finais

A Física Moderna e Contemporânea deve ter um lugar de destaque ao longo ensino médio. Isso contribui substancialmente para uma formação mais completa do estudante, não somente em relação ao entendimento sobre os avanços tecnológicos e benefícios produzidos por este ramo da física, como também sobre a própria natureza do conhecimento e suas formas de produção. Adotar medidas no sentido de promoção e difusão das discussões sobre os temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea, nas escolas de nível médio, é um caminho seguramente útil, no que tange a uma formação geral pautada no fortalecimento da Ciência, no desenvolvimento do país e, sobretudo das pessoas.

Portanto, a aplicação de um produto educacional diferenciado, uma sequência didática construída a partir de metodologias específicas, e embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, mostrou-se eficiente na inserção e discussão de conceitos da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, a partir do estudo da teoria da Radiação X. Sua aplicação foi capaz de promover o interesse dos estudantes, organizar o conteúdo discutido, relacionar as etapas do processo de ensino-aprendizagem e difundir a tecnologia, por meio dos objetos de aprendizagem, no âmbito da sala de aula. Isso permitiu a construção de um cenário completamente favorável ao desenvolvimento da intervenção pedagógica, favorecendo a ocorrência de uma aprendizagem significativa dos conceitos quânticos envolvidos na produção e emissão da Radiação X.

Outra importante conclusão deste trabalho revelou que: a utilização do método tradicional foi capaz de produzir resultados positivos para o ensino de conceitos quânticos a partir do estudo da radiação X, no nível médio, entretanto, esta metodologia mostrou-se limitada, principalmente na tentativa de promover o interesse da maior parte dos estudantes, sendo eficaz apenas para aqueles alunos que já possuíam uma motivação intrínseca ou empatia pela disciplina, em sala de aula, o que dificulta na tarefa de motivar o grupo como um todo. Além disso, esta abordagem tende a distanciar a Ciência da escola, no sentido de tornar as aulas enfadonhas e cansativas, cenário não desejável para o ensino de Física nos dias atuais. Entretanto, na falta de metodologias

específicas e aparato tecnológico adequado, será conveniente tratar desta temática, a partir de tal metodologia.

No outro extremo, este trabalho traz como principal conclusão a de que é possível promover a aprendizagem significativa, no ensino de Física, a partir de uma preparação adequada dos docentes, utilização de técnicas inovadoras, bem como ferramentas e tecnologias não usuais. Isto é, o interesse do estudante deverá ser despertado em todos momentos em sala de aula, sendo que esse interesse, aliado aos seus saberes iniciais, poderão influenciar na sua aprendizagem. Neste sentido, as intervenções realizadas durante a pesquisa mostraram que a ocorrência da aprendizagem significativa foi proporcionada por uma metodologia inovadora, pautada em uma relação entre Ciência, conhecimento e tecnologia, capaz de promover as condições mínimas para que este tipo de aprendizagem fosse verificado.

Neste tocante, o produto educacional (SD) desenvolveu um papel claro e fundamental na organização do processo de ensino-aprendizagem ao longo da pesquisa. A aplicação desta SD tornou o percurso, em busca do conhecimento, bem definido, tanto para os estudantes quanto para o professor, facilitando na percepção das tarefas dos estudantes, bem como na forma de aferir o conhecimento adquirido. Desta maneira, a SD serviu como um produto educacional que potencializou a aprendizagem significativa dos estudantes, na medida em que apresentou o conhecimento de uma forma interativa, não usual, inovadora e relacionada com o cotidiano dos estudantes, contribuindo para a implementação do cenário onde ocorreu a aprendizagem significativa dos conceitos relativos à Mecânica Quântica, no âmbito de estudo Radiação X.

Contudo, o cenário atual da escola pública brasileira ainda revela uma inserção limitada dos temas pertinentes à FMC. Dessa forma, promover uma formação inicial pautada na relevância desse ramo da Física, e incentivar a continuidade dos estudos dos professores, após a finalização da licenciatura é uma forma de promover, em primeira instância, a mínima qualidade necessária para o desenvolvimento das ações referentes à inserção dos temas da FMC no ensino médio. Somente é possível ensinar com clareza aquilo que se conhece bem, e isto também vale para a Física Moderna.

Por outro lado, não se pode negar que a tecnologia é uma ferramenta importante para potencializar o ensino e a aprendizagem dos estudantes no ensino médio. Vários são os recursos disponíveis e que podem ser utilizados das mais variadas maneiras, na

tentativa de tornar as aulas de Física mais interessantes. Este trabalho mostrou que a utilização de objetos educacionais, muito deles pautados em recursos computacionais, foi imprescindível na tarefa de potencializar a aprendizagem significativa. Negar esta evolução é deixar de lado um aliado importante na busca pela aprendizagem significativa, ao mesmo tempo em que se torna o aprendizado pesado e desmotivador. Utilizar-se de ferramentas tecnológica, bem como objetos de aprendizagem, é colocar os estudantes em uma posição de vanguarda na construção do conhecimento, na medida em que estes objetos permitem uma interação lúdica e direta entre o estudante e o conteúdo que está sendo apreendido.

Nesse sentido, faz-se necessária uma modernização das escolas públicas, no sentido de garantir, por parte dos estudantes, acesso à rede mundial de computadores, permitindo que se possam utilizar equipamentos e aplicativos para potencializar as aulas por meio de animações, vídeos e simulações. Além disso, as aulas devem ser apresentadas de uma maneira que promova o interesse dos estudantes, isto é, em uma formatação diferente daquela utilizada comumente e que foi apresentada por esta SD do trabalho de pesquisa. Isto permitirá ao professor desenvolver um planejamento objetivo, no qual todas as suas etapas sejam conhecidas pelos estudantes, estimulando a participação dos mesmos, tornando o processo de ensino-aprendizagem mais prazeroso e significativo.

Também inserido neste contexto, uma das conclusões deste trabalho dissertativo é que, o processo de avaliação do conhecimento deve colocar os estudantes diante de uma condição inovadora, permitindo, com o máximo de eficácia, a percepção do grau da aprendizagem ocorrida durante o percurso pedagógico. A aprendizagem dos temas da FMC deve promover, do ponto de vista conceitual, uma evolução no entendimento dos estudantes, além de garantir a discussão (verbalização) sobre a aplicação dos aspectos matemáticos nas teorias pertencentes a este ramo da Física e também seu alcance na sociedade. Assim, a utilização de um questionário, construído a partir da Taxonomia de Bloom revisada e a construção de mapas conceituais, apresentou-se com estratégia positiva nesta tarefa importante do processo educacional.

Finalmente, essa forma de intervenção pode e deve ser almejada pelos professores, no sentido de aumentar a qualidade do ensino de Física praticado nas escolas públicas de nível médio do Brasil, principalmente no que tange à inserção da Física Moderna e Contemporânea, tais como discussões relacionadas aos conceitos

quânticos abordados nesta pesquisa, uma vez que a difusão deste ramo da Física é fundamental para o entendimento acerca do desenvolvimento da própria Ciência como construção humana e de várias das aplicações tecnológicas que surgiram no mundo a partir do início do século passado.

## Referências

ABBAD G.S. BORGES-ANDRADE J.E. **Aprendizagem Humana em Organização de Trabalho**. In: ZANELLI, J. C.; BORGES- ANDRADE, J.E.; BASTOS, A.V.B. *Psicologia, Organizações e Trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

ANDERSON, L. W. et. al. **A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives**. Nova York: Addison Wesley Longman, 2001.

ANJOS, M. J. Análise de solos agrícolas por Fluorescência de Raios X por Dispersão em Energia. 2000. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Nuclear) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

AMARAL, Ivan A.; MEGID NETO, Jorge. Qualidade do livro didático de Ciências: o que define e quem define? **Ciência & Ensino**, Campinas, n.2, p. 13-14, jun.1997

ARAGÃO, R.M.R. **Teoria da Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel**. Campinas, 1976, Tese de Doutorado – Faculdade de Educação, UNICAMP.

ANDERSON, R. C. & AUSUBEL, D. P. (Orgs.) **Readings in the psychology of cognition**. New York: Holt, Rinehart and Winston, p.8, 1966.

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton, 1963.

AUSUBEL, D. **Cognitive structure and the facilitation of meaningful verbal learning**. In: ANDERSON, R.C. & AUSUBEL, D. P. (Orgs.) *Readings in the psychology of cognition*. New York: Holt, Rinehart and Winston, p.98-112, 1966.

AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

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

AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D.. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Trad. de Lígia Teopisto. Lisboa: Paralelo Editora, LDA., 2003.

BARROS, R.M., MELONI, L.G.P. O uso de metáforas para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem de cálculo diferencial e integral. **XXXIII Congresso Brasileiro de ensino de Engenharia**. ABENGE/UFPE-UFPE. Campina Grande. Set. 2005.

BANDURA, A. A evolução da teoria social cognitiva. In: BANDURA, A.; AZZI, R. G.; POLYDORO, S. **Teoria social cognitiva: conceitos básicos**. Porto Alegre: Artmed, 2008, p. 15-41.

- Batista, R.T. **Caracterização de um sistema de fluorescência de Raios X por dispersão de energia para análise quantitativa de ligas metálicas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.
- BAZZO, Walter Antonio. *Ciência, Tecnologia e Sociedade: e o contexto da Educação Tecnológica*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998
- BENJAMIN, A. A.; TEIXEIRA, O. P. B. Análise do uso de um texto paradidático sobre energia e meio ambiente. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n.1, p.74–82, 2001.
- BONIFÁCIO D.A.B. **Validação do GEANT4 para a produção e detecção de Raio X na faixa de energia de rádiodiagnóstico**. Tese (Doutorado). USP, São Paulo, 2007.
- BORUCHOVITCH, E. Estratégias de aprendizagem e desempenho escolar: considerações para a prática educacional. *Psicologia: reflexão e crítica*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-79721999000200008&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-79721999000200008&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acessado em: 13 jan 2015
- BEST, J.W. *Research in education*. **Englewood Cliffs**, NJ: Prentice Hall. 1970.
- BETTIO, R. W. de.; MARTINS, A. **Objetos de Aprendizagem – Um novo modelo direcionado ao Ensino a Distância**. Disponível em: <<http://www.universia.com.br/materia/materia.jsp?id=5938>>. Acesso em : mar. 2015
- BEHAR, P. A. (Cols.). **Modelos pedagógicos de educação à distância**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- BLOOM, B.S. **Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals**. New York: Longmans Green, 1956.
- BLOOM, B. S. et al. **Taxionomia de objetivos educacionais**. Domínio cognitivo. Trad. Flávia Maria Sant’Anna. Porto Alegre, Globo, 1972.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura - MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio:bases legais** . Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ciências da Natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, 2002
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº 466 de 12 de dezembro de 2012 do Conselho Nacional de Saúde**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2012. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466\\_12\\_12\\_2012.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html)>. Acesso em: 04 ago. 2014.
- CAMPBELL DT; STANLEY JC. **Delineamentos Experimentais e Quase-experimentais de pesquisa**. São Paulo: EDUSP. 1979

CANATO JÚNIOR, O. **Texto e Contexto para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Escola Média**. 109 f. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo, 2003.

CARROL, J. *Designing Interaction: Psychology at the human-computer interface*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

CONKLIN, J. A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Blooms' taxonomy of educational objectives. **Educational Horizons**, v. 83, n. 3, p. 153-159, 2005

COLL, C. **Aprendizagem Escolar e Construção do Conhecimento**. 2. impressão. Porto Alegre: Editora Artmed, 2002.

CULLITY, B. D. (1956). **Elements of X-Ray Diffraction**. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

CAREO. Campus Alberta Repository of Educational Objects. 2002. Disponível em: <<http://www.careo.org>>. Acesso: abr 2015.

CAVELLUCCI LCB. Mapas conceituais: uma breve revisão. [S.l.: s.n.], [2009].

COSTACURTA, M. O que é um exame de Raio-X. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=gy4-OR0lCyc>> Acesso em: fevereiro 2015.

CRUZ, C.C. **A teoria cognitivista de Ausubel**. Campinas, 200X-. Disponível em: [http://www.robertexxto.com/archivo3/a\\_teor%C3%ADa\\_ausubel.htm](http://www.robertexxto.com/archivo3/a_teor%C3%ADa_ausubel.htm)>. Acessado em 5 fev. 2009.

**D'Incao Instituto de Ensino**: Introdução ao conceito de energia. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=hxnVsS5C\\_H8](https://www.youtube.com/watch?v=hxnVsS5C_H8)> Acesso em: fevereiro 2015

Dominiquini L. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, 2502 (2012)

**Educatina: Carga elétrica**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=McZPm7tkguQ>> Acesso em: fevereiro 2015.

EISBERG R.; RESNICK R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Trad. R. P. C.; Barroso E.F.S.M.F. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979. 20ª impressão.

EISBERG R. **Fundamentos da Física Moderna**. Trad. Coutinho F.A.B.; Malta C.P.; Peres J.F. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Dois S.A. 1979.

FERRAZ A.P.C.M.; BELHOT R.V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.

FLORES, M.L.P.; TAROUCO, L.M.R. Diferentes tipos de objetos para dar suporte a aprendizagem. **RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**. V. 6 Nº 1, Julho, 2008.

FRANCISCO FC. et al. Radiologia: 110 anos de história. **Rev. Imagem**. 27(4): 281-286. 2005.

GIL, AC. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. Projetos de pesquisa. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

GONÇALVES, F P e GALIAZZI, M C. **A Natureza das Atividades Experimentais no Ensino de Ciências**. In: MORAES, Roque e MANCUSO, Ronaldo (Orgs). Educação em Ciências. Ijuí: Unijuí, 2004. p. 237 – 252.

GUTIERREZ, S de S. Distribuição de conteúdos e aprendizagem online. **RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 2, p. 1-14, 2004.

**GRU Animação Raios X**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CobaApRX3Hc>> Acesso em: fevereiro 2015.

**Grallator: Espectros de Raios X**. Disponível em: <[www.grallator.co.uk](http://www.grallator.co.uk)> Acesso em: janeiro 2015.

GRECA IM, MOREIRA MA e HERSCOVITZ Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. **Rev. Bras. Ensino Fís.** vol.23 no.4 São Paulo Dec. 2001

IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC) (2000) “Draft Standard for Learning Object Metadata”, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. LTSC. (2000). **Learning technology standards committee website**. Disponível em: <http://ltsc.ieee.org/> Acesso em: abr 2015.

JESUS J.S. **Pressupostos epistemológicos e pedagógicos no Ensino de Física: O caso do Currículo de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana e as aplicações no Ensino**. Monografia (Graduação em Física) – UEFS, Feira de Santana, 2007.

JUNIOR REZENDE M.F.; CRUZ F.F.S. Física Moderna e Contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 305-21, 2009.

KRATHWOHL, D. R. A revision of Bloom’s taxonomy: an overview. **Theory in Practice**, V. 41, n. 4, 2002, p. 212-218.

KERLINGER F.N. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais**. Tradução de H.M. Rotundo. São Paulo e Brasília: EPU-EDUSP e INEP. 1980.

LEMKE, Jay L. Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 2006, 24 (1), p. 5-12.

LEOPOLDO, Luís Paulo- Novas Tecnologias na Educação: Reflexões sobre a prática. Formação docente e novas tecnologias. LEOPOLDO, Luís Paulo Mercado (org.).- Maceió: Edufal, 2002. Cap. 1 Leopoldo, Luís Paulo/ Formação docente e novas tecnologias. 2002

LIMA R.S., AFONSO J.C., PIMENTEL L.C.F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. **Quim. Nova**, Vol. 32, No. 1, 263-270, 2009.

LONGMIRE, W. A Primer On Learning Objects. **American Society for Training & Development**. Virginia/USA. 2001

MACÊDO, L.N de. et al. Desenvolvendo o pensamento proporcional com o uso de um objeto de aprendizagem. In: Carmem Lucia Prata, Anna Christina Aun de Azevedo Nascimento. (Org.). **Objetos de Aprendizagem: Uma proposta de recurso pedagógico**. Brasília - DF: MEC/SEED, p. 81-92, 2007.

MARTINS R.A. A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física** vol. 20, no. 4, Dezembro, 1998

MAZZI, Â.P.R. Tecnologia Educacional: pressupostos de uma abordagem crítica. **Tecnologia Educacional**. Rio de Janeiro, v.10, n.39, p. 25-29. Mar/abr.1981.

MAYER, Richard E. - **Rote Versus Meaningful Learning** - THEORY INTO PRACTICE, Volume 41, pag 227, 2002

**Ministério da educação: Física e Tecnologias Raios X**. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/21061>> Acesso em: janeiro 2015.

**Ministério da Educação: Ondas eletromagnéticas**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=FYArBYI9V6o>> Acesso em: fevereiro 2015.

**Ministério da educação: Corrente elétrica**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=THZJXYyZQAs>> Acesso em: janeiro 2015.

MENESES, L.C., Uma Física para o Novo Ensino Médio. Física na Escola. v. 1, n.1, p.7, out. 2000.

MINAYO, M. C. de S. et al. (Org.) Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 28. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2009.

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

MOREIRA M. & MASINI, E.; **Aprendizagem Significativa. A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes LTDA. 1982.

MOREIRA, M.A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física**. Porto Alegre: Editora de Universidade.1983.

MOREIRA, M.; Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativa**. Actas, pp.17-44. Universidade de Burgos. 1997.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Teorias construtivistas**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de Física).

MOREIRA, M. A. Organizadores Prévios E Aprendizagem Significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, ISSN 0717-9618, Vol. 7, N° 2, 2008 , pp. 23-30. Revisado em 2012.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em sala de aula**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2006. 186 p.

MOREIRA, M.A. **Teorias de aprendizagem**. 2ª edição, São Paulo- EPU-2011.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.F.S. **Aprendizagem Sigificativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo, Moraes, 1982.

MOREIRA M.A. **Metodologias de Pesquisa em Ensino**. 1ª edição, São Paulo – Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M.A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. Adaptado e atualizado, em 1997, de um trabalho com o mesmo título publicado em O ENSINO, Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, N° 23 a 28: 87-95, 1988. Publicado também em Cadernos do Aplicação, 11(2): 143-156, 1998. Revisado e publicado em espanhol, em 2005, na Revista Chilena de Educação Científica, 4(2): 38-44. Revisado novamente em 2012.

NARDI, R. org. Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p.

NAKIBOGLU, C.; TEKIN, B. B. Identifying student´s misconceptions about nuclear chemistry. **Journal of chemical education**, v. 83, n. 11, 2006.

**National Geographic: Além do Cosmo - Mecânica Quântica**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=c1AKzIncvwk>> Acesso em: janeiro 2015.

A saga do prêmio Nobel: Os instrumentos da medicina. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vw-TU6zfnjk>> Acesso em: fevereiro 2015.

**Nobel- Fótons**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QwKTU2tvLug>> Acesso em: fevereiro 2015.

NOVAK, J. D. Concept maps and vee diagrams: two megacognitive tools for science and mathematics education. **Instructional Science**. v. 19, p. 29-52, 1990.

NOVAK, J. D.; MUSONDA, D. A twelve-year longitudinal study of science concept learning. **American Educational Research Journal**, v. 28, n. 1, p. 117-153, 1991

NOVAK, J. D.; CAÑAS A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, v.5, n.1, p. 9-29, jan.-jun. 2010. Disponível em: <http://periodicos.uepg.br>

OLIVEIRA, F. F. de. **O Ensino de Física Moderna com enfoque CTS: uma proposta metodológica para o Ensino Médio usando o tópico Raios x**. 2006. 234 f. Dissertação (mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, F.F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R.S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, (2007). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a16v29n3.pdf>>. Acesso em: 10 de março 2014

OLIVEIRA J.R.B.; RIBAS R.V.; SOUZA A.F. **Raios X – II: Lei de Moseley Análise de cristais por Raios X Difração de elétrons**. Laboratório de Física. USP, São Paulo, 2009.

**TV Ontário: Dualidade Onda partícula.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs>> Acesso em: fevereiro 2015.

OSTERMANN, et al. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 20, n3, 1998

OSTERMANN, F. CAVALCANTI, C.J.de H. **Teorias de aprendizagem: Texto introdutório**. Porto Alegre. UFRGS, 2010.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Física Contemporânea em la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. Enseñanza de las Ciencias. Barcelona, . v.18, n.3, p.391-404, dez. 2000.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, mar. 2001.

ONTARIA, A. et al. **Mapas conceituais: uma técnica para aprender**. São Paulo: Loyola, 2005.

PEDUZZI, L. Q. Q. (1997). Sobre a resolução de problemas no ensino da física. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 14(3), 229-253.

PERRENOUD, P. **Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

PERNA AFN. **Produção de um material didático de física para o estudo de tópicos relacionados a Raios x no ensino médio**. Trabalho de conclusão de curso. (Licenciatura em Física). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2009.

PELLIZZARI A. et al. Teorias da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Revista do PEC**, Curitiba, v.2, n.1, p. 37-42, jul. 2001-jul.2002. Disponível em:<

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>> Acesso em: 22 jun 2014.

PERRENOUD, P. **10 Novas Competências para Ensinar**. Porto Alegre: Editora Artmed, 2000. 192 p.

PINHO, S. T.; ALVES, D. M.; GRECO, P. J.; SCHILD, J. F. G. Método situacional e sua influência no conhecimento tático processual de escolares. *Motriz: Revista de Educação Física*. Rio Claro, v. 16, n. 3, p. 580-590, jul./set. 2010.

PIETROCOLA, M. **Ensino de Física**. Florianópolis, UFSC, 2001.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. – 5. ed. – porto Alegre: Artmed, 2009

PRAIA, J. F. Aprendizagem significativa em D. Ausubel: Contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino. In: M. A. Moreira, J. A. Valadares, C. Caballero, V. D. Teodoro. **Teoria da Aprendizagem Significativa. Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, Peniche, 2000.

PULLIN, V. E. **Raios X e Rádio**. Trad. Agostinho da Silva. Lisboa, Editorial Inquérito. 1939

RIBEIRO RJ, SILVA SCR, KOSCIANSK A, Organizadores prévios para aprendizagem significativa em Física: o formato curta de animação. **Revista Ensaio**. Belo Horizonte. v.14, n. 03 , p. 167-183. set-dez, 2012.

RUIZ-MORENO, et al. Mapa conceitual: ensaiando critérios de análise. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 453-463, 2007.

SARMENTO, MJ. Infância, exclusão social e educação como Utopia Realizável, **Educação & Sociedade**. Ano XXIII, nº 78, p. 265-283 , Abril/2002.

SÁ FILHO, C.S.; MACHADO, E. de C. **O computador como agente transformador da educação e o papel do objeto de aprendizagem**. 2003. Disponível em: <http://www.universiabrasil.net/materia/imprimir.jsp?id=5939> Acesso em: abr 2015.

SANTOS, L.M.A.; FLORES, M.L.P.; TAROUCO, L.M.R. Objeto de aprendizagem: Teoria instrutiva apoiada por computador. *RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação*, V. 6 Nº 2, Dezembro, 2007

SANTOS Fo., J. e SÁNCHEZ G, S. (2000). **Pesquisa educacional: quantidade-qualidade**. São Paulo: Cortez editora

SANTOS, W. S. Organização Curricular Baseada em Competência na Educação Médica. **Revista Brasileira de Educação Médica**. Rio de Janeiro, v. 35, n. 1, p. 86-92, jan./mar. 2011.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SIMÕES, V.A.P. **Utilização de novas tecnologias educacionais nas escolas da rede estadual da cidade de Umuarama** – PR. Dissertação de Mestrado em Educação. UFU, 2002.

SPINELLI, W. **Aprendizagem Matemática em Contextos Significativos: Objetos Virtuais de Aprendizagem e Percursos Temáticos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005

SINGH. H. **Introduction to Learning Objects**. Disponível em:  
<<http://www.elearningforum.com/july2001/singh.ppt>. 2001>. Acesso em: set. 2014.

SOUZA, A. J. de, ARAÚJO, M. S. T. de. A elaboração de um pôster como material didático para abordar conceitos de produção de Raios x e radioproteção em aulas de física. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física, XVIII**, 2009. Vitória.

SOUZA, N. A.; BORUCHOVITCH, E. Mapas conceituais e avaliação formativa: tecendo aproximações. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 36, n.3, p. 795-810, set./dez. 2010.

STANNARD, R. Modern Physics for the Young. **Physics Education**, Bristol, v. 25, n. 3, p. 132-143, may. 1990.

STURMAN, A. (1988) Case study methods. In Keeves, J.P. (Ed). **Educational research, methodology, and measurement**. An international handbook. Oxford, Pergamon Press. p. 61-66

TARGINO, M. L. S. **Psicologia da aprendizagem. Campina Grande**. Editora da Universidade Estadual da Paraíba. 2013. 72-74 p.

TAVARES, Romero. **Aprendizagem Significativa e o Ensino de Ciências**. Ciência e Cognição. V.13, p. 94-100. Março 2008.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. 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.1992. Disponível em:  
<<http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/09-3/artpdf/a2.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2014.

TAVARES, R; et al. Objetos de aprendizagem: uma proposta de avaliação da aprendizagem significativa. In: **Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico**/Organização: Carmem Lúcia Prata, Anna Christina Aun de Azevedo Nascimento. – Brasília : MEC, SEED, 2007.

TV ESCOLA – **ABC da astronomia / Raios X**. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=r6-T6e5SON4>> Acesso em: fevereiro 2015.

TELECURSO 2000: **Raios X Industrial**. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=tdPuaiecq1U>> Acesso em: fevereiro 2015.

UFPB – **Ondas no cotidiano**. Disponível em:  
<[http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/13Ondas/anima/massa/fis1\\_ativ1.html](http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/13Ondas/anima/massa/fis1_ativ1.html)> Acesso em janeiro 2015.

UFF: **Espectros de Raios X.** Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=pOxZBPyE5cM>> Acesso em: janeiro 2015.

UFF: **Difração de Raios X.** Disponível em:  
<[https://www.youtube.com/watch?v=mGeA\\_pFFALQ](https://www.youtube.com/watch?v=mGeA_pFFALQ)> Acesso em: janeiro 2015.

UFRGS: **RAIOS X.** Disponível em:  
<[http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvorenga/applets/R-X/index.html](http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvorenga/applets/R-X/index.html)> Acesso em:  
fevereiro 2015.

**UNIVERSO Mecânico: Voltagem, energia e Força.** Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=UXGVNe1mvdU&index=42&list=PL8771D51242B1D546>> Acesso em: fevereiro 2015.

USP – **Labvit: Raios X.** Disponível em:  
<[http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17150/Web/labvirtq/simulacoes/tempUpload/sim\\_qui\\_raiox.htm](http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17150/Web/labvirtq/simulacoes/tempUpload/sim_qui_raiox.htm)> Acesso em: fevereiro 2015.

WEINTRAUB, M.; HAWLITSCHKE, P.; JOÃO, S. M. A. Jogo educacional sobre avaliação em fisioterapia: uma nova abordagem acadêmica. *Fisioterapia e Pesquisa*. São Paulo, v. 18, n. 3, p. 280-286, jul./set. 2011.

WILEY, D. A. **Learning Object Design and Sequenceing Theory**. 2000. Tese (Doutorado em Filosofia). Brigham Young University, Provo. 2000.

## Anexo A

### Termo de autorização



COLÉGIO MODELO LUÍS EDUARDO MAGALHÃES – 76423

**Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães**  
**Rua Vasco Filho, s/n - Feira de Santana**  
**Decreto n.º 7293-D. O. 05/05/1998**

DE: Prof<sup>o</sup> Edvan Pedreira de Oliveira

Diretor do Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães.

PARA: Jarbas da Silva de Jesus

Mestrando do curso de MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE  
FÍSICA, POLO 06, na UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA.

Data: 03/03/2015

#### TERMO DE AUTORIZAÇÃO

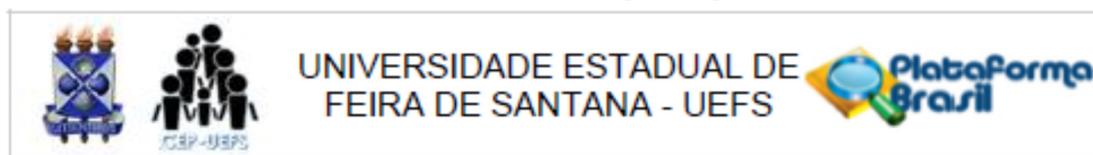
Eu, Prof<sup>o</sup> Edvan Pedreira de Oliveira, Diretor do Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães, venho, através deste, expressar autorização para o desenvolvimento da pesquisa intitulada **O estudo da radiação X: desenvolvendo uma estratégia de ensino para a aprendizagem significativa** conforme projeto, a ser realizado no Colégio Modelo Luis Eduardo Magalhães, pelo mestrando Jarbas da Silva de Jesus.

Prof<sup>o</sup> Edvan Pedreira de Oliveira  
Diretor – Aut. 02:042/11  
Port. 8304/2013 – D.O. 13/12/13.

Rua Vasco Filho s/nº Centro - Fone/Fax (75) 3223 7666 - Feira de Santana - Bahia.  
E-mail: colegiomodelo1fsa@gmail.com

## Anexo B

### Parecer do Comitê de ética na pesquisa



#### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

##### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

**Pesquisador:** Jarbas da Silva de Jesus

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 42646615.5.0000.0053

**Instituição Proponente:** Universidade Estadual de Feira de Santana

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

##### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.136.502

**Data da Relatoria:** 03/07/2015

##### Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto de pesquisa de dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) Polo 8, vinculado ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), de autoria de JARBAS DA SILVA DE JESUS, sob a orientação dos professores Dr<sup>o</sup> Álvaro Santos Alves e Dr<sup>a</sup> Gabriela R. P. Rezende Pinto.

O projeto aborda que: "O entendimento da física nuclear proporcionou avanços nunca antes experimentados pelo homem. Entretanto, essa parcela do desenvolvimento humano não é discutido, nem inserido no nível médio nesta mesma velocidade. Existe atualmente uma necessidade clara de se discutir Física Moderna e Contemporânea nas escolas de nível médio do país, sobretudo, naquelas da rede pública e que abrange maior parte dos estudantes desse nível de ensino. Assim, buscaremos investigar a influência direta de uma maneira de abordagem de ensino sobre a física moderna e contemporânea no contexto da sala de aula de física de uma escola de ensino médio, com base na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, na tentativa de esclarecer o percurso metodológico que possa favorecer a este tipo de aprendizagem. O presente estudo pretende discutir o papel de uma estratégia voltada ao ensino da radiação X para os estudantes do Ensino Médio, enfatizando aspectos de aprendizagem fundamentados na Teoria

Endereço: Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, UEFS  
Bairro: Módulo I, MA 17 CEP: 44.031-460  
UF: BA Município: FEIRA DE SANTANA  
Telefone: (75)3161-8067 E-mail: cep@uefs.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
FEIRA DE SANTANA - UEFS



Continuação do Parecer: 1.136.502

da Aprendizagem significativa Ausubel.[...] Na maioria das situações, os professores desmotivados e mal preparados simplesmente não tratam dos temas relacionados o que ocasiona desinteresse e desconhecimento por parte dos estudantes. Diante disso, está estabelecido um cenário completamente desafiador para a nova geração de professores do ensino médio e também para seus formadores: Criar possibilidades para que os professores de física possam atuar no ensino médio ensinando Física moderna, que estejam pessoalmente motivados a promover uma educação de base significativa e que consigam fazer uso de novas tecnologias, criadas com o objetivo de melhorar o entendimento por parte dos alunos das problemáticas associadas à física e sua difusão na sociedade. Esta intenção é colocada como uma das prioridades dos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio (PCNEM), uma vez que retrata que a atuação do professor bem formado e dotado de competências e habilidades específicas seja capaz também de motivar seu aluno no sentido de implementação de um ensino de física moderna associado ao uso de novas tecnologias educacionais, isto é, através da motivação pessoal de professor, aliado à sua formação inicial e também continuada este profissional estará preparado para intervir no nível de Ensino médio com qualidade de dedicação, o que pode produzir resultados frutíferos para esse nível de ensino." (Formulário Simplificado Plataforma Brasil)

Em relação aos aspectos metodológicos: pesquisa quantitativa de natureza experimental; "este estudo, se iniciará com a construção de um objeto de aprendizagem, para posteriormente ser aplicado (testado) em sala de aula, a fim de verificar qual a sua contribuição para o alcance de uma aprendizagem significativa dos conceitos da radiação X. [...] A amostra representativa da população de estudantes do 3º ano do ensino médio será de duas turmas com 35 estudantes cada, com faixa de idade entre 18 e 19 anos, em uma escola pública do município de Feira de Santana, BA, Brasil."(Formulário Simplificado Plataforma Brasil) "Serão inseridos um mesmo pré-teste nos dois grupos para averiguar o conhecimento pré-existente sobre o tema, em seguida, a variável experimental, que neste estudo é uma sequência didática, será apresentada somente a um grupo, o grupo experimental. O outro grupo que não entrará em contato com a sequência didática é o grupo controle. o pós-teste será aplicado aos dois grupos para verificar os efeitos causados pela sequência didática. Este trabalho pretende utilizar uma estratégia de ensino para o ensino da radiação X com a finalidade de influenciar a aprendizagem de maneira significativa, uma vez que é possível estabelecer uma relação direta entre o método de ensino utilizado e a aprendizagem adquirida

Endereço: Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, UEFS  
Bairro: Módulo I, MA 17 CEP: 44.031-460  
UF: BA Município: FEIRA DE SANTANA  
Telefone: (75)3161-8067 E-mail: cep@uefs.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
FEIRA DE SANTANA - UEFS



Continuação do Parecer: 1.136.502

pelos estudantes. Assim, essa pesquisa terá como objeto de estudo o uso de uma sequência didática para o ensino da radiação X variável independente analisada nesse estudo é sequência didática para o ensino de radiação X e como variável dependente será analisada a aprendizagem significativa.[...] O instrumento utilizado para avaliar a aprendizagem significativa após o uso de uma estratégia no ensino da radiação X, será a Taxonomia de Bloom Revisada, pois permite que seja avaliado o que foi aprendido, apontando para todo o processo educacional. Nesse sentido, será utilizado um questionário com 10 questões elaborado pelo autor que servirá de pré-teste e pós-teste, a fim de acompanhar a evolução do aprendizado do estudante em todos os níveis hierárquicos. Na aplicação da sequência didática, em um primeiro momento do trabalho, o professor irá expor aos seus alunos o trabalho que será desenvolvido a partir deste momento, esclarecendo que eles irão trabalhar com conceitos específicos da Física Moderna e Física Contemporânea, a partir da radiação X, e que esse trabalho será realizado por meio de etapas, que se organizam em torno do tema principal." (Formulário Simplificado Plataforma Brasil) Assim, em relação às etapas da pesquisa: primeira etapa acontecerá com apresentação de vídeos introdutórios sobre aspectos da teoria da radiação x e elaboração de mapa conceitual; na 2ª etapa: verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes e elaboração de novo mapa conceitual; 3ª etapa: consolidação dos conceitos subsunçores; 4ª etapa: Apresentação das aplicações tecnológicas ("Nessa etapa serão apresentadas, de forma sistemática, várias das aplicações de radiação X na sociedade, entre elas podemos destacar a área de saúde, a indústria, a segurança e a astronomia."); 5ª etapa: Apresentação dos pressupostos teóricos e epistemológicos da teoria da radiação x; 6ª etapa: Consolidação dos conhecimentos adquiridos; 7ª etapa: Avaliação dos resultados.

Apresenta orçamento no valor total de R\$2.099,30, com a contrapartida da UEFS por meio do Mestrado e bolsa CAPES. Cronograma Exequível.

#### **Objetivo da Pesquisa:**

##### **Objetivo Primário:**

Desenvolver e analisar uma sequência didática que possa potencializar a aprendizagem significativa sobre o tema radiação X, no nível médio de ensino.

##### **Objetivo Secundário:**

• Desenvolver uma sequência didática para o ensino de radiação X. • Aplicar este produto (sequência didática) à um grupo de estudantes de nível médio de ensino. • Validar a sequência

Endereço: Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, UEFS  
Bairro: Módulo I, MA 17 CEP: 44.031-460  
UF: BA Município: FEIRA DE SANTANA  
Telefone: (75)3161-8067 E-mail: cep@uefs.br

didática utilizando pressupostos inerentes à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

**RISCOS:**

"Caracteriza-se risco dessa pesquisa o constrangimento e a quebra de sigilo, que serão prevenidos através da não divulgação da identidade do participante." (Formulário simplificado Plataforma Brasil e TCLE)

**BENEFÍCIOS:**

"Contribuir para uma aquisição de aprendizagem significativa pelos estudantes do terceiro ano do Ensino Médio, sobre a teoria de produção e emissão de radiação X, permitindo que os estudantes passem a discutir conceitos específicos da teoria quântica. Uma vez que o ensino e a aprendizagem da teoria de emissão e produção da radiação X e o entendimento sobre seu uso em várias situações cotidianas, é importante e fundamental para diversas áreas do conhecimento científico e de aplicações tecnológicas específicas." (Formulário simplificado Plataforma Brasil)

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa possui relevância acadêmica, científica e social, é viável do ponto de vista ético.

O pesquisador demonstra compromisso com o preconizado pela resolução 466/2012, bem como se compromete em dar retorno dos resultados à comunidade científica, aos participantes e à instituição campo do estudo conforme consta no TCLE: "Ao término do trabalho, ocorrerá a divulgação dos resultados para fins científicos, como dissertação, artigos científicos e apresentação em eventos científicos. Para comunidade acadêmica será realizada uma palestra apresentada no próprio colégio para os estudantes e professores de física com a finalidade de divulgar os resultados da pesquisa."

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Apresenta todos os termos de apresentação obrigatória.

**Recomendações:**

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Após o atendimento das pendências, o Projeto está aprovado para execução, pois atende aos princípios bioéticos para pesquisa envolvendo seres humanos, conforme a Resolução nº 466/12



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
FEIRA DE SANTANA - UEFS



Continuação do Parecer: 1.136.502

(CNS).

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Tenho muita satisfação em informar-lhe que seu Projeto de Pesquisa satisfaz às exigências da Res. 466/12. Assim, seu projeto foi Aprovado, podendo ser iniciada a coleta de dados com os participantes da pesquisa conforme orienta o Cap. X.3, alínea a - Res. 466/12. Relembro que conforme institui a Res. 466/12, Vossa Senhoria deverá enviar a este CEP relatórios anuais de atividades pertinentes ao referido projeto e um relatório final tão logo a pesquisa seja concluída. Em nome dos membros CEP/UEFS, desejo-lhe pleno sucesso no desenvolvimento dos trabalhos e, em tempo oportuno, um ano, este CEP aguardará o recebimento dos referidos relatórios.

FEIRA DE SANTANA, 02 de Julho de 2015

---

**Assinado por:**

**Zannety Conceição Silva do Nascimento Souza**  
(Coordenador)

Endereço: Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, UEFS  
Bairro: Módulo I, MA 17 CEP: 44.031-460  
UF: BA Município: FEIRA DE SANTANA  
Telefone: (75)3161-8067 E-mail: cep@uefs.br

## Apêndice A

### Carta de solicitação



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA (DEP. FIS)  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF),  
POLO 6

#### CARTA DE SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO DO COLÉGIO MODELO LUIS EDUARDO MAGALHÃES

Ilmo. Sr.

Diretor Edvan Pedreira de Oliveira

Eu, JARBAS DA SILVA DE JESUS regularmente matriculado no Curso de MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA, no pólo 6, situado na UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA, solicito obter autorização para realizar a pesquisa intitulada **O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA** conforme projeto anexo, após aprovação da Comissão de Ética em Pesquisa, no Colégio Estadual Luis Eduardo Magalhães de Feira de Santana.

Terminada a pesquisa, os resultados, serão devolvidos à instituição de ensino e, ao serem publicados em forma de artigos, livros, relatos de pesquisa ou ensaio, bem como apresentados em eventos de Pesquisa, Iniciação Científica, Ciclo de Palestras, Jornadas, Seminários, Simpósios, Congressos ou Encontros, serão sempre realizados respeitando a Resolução n. 466 de 12 de dezembro de 2012 que envolve os aspectos éticos da pesquisa envolvendo seres humanos, garantindo o anonimato dos sujeitos da pesquisa, bem como do local onde a mesma foi realizada, para evitar estereótipos ou estigmas, preservando suas identidades. Assim, os dados que estão sob minha responsabilidade serão apresentados com respeito e cuidados éticos conforme supracitado.

A Instituição também tem autonomia para permitir a pesquisa, ou também, para encerrá-la caso, nos como pesquisadores não cumpramos com o que está sendo apresentado.

Como pesquisador, sempre estarei a inteira disposição da Instituição e de seus participantes para esclarecer quaisquer dúvidas sobre este trabalho.

Feira de Santana (BA), 03 de março de 2015.

Jarbas da Silva de Jesus  
Jarbas da Silva de Jesus (mestrando)



## Apêndice B

### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, Jarbas da Silva de Jesus, responsável pela pesquisa intitulada **O estudo da Radiação X: desenvolvendo uma estratégia de ensino para aprendizagem significativa**, gostaria de convidá-lo(a) a participar da mesma, que será realizada no Colégio Modelo Luis Eduardo Magalhães de Feira de Santana. Existe uma necessidade de incluir as temáticas relacionadas à Física Moderna e contemporânea no nível médio de ensino, já que essa parte da física é eficaz no desenvolvimento de tecnologias em diversas áreas. O objetivo desta pesquisa é desenvolver e analisar uma sequência didática que possa melhorar a aprendizagem sobre o tema Radiação X, para estudantes do 3º ano do nível médio de ensino. Participar desta pesquisa é opcional, e, no caso de não aceitar participar ou desistir em qualquer fase da pesquisa, fica assegurado que não haverá problemas durante o seu curso nesta instituição de ensino. Caso aceite participar desta pesquisa, gostaríamos que soubesse que serão aplicados questionários em diferentes momentos, contendo questões avaliativas de seu conhecimento de conteúdos de física moderna. Esses questionários poderão ser levados para casa, ficando a sua escolha, o melhor horário para respondê-los. Além disso, não haverá ônus para os participantes em momento algum da pesquisa. Ao término do trabalho, ocorrerá a divulgação dos resultados para fins científicos, como dissertação, artigos científicos e apresentação em eventos científicos. Caracteriza-se como risco dessa pesquisa o constrangimento e a quebra de sigilo; que serão prevenidos através da não divulgação da identidade do participante na aplicação dos questionários, caso isso ocorra, garantimos o direito à indenização se danos comprovadamente causados pela pesquisa e ressarcimento de gastos quaisquer em virtude da mesma. Colocamo-nos à disposição para esclarecimentos antes e durante a realização da pesquisa, através do telefone (75) 3616-8229, ou do endereço Universidade Estadual de Feira de Santana, Avenida Transnordestina, S/N. Bairro: Novo Horizonte. Módulo IV, Laboratório de Física, Sala 3, onde os questionários serão arquivados, durante um período de cinco anos, sob responsabilidade do pesquisador, e, após este prazo, todos os registros serão destruídos. Caso você se sinta totalmente esclarecido e concorde em participar da pesquisa autorizando o uso das informações para fins científicos como a elaboração da dissertação, artigos científicos e apresentação em eventos científicos, o convidamos a assinar esse termo de consentimento em duas vias, ficando você com uma cópia do mesmo e outra com o pesquisador.

Feira de Santana, Ba \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 201\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(assinatura do participante)

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>o</sup> Dr. Álvaro Santos Alves  
(Pesquisador colaborador)

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Gabriela Pinto  
(Pesquisador colaborador)

\_\_\_\_\_  
Jarbas de Jesus  
(Pesquisador responsável)

## Apêndice C

### Questionário do pré-teste e teste

#### O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Pesquisador responsável: Jarbas da Silva de Jesus

Número: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_

Pré-teste  Teste

**Questão 01:** Do ponto de vista da teoria clássica da Física, o espectro contínuo de emissão da Radiação X se manifesta na emissão de:

- a) um feixe de elétrons de alta energia
- b) um feixe de prótons de alta energia
- c) uma onda mecânica de período constante
- d) radiação eletromagnética de alta frequência

**Questão 02:** Do ponto de vista da teoria Clássica da Física, a Radiação X pode ser classificada como:

- a) uma onda transversal, formada por campos variáveis
- b) uma onda longitudinal que se propaga no vácuo
- c) uma onda de propagação restrita a meios materiais
- d) uma onda eletromagnética de propagação restrita ao vácuo

**Questão 03:** Do ponto de vista da teoria Clássica da Física, a Radiação X de espectro contínuo pode ser produzida a partir:

- a) de uma carga elétrica em repouso no espaço
- b) de uma carga elétrica, quando desacelerada próximo da região nuclear
- c) da liberação de um fóton de Raios X, provenientes de transições eletrônicas
- d) da mudança de estados quânticos dos átomos ligados

**Questão 04:** Com base na teoria moderna da Física, a Radiação X de espectro contínuo pode ser entendida como:

- a) A liberação de um fóton de Raios X cuja energia equivale á energia cinética do elétron incidente
- b) a liberação de raios catódicos em um tubo de Crookes
- c) um fóton produzido pela transição de um elétron entre dois orbitais atômicos
- d) a liberação de um fóton de Raios X a partir do núcleo atômico quando bombardeado por nêutrons

**Questão 05:** Com base em uma formulação semi-Clássica da Física, a Radiação X de espectro característico é liberada quando:

- a) um elétron é desacelerado pelo núcleo atômico, liberando fótons de Raios X
- b) um elétron é transferido de um orbital atômico interno para outro externo
- c) um elétron muda seu estado quântico, liberando um fóton de Raios X
- d) um elétron passa de um orbital externo para outro externo, emitindo um fóton de Raios X

**Questão 06:** Com base na teoria moderna da Física, a liberação de Radiação X de espectro característico ou de linhas decorre:

- a) da colisão de um elétron com o núcleo transformando parte da energia cinética em fótons de Raios X com energia quantizada
- b) da transição de um elétron entre dois estados quânticos distintos, evidenciada nas transições entre níveis e subníveis energéticos, promovendo a liberação de um fóton de raios X
- c) da transição de um elétron entre dois orbitais, promovendo a liberação de um fóton de Raios X de frequência e energia constantes.
- d) da frenagem de um elétron rápido na região nuclear, promovendo a liberação de radiação eletromagnética

**Questão 07:** Um elétron de energia 40,0 KeV é desacelerado por um núcleo pesado em uma placa metálica adequada para o processo. A partir desta informação e sabendo que a constante de Planck para o caso vale  $6,63 \times 10^{-34}$  J.s determine o comprimento mínimo, medido em metros, para o fóton de Raios X produzido nesse processo.

- a)  $2,56 \times 10^{-12}$
- b)  $3,5 \times 10^{-12}$
- c)  $2,34 \times 10^{-12}$
- d)  $3,11 \times 10^{-12}$

**Questão 08:** Para a obtenção de um feixe de Radiação X, elétrons são acelerados, a partir do cátodo, e lançados contra o ânodo, formado por certo elemento químico. Neste processo, um elétron do primeiro nível atômico do núcleo do material do ânodo foi arrancado por uma colisão do elétron incidente, tendo sua vaga, nesse primeiro nível, sido ocupada por um elétron proveniente do segundo nível atômico deste átomo do núcleo. Tomando esta informação com base para o seu problema, classifique o feixe de Radiação X produzida e calcule a frequência do fóton de Raio X produzido no processo.

**Questão 09:** A tecnologia resultante da teoria de produção e emissão da Radiação X pode ser utilizada em processos relacionados à saúde, indústria e segurança. Neste contexto, as alternativas onde apenas aparecem procedimentos e aplicações cotidianas para este tipo de tecnologia são.

- a) exames radiográficos, quimioterapia e verificação de peso de bagagens em aeroportos
- b) exames radiográficos, fluoroscopia e verificação do conteúdo interno das bagagens em terminais de passageiros.
- c) ultrassonografia, quimioterapia e detectores de metais em bancos.
- d) ultrassonografia, funcionamento de portas elétricas em lojas e acionamento de controles remotos nas residências

**Questão 10:** Com base na teoria quântica, explique a utilização do modelo de subníveis para o entendimento da produção e emissão da Radiação X, indicando aspectos/diferenças não contemplados na teoria clássica.

---

---

---

## Apêndice D

### Elaboração de um mapa conceitual

#### O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Pesquisador responsável: Jarbas da Silva de Jesus

Número: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_

Pré teste

Pós Teste

A partir dos conhecimentos adquiridos sobre a teoria de produção e emissão da Radiação X, levando em conta os aspectos da teoria clássica da física e também da física moderna para esta teoria, elabore um mapa conceitual articulando os conceitos referentes a esta teoria física

## Apêndice E

### Teste de $\chi^2$ de Pearson

A prova  $\chi^2$  de Pearson é um tipo de teste de hipótese estatística. O teste de hipótese é uma técnica para se fazer inferência estatística. Ou seja, a partir de um teste de hipóteses, realizado com os dados amostrais, pode-se inferir sobre a população. No caso das inferências através do Intervalo de Confiança, busca-se “cercar” o parâmetro populacional desconhecido. Formula-se uma hipótese quanto ao valor do parâmetro, e pelos elementos amostrais faz-se um teste que indicará a aceitação ou rejeição da hipótese formulada.

Hipótese, em estatística, é uma suposição formulada a respeito dos parâmetros de uma distribuição de probabilidade de uma ou mais populações. Existem várias hipóteses possíveis, mas para cada teste apenas duas são testadas. Uma delas é denominada hipótese nula ou de nulidade e a outra de hipótese alternativa. Esta hipótese será testada com base em resultados amostrais, sendo aceita ou rejeitada. Ela somente será rejeitada se o resultado da amostra for claramente improvável de ocorrer quando a hipótese for verdadeira. Consideremos  $H_0$  a hipótese nula, e  $H_1$  a hipótese alternativa a ser testada (complementar de  $H_0$ ). O teste pode levar a aceitação ou rejeição de  $H_0$  que corresponde, respectivamente à negação ou afirmação de  $H_1$ .

Para formular as hipóteses toma-se uma amostra da variável (ou das variáveis)  $X$  (no caso) de uma dada população, de onde se tem uma hipótese sobre um determinado parâmetro, por exemplo:  $\theta$ . Esta hipótese é a hipótese nula:

$$H_0: \theta = \theta_0$$

Tendo formulado a hipótese nula é conveniente determinar qual será a hipótese aceita caso a hipótese nula seja rejeitada, isto é, convém explicitar a hipótese alternativa. A hipótese alternativa vai depender de cada situação.

O teste  $\chi^2$  de Pearson de uma amostra é aplicada quando o pesquisador está interessado no número de indivíduos, objetos ou respostas que se enquadram em várias categorias que podem ser duas ou mais. Usa-se a técnica do tipo de prova de aderência, ou seja, deve comprovar se existe diferença significativa entre o número observado de indivíduos, ou de respostas, em determinada categoria, e o respectivo número esperado,

baseado na hipótese de nulidade. Em outras palavras, o teste  $\chi^2$  de Pearson testa a hipótese de que duas variáveis são independentes, ou seja, se o efeito depende da exposição.

Antes de calcular a estatística do teste, deve-se estabelecer o nível de significância, ou seja, a probabilidade de rejeitar  $H_0$  quando  $H_0$  é verdadeira. Essa probabilidade se chama p-valor. Se, por exemplo, utilizarmos o nível de significância de 5%, a hipótese nula ( $H_0$ ) será rejeitada somente se o resultado da amostra for tão diferente do valor suposto que uma diferença igual ou maior ocorreria com uma probabilidade máxima de 0,05. Na prática, o valor de  $\alpha$  é fixo. (Geralmente  $\alpha = 0,01$  ou  $0,05$  ou  $0,10$ .)

Um p-valor pequeno significa rejeita a hipótese de nulidade e um p-valor grande não rejeita a hipótese de nulidade. Não se pode ter certeza (100% de confiança) de que a decisão tomada com base na amostra esteja correta para a população. Sabe-se, apenas, a probabilidade de esta decisão estar errada. Para se calcular a estimativa de um parâmetro desconhecido usa-se o intervalo de confiança. Quando se tem um intervalo de confiança de 95%, espera-se que 95% das amostras tomadas da mesma forma, na mesma população e no mesmo período de tempo contenha o parâmetro (valor verdadeiro) dentro do intervalo de confiança fornecido. Mas isso significa que existe uma probabilidade de 5% de o intervalo fornecido não conter o parâmetro.

O ideal é construir um intervalo de confiança para o parâmetro com uma probabilidade de  $1 - \alpha$  (nível de confiança) de que o intervalo tenha o verdadeiro parâmetro. Sendo  $\alpha$  o nível de significância. No teste de  $\chi^2$  de Pearson o método usado é o da comparação, ou seja, comparar um grupo observado com um grupo esperado de frequências. Mas antes deve-se determinar as frequências esperadas. Para isso, usa-se a hipótese de nulidade, que dará a proporção de indivíduos, ou objetos, que se enquadram em cada uma das diferentes categorias em que a população está presumidamente classificada. A hipótese de nulidade pode ser testada por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Onde:

$O_i$  = número de casos observados classificados na categoria  $i$

$E_i$  = número de casos esperados na categoria  $i$  sob  $H_0$ , onde  $k$  = número de categorias.

Se o valor calculado for maior ou igual ao valor crítico, rejeita-se a hipótese nula. Os cálculos no programa de computador encontra o p-valor.

VIEIRA, S. **Bioestatística: tópicos avançados**. 3. Ed. Elsevier. Rio de Janeiro. 2010.

SILVANY Neto, A M. **Bioestatística sem segredos**. 1 ed. Salvador 2008.

VIALI, L. **Teste de hipóteses não paramétricos**. Apostila. Instituto de Matemática. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

KATO, S. **Teste de hipótese**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Disponível em: [http://www.pucrs.br/famat/sergio/Estatistica\\_Basica](http://www.pucrs.br/famat/sergio/Estatistica_Basica). Acesso em: out 2015.

## Apêndice F

### Distribuição das etapas da sequência didática para a aprendizagem significativa de conceitos da Física moderna e contemporânea a partir do estudo da Radiação X

ETAPA	Nº DE AULAS	DURAÇÃO	OBJETIVOS	INTERVENÇÕES PEDAGÓGICAS	RECURSOS E INSTRUMENTOS	DIMENSÕES
1ª	02	100 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentar o material a nível introdutório para os estudantes;</li> <li>• Favorecer a percepção dos estudantes acerca dos conceitos subunçores para a aprendizagem de conceitos quânticos a partir do estudo da Radiação X;</li> <li>• Ensinar aos estudantes como fazer mapa conceitual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposição do conceito de mapa conceitual e como fazê-lo;</li> <li>• Discussão entre os estudantes sobre os vídeos e animações apresentados na aula;</li> <li>• Apresentações de vídeos e animações em nível introdutório e aplicações tecnológicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vídeos               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Além do Cosmo: Origem da Mecânica Quântica</li> <li>✓ Os curiosos: Física e Tecnologia</li> </ul> </li> <li>• Lousa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>
2ª	02	100 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar os conceitos prévios sobre conceitos quânticos de Radiação X;</li> <li>• Verificar a existência de conceitos subunçores necessários à aprendizagem significativa de conceitos quânticos a partir do estudo da teoria da Radiação X;</li> <li>• Identificar a visão dos estudantes sobre o conceito de fóton, quantização de energia; estado quântico e</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação dos conhecimentos prévios, conceitos quânticos e conhecimentos prévios através de questionário e mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pré-teste;</li> <li>• Mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pedagógica</li> </ul>

			<p>dualidade onda-partícula;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar, a partir da Taxonomia de Bloom revisada, em qual nível do domínio cognitivo está situado o conhecimento sobre os conceitos específicos da teoria quântica a partir do estudo da Radiação X.</li> </ul>			
3 <sup>a</sup>	04	200 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir e/ou consolidar subsunçores tais como: energia, potencial, aceleração e calor para permitir a ancoragem dos conceitos quânticos objetivados</li> <li>• Preparar o grupo de estudante para a aplicação do material principal da sequência e promover a aprendizagem significativa dos conceitos de quantização da energia, dualidade onda-partícula, fóton de Raios X e Estado quântico a partir do estudo da radiação X.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação dos organizadores prévios para os estudantes da turma experimental;</li> <li>• Discussão acerca dos conceitos subsunçores presentes no material instrucional não principal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vídeos: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ energia</li> <li>✓ potencial elétrico</li> <li>✓ onda eletromagnética</li> <li>✓ carga elétrica</li> <li>✓ corrente elétrica</li> </ul> </li> <li>• Animações <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ondas no cotidiano</li> <li>✓ produção da Radiação X</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>
4 <sup>a</sup>	03	150 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• apresentar as aplicações tecnológicas inerentes a teoria da Radiação X;</li> <li>• desenvolver interesse para permitir o processo de aprendizagem significativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serão utilizados mostras de vídeos, animações, figuras;</li> <li>• Leitura de artigos científicos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artigos: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Raios-x: fascinação, medo e ciência</li> <li>✓ Radiologia: 110 anos de história</li> </ul> </li> <li>• Vídeos:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discussões sobre os aspectos importantes envolvendo os benefícios e perigos destas aplicações</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Raios X na medicina: Fluoroscopia</li> <li>✓ Raios X na segurança: Aeroportos</li> <li>✓ Raios X na Astronomia</li> <li>✓ Raios X na indústria</li> </ul>	
5 <sup>a</sup>	03	150 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar o material principal, para o qual será medida a aprendizagem significativa dos estudantes;</li> <li>• Apresentar o formalismo matemático e conceitual da teoria da Radiação X;</li> <li>• Relacionar os conceitos da mecânica quântica com a explicação da teoria da Radiação X;</li> <li>• Discutir a natureza do fóton, da energia quantizada, da dualidade onda-partícula e de estado quântico no contexto de produção e emissão de Radiação X;</li> <li>• Discutir o uso de modelos para representação de um fenômeno físico;</li> <li>• Contribuir nos processos de assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, que foram utilizados na avaliação da</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• foram apresentados alguns vídeos discutindo a organização conceitual e relação da física clássica com o espectro contínuo de Radiação X e da limitação desta teoria na previsão de comprimento mínimo de onda para a Radiação X produzida por frenagem;</li> <li>• Apresentação de uma animação comentada explicando, de uma forma lúdica, as diferenças entre o espectro contínuo e espectro característico de Radiação X</li> <li>• explanação dialógica abordando os aspectos conceituais da teoria de produção e emissão da Radiação X, enfatizando a estrutura matemática, com a realização de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vídeo: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A saga do prêmio Nobel: A teoria da Radiação</li> <li>✓ O conceito de Fótons</li> <li>✓ Dualidade onda-partícula</li> <li>✓ Espectros de Radiação X</li> <li>✓ Difração de Raios X</li> </ul> </li> <li>• Animação <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Espectros de Raios X</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>

			ocorrência da aprendizagem significativa	alguns exercícios em sala.		
6 <sup>a</sup>	03	150 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentar os conceitos mais específicos da teoria quântica relacionado com a produção e emissão da Radiação X;</li> <li>• Promover condições que permitam aos estudantes promover a reconstrução e o encadeamento de conceitos;</li> <li>• Promover uma discussão detalhada sobre conceitos quânticos e suas relações com a produção da Radiação X.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicações de simulações computacionais para favorecer o processo de aprendizagem, permitindo a interação dos alunos com conceitos específicos e gerais da teoria abordada, tais como energia do fóton de Raios X, comprimento de onda, frequência, quantização de energia, estado quântico, dualidade onda-partícula e efeito termoiônico;</li> <li>• Discussões em um nível mais profundo sobre o tema, relacionando os conceitos da teoria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulações: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ produção de Radiação X de espectro contínuo</li> <li>✓ produção de Raio X característico</li> <li>✓ difração com Raios X</li> <li>✓ Produção de Raios X em um tubo de vácuo</li> <li>✓ Interação da radiação x com a matéria</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>
7 <sup>a</sup>	02	100 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar o grau de aprendizagem significativa acerca dos conceitos quânticos a partir do estudo da radiação X, por meio das intervenções: aplicação de questionário e análise de mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação dos conhecimentos adquiridos através de questionário e mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pós-teste;</li> <li>• Mapa Conceitual</li> </ul>	Aspecto metodológico (validação interna e externa)

Fonte: Elaborado pelo autor.

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Universidade  
Estadual de  
Feira de  
Santana



**O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA  
ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA A APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA**

**(PRODUTO EDUCACIONAL)**

Jarbas da Silva de Jesus

Orientadores:  
Prof. Dr. Álvaro Santos Alves  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela R. P. Rezende Pinto.

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Universidade  
Estadual de  
Feira de  
Santana



## **O ESTUDO DA RADIAÇÃO X: DESENVOLVENDO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Jarbas da Silva de Jesus

Produto educacional resultante da dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Álvaro Santos Alves e da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela R. P. Rezende Pinto e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física, pelo Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Estadual de Feira de Santana junto ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Feira de Santana – BA  
Dezembro 2015

# UTILIZANDO A RADIAÇÃO X PARA ENSINAR CONCEITOS QUÂNTICOS

## **Ao professor!**

Prezado professor, este produto educacional foi elaborado e aplicado no âmbito do desenvolvimento de um trabalho dissertativo e tem como objetivo primordial auxiliá-lo na tarefa inerente à inserção de tópicos e conceitos da Física Moderna e Contemporânea em escolas de Nível Médio. Neste sentido, este importante instrumento de apoio didático serve como um incentivo para o desenvolvimento de suas atividades, na medida em que traz algumas sugestões para potencializar sua prática docente, a partir da utilização de metodologias alternativas e inovadoras, que preconizam uma aprendizagem significativa e duradoura, a respeito desse ramo fundamental da Física por parte de seus estudantes.

O objetivo principal deste produto educacional ou unidade didática é o de promover o ensino significativo de conceitos de Mecânica Quântica a partir da discussão geral sobre a Teoria de Produção e Emissão de Radiação X. Este tema foi escolhido por apresentar uma relação muito próxima com o cotidiano dos estudantes, uma vez que os mesmos percebem várias aplicações tecnológicas empregadas a partir do domínio teórico e prático deste tipo de radiação. Os conceitos modernos, cujo ensino é objeto deste produto educacional são: Quantização da Energia, Fóton de Raios X, Dualidade Onda-partícula e Estado Quântico. Tais conceitos serão abordados no contexto de debates de outros conceitos fundamentais, tais como: Energia, Carga Elétrica, Potencial Elétrico, Aceleração, Corrente Elétrica e Calor.

Neste contexto, o desenvolvimento deste produto educacional levou em consideração aspectos teóricos, epistemológicos e metodológicos e foi organizado na forma de uma sequência didática cujos objetivos são deixados claros para você professor, bem como para seus estudantes, ao longo da intervenção pedagógica. Desta maneira, esta organização propícia serve como uma parametrização das atividades a serem contempladas de modo que cada um dos objetivos educacionais possa ser alcançado, culminando em um aprendizado significativo e duradouro. Esta sequência didática foi elaborada em 07 (etapas) e foi embasada a partir do modelo do losango conceitual de (MÉHEUT, 2005) e fundamentada de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

## SUMÁRIO

Distribuição das etapas da sequência didática para a aprendizagem significativa da Física Moderna e Contemporânea a partir do estudo da Radiação X.....	06
Mapa conceitual da sequência didática .....	10
<b>1ª ETAPA:</b> Vídeos introdutórios sobre Raios X e apresentação das técnicas para construção de mapas .....	11
<b>2ª ETAPA:</b> Verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.....	13
<b>3ª ETAPA:</b> Consolidação dos conceitos subsunçores .....	14
<b>4ª ETAPA:</b> Apresentação das aplicações tecnológicas .....	18
<b>5ª ETAPA:</b> Apresentação dos pressupostos teóricos e epistemológicos da teoria da Radiação X .....	22
<b>6ª ETAPA:</b> Consolidação dos conhecimentos adquiridos.....	26
<b>7ª ETAPA:</b> Avaliação dos resultados .....	29
Teste para avaliação da aprendizagem (SUGESTÃO).....	30
Links utilizados .....	32

## Distribuição das etapas da sequência didática para a aprendizagem significativa de conceitos da Física moderna e contemporânea a partir do estudo da Radiação X

ETAPA	Nº DE AULAS	DURAÇÃO	OBJETIVOS	INTERVENÇÕES PEDAGÓGICAS	RECURSOS E INSTRUMENTOS	DIMENSÕES
1ª	02	100 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentar o material a nível introdutório para os estudantes;</li> <li>• Favorecer a percepção dos estudantes acerca dos conceitos subsunçores para a aprendizagem de conceitos quânticos a partir do estudo da Radiação X;</li> <li>• Ensinar aos estudantes como fazer mapa conceitual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposição do conceito de mapa conceitual e como fazê-lo;</li> <li>• Discussão entre os estudantes sobre os vídeos e animações apresentados na aula;</li> <li>• Apresentações de vídeos e animações em nível introdutório e aplicações tecnológicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vídeos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Além do Cosmo: Origem da Mecânica Quântica</li> <li>✓ Os curiosos: Física e Tecnologia</li> </ul> </li> <li>• Lousa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>
2º	02	100 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar os conceitos prévios sobre conceitos quânticos de Radiação X;</li> <li>• Verificar a existência de conceitos subsunçores necessários à aprendizagem significativa de conceitos quânticos a partir do estudo da teoria da Radiação X;</li> <li>• Identificar a visão dos estudantes sobre o conceito de fóton, quantização de energia; estado quântico e dualidade onda-partícula;</li> <li>• Verificar, a partir da</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação dos conhecimentos prévios, conceitos quânticos e conhecimentos prévios através de questionário e mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pré-teste;</li> <li>• Mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pedagógica</li> </ul>

			Taxonomia de Bloom revisada, em qual nível do domínio cognitivo está situado o conhecimento sobre os conceitos específicos da teoria quântica a partir do estudo da Radiação X.			
3 <sup>a</sup>	04	200 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir e/ou consolidar subsunçores tais como: energia, potencial, aceleração e calor para permitir a ancoragem dos conceitos quânticos objetivados</li> <li>• Preparar o grupo de estudante para a aplicação do material principal da sequência e promover a aprendizagem significativa dos conceitos de quantização da energia, dualidade onda-partícula, fóton de Raios X e Estado quântico a partir do estudo da radiação X.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação dos organizadores prévios para os estudantes da turma experimental;</li> <li>• Discussão acerca dos conceitos subsunçores presentes no material instrucional não principal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vídeos: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ energia</li> <li>✓ potencial elétrico</li> <li>✓ onda eletromagnética</li> <li>✓ carga elétrica</li> <li>✓ corrente elétrica</li> </ul> </li> <li>• Animações <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ondas no cotidiano</li> <li>✓ produção da Radiação X</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>
4 <sup>a</sup>	03	150 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• apresentar as aplicações tecnológicas inerentes a teoria da Radiação X;</li> <li>• desenvolver interesse para permitir o processo de aprendizagem significativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serão utilizados mostras de vídeos, animações, figuras;</li> <li>• Leitura de artigos científicos;</li> <li>• Discussões sobre os aspectos importantes envolvendo os benefícios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artigos: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Raios-x: fascinação, medo e ciência</li> <li>✓ Radiologia: 110 anos de história</li> </ul> </li> <li>• Vídeos: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Raios X na medicina:Fluoroscopi</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>

				e perigos destas aplicações	a ✓ Raios X na segurança: Aeroportos ✓ Raios X na Astronomia ✓ Raios X na indústria	
5 <sup>a</sup>	03	150 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar o material principal, para o qual será medida a aprendizagem significativa dos estudantes;</li> <li>• Apresentar o formalismo matemático e conceitual da teoria da Radiação X;</li> <li>• Relacionar os conceitos da mecânica quântica com a explicação da teoria da Radiação X;</li> <li>• Discutir a natureza do fóton, da energia quantizada, da dualidade onda-partícula e de estado quântico no contexto de produção e emissão de Radiação X;</li> <li>• Discutir o uso de modelos para representação de um fenômeno físico;</li> <li>• Contribuir nos processos de assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, que foram utilizados na avaliação da ocorrência da aprendizagem significativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• foram apresentados alguns vídeos discutindo a organização conceitual e relação da física clássica com o espectro contínuo de Radiação X e da limitação desta teoria na previsão de comprimento mínimo de onda para a Radiação X produzida por frenagem;</li> <li>• Apresentação de uma animação comentada explicando, de uma forma lúdica, as diferenças entre o espectro contínuo e espectro característico de Radiação X</li> <li>• explanação dialógica abordando os aspectos conceituais da teoria de produção e emissão da Radiação X, enfatizando a estrutura matemática, com a realização de alguns exercícios em sala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vídeo:             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A saga do prêmio Nobel: A teoria da Radiação</li> <li>✓ O conceito de Fótons</li> <li>✓ Dualidade onda-partícula</li> <li>✓ Espectros de Radiação X</li> <li>✓ Difração de Raios X</li> </ul> </li> <li>• Animação             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Espectros de Raios X</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>

6 <sup>a</sup>	03	150 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentar os conceitos mais específicos da teoria quântica relacionado com a produção e emissão da Radiação X;</li> <li>• Promover condições que permitam aos estudantes promover a reconstrução e o encadeamento de conceitos;</li> <li>• Promover uma discussão detalhada sobre conceitos quânticos e suas relações com a produção da Radiação X.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicações de simulações computacionais para favorecer o processo de aprendizagem, permitindo a interação dos alunos com conceitos específicos e gerais da teoria abordada, tais como energia do fóton de Raios X, comprimento de onda, frequência, quantização de energia, estado quântico, dualidade onda-partícula e efeito termoiônico;</li> <li>• Discussões em um nível mais profundo sobre o tema, relacionando os conceitos da teoria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulações: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ produção de Radiação X de espectro contínuo</li> <li>✓ produção de Raio X característico</li> <li>✓ difração com Raios X</li> <li>✓ Produção de Raios X em um tubo de vácuo</li> <li>✓ Interação da radiação x com a matéria</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epistemológica</li> <li>• Pedagógica</li> </ul>
7 <sup>a</sup>	02	100 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar o grau de aprendizagem significativa acerca dos conceitos quânticos a partir do estudo da radiação X, por meio das intervenções: aplicação de questionário e análise de mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação dos conhecimentos adquiridos através de questionário e mapa conceitual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pós-teste;</li> <li>• Mapa Conceitual</li> </ul>	Aspecto metodológico (validação interna e externa)

**Quadro 01:** Organograma da sequência didática, Fonte: JESUS, 2015

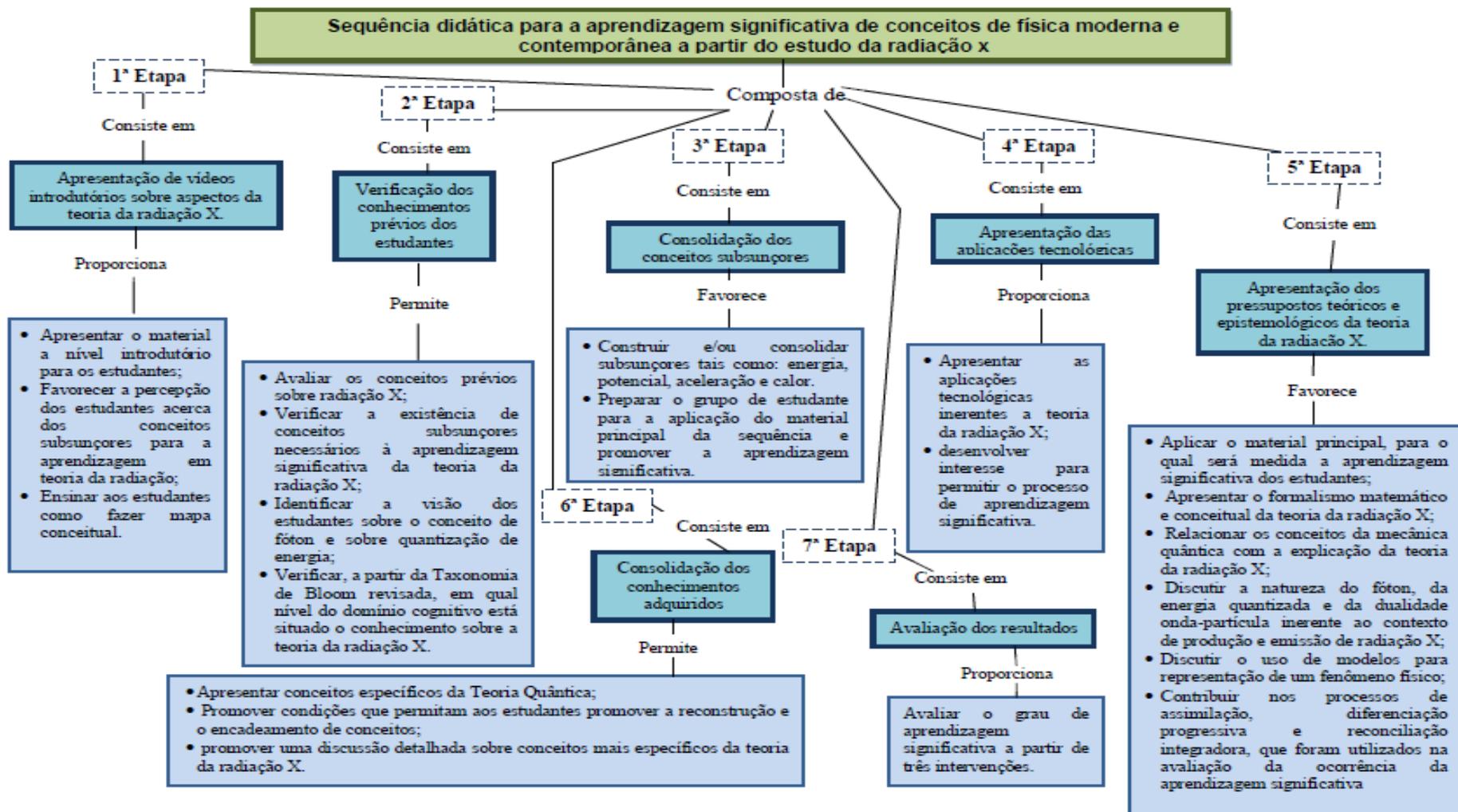


Figura 01 Mapa conceitual da sequência didática. Fonte: JESUS, 2015

No primeiro momento, o professor deverá fazer uma exposição aos seus alunos sobre o trabalho que será desenvolvido, esclarecendo que eles irão trabalhar com conceitos específicos da Física Moderna e Contemporânea, a partir do estudo da teoria de produção e Emissão da Radiação X, e que esse trabalho será realizado por meio de etapas, que se organizam em torno deste tema principal. Nesse momento deverão ser abordados também o objetivo da intervenção e o percurso metodológico que será utilizado para desenvolver a estratégia de ensino.

### ***1ª ETAPA: Vídeos introdutórios sobre Raios X e apresentação das técnicas para construção de mapas conceituais***

Essa etapa pretende promover aos estudantes a possibilidade de que os mesmos possam traçar conexões ou relações sobre o domínio do conhecimento discutido e atentem para os conceitos importantes abordados no contexto. Os vídeos deverão ser apresentados em um nível de introdução, abordando alguns aspectos gerais sobre a Teoria Quântica, como construção humana, bem como a exposição sobre características e aplicações da Teoria da Radiação X.

Os objetivos dessa etapa são: apresentar o material a nível introdutório para os estudantes; favorecendo a percepção dos estudantes acerca dos conceitos gerais e subsunçores para a aprendizagem de conceitos quânticos a partir do estudo da Teoria da Radiação X, bem como de suas aplicações tecnológicas. Além disso, nesta etapa também, deverá ser ensinado aos estudantes um conjunto de técnicas associadas à tarefa de construção de um mapa conceitual. Os mapas conceituais são uma aplicação da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e tem uma fundamental importância neste produto educacional, na medida em que serão utilizados como instrumento de avaliação da aprendizagem adquirida pelos estudantes ao longo da intervenção.

Dessa maneira, deverão ser apresentados os vídeos: “*Além do Cosmo: Origem da Mecânica Quântica*” (Figura 02) e “*Os curiosos: Física e Tecnologia*” (Figura 03), que abordam sobre aspectos gerais do tema que será discutido ao longo do período de aplicação da sequência didática. Os estudantes assistirão aos vídeos e deverão ter a oportunidade de anotar sobre suas observações para futuras discussões.



**Figura 02** Vídeo *Além do Cosmo: Origem da Mecânica Quântica*. FONTE: [Nation-Cosmo 2015]

**Link:** <https://www.youtube.com/watch?v=c1AKzIncvwk>>



**Figura 03** Vídeo *Os curiosos: Física e Tecnologia*. FONTE: [MEC-Física 2015]

**Link:** <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/21061>>

## **2ª ETAPA: Verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes**

Nessa etapa, deverá ser investigado o nível de conhecimento dos estudantes a respeito do tema, ou seja, o professor deverá identificar os conceitos gerais sobre o tema, bem como a existência de conceitos subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, e que seriam necessários para a abordagem do tema principal. Os conceitos subsunçores fundamentais são: Energia, Potencial Elétrico, Aceleração, Carga Elétrica, Onda Eletromagnética, Calor, Frequência e Comprimento de onda. Constatada a necessidade de reforço ou construção de tais conceitos, esta tarefa deve ser realizada na etapa seguinte deste produto educacional, por meio de objetos de aprendizagem atuando como organizadores prévios.

Para a tarefa de verificação dos conceitos básicos dos estudantes sobre o tema proposto, deverá ser aplicado, pelo professor, um pré-teste (questionário) elaborado a partir da utilização da Taxonomia de Bloom revisada. As questões utilizadas no pré-teste e teste foram classificadas dentro do quadro referente à Taxonomia de Bloom revisada (Quadro 2) e permite avaliar o grau de hierarquização do conhecimento sobre a Teoria da Radiação X, por parte dos estudantes, possibilitando aferir a aprendizagem significativa a partir do grau de complexidade e organização desse conhecimento.

Dimensão do conhecimento	Dimensão do processo cognitivo					
	Relembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Conhecimento efetivo/factual	Q1, Q2	Q3				
Conhecimento Conceitual	Q1, Q2	Q4, Q5, Q6		Q4, Q5, Q6		
Conhecimento procedimental		Q7, Q8, Q9, Q10	Q7, Q8, Q9	Q7, Q8, Q9, Q10		Q8, Q10
Conhecimento metacognitivo						

Quadro 2 – Questões classificadas na Taxonomia de Bloom revisada. Fonte: JESUS, 2015.

Também nessa etapa, deverá ser construído, por cada estudante, o primeiro mapa de conceitos acerca do tema estudado, e que servirá para uma análise comparativa com o segundo mapa de conceitos, elaborado no final da aplicação da SD. O objetivo desta atividade é de verificar a evolução no aprendizado de cada estudante, permitindo perceber as evidências da aprendizagem significativa a respeito dos conceitos quânticos apreendidos no âmbito do estudo da Teoria da Radiação X, tais como: quantização da energia, dualidade onda-partícula, estado quântico e fóton de raios X.

### **3ª ETAPA: Consolidação dos conceitos subsunçores**

Em algumas situações, será necessário o reforço ou a inserção de conceitos subsunçores ou âncora, indispensáveis para a aprendizagem dos conceitos quânticos da quantização da energia, dualidade onda-partícula, fóton de Raios X e Estado quântico, a partir do estudo da Teoria da Radiação X. Assim, a partir da implementação dos objetos educacionais, que desempenham, neste produto educacional, o papel de organizadores prévios, esta tarefa poderá ser facilitada, visando a utilização de materiais específicos que auxiliem os estudantes na consolidação de conceitos subsunçores.

Os objetos de aprendizagem utilizados como organizadores prévios nessa etapa serão vídeos, e animações, apresentados em um nível mais geral e inclusivo, com o objetivo de construir e/ou consolidar os subsunçores supracitados, tais como: energia (Figura 04), potencial elétrico (Figura 05), onda (Figura 06), onda eletromagnética (Figura 07), carga elétrica (Figura 08) e corrente elétrica (Figura 09); preparar o grupo de estudantes para a aplicação do material principal da sequência didática. Cada um dos vídeos dessa etapa deverá ser visto separadamente, seguido de uma discussão sobre o conceito subsunçor em questão e a amplitude desse conceito em várias áreas da física, inclusive para o cenário referente à teoria da Radiação X. O professor deverá ter uma abordagem dialógica com os estudantes, no sentido de reforçar, quando o conceito for entendido adequadamente e no sentido de esclarecimento quando o entendimento for equivocado.



**Figura 04** Vídeo *Energia*. FONTE: [D'Incao –Energ 2015]

**Link:** <[https://www.youtube.com/watch?v=hxnVsS5C\\_H8](https://www.youtube.com/watch?v=hxnVsS5C_H8)>

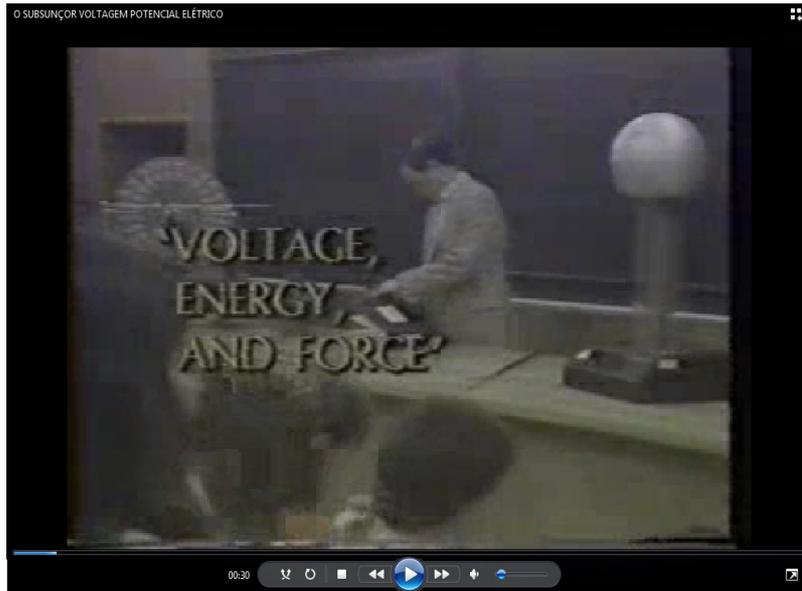


Figura 05 Vídeo *Voltagem, potencial elétrico*. FONTE: [Univ-Volt 2015]

Link: <<https://www.youtube.com/watch?v=UXGVNe1mvdU&index=42&list=PL8771D51242B1D546>>



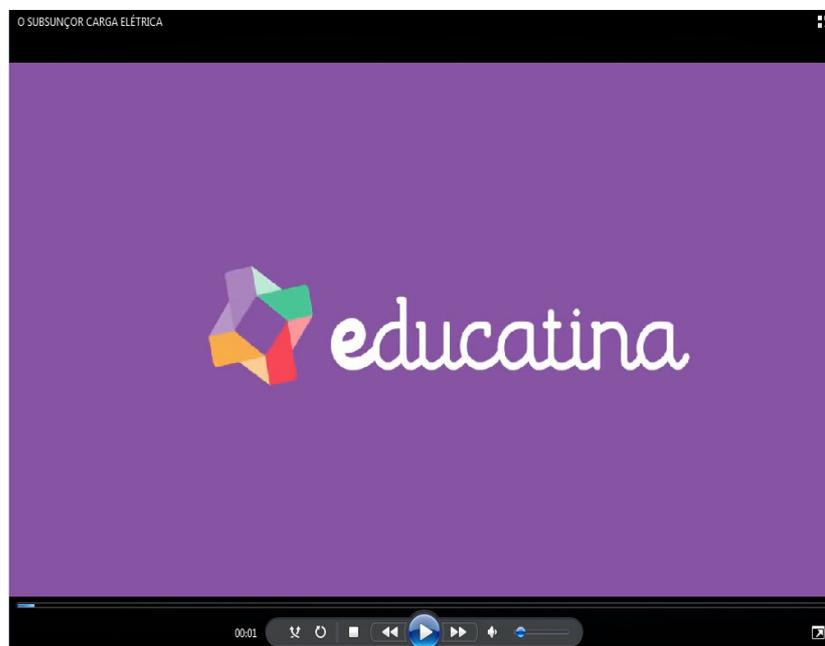
Figura 06 Animação: *Ondas no cotidiano*. FONTE: [UFPB- Ondas 2015]

Link: <[http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/13Ondas/anim\\_a/massa/fis1\\_ativ1.html](http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/13Ondas/anim_a/massa/fis1_ativ1.html)>



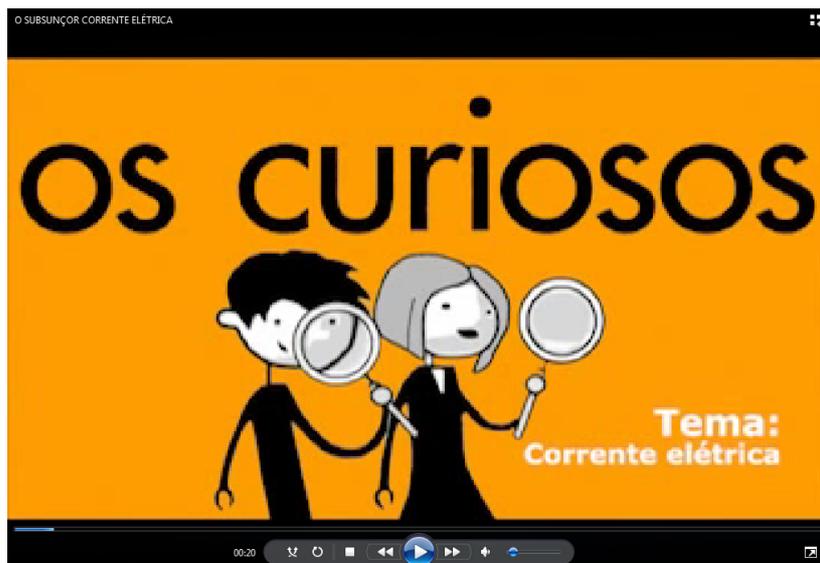
**Figura 07** Vídeo *Os curiosos: Ondas Eletromagnéticas*. FONTE: [MEC- ondas 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=FYArBY19V6o>>



**Figura 08** Vídeo *Carga elétrica*. FONTE: [Educa-Carga 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=McZPm7tkguQ>>



**Figura 09** Vídeo *Corrente elétrica*. FONTE: [MEC-Corren 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=THZJXYyZQAs>>

Além da apresentação dos conceitos subsunçores de forma geral e inclusiva para os estudantes a partir dos vídeos supracitados, deverá ser apresentada também uma animação (Figura 10) reunindo alguns aspectos importantes para a produção e emissão da Radiação X. Esta animação servirá para chamar à atenção dos estudantes sobre a maneira como tais conceitos subsunçores estão organizados no processo de produção e emissão deste tipo de radiação, perceber a utilidade dessa radiação cotidianamente e também instigar os estudantes no sentido de perceberem a necessidade de alguns conceitos físicos modernos ou quânticos para a explicação mais satisfatória acerca da produção da radiação X de espectro contínuo e característico.

Em seguida, os estudantes deverão ter a oportunidade de expressar sobre suas percepções a respeito da tarefa proposta, o que deverá contribuir para arraigar tais conceitos subsunçores na estrutura cognitiva dos estudantes, permitindo o processo de inserção do tema principal e seus conceitos relacionados. Também nesta etapa, os estudantes serão submetidos ao pré-teste, um questionário produzido a partir da Taxonomia de Bloom revisada, e que contempla os aspectos fundamentais sobre os conceitos quânticos no cenário de exploração da Teoria da radiação X. Finalmente, cada aluno deverá produzir o primeiro mapa conceitual a respeito dos conceitos estudados e que servirá de base para a avaliação da aprendizagem adquirida ao final do processo de ensino-aprendizagem.

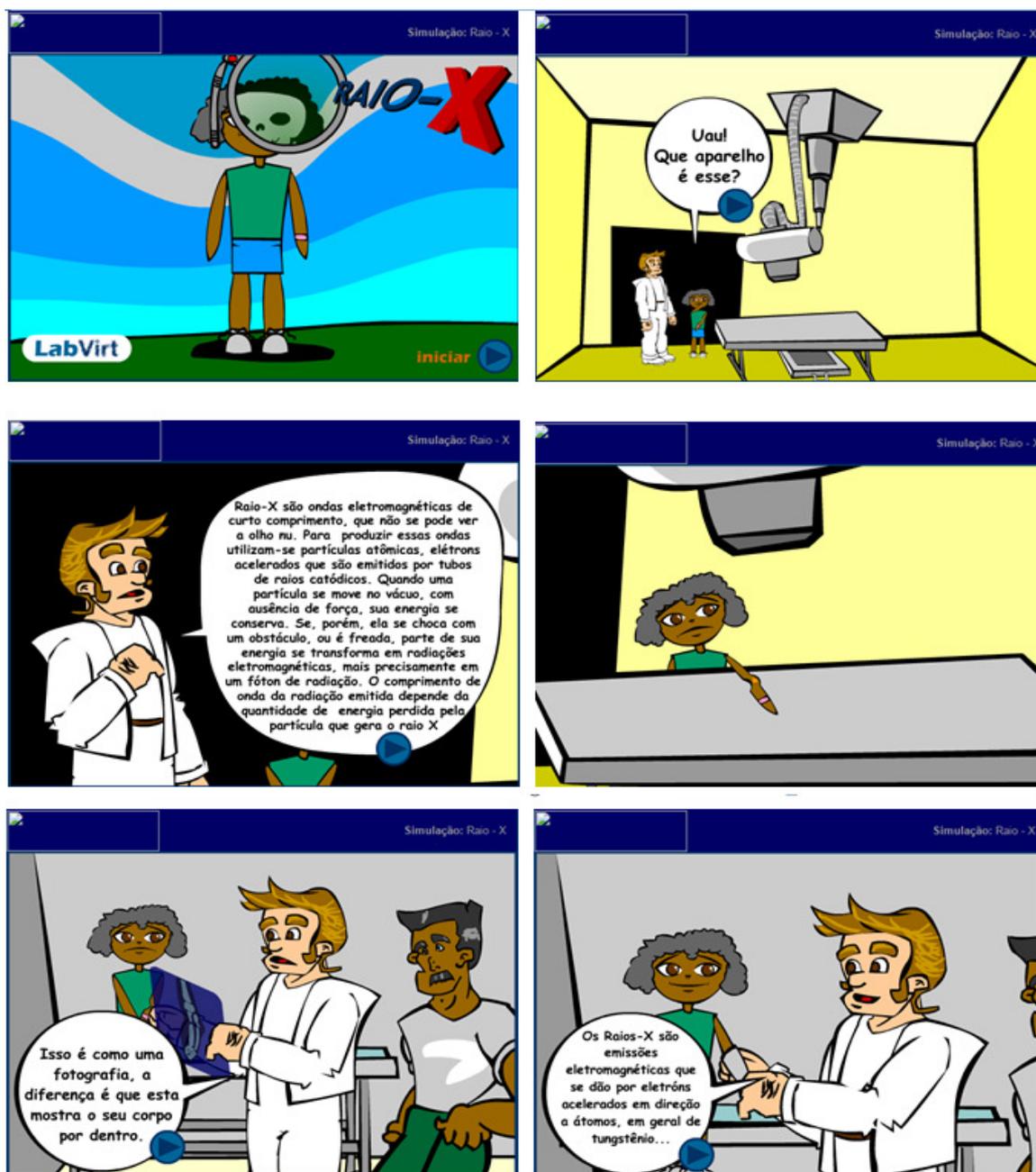


Figura 10 Ilustração da animação Raios X. FONTE: [USP- Raios X]

Link: <[http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17150/Web/labvirtq/simulacoes/tempUpload/sim\\_qui\\_raiox.htm](http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17150/Web/labvirtq/simulacoes/tempUpload/sim_qui_raiox.htm)>

#### 4ª ETAPA: Apresentação das aplicações tecnológicas

Para a ocorrência da aprendizagem significativa, Ausubel nos chama a atenção para algumas condições importantes: os estudantes devem apresentar uma disposição para esta aprendizagem, isto é, o interesse do estudante é fundamental no processo de ensino e aprendizagem na concepção ausubeliana (AUSUBEL, 2002).

Dessa maneira e para incentivar este interesse no aluno, nessa etapa deverão ser apresentadas, de forma sistemática, várias das aplicações cotidianas da Radiação X em várias áreas do conhecimento na sociedade, entre elas podemos destacar as áreas da saúde, da indústria, da segurança e da astronomia. Esta intervenção leva em consideração um aspecto importante no comportamento dos estudantes de ensino médio. Trata-se da curiosidade, uma arma importante para este tipo de ação pedagógica. Os objetivos dessa etapa são: apresentar as aplicações tecnológicas inerentes à Teoria da Radiação X e contribuir para despertar o interesse do aluno. As intervenções pedagógicas serão: a leitura de artigos (Figuras 11 e 12) e exibição de vídeos referentes a estas aplicações da Radiação X (Figuras 13, 14, 15, 16), seguidas de discussões coletivas sobre os os benefícios e perigos destas aplicações.

*Quim. Nova*, Vol. 32, No. 1, 263-270, 2009

#### RAIOS-X: FASCINAÇÃO, MEDO E CIÊNCIA

Rodrigo da Silva Lima e Júlio Carlos Afonso\*

Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, 21941-909 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Luiz Cláudio Ferreira Pimentel

Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Av. Salvador Allende, s/n, 22780-160 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Recebido em 25/10/07; aceito em 20/6/08; publicado na web em 10/12/08

X-RAYS: FASCINATION, FEAR AND SCIENCE. This work presents the discovery and the use of x-rays at the end of the XIXth and the beginning of the XXth century. X-rays greatly impacted science and everyday life. Their existence broke the idea that knowledge had reached a limiting step. In general, people regarded x-rays as a marvel of science, but reactions against their use were also found. Several applications were proposed, especially in medicine. However, little or no attention was paid to security measures, leading to health damages and even death. The development of the radiological protection took into account the accidents with the x-rays.

Keywords: x-rays; radiography; radiation.

**Figura 11** Artigo *Raios-x: fascinação, medo e ciência*. FONTE: LIMA et al, 2009.

LIMA R.S., AFONSO J.C., PIMENTEL L.C.F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. **Quim. Nova**, Vol. 32, No. 1, 263-270, 2009.

#### História da Radiologia

### Radiologia: 110 anos de história

Fabiano Celli Francisco<sup>1</sup>, Waldir Maymone<sup>2</sup>, Antonio Carlos Pires Carvalho<sup>3</sup>, Vivian Frida Murta Francisco<sup>4</sup>, Marina Celli Francisco<sup>5</sup>

Contar a história de algo ou de alguém é uma experiência fascinante, tanto para o contador quanto para quem, conhecendo ou não os personagens, viaja num mundo imaginário que abre um novo universo para os que a desconheciam e oferece novas alternativas de interpretação para quem viveu ou assistiu parte do enredo ali desfiado.

A história da Radiologia é um projeto ambicioso que deve ser lido, interpretado e admirado por todos os que de alguma forma se interessam por nossa especialidade, responsável por uma grande mudança nos rumos da Medicina mundial.

**Figura 12** Artigo *Radiologia: 110 anos de história*. FONTE: FRANCISCO et al.2005.

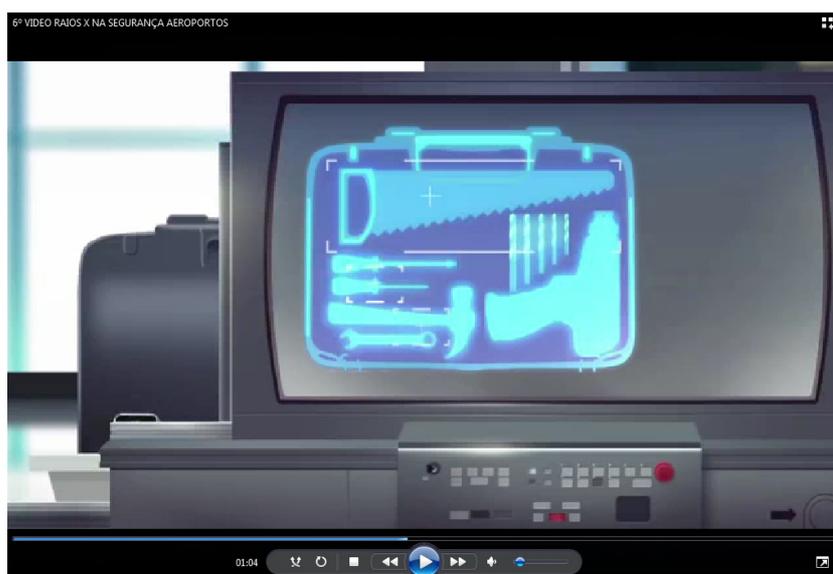
FRANCISCO FC. et al. Radiologia: 110 anos de história. **Rev. Imagem**. 27(4): 281-286. 2005.

A leitura dos artigos deverá ser proposta inicialmente em grupos e em seguida feita uma discussão coletiva sobre os aspectos importantes que foram percebidos pelos estudantes. Além da leitura deverão ser apresentadas várias das aplicações desse tipo de radiação em várias áreas do conhecimento, como mostram os vídeos a seguir:



**Figura 13** Vídeo O que é um exame de Raio X. FONTE: [COSTA-Fluor2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=gy4-OR0ICyc>>



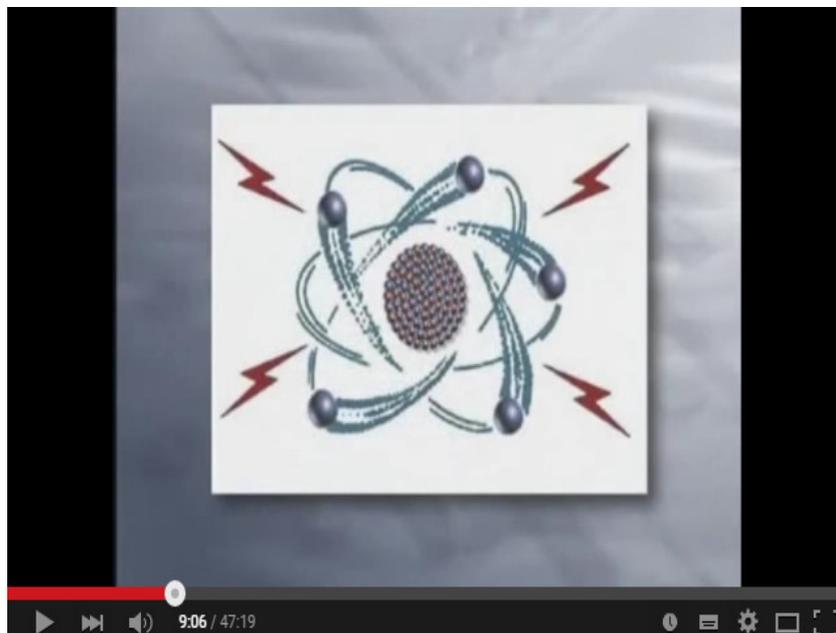
**Figura 14** Vídeo Raios X na segurança: Aeroportos. Fonte: [GRU-.Raios X 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=CobaApRX3Hc>>



**Figura 15** Vídeo *Raios X na Astronomia*. FONTE: [TV escola – astro 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=r6-T6e5SON4>>



**Figura 16** Vídeo *Raios X industrial*. FONTE: [Telec- indust 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=tdPuaiecq1U>>

## ***5ª ETAPA: Apresentação dos pressupostos teóricos e epistemológicos da teoria da Radiação X***

Nesta etapa, os conceitos fundamentais para a explicação da produção e emissão da Radiação X deverão ser apresentados e discutidos a partir dos conceitos subsunçores já estabelecidos na estrutura cognitiva dos estudantes. Dessa forma, cada uma das grandezas físicas, tais como, energia, diferença de potencial, carga elétrica, corrente elétrica, aceleração e onda eletromagnética deverão ser utilizadas para demonstrar a produção dos espectros contínuo e característico da Radiação X, em um tubo de vácuo, a partir da visão clássica da Física. Em seguida, deverá ser feita a apresentação dos conceitos quânticos para a explicação da produção destes dois espectros, explorando a limitação conceitual da Física clássica para tal tarefa.

A partir deste comparativo, o estudante será capaz de perceber a importância e a necessidade da criação e utilização dos conceitos de quantização da energia, dualidade onda-partícula, fóton de raios X e estado quântico na explicação satisfatória de produção e emissão dos espectros característico (espectro de linhas) e contínuo da Radiação X. Além disso, outra questão importante e que deverá ser abordada ainda nesta etapa é a necessidade de transição conceitual do modelo orbital clássico para o modelo de níveis e subníveis de energia, tão comum a física quântica, e que é compatível com a quantização da energia e definição de estado quântico do elétron. Estes avanços conceituais promoveram avanços, principalmente no entendimento satisfatório sobre o surgimento do espectro de linhas da Radiação X.

Essa etapa teve como objetivos: a aplicação do material principal, para o qual foi medida a aprendizagem significativa dos estudantes; apresentar o formalismo matemático e conceitual para a explicação da Teoria da Radiação X; relacionar os conceitos da mecânica quântica com a produção e emissão de Radiação X; discutir a natureza epistemológica do conceito de fóton de Raios X, da quantização da energia, da dualidade onda-partícula e do conceito de estado quântico, inerentes ao contexto de produção e emissão de Radiação X; discutir o uso de modelos para representação de um fenômeno físico e contribuir nos processos de assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, que foram utilizados na avaliação da ocorrência da aprendizagem significativa com base na comparação dos mapas conceituais produzidos.

Nesta fase, deverão ser apresentados alguns vídeos (Figura 17, 18, 19, 20 e 21) discutindo a organização conceitual e relação da física clássica com o espectro contínuo e característico da Radiação X e da limitação desta teoria na previsão de comprimento mínimo de onda para esta radiação e o espectro característico ou de linhas para a Radiação X, que está associado às transições quânticas ou alteração do estado quântico dos elétrons nos níveis energéticos. Em seguida, deverá ser apresentada uma animação comentada explicando, de uma forma lúdica, as diferenças entre o espectro contínuo e espectro característico de Radiação X (Figura 22).



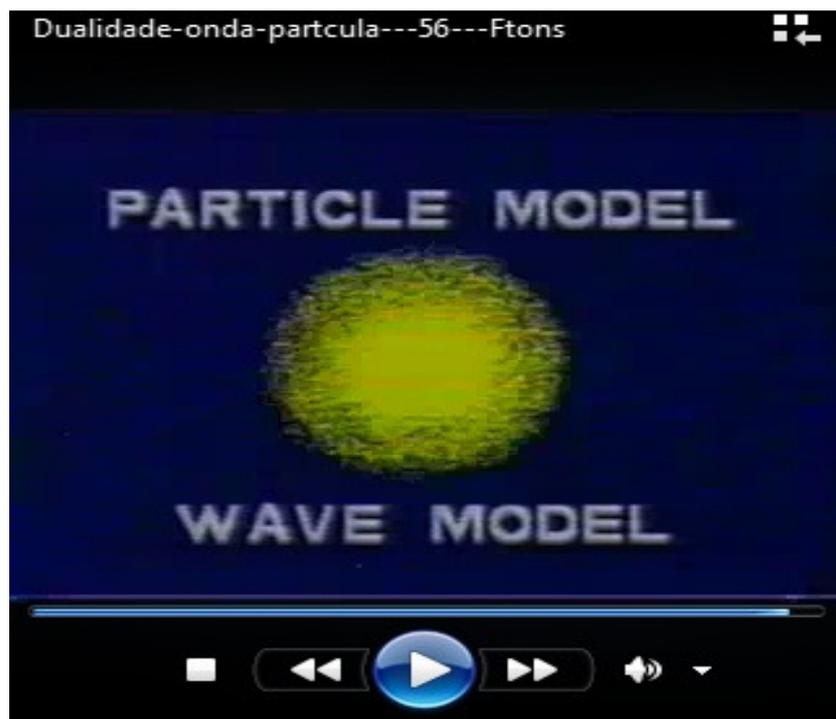
**Figura 17** Vídeo *A saga do prêmio Nobel: Os instrumentos na medicina*. FONTE: [Nobel- med 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=vw-TU6znfjk>>



**Figura 18** Vídeo *O conceito de Fótons*. FONTE: [Nobel- fótons 2005]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=QwKTU2tvLug>>



**Figura 19** Vídeo Dualidade onda-partícula. Fonte: [Onta- Dual 2015]

**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs>>



**Figura 20** Vídeo *Espectros de Radiação X*. FONTE: [UFF- espectros 2015]

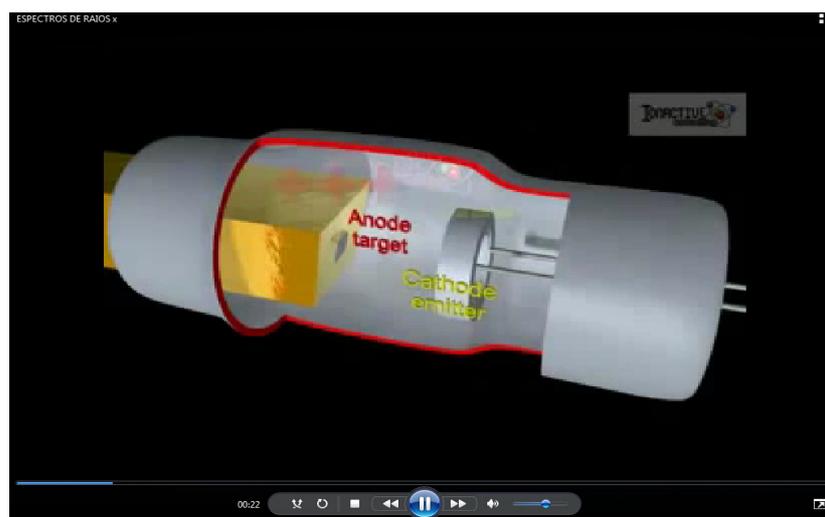
**Link:** <<https://www.youtube.com/watch?v=pOxZBPyE5cM>>

No final desta etapa os estudantes deverão ter uma percepção mais clara sobre a importância da Teoria Quântica em vários campos da Física, sobretudo sobre sua capacidade de dar respostas para questões fundamentais relativas aos principais avanços tecnológicos experimentados pelo homem ao longo dos últimos cem anos.



**Figura 21** Vídeo *Difração de Raios X*. FONTE [UFF- Difração 2015]

**Link:** <[https://www.youtube.com/watch?v=mGeA\\_pFFALQ](https://www.youtube.com/watch?v=mGeA_pFFALQ)>



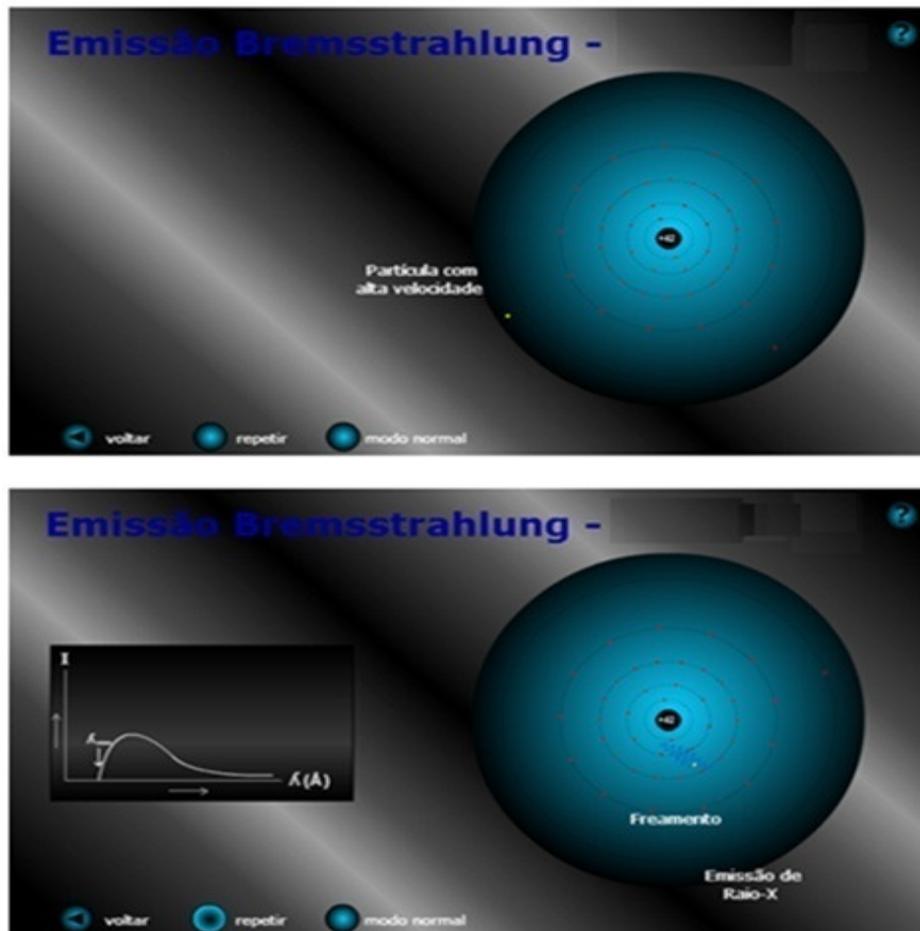
**Figura 22** Animação comentada: *Espectros de Raios X*. FONTE: [Grallator- Espectro 2015]

**Link:** <[www.grallator.co.uk](http://www.grallator.co.uk)>

Portanto a tarefa mais importante nesta etapa da sequência é o docente demonstrar que os conceitos quânticos explicam de forma satisfatória a produção e emissão tanto do espectro contínuo quanto do espectro característicos. Além disso, a Teoria Quântica proporciona um entendimento pleno sobre a existência de comprimento de onda mínimo para a radiação produzida durante a frenagem de um elétron rápido nas proximidades do núcleo atômico, dando conta de um aspecto não previsto na formulação clássica da para o problema em questão.

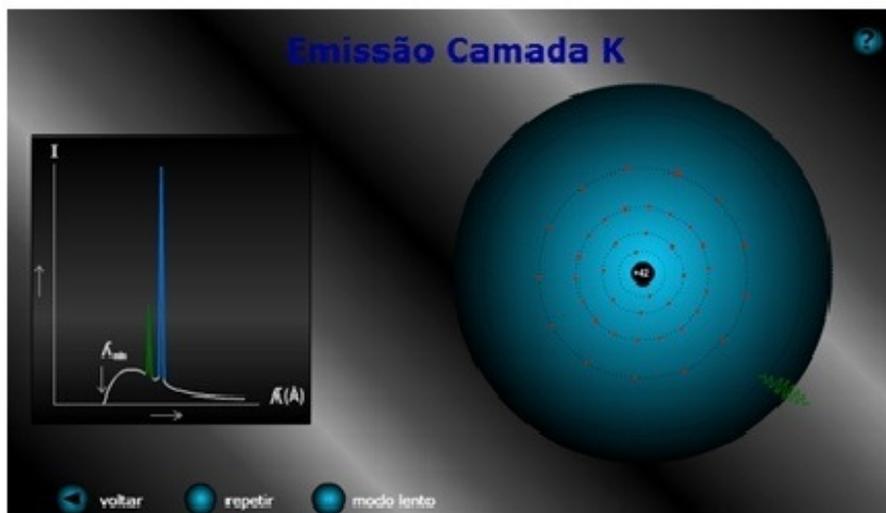
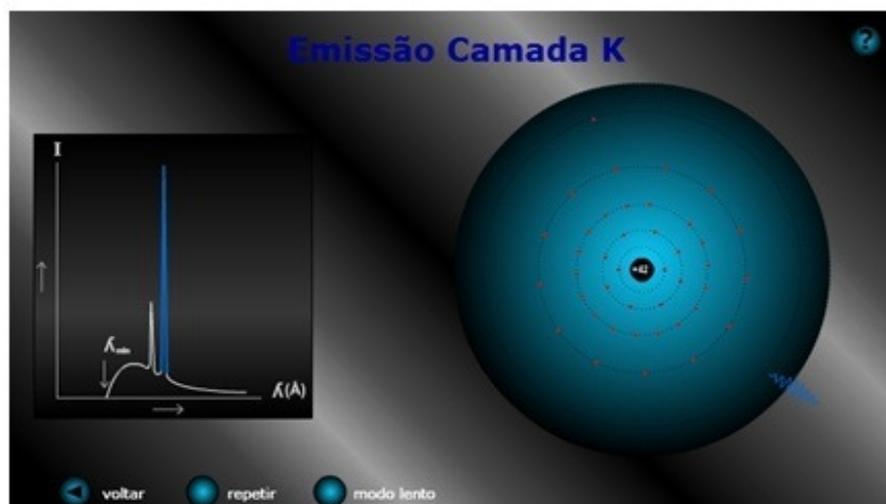
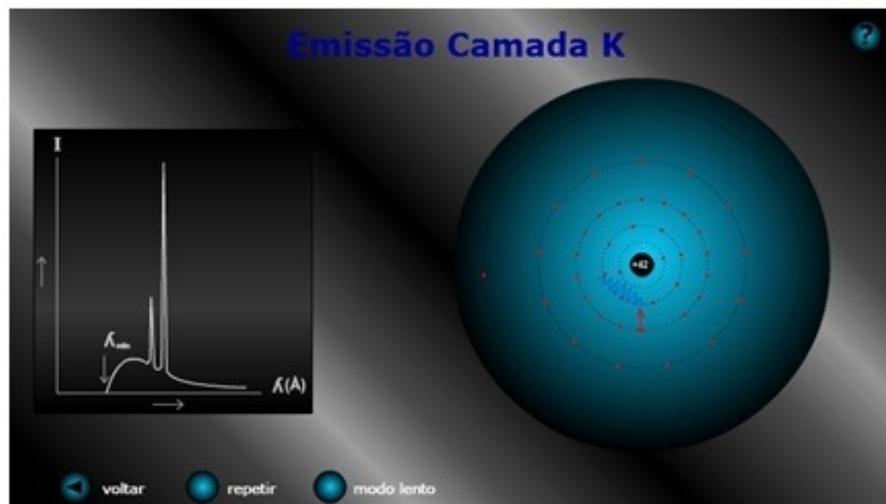
## 6ª ETAPA: Consolidação dos conhecimentos adquiridos

Os objetivos dessa etapa são: apresentar os conceitos mais específicos da Teoria de Produção e Emissão da Radiação X; promover condições que permitam aos estudantes a reconstrução e o encadeamento de conceitos; promover uma discussão detalhada sobre tais conceitos; promover um entendimento mais detalhado a respeito das explicações da Teoria Quântica para a produção e emissão de Radiação X; difundir e aprofundar o entendimento sobre os conceitos quânticos de quantização da energia, fóton de raios X, estado quântico e dualidade onda-partícula. Algumas simulações computacionais podem favorecer a aprendizagem, permitindo a interação dos alunos com conceitos específicos nos contextos clássico e quântico, a partir do estudo da Radiação X. As Figuras 23, 24 e 25 mostram tais simulações.



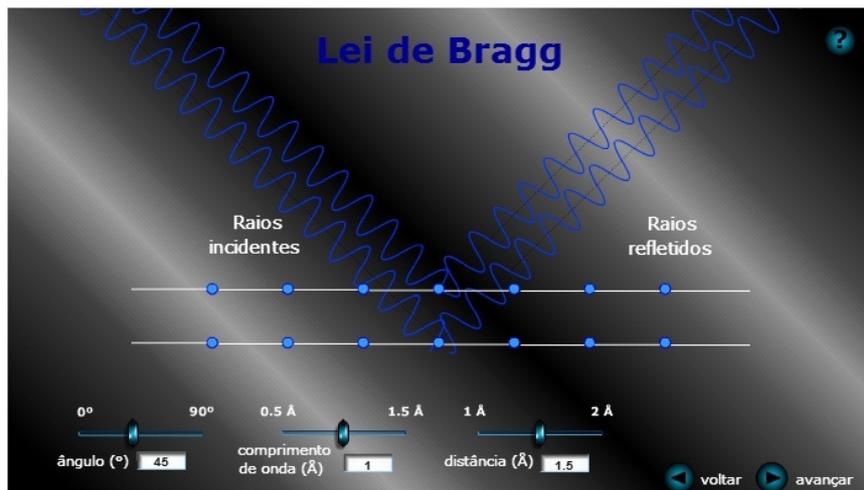
**Figura 23** Simulação: produção de Radiação X de espectro contínuo. FONTE: [UFRGS - RaiosX 2015]

**Link:** <[http://ief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvarenga/applets/R-X/index.html](http://ief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvarenga/applets/R-X/index.html)>



**Figura 24** Simulação: *Produção de raios X característico*. FONTE: [UFRGS - RaiosX 2015]

**Link:** <[http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvarenga/applets/R-X/index.html](http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvarenga/applets/R-X/index.html)>



**Figura 25** Simulação: *Difração com Raios X*. FONTE: [UFRGS - Raios X 2015]

**Link:** <[http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvarenga/applets/R-X/index.html](http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvarenga/applets/R-X/index.html)>

Na segunda simulação (Figura 26) os estudantes terão a oportunidade de alterar/variá os parâmetros físicos matemáticos e relacionar os conceitos estudados com a geração de Radiação X em um tubo de vácuo. Algumas das telas encontradas neste objeto de aprendizagem são mostradas a seguir:





**Figura 26** Simulação interativa: produção de Raios X em um tubo de vácuo. FONTE: (JESUS e SANTANA, 2015)

## ***7ª ETAPA: Avaliação dos resultados***

### **I- Aplicação do teste**

Esta aplicação foi feita levando-se em consideração os níveis taxonômicos de Bloom revisados (Quadro 2), o que permitiu avaliar o grau de complexidade associado ao conhecimento adquirido e compará-lo com a situação do pré-teste.

### **II- Construção de um mapa de conceitos acerca da teoria da Radiação X seguido do comentário sobre essa construção**

Os estudantes produziram um mapa de conceitos com o encadeamento dos conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores e em seguida esses mapas conceituais deverão ser comparados aos mapas produzidos no pré-teste. O objetivo é avaliar a evolução do conhecimento a partir da diferenciação progressiva de conceitos e da reconciliação integrativa dos conceitos, uma vez que o mapa conceitual, nesta etapa, consistiu em uma ferramenta não convencional de avaliação.

## **TESTE PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM (SUGESTÃO)**

**Questão 01:** Do ponto de vista da teoria clássica da Física, o espectro contínuo de emissão da Radiação X se manifesta na emissão de:

- a) um feixe de elétrons de alta energia
- b) um feixe de prótons de alta energia
- c) uma onda mecânica de período constante
- d) radiação eletromagnética de alta frequência

**Questão 02:** Do ponto de vista da teoria Clássica da Física, a Radiação X pode ser classificada como:

- a) uma onda transversal, formada por campos variáveis
- b) uma onda longitudinal que se propaga no vácuo
- c) uma onda de propagação restrita a meios materiais
- d) uma onda eletromagnética de propagação restrita ao vácuo

**Questão 03:** Do ponto de vista da teoria Clássica da Física, a Radiação X de espectro contínuo pode ser produzida a partir:

- a) de uma carga elétrica em repouso no espaço
- b) de uma carga elétrica, quando desacelerada próximo da região nuclear
- c) da liberação de um fóton de Raios X, provenientes de transições eletrônicas
- d) da mudança de estados quânticos dos átomos ligados

**Questão 04:** Com base na teoria moderna da Física, a Radiação X de espectro contínuo pode ser entendida como:

- a) A liberação de um fóton de Raios X cuja energia equivale á energia cinética do elétron incidente
- b) a liberação de raios catódicos em um tubo de Crookes
- c) um fóton produzido pela transição de um elétron entre dois orbitais atômicos
- d) a liberação de um fóton de Raios X a partir do núcleo atômico quando bombardeado por nêutrons

**Questão 05:** Com base em uma formulação semi-Clássica da Física, a Radiação X de espectro característico é liberada quando:

- a) um elétron é desacelerado pelo núcleo atômico, liberando fótons de Raios X
- b) um elétron é transferido de um orbital atômico interno para outro externo
- c) um elétron muda seu estado quântico, liberando um fóton de Raios X
- d) um elétron passa de um orbital externo para outro externo, emitindo um fóton de Raios X

**Questão 06:** Com base na teoria moderna da Física, a liberação de Radiação X de espectro característico ou de linhas decorre:

- a) da colisão de um elétron com o núcleo transformando parte da energia cinética em fótons de raios X com energia quantizada
- b) da transição de um elétron entre dois estados quânticos distintos, evidenciada nas transições entre níveis e subníveis energéticos, promovendo a liberação de um fóton de raios X

- c) da transição de um elétron entre dois orbitais, promovendo a liberação de um fóton de Raios X de frequência e energia constantes.
- d) da frenagem de um elétron rápido na região nuclear, promovendo a liberação de radiação eletromagnética

**Questão 07:** Um elétron de energia 40,0 KeV é desacelerado por um núcleo pesado em uma placa metálica adequada para o processo. A partir desta informação e sabendo que a constante de Planck para o caso vale  $6,63 \times 10^{-34}$  J.s determine o comprimento mínimo, medido em metros, para o fóton de Raios X produzido nesse processo.

- a)  $2,56 \times 10^{-12}$
- b)  $3,5 \times 10^{-12}$
- c)  $2,34 \times 10^{-12}$
- d)  $3,11 \times 10^{-12}$

**Questão 08:** Para a obtenção de um feixe de Radiação X, elétrons são acelerados, a partir do cátodo, e lançados contra o ânodo, formado por certo elemento químico. Neste processo, um elétron do primeiro nível atômico do núcleo do material do ânodo foi arrancado por uma colisão do elétron incidente, tendo sua vaga, nesse primeiro nível, sido ocupada por um elétron proveniente do segundo nível atômico deste átomo do núcleo. Tomando esta informação com base para o seu problema, classifique o feixe de Radiação X produzida e calcule a frequência do fóton de Raio X produzido no processo.

**Questão 09:** A tecnologia resultante da teoria de produção e emissão da Radiação X pode ser utilizada em processos relacionados à saúde, indústria e segurança. Neste contexto, as alternativas onde apenas aparecem procedimentos e aplicações cotidianas para este tipo de tecnologia são.

- a) exames radiográficos, quimioterapia e verificação de peso de bagagens em aeroportos
- b) exames radiográficos, fluoroscopia e verificação do conteúdo interno das bagagens em terminais de passageiros.
- c) ultrassonografia, quimioterapia e detectores de metais em bancos.
- d) ultrassonografia, funcionamento de portas elétricas em lojas e acionamento de controles remotos nas residências

**Questão 10:** Com base na teoria quântica, explique a utilização do modelo de subníveis para o entendimento da produção e emissão da Radiação X, indicando aspectos/diferenças não contemplados na teoria clássica.

---

---

---

---

---

---

---

---

## *Links utilizados*

[Nation-Cosmo 2015] **National Geographic: Além do Cosmo - Mecânica Quântica.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=c1AKzIncvwk>> Acesso em: janeiro 2015.

[MEC-Física 2015] **Ministério da educação: Física e Tecnologias Raios X.** Disponível em: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/21061>> Acesso em: janeiro 2015.

[D'Incao -Energ 2015] **D'Incao Instituto de Ensino: Introdução ao conceito de energia.** Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=hxnVsS5C\\_H8](https://www.youtube.com/watch?v=hxnVsS5C_H8)> Acesso em: fevereiro 2015.

[Univ-Volt 2015] **Universo Mecânico: Voltagem, energia e Força.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UXGVNe1mvdU&index=42&list=PL8771D51242B1D546>> Acesso em: fevereiro 2015.

[UFPB- Ondas 2015] **UFPB – Ondas no cotidiano.** Disponível em: [http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/13Ondas/anima/massa/fis1\\_ativ1.html](http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/13Ondas/anima/massa/fis1_ativ1.html)> Acesso em janeiro 2015.

[MEC- ondas 2015] **Ministério da Educação: Ondas eletromagnéticas.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FYArBY19V6o>> Acesso em: fevereiro 2015.

[Educa-Carga 2015]. **Educatina: Carga elétrica.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=McZPm7tkguQ>> Acesso em: fevereiro 2015.

[MEC-Corren 2015] **Ministério da educação: Corrente elétrica.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=THZJXYyZQAs>> Acesso em: janeiro 2015.

[USP- Raios X] **USP – Labvit: Raios X.** Disponível em: [http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17150/Web/labvirtq/simulacoes/empUpload/sim\\_qui\\_raiox.htm](http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17150/Web/labvirtq/simulacoes/empUpload/sim_qui_raiox.htm)> Acesso em: fevereiro 2015.

[COSTA-Fluor2015]. COSTACURTA, M. O que é um exame de Raios-X. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gy4-OR0ICyc>> Acesso em: fevereiro 2015.

[GRU-.Raios X 2015] **GRU Animação Raios X.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CobaApRX3Hc>> Acesso em: fevereiro 2015.

[TV escola – astro 2015]. **TV Escola – ABC da astronomia / Raios X.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=r6-T6e5SON4>> Acesso em: fevereiro 2015.

[Telec- indust 2015]. **Telecurso 2000: Raios X Industrial.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=tdPuaiecq1U>> Acesso em: fevereiro 2015.

[Nobel- med 2015]. A saga do prêmio Nobel: Os instrumentos da medicina. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vw-TU6znfjk>> Acesso em: fevereiro 2015.

[Nobel- fótons 2005]. **Nobel- Fótons**. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=QwKTU2tvLug>> Acesso em: fevereiro 2015.

[Onta- Dual 2015] **TV Ontário: Dualidade Onda partícula**. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs>> Acesso em: fevereiro 2015.

[UFF- espectros 2015] **UFF: Espectros de Raios X**. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=pOxZBPyE5cM>> Acesso em: janeiro 2015.

[UFF- Difração 2015]. **UFF: Difração de Raios X**. Disponível em:  
<[https://www.youtube.com/watch?v=mGeA\\_pFFALQ](https://www.youtube.com/watch?v=mGeA_pFFALQ)> Acesso em: janeiro 2015.

[Grallator- Espectro 2015] **Grallator: Espectros de Raios X**. Disponível em:  
<[www.grallator.co.uk](http://www.grallator.co.uk)> Acesso em: janeiro 2015.

[UFRGS - Raios X 2015] **UFRGS: Raios X**. Disponível em:  
<[http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvorenga/applets/R-X/index.html](http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvorenga/applets/R-X/index.html)> Acesso em:  
fevereiro 2015.

## **Referência**

JESUS, S.J. **O estudo da Radiação X: Desenvolvendo uma estratégia de ensino para a aprendizagem significativa**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, dezembro, 2015.



