

USO DE MAPAS CONCEITUAIS PARA SE CONSTRUIR UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS DE MODELOS MATEMÁTICOS OU CIENTÍFICOS – UMA GENERALIZAÇÃO DO USO DE MAPAS CONCEITUAIS COMO LINGUAGEM ALGORÍTMICA.
Mapping of Mathematical or Scientific Models– A Generalization of the use of Concept Maps as Algorithmic Language.

Prof. Dr. Luiz Adolfo de Mello
Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – UFS; ladmello@uol.com.br

Resumo: Apresentamos aqui uma metodologia de pesquisa desenvolvida para o estudo da teoria do conhecimento científico onde se usa mapeamento conceitual (Novak, 1990), teoria cognitiva da ciência (Izqueirdo, 2003), teoria da transposição didática (Chevallard, 1982) e linguagem algorítmica. Esta ferramenta deve auxiliar a identificação dos elementos constituintes de uma teoria científica, a sua construção epistemológica, o paradigma vigente e a metodologia de ensino empregada. Sugere-se de que em casos particulares, como no estudo da teoria do conhecimento científico, que mapeamento conceitual deve ser construído sob regras bem definidas. Devido ao fato das teorias Físicas serem construídas em termos de leis Físicas expressas em termos de equações, funções matemáticas, símbolos da Física tem-se que generalizar a ferramenta “mapas conceituais” para descrever como as teorias Físicas são elaboradas. Essa generalização será denominada de “Mapeamento de Estruturas do Conhecimento Científico”. Aplicaremos esta ao estudo de unidades de ensino potencialmente significativas.

Palavras Chaves: Mapeamento Conceitual, Transposição Didática, Teoria Cognitiva da Ciência, Ensino de Ciências, Aprendizagem Significativa.

Abstract: We present a research methodology developed for the theory of scientific knowledge which use conceptual mapping (Novak, 1990), cognitive science theory (Izqueirdo, 2003), theory of didactic transposition (Chevallard 1982) and algorithmic language. This tool should help the identification of the constituent elements of a scientific theory, its epistemological construction, the current paradigm and the teaching methodology employed. It is suggested that in particular cases, as in the study of the theory of scientific knowledge, that conceptual mapping should be constructed under well-defined rules. Due to certain particularities of how Physical theories are constructed and expressed in terms of Physical laws we will have to generalize the tool "conceptual maps" to describe how the Physical theories are elaborated. This generalization will be called "Mapping of Scientific Knowledge Structures". We will apply this to the study of potentially significant teaching units.

Key Words: Concept Mapping, Didactic Transposition, Cognitive Theory of Science, Meaningful Learning.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é apresentar uma generalização da ferramenta de pesquisa, de apresentação e avaliação do conhecimento científico denominada de Mapa Conceitual (MC) que denominaremos de Mapa de Estrutura do Conhecimento Científico (MECC). Especificamente o mapeamento conceitual das teorias e leis da Física como apresentadas nos livros didáticos em geral [de Mello, 2020a]. Vamos lidar com o problema de apresentar leis,

conceitos e teorias na forma gráfica ou visual e de forma coerente. Como se deseja criar uma metodologia de pesquisa que permita ao pesquisador em ensino de ciências comparar, classificar e elaborar livros textos de ciências exatas em geral vamos mostrar que se criarmos regras mais ou menos rígidas este se torna uma poderosa ferramenta de elaboração do conhecimento. Mas as leis físicas são expressas em termos de enunciados que contém formulas matemática. Equações (vetoriais) do tipo $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ têm importância central na Física. Nomes de cientistas famosos e de experimentos assumem papel fundamental na divulgação e caracterização de certas leis. Como expressá-los usando MC?

Com a subdivisão dos cursos de engenharia e ciências exatas e a explosão do mercado editorial criou-se a necessidade da produção de livros de Física (como de cálculo) para os diversos tipos de cursos. Por exemplo, hoje nos EUA temos livro de Física para curso baseado em cálculo, outros para curso baseado em álgebra, etc. Cada um deste possui uma metodologia de ensino que o diferencia dos demais. Assim, torna-se interessante ter-se ou criar uma ferramenta que possibilite analisar e dissecar como o conhecimento é transcrito aos livros textos. A melhor forma é a visual. Se levarmos em conta a diversidade do público alvo dos livros textos tem-se que uma boa parte destes não estão preparados ou treinados na discriminação dos elementos constituinte de um modelo ou de uma teoria da Física ou da Química. Assim essa ferramenta será de grande valia para educadores como para estudantes.

Como boa parte dos livros textos atuais já são elaborados segundo alguma metodologia de ensino e aprendizagem, e como muitas universidades já estão incorporando em seu projeto pedagógico metodologias de aprendizagem ativas, vamos usar como exemplo um tópico da ciência, “O modelo de Bohr”, para mostrar como o MECC pode ser usado para auxiliar a construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).

2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

Após 40 anos de pesquisa em ensino em geral alguns pesquisadores [Ausubel, 1977; Moreira, 2013; Novak, 1990] delinearão os princípios ou/e elementos básicos que constituiriam uma unidade de ensino ou sequência didática que produziria aprendizagem significativa no sentido de Ausubel [1977]. Estes princípios básicos estão resumidos no artigo de Moreira “**Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) [2013]**” de modo que não os reproduziremos na íntegra aqui. Em linhas gerais para que uma sequência didática ser classificada como uma UEPS esta deve levar em conta os conhecimentos prévios dos estudantes, conquistar o interesse deste e introduzir o conteúdo e seus conceitos de forma que este se articule com a estrutura cognitiva do instruído. Resumidamente uma sequência didática pode ser denominada de uma UEPS se ela contiver:

- a) situações-problema que funcionem como organizadores prévios e ao mesmo tempo deem sentido a novos conhecimentos (Vergnaud);
- b) que levem em consideração os níveis de complexidade do conteúdo a ser ensinado e que desperte a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- c) que esta ou aquelas situações estimulem ou induza o estudante a construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação [Johnson-Laird, 1995];
- d) A organização do ensino leve em conta a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação;

e) E que esta tenha uma linguagem que se adeque ao nível de compreensão dos estudantes e os estimule à interação social [Moreira, 2013].

3 – Formas Gráficas de Apresentação.

Têm-se várias formas de representar graficamente uma sequência de atividades, ideias, conceitos, etc. Ver Figura 1. A mais simples de todas é através de um fluxograma. Fluxogramas são representações gráficas através de símbolos e flechas usados para descrever simbolicamente uma sequência de atividades, operações ou ações que estão encapsuladas em boxes. Ao contrário dos Mapas de Conceitos, estes não possuem ou usam palavras conectoras entre seus boxes.

Outra forma simples de apresentar e organizar ideias graficamente seria através de um organograma. Organograma é um gráfico que representa a estrutura formal de uma organização. Este, também, não usa palavras de ligação.

Podemos usar Quadros Sinópticos para resumir e apresentar ideias. O quadro sinóptico, ou também sinótico, é o resumo esquematizado de uma ideia, de um texto, documento e até mesmo da aula de um professor. Sua principal vantagem é de permitir a visualização da estrutura e da organização do conteúdo que expõe um determinado texto. Ele pode ser elaborado com a ajuda de chaves, diagramas e até mesmo utilizar uma série de colunas e fileiras assim como tabelas.

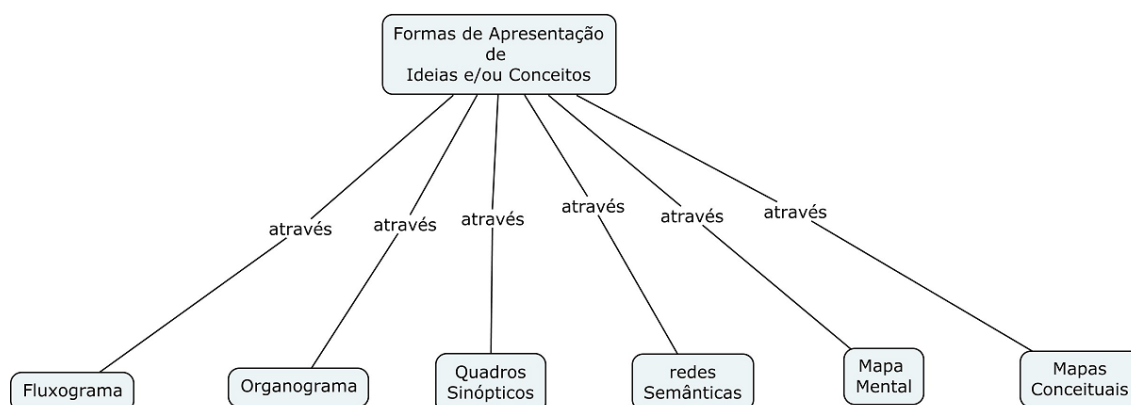


Figura 1 – Mapa Conceitual ilustrando as formas mais usuais de apresentação gráfica de ideias e conceitos.

Outra maneira é através de redes semânticas. Uma rede semântica é uma forma de representação do conhecimento definida como um grafo direcionado no qual os vértices representam conceitos e as arestas representam relações semânticas entre os conceitos. Elas são consideradas uma forma comum de banco de dados legível por uma máquina. [Uchôa, 1994]

Também podemos usar um mapa mental. Um mapa mental pode ser considerado como uma variante de rede semântica. Ao usar cores e figuras a ênfase está na geração de uma rede semântica que invoca a criatividade humana. Apesar disso, a grande diferença entre o mapa mental e a rede semântica é que a estrutura do mapa mental é hierárquica, com os nós partindo de um ponto central. Diferentemente, na rede semântica os nós podem ser conectados com quaisquer outros nós. [Archela, 2004]

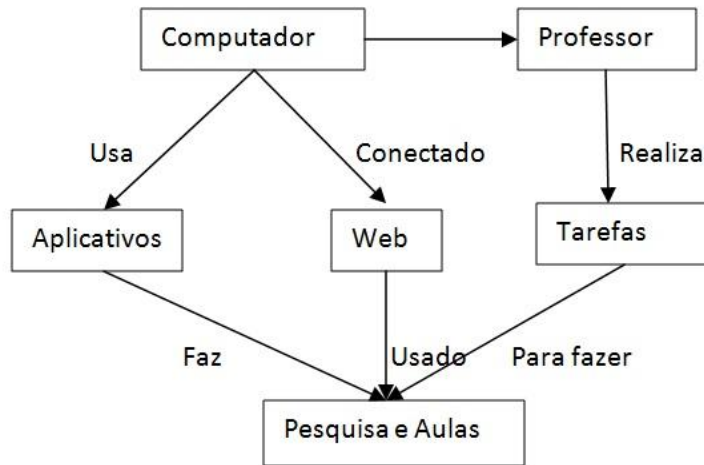


Figura 2. Exemplo de um mapa mental

Um algoritmo é uma descrição passo-a-passo de uma metodologia que conduz à resolução de um problema ou à execução de uma tarefa. Em geral este é representado como um esquema de resolução de um problema. Pode ser implementado com qualquer sequência lógica de valores ou objetos (por exemplo, a língua portuguesa, a linguagem Pascal, a linguagem C, uma sequência numérica, um conjunto de objetos tais como lápis e borracha), ou seja, qualquer coisa que possa fornecer uma sequência lógica. Têm-se a baixo um algoritmo implementado num fluxograma sobre o estado de uma lâmpada.

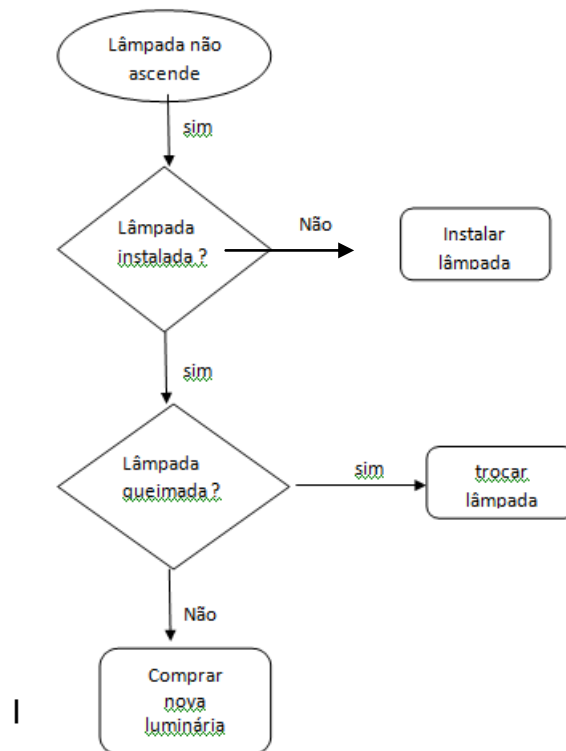


Figura 3 – Exemplo de Fluxograma.

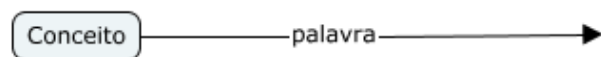
Este foi desenvolvido e aperfeiçoado para tornar mais simples a tarefa de programar computadores. Este está baseado na metodologia de subdividir as tarefas ou problema. Por

exemplo, podemos dividir sistematicamente o problema que temos para resolver em subproblemas menores, até obtermos um conjunto de subproblemas de dimensão suficientemente pequena que nos permita resolve-los. Em geral os algoritmos são apresentados na forma de fluxogramas, antes de serem postos em alguma linguagem computacional apropriada.

3. MAPAS CONCEITUAIS

Mapa Conceitual é uma ferramenta gráfica criada para apresentar e conectar conceitos [Novak, 1991; Moreira, 2005]. Como esse é um mapeamento de conceitos ele usa palavras de ligação para conectar ideias ou conceitos. Ou seja, no caso das ciências naturais estes conceitos podem ser uma lei, um modelo, uma hipótese que é ligada por uma palavra de ligação que explicita a relação causal entre estas. Devido à variedade e liberdade de se apresentar graficamente os conceitos temos que MC é a ferramenta ideal para se avaliar, apresentar, sintetizar e sumarizar o conhecimento. Ver figura 1 acima.

Podemos dizer que um conceito mais o seu conector (palavra de ligação) é a unidade ou elemento que forma ou constrói um mapa de conceitos. Seria a sua unidade atômica.



Joseph D. Novak [2006] define de forma ampla o que seja mapas conceituais:

"Mapas conceituais são ferramentas gráficas para organizar e representar o conhecimento. Eles incluem conceitos, geralmente encerrados em círculos ou caixas de algum tipo, e relações entre conceitos indicados por uma linha de conexão que liga dois conceitos. As palavras na linha, referidas como palavras de ligação ou frases de ligação, especificam a relação entre os dois conceitos.

Como este pode ser construído na estrutura do conhecimento mais inclusivo para o menos inclusivo este é a ferramenta ideal para se ensinar significativamente e/ou avaliar se houve aprendizagem significativa. Assim, as formas mais comuns de se construir um MC são [Romero, 2007]:

- 1 - Mapa Conceitual tipo teia de Aranha: O mapa conceitual tipo "teia de aranha" é organizado colocando o tema central ou o fator unificador no centro do mapa. Os sub-temas irradiam para fora circundando o centro do mapa.
- 2 - Mapa Conceitual Hierárquico: O mapa conceitual tipo hierárquico apresenta informações em uma ordem decrescente de importância. A informação mais importante é colocada no topo. Fatores distintivos determinam a colocação da informação.
- 3 - Mapa Conceitual tipo Fluxograma: o mapa conceitual tipo fluxograma organiza informações em formato linear.
- 4 - Mapa Conceitual tipo Sistema: O mapa conceitual tipo sistema organiza informações em um formato semelhante a um fluxograma com a adição de 'INPUTS' e 'OUTPUTS'.

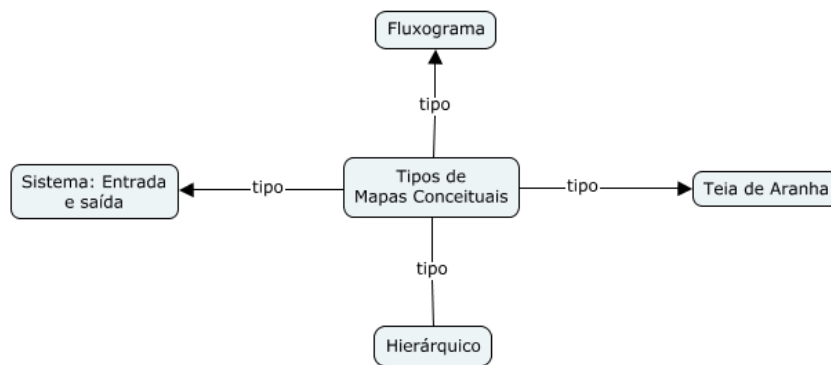


Figura 4 – Mapa Conceitual do tipo teia de Aranha.

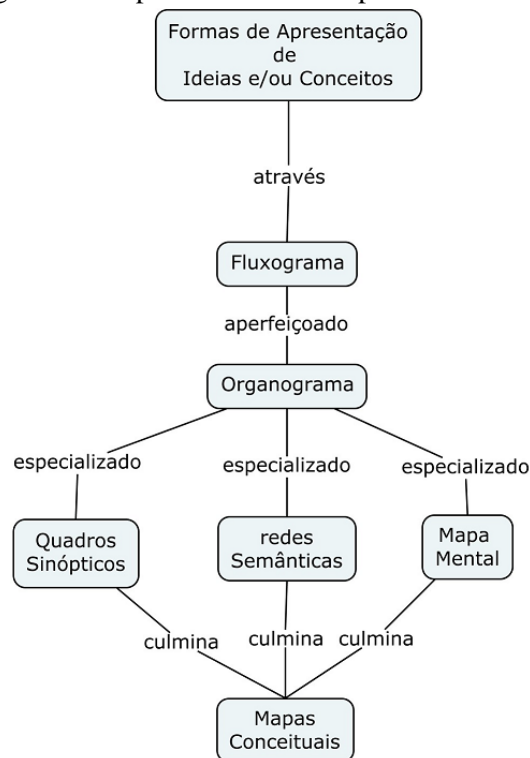


Figura 5 – Mapa Conceitual do tipo Hierárquico.

Quando se pensa em ensino e em aprendizagem significativa e a elaboração de suas UEPS a construção de mapas conceituais é feita à maneira proposta por Novak e Gowin [Novak, 1998; Novak e Gowin, 1999]. Nesta se considera uma estruturação hierárquica dos conceitos que serão apresentados tanto através de uma diferenciação progressiva quanto de uma reconciliação integrativa. Como veremos adiante no caso do estudo de teorias e leis da Física e da Química a estrutura conceitual e a diferenciação progressiva é mais clara na forma de apresentação dos MC em sua generalização denominada MECC.

Quando o MC é bem construído permite a visualização e percepção de como os conceitos chaves de um determinado tópico ou campo de conhecimento se sucedem, se entrelaçam e se organizam na estruturação desse conhecimento. Assim, se tentou criar algumas regras básicas para a construção e padronização de MC's que podem ser vistas em muitos artigos [Novak 2006; Moreira, 2006; De Mello, 2014]. Apesar destas regras o mapeamento conceitual é uma ferramenta muito flexível e pode ser usado de várias maneiras.

Mas, conforme demonstrado por De Mello [2017 e 2020a], no caso do estudo sistemático do conhecimento científico, devemos criar algumas regras muito específicas para a construção do CM de modo que se tornem um tipo de linguagem algorítmica.

MC é uma ferramenta poderosa para fazer análises curriculares em geral [Novak, 2006; Moreira, 2006]. De Mello [2014] generalizou essa ideia e mostrou que MC é a ferramenta natural para realizar a análise da estrutura conceitual que os livros textos são escritos. Mas, como dissemos acima, as teorias Físicas são expressas em termos de equações matemáticas e suas funções. Logo, teremos que discutir brevemente o que são estas e seu papel na transmissão do conhecimento, principalmente o conhecimento escolar.

3.2 - MAPAS CONCEITUAIS E AS LEIS FÍSICAS - MAPAS DE ESTRUTURAS DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Quando se constrói toda uma metodologia de pesquisa para se estudar como o conhecimento é gerado e transmitido, no caso particular aqui da Física e da Química, temos que analisar com um pouco de mais cuidado o que sejam conceitos e palavras de ligação. Em primeiro lugar as palavras de ligação não estão restritas a meras preposições, mas estas podem ser verbos, duas palavras, etc. [Novak, 2006]. Sem entrar em detalhes do que seja um conceito na sua definição mais geral ou abrangente, maiores detalhes ver Novak [2006] e Moreira [2005], conceitos Físicos são definições baseadas em hipóteses, leis ou teorias que em geral estão fundamentadas em leis da Física que por sua vez são expressas em termos de funções matemáticas e suas equações. Na Física certos conceitos ganham tanta importância que estes adquirem um nome próprio, como por exemplo, radiação de corpo negro. Vejamos isso com um pouco de mais detalhes.

Símbolos e representação simbólica de relações e operações. Quando estamos estudando ou ministrando conceitos de cinemática a letra ou símbolo ou sinal s significa espaço e recebe o nome de grandeza Física. Mas espaço na Física significa lugar, região com três dimensões (altura, largura e profundidade) e é uma grandeza dimensional, isto é, é obtida por meio de uma medida através de uma comparação com uma escala (por exemplo, uma barra de um metro). Deste modo um sinal na Física possui uma série de significados e conceitos. Maiores detalhes ver Lindsay e Margenou [1957].

Por outro lado, temos grandezas primitivas e derivadas na Física. Ou seja, como na matemática, na Física se manipula as grandezas Físicas através das regras da álgebra e do cálculo para se produzir ou derivar outras grandezas Físicas. Estas se denominam de grandezas derivadas. Através de medidas laboratoriais bem planejadas e sobre forte controle de condições externas se obtém relações funcionais e equações que descrevem o comportamento e a dependência funcional destas grandezas¹. Algumas destas funções são tão importantes que recebem a designação de lei fundamental da Física [Lindsay, 1957]. Por exemplo, a 2ª Lei de Newton: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Outras fórmulas comumente denominadas de lei são apenas hipóteses, como a lei da Gravitação Universal,

$$\vec{F} = \frac{GMm}{r^3} \vec{r}$$

Leis da Física. *Uma lei física nada mais é que uma descrição simbólica (na forma "mais simples") de uma rotina observada em um campo limitado de fenômenos. É bom ressaltar*

¹ Ver por exemplo, Devyd Hume (1970).

novamente a sua natureza descritiva. Nunca pretende dar uma razão para nenhum dos fenômenos descritos, no sentido metafísico [Lindsay, 1957]. Por exemplo, a 2ª Lei de Newton nos diz que quando aplicamos uma força \vec{F} a um corpo de massa m este adquirirá uma aceleração \vec{a} . Ou seja, não constitui o que é popularmente chamado de explicação. A lei de gravitação de Newton não é uma explicação da gravitação, no sentido de que explica por que as partículas se atraem. Trata-se apenas de dar uma descrição exata da atração observada. A lei física tenta responder a pergunta "como" e não a pergunta "por que". Mas, quando colocamos o símbolo \vec{F} para um físico ou estudante de Física fica explícito tudo o que mencionamos acima e que no lado direito desta expressão podemos substituir qualquer dos tipos de forças existentes na natureza. Maiores detalhes ver Lindsay e Margenou [1957].

Teoria Física e sua Construção. Para se construir uma teoria física precisamos definir seus conceitos primitivos e seus símbolos. Na Mecânica estes seriam os de espaço (s), tempo (t) e massa (m); na Teoria dos Gases seriam pressão (P), volume (V) e Temperatura (T), e assim por diante. A partir destes obtemos ou construímos outros símbolos ou grandezas derivadas. Na Mecânica temos velocidade (v), aceleração (a), momento (p) e outros. Estamos então prontos para o próximo passo - a escolha de hipóteses ou assumimos relações fundamentais entre os símbolos por dedução lógica a partir da qual todos os resultados especiais da teoria, a saber, as leis, devem ser obtidas. Maiores detalhes ver Lindsay e Margenou [1957].

Logo, devido ao trabalho árduo de sistematização e definição do que seja um mapa conceitual pela comunidade científica terei que criar uma denominação particular para mapas conceituais em que os boxes (caixa) de conceito sejam equações, fórmulas, símbolo ou nomes². Como se é de esperar, poderemos usar símbolos para palavras de ligação que sejam funções, equações, nomes da Física, etc. Denominaremos estes mapas de conceitos generalizados de "Mapas de Estruturas do Conhecimento Científico".

Assim, no caso de estarmos estudando ou avaliando um texto cujo conteúdo seja a construção epistemológica e pedagógica de uma teoria pertencente à Física podemos usar símbolos e nomes das leis da Física na construção de uma representação gráfica deste sob a forma de um mapa de estrutura do conhecimento científico (MECC). Que nada mais é que um mapa conceitual generalizado. Colocamos abaixo uma unidade atômica deste em que de um lado temos a famosa equação de Planck ligada através do sinal de integral (uma soma sobre todos os comprimentos de onda) a Lei de Rayleigh.

$$\boxed{I(\lambda) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}} \longrightarrow I = \int I(\lambda) d\lambda \longrightarrow \boxed{R_T = \sigma \cdot T^4}$$

Deste modo, para um professor de Física fica claro se o livro texto é um livro mais conceitual, isto é, que omite certas passagens matemáticas ou não. Isto é muito importante na escolha conveniente do livro didático para um curso das cadeiras de exatas. Na sequência discutiremos algumas regras de construção desses mapas de estrutura do conhecimento científico de modo a criarmos uma ferramenta que nos auxilie na construção e avaliação de textos didáticos.

² Acredito que seja por tempo determinado, pois, no fundo temos um mapa conceitual.

4. MAPAS DE ESTRUTURAS DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO, TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E MODELOS COGNITIVOS DA CIÊNCIA.

As teorias científicas são apresentadas nos livros didáticos como um conjunto de modelos teóricos relacionados a alguns fatos experimentais e a alguns instrumentos de medida identificáveis que fornecem sentido à teoria. As relações entre os modelos e os fatos são desenvolvidos através de postulados e hipóteses teóricas, que podem ser mais ou menos verdadeiras ou falsas, desde que possuam conteúdo empírico. Deste modo, uma teoria científica é uma família de modelos que em conjunto com hipóteses e ou postulados estabelecem a semelhança destes modelos teóricos com os fatos experimentais [Izquierdo, 2003; De Mello, 2020a].

Estas explicações, ou seja, idéias teóricas sobre o mundo criadas para compreendê-lo são estruturadas em torno de conceitos. Para Latour [1999], esses conceitos, ou o que ele chama de nós ou links, são aquelas coisas que nos permitem compreender a atividade científica e sem o qual a atividade científica simplesmente não existiria [Izquierdo, 2003]. Assim, sendo MECC um diagrama de significado, indicando relações hierárquicas entre conceitos ou entre palavras criadas para representar conceitos, é a ferramenta ideal para mapear como esses nós ou links são preparados e organizados de modo a criar um todo coerente e que faça sentido para um determinado nível de escolaridade. Ou seja, estudar como o conhecimento produzido para um nível de escolaridade é transcrito para outro. Mais detalhes sobre MC ver Novak [1990] e Moreira [2006].

De Mello [2016c] demonstrou para o caso do tema da física denominado Efeito fotoelétrico, que atualmente o conhecimento científico é estruturado didaticamente em suas transcrições para livros didáticos em: a) modelos; b) o núcleo da teoria; c) fatos experimentais; d) os conceitos-chave; e) a metodologia e f) a aplicação da teoria. Assim, é necessário entender como esses "pedaços de conhecimento" são inseridos, concatenados e resumidos para tornar cada texto um todo coerente.

De Mello [2017] mostrou que no caso em que a teoria original foi construída em uma revolução paradigmática [Kuhn, 1970], a teoria deve primeiro ser consolidada no novo paradigma antes de sofrer um TD para o ensino médio. Que seus modelos explicativos originais devem ser adaptados ou reescritos neste novo paradigma.

Assim, o MECC construído para analisar como o conhecimento sofre um DT deve ser construído obedecendo algumas regras. Ou seja, a estrutura conceitual acima descrita deve ser muito clara. Como um algoritmo, deve ser criado com a finalidade de descrever a estrutura do conhecimento científico. O construtor de MC deve ser treinado para dissecar o conhecimento em suas partes fundamentais.

4.1 Regras para Elaboração dos MECC como uma Linguagem Algorítmica.

Da mesma forma que em um fluxograma construído segundo um algoritmo computacional possui símbolos específicos que definem operações ou ações específicas, criados com o objetivo de facilitar e padronizar a sua leitura, tem-se que podemos criar com o mesmo objetivo símbolos ou cores específicas para um determinado mapeamento de conceitos. Como demonstrado por de Mello [2020a, 2020b], este pode ser o caso de MECC

elaborados para descrever a construção conceitual com que um livro, um tópico de livro, um dado campo do conhecimento ou uma teoria científica.

Assim, vamos usar boxes em verde para identificar os modelos e em roxo a teoria. Boxes em azul para identificar leis empíricas ou as conclusões ou resultados. Poremos em amarelo os fatos experimentais que redundaram na teoria e em verde azulado o Título. Em azul claro todo material de suporte, como equações, deduções, etc. Finalmente, colocaremos na cor coral as generalizações ou universalizações da teoria. No caso a seguir não teremos aplicações da teoria.

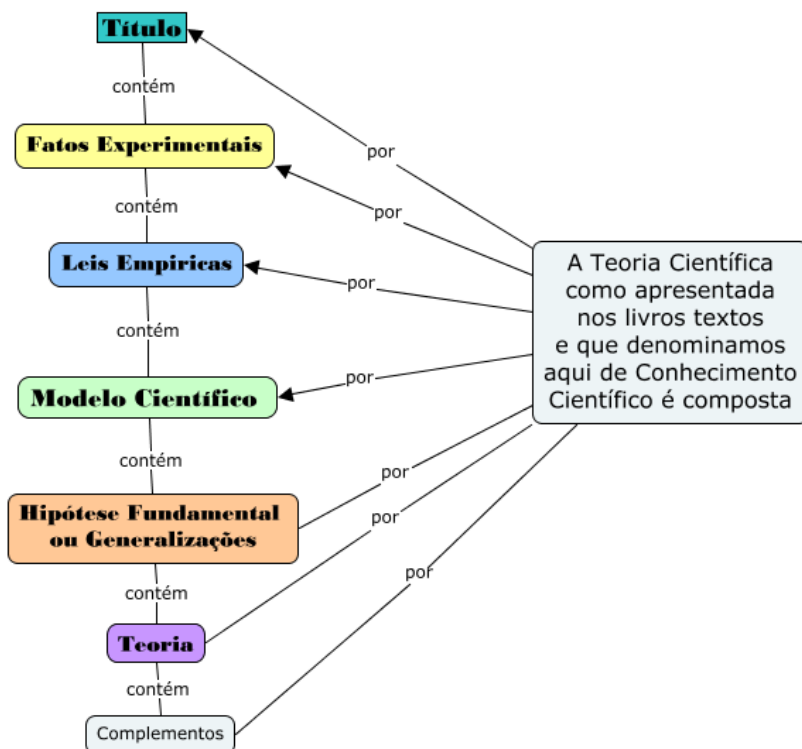


Fig.6 – Figura com estrutura simbólica das partes que constituem um MECC para a teoria do conhecimento científico.

Exemplo: A Teoria da Quantização de Max Planck [1901]

Muitos autores de livros textos preferem omitir a construção epistemológica da teoria da radiação de corpo negro (RCN), como também é feito na introdução dos cursos de Mecânica Quântica. Por exemplo, temos o livro Fundamentals of Physics [Halliday, 1997]. Nestes a Teoria da Quantização de Max Planck é apresentada, sofrendo uma TD, como sendo simplesmente uma hipótese ad-hoc feita por Max Planck [1901] para explicar o espectro de radiação de corpo negro (RCN). Não há a exposição de modelos explicativos e nem de fatos experimentais que redundaram na teoria³. Eles simplesmente precisam da equação que relaciona a energia com a frequência da luz. Ou seja, esta contém toda a informação e conceitos necessários e eles simplesmente apresentam a constante de Planck e a equação

³ Devido à tradição usamos o nome de Teoria para designar todo este corpo do conhecimento. Quando for o caso usaremos a palavra conhecimento como definido por De Mello (2016d).

$$E = h \cdot \nu$$

Em alguns textos, principalmente para formar engenheiros em geral, esta teoria é apresentada resumidamente. Isto é, se resume a definição de RCN (boxes em azul claro), à apresentação das Leis empíricas que antecederam a Lei de Planck (boxes em azul) e a sua hipótese (box em caramelo). Como exemplo deste tipo de texto temos o livro *Modern Physics* [Young, 2005]. Não há a elaboração de um modelo explicativo e nem uma discussão de como esta foi elaborada no velho paradigma. Ver fig. 7. Aparentemente este é mais um exemplo de MC de um livro texto. Mas é um MECC, pois os boxes foram coloridos para diferenciarem os conceitos, das leis Física (leis empíricas), da hipótese e da teoria final.

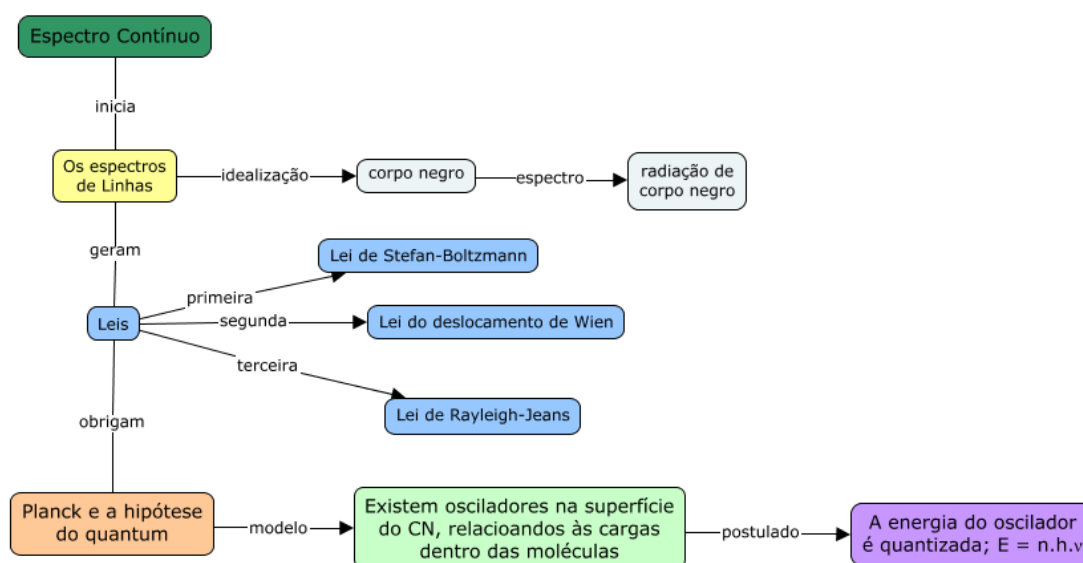


Fig.7 – MECC do texto da Teoria da RCN do livro Young-Freedemann.

Na figura abaixo temos o MECC da seção Radiação de Corpos Incandescentes do livro Glencoe [2005] para o ensino médio dos EUA. Este é um e-livro aberto (Free) projetado para ser usado usando a metodologia de ensino ativa baseada em problemas e em qualquer um dos três níveis de ensino americano (básico, médio e honor). Assim este começa apresentando aos estudantes o problema (organizador prévio) de se entender ou explicar o espectro de radiação de um corpo incandescente (Box em cinza). Em seguida eles fazem um experimento com uma lâmpada incandescente (Box em amarelo) enfatizando a relação entre temperatura e o máximo da cor emitida pela lâmpada (criação de um modelo mental). Eles não apresentam nenhum modelo físico, como é comum no ensino americano. Somente após a motivação eles apresentam a hipótese da quantização (Box em amêndoa) e a teoria (Box em roxo). Deste modo um MECC apresenta como o conhecimento científico escolar foi construído, assim como a forma como este deve ser apresentado ou ensinado.

Vemos no exemplo acima, figura 8, como através de uma charada e um experimento bem simples com uma lâmpada incandescente os autores introduziram a problemática de se estudar o espectro de luz e ao mesmo tempo usar uma linguagem bem simples e adequada ao nível de compreensão dos estudantes. Através da situação-problema estes sugerem como organizar os conceitos chaves da teoria e estimulando a interação – questionamento – entre os alunos. Mas no nível do ensino médio assim como no básico universitário a apresentação

desta teoria não permite uma demonstração matemática mais elaborada de modo a precisarmos fazer uma diferenciação progressiva da informação. Vejamos um exemplo de uma UEPS.

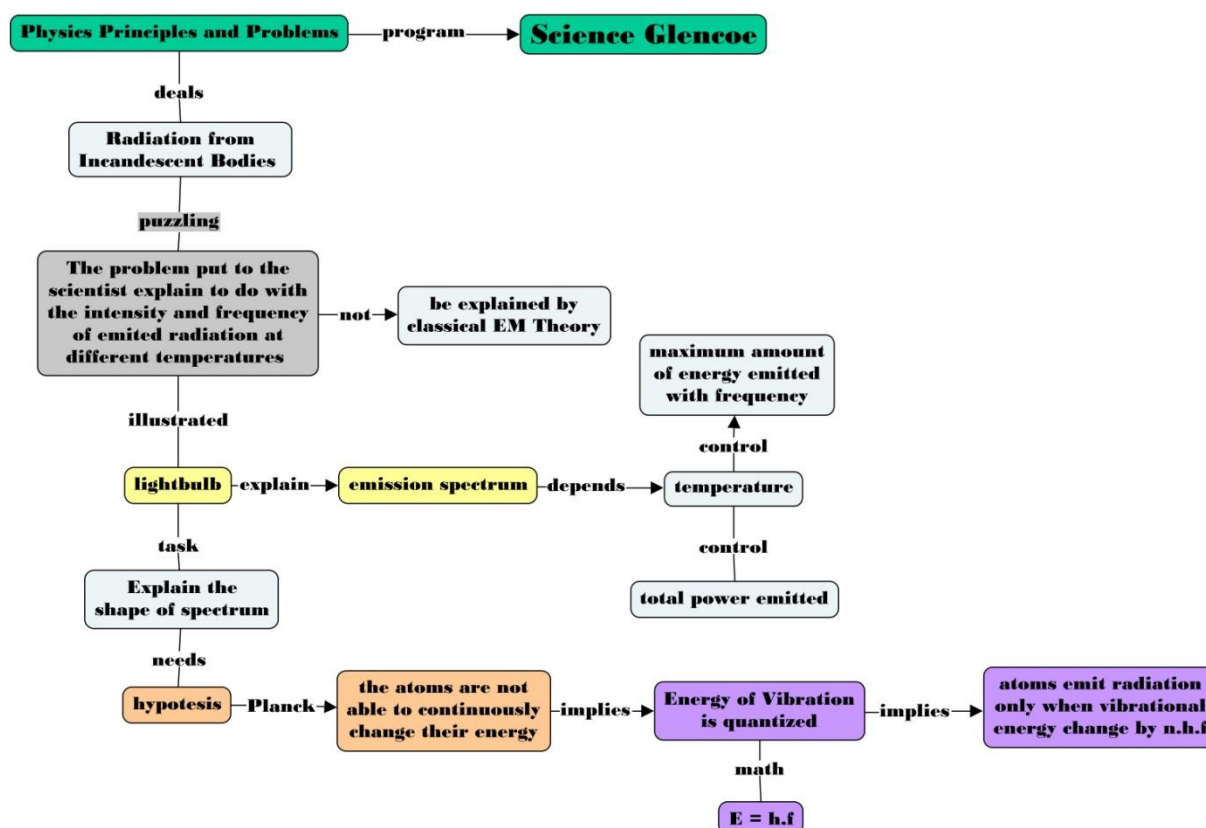


Fig.8 – MECC da seção Radiação de Corpos Incandescentes do livro Glencoe.

Exemplo: O Modelo Atômico de Bohr

No projeto Glencoe [2005], aprendizagem baseada em problemas, eles começam colocando o problema de se determinar como a matéria estaria distribuída no átomo (Box cinza). Eles refazem o percurso histórico até chegar ao modelo de Bohr de modo a definir uma linguagem comum e uma imagem mental do átomo com os estudantes e aguçar a curiosidade destes. Através da apresentação do modelo Rutherford eles introduzem a ideia de que os elétrons devem estar girando em torno do átomo e ligados a este pela força de Coulomb. Deste modo o átomo deveria estar emitindo radiação Eletromagnética e, portanto seria instável. Deste modo eles começam a fazer a diferenciação progressiva dos conceitos envolvidos na construção do modelo de Bohr.

Eles introduzem a ideia ou conceito de quantização da energia através dos três postulados de Bohr (boxes em caramelo). Em seguida eles voltam ao modelo físico de que os elétrons devem girar em torno do núcleo e recordam o conceito da conservação da energia (Box em azul claro). Na sequência eles apresentam as linhas espectrais do átomo de hidrogênio (Box em amarelo) como o fato experimental a ser explicado. Nos boxes em verde eles fazem a diferenciação progressiva dos conceitos matemáticos que deverão ser integrados, resolver a equação, para obter a fórmula de Rydberg que relaciona o comprimento de onda (frequência ou Energia E_n) com o inverso do quadrado do número inteiro n que determina a órbita do elétron (boxes roxos).

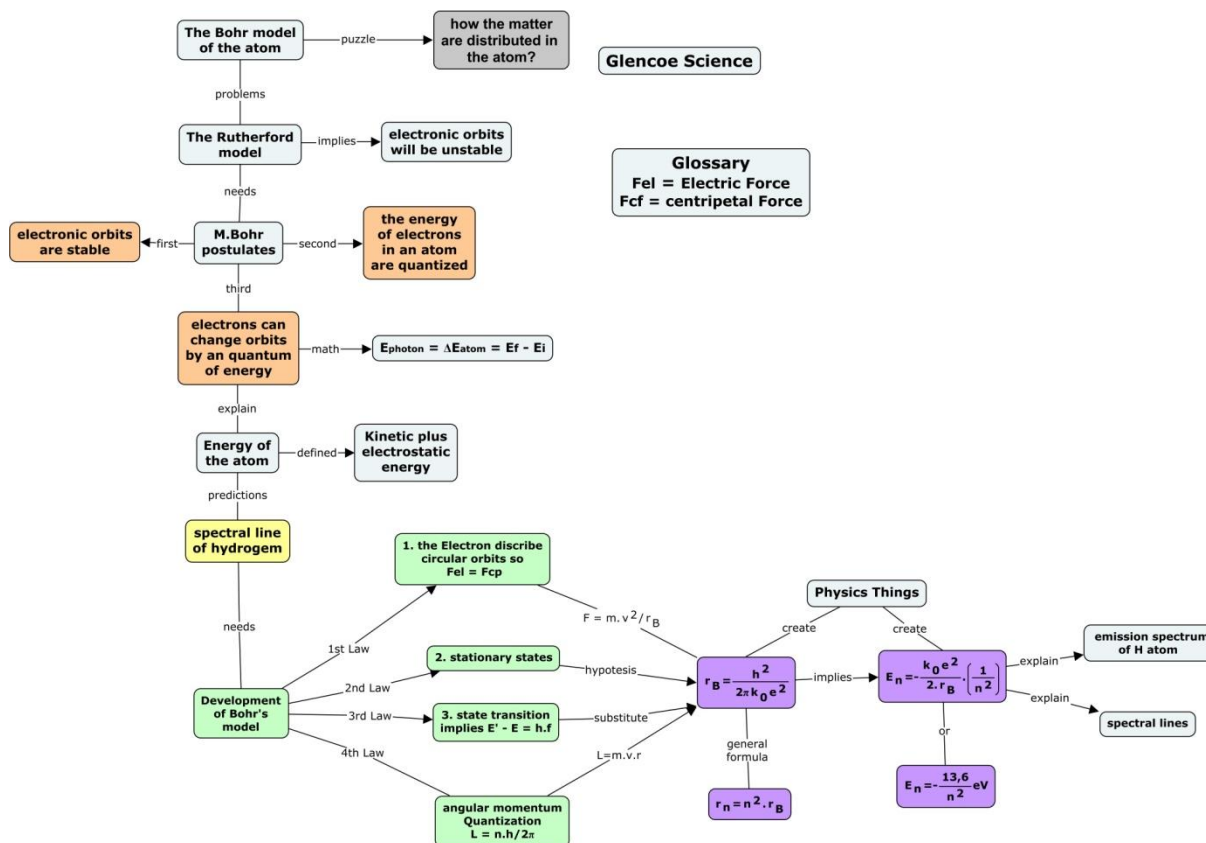


Fig. 9 – O Modelo Atômico de Bohr, Glencoe Project

Abaixo colocamos o MECC explicando o modelo de Bohr enfatizando a filosofia e os conceitos de Física. Comparando com o MECC do Glencoe tiramos a introdução histórica o a problemática que motivou o problema. Como desejamos ressaltar que este modelo deve explicar ou obter a fórmula de Rydberg a colocamos explicitamente (Box azul claro), que é omitido no Glencoe [2005]. Outro fato importante, fazendo uma conexão com a filosofia da ciência, é que as equações da quantização da energia e do momento angular são apresentadas aqui como postulados para enfatizar que estas ainda não eram aceitas – antigo paradigma. Já no Glencoe elas aparecem como leis para reforçar a ideia de que elas são pedras fundamentais do paradigma da mecânica quântica. Aqui se enfatizou que a constante de Rydberg é um resultado experimental que é explicada no modelo de Bohr. Isto é, no modelo de Bohr esta é calculada usando outros conceitos primitivos. Junto com o Box da constante de Rydberg (amarelo) estão conectados os conceitos primitivos, Box azul claro.

Note-se que o projeto Glencoe é um projeto pedagógico voltado ao ensino médio de modo que através de uma situação-problema eles vão construindo um modelo mental da situação física. A partir destes eles vão apresentando linearmente os conceitos físicos com o aumento de sua complexidade, até chegar o momento de se resolver um sistema de equações lineares. Isto é, eles vão recordando os conceitos de dinâmica e cinemática até o momento de se calcular o raio de Bohr. Deste modo usamos duas equações como palavras de conexão no momento da apresentação do Box do raio de Bohr. Estas equações fazem a conexão entre as leis de Bohr e o seu raio.

Já na apresentação abaixo usamos o fato experimental de termos linhas espectral bem definida sugere o postulado do átomo possuir orbitas bem definidas. A partir deste postulado faz-se uma diferenciação progressiva e um paralelo entre os conceitos cinemáticos e dinâmicos relacionados ao movimento circular até o momento da introdução do postulado da quantização ou de mudança de paradigma. Usando as equações das forças e do momento angular como palavras de conexão entre os

conceitos dinâmicos e cinemáticos faz-se a integração dos conceitos obtendo-se a fórmula para o raio de Bohr (boxes em verde).

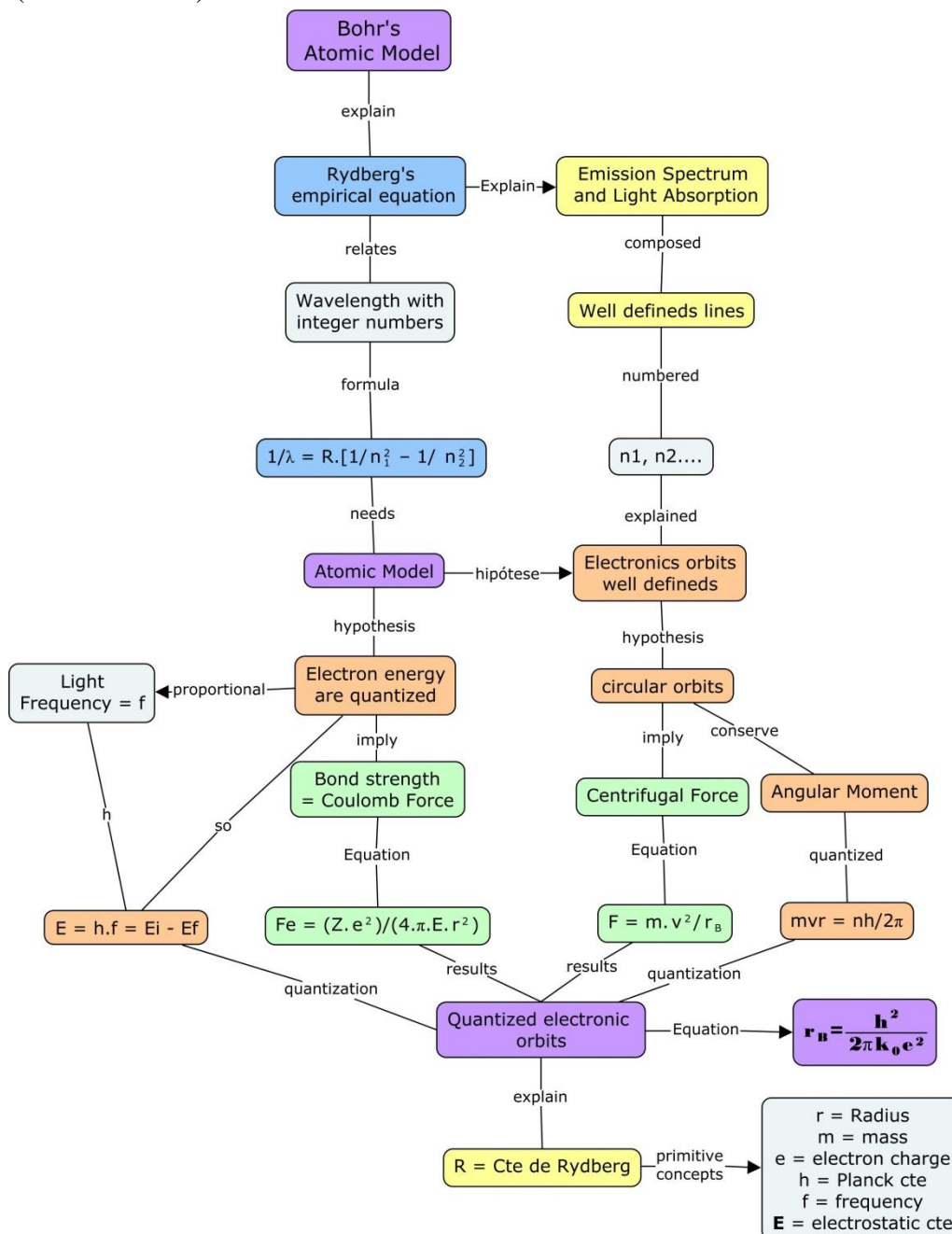


Fig. 10 – O Modelo Atômico de Bohr,

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Através da recordação que por detrás de símbolos tradicionais da Física tais como s, v, t, F, h, etc., há todo um cabedal de conteúdo e conceitos que se pode usá-los ora como palavras de ligação ora como conceitos em um mapa conceitual. O mesmo é válido para grandezas derivadas destas como funções, equações, nomes de teorias e modelos. Como estas ideias ainda não foram amplamente aceitas na comunidade científica, denominaremos por ora estes mapas conceituais de mapas de estruturas do conhecimento científico (MECC).

Procuramos mostrar aqui, para o caso do estudo, elaboração e análise de textos didáticos, as vantagens de se criar regras de construção de mapas conceituais (MECC) com a

utilização de código de cores. A partir destas regras munimos os CM com uma estrutura algorítmica de modo que os denominamos de MECC no texto para diferenciar dos MC elaborados sem a utilização desta estrutura.

Demonstrou-se em artigo anterior [de Mello, 2020b], com a utilização de MECC, como o conhecimento produzido nas esferas acadêmicas vai sofrendo uma transposição didática, se transformando e diluindo até chegar às esferas escolares. Usando MECC como ferramenta de análise do conhecimento diminuimos o grau de subjetividade desta análise e tornamos mais fácil de identificar, classificar e ordenar os elementos constituintes de um dado conhecimento ou teoria, como estamos acostumados denominar. O MECC facilita o dialogo entre comunidades científicas. Este permite, por exemplo, que um físico ao ministrar um curso de Física para engenheiros este perceba quais os pontos que este terá que enfatizar e quais poderão suprimir ou não avaliar. Neste caso poderá enfatizar a análise dimensional (conceitos primitivos) e suprimir os modelos teóricos.

O MECC na forma de algoritmo permite verificar qual sequência o autor inseriu, organizou e trançou as partes componentes de sua teoria (conhecimento). Além do mais, a análise do MECC feito para um determinado livro texto permite visualizar como estes conceitos ou nós ou links são inseridos, suprimidos, resumidos e trançados para tornar cada texto um todo coerente [De Mello, 2020b]. Usado em uma análise comparativa este permite verificar: a) como os modelos explicativos são adaptados, simplificados e suprimidos; b) como os conteúdos do conhecimento são transposto para uma metodologia de ensino de ciências, sofrendo uma transposição didática; c) quando houver, como o conhecimento é transposto e consolidado em um novo paradigma científico, e finalmente, d) este facilita a construção e o estudo de uma UEPS.

Agradecimentos

Agradecemos ao programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que nos deu a oportunidade de realizar tais estudos. Para a CAPES por promover esta pesquisa. A palestra do Prof. Mario J. de Oliveira [2006] que explicou os pontos cruciais dessa teoria.

REFERENCIAS

Archela, RS; GRATÃO, LHB.; TROSTDORF, MAS. O lugar dos mapas mentais na representação do lugar. **Geografia**, v. 13, n. 1, p. 127-141, 2004.

Ausubel, D. (1977) - The facilitation of meaningful verbal learning in the classroom. *Educational Psychologist*. Volume 12, Issue 2.

Chevallard Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. La Pensée Sauvage, Argentina. (1991)

Chevallard, Y. & Johsua, M-A. - Un exemple d'analyse de la transposition didactique – La notion de distance. **Recherches en Didactique des mathématiques**. 3.2, 157-239,1982.

Glencoe Science. **Physics, Principles and Problems**. The CMGraw-Hill Companies, Inc. (2005).

- Halliday R., Resnick R. & Walker J. **Fundamentals of Physics(5th Ed.)**. U.S.A., Ed. Jhon Wiley & Sons. (1997).
- Hume, David. (1970) - *Enquiries concerning the human understanding and concerning the principles of morals: reprinted from the posthumous edition of 1777*. Clarendon, 1970.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2003) & Adúriz-Bravo, A. - **Epistemological foundations of school science**. - Science & Education, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Pg. 23. (2003)
- Johnson-Laird, P. N. (1995). Mental Models. 6th Edition. Printed in USA. *Cognitive Science Series*.
- Kuhn, T. (1970) - **The Structure of Scientific Revolution**. Chicago. The University of Chicago. (1970). **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Coleção Debates. Ed. Perspectiva. (1998).
- Latour, Bruno. **Pandora's hope: essays on the reality of science studies**. Harvard University Press, 1999.
- Lindsay, R.B. and Margenou, H. **Foundations of physics**. Dover Publications, 1957.
- de Mello. (2014). Concep Maps as useful tools for textbooks analyses. *Proceedings of: CCM 2014 – 6th International Conference on Concept Mapping*. Santos. Brazil. (2014).
- de Mello. (2017). The use of Concepts Mapping in the Science Paradigm Transposition and the Cognitive Science Theory – The Case of Black Body Radiation. *Open Science Framework – preprint*. Retrieved from <https://osf.io/auelyt>
- de Mello, LA (2020a) - Using Didactic Transposition Theory and the Concept Maps Tool to Build a Theory of Scientific Knowledge, *American Journal of Education and Information Technology*. Vol. 4, No. 1, 2020, pp. 8-18. doi: 10.11648/j.ajeit.20200401.12
- de Mello, LA (2020b) - The Unification of Didactic Transposition Theory with the Didactic Situation Theory of Brousseau, *Teacher Education and Curriculum Studies*. Vol. 4, No. 4, 2019, pp. 65-75. doi: 10.11648/j.tecs.20190404.12
- Moreira, M. A. (1979). - Concept Maps as Tools for Teaching. *Journal of College Science Teaching*, v8 n5 p283-86. (1979).
- Moreira, M. A. (2013) - **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas**. Material de apoio para o curso Aprendizagem Significativa no Ensino Superior: Teorias e Estratégias Facilitadoras. PUCPR, Instituto de Física.
- Nersessian, N.J. (1992) - **How do Scientist Think? Capturing the dynamics of Conceptual Change in Science**. Cognitive models of science, pg.3. (1992).
- Novak, J. D. (1990). - Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science* 19:29-52.
- Novak, J. D. (2006). & Cañas, A.J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them. **Technical Report IHCM CmapTools 2006-01**. Available in:

http://www.vcu.edu/cte/workshops/teaching_learning/2008_resources/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf. Accessed on 01/05/2014

Planck, Max (1901). On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum. **Annalen der Physik**, vol.4. p.553.

Uchôa, E (1994); Vidal, JM. Antropologia médica: elementos conceituais e metodológicos para uma abordagem da saúde e da doença. **Cad Saúde Pública**, v. 10, n. 4, p. 497-504, 1994.

Young, H.D. (2008). & Freedman, R. A. **University Physics with Modern Physics, Vol. 2**. 12th Edition, Sears and Zemansky's. San Francisco. Pearson Addison-Wesley.