



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA E
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS
CIÊNCIAS**

CLEIDSON CARNEIRO GUIMARÃES

LIGAÇÃO QUÍMICA: DO SABER SÁBIO AO LIVRO DIDÁTICO

Salvador
2009

CLEIDSON CARNEIRO GUIMARÃES

LIGAÇÃO QUÍMICA: DO SABER SÁBIO AO LIVRO DIDÁTICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial a obtenção do grau de **MESTRE EM ENSINO, FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS.**

Orientador: Prof. Dr. José Luis de Paula Barros Silva

Salvador
2009

CLEIDSON CARNEIRO GUIMARÃES

LIGAÇÃO QUÍMICA: DO SABER SÁBIO AO LIVRO DIDÁTICO

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

Aprovada em 13 de julho de 2009.

Banca examinadora

José Luis de Paula Barros Silva – Orientador _____
Doutor em Química pela Universidade Federal da Bahia

Maria da Conceição Marinho Oki _____
Doutora em Educação pela Universidade Federal da Bahia

Nídia Franca Roque _____
Doutora em Química Orgânica pela Universidade de São Paulo

Sistema de Bibliotecas – IQ/UFBA

Guimarães, Cleidson Carneiro

Ligação química: do saber sábio ao livro didático / Cleidson Carneiro Guimarães. - 2011.
108 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Luis de Paula Barros Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana. Salvador, 2009.

1. Ligações químicas. 2. Livros Didáticos. 3. Epistemologia. I. Silva, José Luis de Paula Barros. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Física. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDD – 371.320981

CDU – 37:544.14

Ao meu pai, Antonio Ferreira Guimarães Filho, que tanto fez por minha formação;

À minha mãe, Raulinda Carneiro Guimarães, por seu enorme amor e dedicação para me construir um ser humano.

À minha esposa Claudia Nívea de B. L. Guimarães, pela compreensão nas ausências para estudar.

A minha irmã Gléssia Carneiro Guimarães, pelo enorme amor capaz de vencer obstáculos.

À minha filha Letícia Lima Guimarães, fonte eterna de alegria.

A minha Tia Mara, fonte continua de inspiração para estudar.

Ao meu orientador José Luis, pela força e espírito de superação ao fazer surgir das cinzas uma dissertação;

AGRADECIMENTOS

Sempre imaginei escrever uma história de sucesso pessoal a partir dos diversos fracassos da vida. E, nem sequer consigo imaginar, trilhar o caminho da vida sem encontrar dificuldades e superá-las. Esse desafio constante de superar “as pedras no meio do caminho”, como diria Carlos Drummond de Andrade, torna-se mais fácil quando somos acompanhados de pessoas que estão dispostas a dar-nos a mão nos momentos de fragilidade. Em minha caminhada, ao longo da vida, encontrei diversas dessas pessoas. Algumas simplesmente passaram deixaram a sua marca e passaram a trilhar outros caminhos. Outras simplesmente partiram e me deixaram trilhando o caminho com muita saudade (minha avó Quinha). Mas existem duas que me acompanham desde quando eu era um óvulo e espermatozóide, meus pais Antonio e Raulinda. Estas partilharam todos os momentos da minha vida e simplesmente toda conquista minha, por mais simples que seja, é dedicada a eles.

Grandes educadores são muito mais do que professores. Eles nos inspiram a buscar. Este é um gesto de amor. E a pessoa que representa este ser iluminado não foi apenas uma educadora que me inspirou, mesmo nunca tendo assistido nenhuma de suas aulas em sala de aula, foi a minha Tia Mara. O agradecimento deve se estender a toda a sua família (que tenho um amor imensurável) que me acolheram (tão bem) no momento que precisei sair de casa. Jamais posso esquecer o acolhimento e carinho do meu Tio Elio, das risadas e afetividade e respeito dos meus primos-irmãos Helio, Livia e Helder.

O primeiro ser humano que vi nascer e se desenvolver foi a minha irmã Gléssia Carneiro Guimarães. Jamais foi esquecer, mesmo que na época tivesse só quatro anos de idade, quando meu pai anunciou que eu iria ter uma irmã. Aquilo me deixou curioso. Afinal como ele podia saber que ela viria? Como minha irmã foi feita? Fiz

estas perguntas ao meu pai, mas não me lembro das respostas. Lembro apenas que vi uma pequena crescer e se desenvolver. Nos momentos de convívio algumas alegrias e conflitos. Simplesmente, irmãos.

No caminhar encontramos pessoas que escolhemos passar o resto das nossas vidas caminhando junto e plantando frutos de alegria (afinal o nome desse fruto deveria ser alegria ou simplesmente Letícia). Esta pessoa chama-se Claudia Nívea de Brito Lima. Nossos caminhos se encontraram num determinado momento, se separaram e em seguida convergiram novamente para formar um único caminho de mão dupla. Qualquer conquista que façamos (tanto meu quanto de minha querida esposa) ao longo da nossa vida não é igual aquela de ter uma filha, vê-la crescer e amá-la cada instante. Minha filha Letícia, papi te ama.

Sou muito grato a Tia Iza, Prof Teomar e Sidnay pelo empenho no intuito ajudar a superar as dificuldades (foram tanto horários de aula modificados no meio do ano letivo para que eu pudesse cursar as disciplinas). Portanto, sou muito grato ao Colégio Helyos por ter me acolhido desde que comecei a docência e tem contribuído muito para que eu cresça como ser humano e profissional.

Gostaria de agradecer, sinceramente e afetivamente as Professoras Nídia e Conceição pelas críticas tão pertinentes e que contribuíram tanto para refinar este trabalho. Não posso esquecer a forma como tais críticas foram colocadas: com o cuidado e acolhimento de duas grandes educadoras.

Se me perguntassem o que eu faria se nascesse de novo, eu responderia da mesma forma que Luiz Gonzaga respondeu quando lhe fizeram a mesma pergunta:

Se eu nascesse de novo eu gostaria de ter nascido em Riachão do Jacuípe, filho de Antonio Guimarães e Raulinda. Teria escolhido Gléssia para ser minha irmã e Rômulo para ser meu “cunhado-cumpade”. Viveria por lá (na fazenda Mansinha) até

os meus sete anos de vida, estudaria na escola da professora Estelita e Adelita (uma escola multiseriada na fazenda), teria Hugo Gleidson como meu melhor amigo e me mudaria para Riachão do Jacuípe para estudar na escola Maria Dagmar de Miranda. Em seguida passaria a “estudar” no Colégio Modelo Manuel Mascarenhas e faria a mesmas peripécias com os meus amigos Josafá, Ricardo, Valdinei, Ronald, Wellington, Elísio e Lusão. Fase de pouco estudo e muita aventura.

Cursaria meu Ensino Médio no Colégio José de Anchieta (em Riachão) e seria tão obcecado pelos estudos quanto fui nesse período.

Faria o vestibular para Engenharia Civil, sairia de casa (mesmo com toda a dor da partida) e viveria meus primeiros quatro anos longe de casa sob o aconchego da família da minha tia Mara e meu tio Elio.

Teria escolhido o Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Teria vivido tudo que vivi e concluído a dissertação com José Luis como meu orientador. Escolheria ter Marluce, Diogo, Januzia e Adriana Bulos como colegas e amigos (inclusive de viagens). Obrigado Adriana pela força e incentivo para fazer a seleção. Enfrentaria todas as dificuldades (foram tantas que só eu, minha esposa e meus pais souberam).

Se eu pudesse viver tudo de novo eu não gostaria de ser mais do que eu sou. Gostaria apenas de dizer: Obrigado a todos que deixaram uma marca de amor em minha vida. Finalizo com uma frase que sempre ouvi da minha avó. Meu filho, Deus te acompanhe ao longo da sua vida.

RESUMO

Este trabalho tem o propósito de analisar as aproximações e distanciamentos entre o conceito de ligação química contido na obra de Pauling (1965) e o apresentado pelos livros didáticos para o Ensino Médio aprovados pelo Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio. Adotou-se como referenciais teóricos o conceito de ligação química de Linus Pauling e as teorias da transposição didática e da aprendizagem significativa. Para a análise foram selecionados alguns conteúdos considerados centrais à teoria da ligação química, a saber: os conceitos das ligações covalente, iônica e metálica, de eletronegatividade, de caráter iônico da ligação, de caráter elétrico da ligação e de estabilidade da molécula. Em seguida, buscou-se os mesmos conceitos nos livros didáticos do ensino médio e em que medida havia aproximação ou distanciamento do saber de referência. Além desses, foram considerados os critérios de correção conceitual contidos no Catálogo do Programa Nacional do Livro Didático.

Os resultados demonstram algumas aproximações e distanciamentos necessários à transposição didática para o ensino médio. Por outro lado, verificou-se a existência de outros distanciamentos que podem prejudicar a aprendizagem dos significados aceitos pela comunidade dos químicos. Nesse aspecto, o Programa Nacional de Livro Didático do Ensino Médio exerceu uma vigilância epistemológica moderada em relação à correção do conceito de ligação química, de modo que os livros didáticos aprovados ainda apresentam problemas.

Palavras-chave: Ligação química, livro didático e vigilância epistemológica.

ABSTRACT

This study intends to analyze the similarities and differences between the concept of chemical bond found in Pauling's work (1965) and the concept presented by high school textbooks approved by the National Textbook Program for High Schools. As theoretical reference, the theories of didactic transposition and significative learning were adopted. For the analysis, contents considered as central in the chemical bond theory were selected, which are: the concepts of the covalent, ionic and metallic bonds, the concept of electronegativity, the concept of the ionic character of the bond, of the electric character of the bond, and that of molecule stability. The same concepts were searched for in the high school textbooks along with the differences and similarities to the reference knowledge. Besides these, the criteria for conceptual correction found in the National Textbook Program catalog were considered.

Results showed some similarities and differences necessary to the didactic transposition for high school teaching. On the other hand, the existence of other differences may impair the learning of meanings accepted by the chemists community. In this regard, the National Textbook Program for High Schools exerted a moderate epistemic surveillance on the correction of the concept of chemical bond, and the approved textbooks still present problems.

Keywords: Chemical bond, school textbooks and epistemic surveillance.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1	LIGAÇÃO QUÍMICA: CONCEITO CONFORME PAULING	18
1.1	Aspectos do desenvolvimento da teoria de valência	18
1.2	Modelos para a ligação química	18
1.3	A ligação iônica	21
1.4	A ligação covalente	22
1.5	Modelos de ligação química a partir da ressonância	22
1.6	A ligação metálica	32
CAPÍTULO 2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO - METODOLÓGICO	34
2.1	Transposição didática	34
2.2	Aprendizagem significativa	42
2.3	Aprendizagem significativa e transposição didática	48
CAPÍTULO 3	METODOLOGIA	54
CAPÍTULO 4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1	Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio	57
4.2	Critério de análise 1	59
4.3	Critério de análise 2	66
4.4	Critério de análise 3	67
4.5	Critério de análise 4	69
4.5.1	Comentário geral sobre os livros didáticos	72
4.6	Critério de análise 5	73
4.6.1	Comentário geral	76

4.7	Critério de análise 6	77
4.8	Critério de análise 7	80
4.9	Discussões acerca dos esquemas conceituais	90
5.0	Discussão acerca do CPNLD para o Ensino Médio	92
CAPÍTULO 5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
	REFERÊNCIAS	97
	ANEXOS	101
	Esquema conceitual da obra de Linus Pauling	102
	Esquema conceitual do LD1	102
	Esquema conceitual do LD2	103
	Esquema conceitual do LD3	104
	Esquema conceitual do LD4	105
	Esquema conceitual do LD5	106
	Esquema conceitual do LD6	107
	Tabela dos livros didáticos analisados	108

INTRODUÇÃO

Essa dissertação apresenta um estudo da transposição didática do conceito de ligação química do saber sábio para o saber a ser ensinado. Portanto, trata-se de um trabalho que visa analisar as transformações sofridas pelo conceito de ligação química ao ser transferido do contexto da ciência de referência para o livro didático do ensino médio. Estas transformações no conceito serão consideradas como sendo necessárias para que se estabeleça a construção de significados pela interação entre professor, aluno e saber a ser ensinado. Mas, à medida que esta transformação é necessária torna-se, também, perigosa, pois pode aproximar demais o saber a ser ensinado do saber do educando. Daí a defesa, nesse trabalho, da vigilância epistemológica exercida pelos integrantes da noosfera para que o saber a ser ensinado não perca a necessária relação de significado com a ciência de referência.

No início do trabalho pensou-se em utilizar livros do curso universitário (tal como o Russel (1994), Brown (2005)...) para representar a ciência de referência (Química). Todavia, optou-se em abandonar tais livros, pois estes não se constituíam saberes originais, mas resultantes da transposição didática para atender o contexto de ensino dos cursos universitários. Em função disso, da contribuição e reconhecimento (pela comunidade de referência) dado a Linus Pauling é que se optou em utilizar a sua obra como parâmetro para que pudéssemos compará-la com o saber a ser ensinado no Ensino Médio.

Superado a dificuldade de encontrar um texto de referência, era necessário escolher quais os livros de química do ensino médio a serem analisados comparativamente ao texto de Pauling. Tal problema foi resolvido ao adotar a avaliação, feita previamente, pelo Catálogo do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (CPNLEM). Nesse catálogo foram analisados seis livros de

química levando em consideração os aspectos conceituais, metodológicos e éticos. Tal catálogo também se constituiu como material de referência para este trabalho e ao longo deste será defendida a importância do CPNLEM como um documento que exerce a vigilância epistemológica. Todavia, não se analisou os seis livros utilizando todos os critérios do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM). Aqui será encontrado apenas a análise dos aspectos conceituais referente ao conteúdo ligação química ao sair do saber sábio para o escolar. Portanto, centrou-se em identificar: Quais as transformações sofridas pelo conteúdo ligação química ao ser transferido do saber sábio para o livro didático? Qual a influência do CPNLEM no sentido de aproximar saber a ser ensinado do saber de referência? Em que medida as modificações do saber sábio em saber a ser ensinado atendem as condições da transposição didática sugeridas pelo PNLEM?

O PNLEM indica que os livros didáticos devem respeitar “as condições de transposição didática, em conformidade conceitual com essas mesmas ciências de referência”(p.13). Corrobora-se com essa ideia à medida que ao analisar as transformações sofridas por um determinado saber, ao mudar de contexto, é necessário utilizar a teoria da transposição didática para compreender as transformações necessárias para construir relações com o conhecimento prévio do educando e o conteúdo a ser ensinado, assim como as transformações que podem se constituir como obstáculos a construção de significados aceitos pelos integrantes da comunidade do saber sábio.

Toda transposição didática visa tornar ensinável o saber de referência. Isso equivale a afirmar que é necessário produzir material (livro didático) que seja potencialmente significativo. E a ação docente, ao efetuar a transposição didática em sala de aula, deve privilegiar a construção de significados. Afinal,

o contexto educacional contemporâneo exige, cada vez mais, professores capazes de suscitar nos alunos experiências pedagógicas significativas, diversificadas e alinhadas com a sociedade em que estão inseridos (CPNLEM, 2008, p.11)

Levando em consideração esses aspectos, defende-se, ao longo do trabalho, algumas aproximações necessárias entre a teoria da aprendizagem significativa e a da transposição didática para que de fato o conhecimento transposto dê condições aos professores e alunos de construir significados, em sala de aula, que se aproximem dos significados aceitos pela comunidade de referência.

O capítulo 1 será dedicado a discussão teórica utilizando o conceito de ligação na abordagem de Linus Pauling, caracterizando-se como uma transposição direta do original da ciência. Nele a ligação química será tratada utilizando o conceito de ressonância do(s) elétron(s) que participa(m) da ligação. O Capítulo 3 abordará as questões metodológicas, enquanto o 4 trará os resultados obtidos da análise dos livros conforme os critérios adotados por este trabalho e pelos critérios de correção conceitual (tópicos 4.7 e 4.8) adotado pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio. Sendo que, as considerações finais aparecem no capítulo 5.

O capítulo 2 trará a discussão da teoria da transposição didática e da aprendizagem significativa e, por fim, nesse mesmo capítulo, serão discutidas as transformações sofridas pelo saber ao ser transferido do saber sábio para o saber ensinado sob o ponto de vista cognitivo. Essa é uma tentativa de “cognitivar” o processo de transposição didática e evidenciar a importância da noosfera para garantir que o significado construído pelo aluno seja de fato idiossincrático, mas não completamente divergente daquele aceito pela comunidade de referência. Todavia, essa aproximação necessária entre significados, que impede o envelhecimento do saber ensinado, só acontecerá a partir da negociação de significado entre os diversos

integrantes da noosfera. Nessa perspectiva, o professor tem o papel, ao ensinar, de mediar à aproximação entre o significado construído pelo aluno e o saber a ser ensinado. Já a pesquisa em educação e o Ministério da Educação e Cultura (MEC) (através de seus pareceres, decretos, documentos...) devem exercer a vigilância epistemológica no sentido de garantir que os conteúdos apresentados pelos livros do Ensino Médio guardem relações de aproximações com o saber de referência. Já que, conforme indica Núñez et al:

As diversas pesquisas sobre o livro didático no ensino fundamental no Brasil, como em outros países (Gayan e García, 1997), têm mostrado como o livro passou a ser o principal controlador do currículo. Os professores(as) utilizam o livro como o instrumento principal que orienta o conteúdo a ser administrado, a seqüência desses conteúdos, as atividades de aprendizagem e avaliação para o ensino das Ciências. O uso do livro didático pelo(a) professor(a) como material didático, ao lado do currículo, dos programas e outros materiais, instituem-se historicamente como um dos instrumentos para o ensino e aprendizagem. Como argumenta Soares (2001): o livro didático nasce com a própria escola, e está presente ao longo da história, em todas as sociedades, em todos os tempos. San José, L. et al (1993) mostram como os livros didáticos no ensino de Ciências têm um papel central e como cresce o número de estudos relativos ao aperfeiçoamento dos livros didáticos. (NUÑEZ et al, 1999, p.2)

Levando em consideração tais aspectos, evidencia-se a importância e relevância do papel exercido pela pesquisa (tal como esta) ao exercer a vigilância epistemológica e, com isso, pode contribuir para a melhoria do livro didático brasileiro. Aqui também se corrobora com a opinião de Núñez et al(2009) ao afirmar que o professor deve ter uma boa formação para desenvolver a tarefa vital de selecionar o

livro didático a ser utilizado em sala de aula. Todavia, não se deve esperar que o professor busque os originais da ciência para estabelecer comparações com o saber a ser ensinado e, dessa forma, exercer a vigilância epistemológica e garantir a correspondência entre ciência de referência e livro didático. Essa é uma tarefa “árdua” e não está no foco de quem ensina, mas de quem faz pesquisa. Além disso, evidencia-se a importância dos mecanismos de poder do estado (expresso em documentos tal como CPNLEM) ao intervir naquilo que é apresentado nos textos didáticos. Pois, além do seu poder regulativo do discurso possui também um poder financeiro e representa um mercado apreciável. Segundo o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) em 2007 foram gastos 221¹ milhões de reais no PNLEM. Isso significa que o estado exerce, além do poder do discurso político ideológico, o poder financeiro, afinal todas as editoras desejam participar desse mercado e para isso não podem ter seus livros didáticos reprovados pelos programas de avaliação oficiais.

¹ Dado retirado da página oficial do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação.

CAPÍTULO 1 – LIGAÇÃO QUÍMICA: CONCEITO CONFORME LINUS PAULING

1.1 – Aspectos do desenvolvimento da teoria de valência

As propriedades das substâncias estão relacionadas ao tipo de ligação entre os átomos que a constituem e à organização destes ao formar o material. Portanto, “uma mudança abrupta nas propriedades de uma série de compostos, como, por exemplo, os pontos de fusão ou de ebulição dos haletos metálicos, tem sido considerada, às vezes, como um indicador da mudança brusca do tipo de ligação” (Pauling, 1965, p.71-72).

Até o século XIX a natureza das ligações químicas não era bem conhecida, supunha-se sua natureza elétrica. Essas eram representadas por um segmento de reta entre dois elementos químicos, representação apenas qualitativa da união. Após ter sido enunciada a descoberta do elétron por Thomson, em 1897, várias tentativas de explicar as ligações foram feitas. Elas culminaram com o trabalho de Lewis que se caracteriza como a base da teoria eletrônica de valência. O refinamento da teoria eletrônica de valência até a forma atual deve-se ao desenvolvimento da mecânica quântica. Esta tem permitido o esclarecimento da ligação química. Linus Pauling (1901-1994) fundamenta-se nos resultados de Gilbert Newton Lewis (1875-1946) - ao considerar que a ligação química ocorre a partir da atração de núcleos atômicos e par(es) eletrônico(s) - e dos avanços da teoria quântica para sugerir o conceito de ressonância do(s) elétron(s) ao ser atraído por núcleos atômicos e formando a ligação química.

1.2 – Modelos para a ligação química

Ao longo do nosso trabalho vamos considerar três tipos de ligação química: covalente, iônica e metálica. Linus Pauling (1965) classifica as ligações nesses três

tipos básicos considerando a distribuição dos elétrons em torno dos átomos envolvidos na ligação. No entanto, essa classificação não é rígida e podemos considerar que a transição de um tipo para outro acontece de modo contínuo.

“Podemos dizer que há uma união química entre dois ou mais átomos quando as forças que atuam entre eles são tais que levam à formação de um agregado com suficiente estabilidade para considerá-lo como uma espécie molecular independente.” (Pauling, 1965, p.4). De forma similar, pode-se afirmar que haverá a formação de uma ligação quando as forças de atração entre os núcleos atômicos e o par de elétrons são iguais ao somatório das forças de repulsão entre os elétrons e entre os núcleos atômicos. Podemos considerar que dois átomos afastados não interagem eletrostaticamente, mas à medida que os dois átomos são aproximados as forças de atração superam as de repulsão até chegar um ponto no qual a força líquida é zero e os átomos permanecem unidos. Qualquer tentativa de aproximar os átomos, tirando desta distância de equilíbrio, faz aumentar as forças repulsivas e a tendência dos átomos é retornarem a posição de equilíbrio. No ponto de equilíbrio a força líquida² é zero e o agrupamento possui menor energia, portanto mais estável. Quando a união resulta da atração de dois núcleos atômicos por apenas um elétron, como no caso do tratamento feito por Pauling (1965) da “molécula-íon” de hidrogênio, “o resultado da força de atração do elétron por cada núcleo equilibra a repulsão entre eles” (Pauling, 1965, p.20).

Para Linus Pauling (1965), as forças atrativas consideradas como união química são aquelas resultantes entre os átomos e os elétrons para formar os agregados atômicos. Portanto, de forma geral, as forças intermoleculares não são consideradas

² A expressão força líquida está sendo utilizada para representar o somatório de todas as forças de origem eletrostática que ocorrem quando dois átomos formam uma ligação química. Esta é equivalente ao somatório das forças atrativas subtraído do somatório das forças repulsivas.

como uniões químicas, a não ser em casos excepcionais, como destaca o autor, na união de duas moléculas de O_2 para formar uma terceira: O_4 . Deve-se considerar que Linus Pauling não diferencia agregado iônico de molécula. Portanto ao longo de sua obra, *“Unione Químicas y la Estructura de Moléculas y Cristales: una introducción a la química estructural moderna”*, é comum encontrar-se expressões como “na molécula do cloreto de sódio”(Pauling, 1965, p. 4) ou “moléculas iônicas em que o átomo central está rodeado por vários ânions...”(Pauling, 1965, p.74). Ao longo do livro não foi encontrada qualquer justificativa quanto à utilização da expressão molécula para os compostos iônicos. No entanto, pode-se inferir, baseado na interpretação do tratamento do caráter iônico parcial das ligações covalentes, que para Pauling só existe molécula. As ligações formadas por pares de elétrons são todas covalentes com um determinado caráter iônico. Assim, devido à ressonância do par eletrônico, as substâncias moleculares simples, tipo O_2 , tem um pequeno caráter iônico, enquanto as mais iônicas como a molécula do cloreto de cério “que é constituída pelo mais eletropositivo dos metais e um dos mais eletronegativos dos ametais” (Pauling, 1965, p. 77), possui um elevado caráter iônico e um baixo caráter covalente. “Esta molécula tem uma união quase totalmente iônica, sendo a contribuição covalente muito pequena, da ordem de poucas unidades por cento” (Pauling, 1965, p. 77-78). Portanto, o que irá diferenciar uma “substância iônica pura” de uma “covalente pura”³ é o caráter iônico. Sob esse ponto de vista, não faz o menor sentido pensar em utilizar a expressão molécula apenas para os agregados discretos ou redes covalentes. Pois, as ligações iônicas e covalentes resultam do compartilhamento de elétrons sendo o que as diferencia é o caráter iônico. Nas próximas duas secções (intituladas ligação

³ A expressão covalente pura está sendo utilizado para indicar as substâncias que possuem ligação covalente com um baixo caráter iônico como o H_2 . Já a expressão “iônico puro” é para indicar o extremo oposto que forma a linha continua entre as ligações iônicas e covalentes, ou seja, uma substância que possui um elevado caráter iônico, como o $NaCl$.

iônica e ligação covalente), serão tratados apenas esses casos extremos e na secção posterior as substâncias serão tratadas como sendo constituídas por ligações covalentes com um determinado caráter iônico.

1.3 – A ligação iônica

A ligação iônica forma-se a partir da consideração que houve transferência de elétrons do átomo menos eletronegativo para o de maior eletronegatividade, formado estruturas carregadas eletricamente chamadas de íons e a união entre essas estruturas ocorre a partir da atração entre cátions e ânions e é chamada de ligação iônica. Esta resulta da atração de Coulomb devido à existência de dois íons de cargas elétricas opostas. O átomo que possui menor eletronegatividade perde elétron(s) para aquele que atrai mais intensamente os elétrons da ligação, ou seja, o mais eletronegativo. Desta maneira há a formação de íons cátions e ânions estáveis. Não se deve atribuir à mera transferência de elétrons à formação de íons estáveis. Pois o cátion sódio é menos estável do que o átomo desse mesmo elemento, pois o processo de formação do Na^+ a partir do $\text{Na}_{(g)}$ ocorre com absorção de energia. Esta estabilidade deve-se ao fato de que, embora a retirada do elétron do átomo menos eletronegativo para formar um cátion seja um processo endotérmico, a adição do elétron ao mais eletronegativo para formar um ânion e a aproximação dos dois íons são processos exotérmicos. Ao somar as energias - absorvida na retirada do elétron e a liberada na adição do elétron e aproximação dos íons - percebe-se que o processo se dá liberando energia. Em conseqüência, o composto formado é menos energético e, portanto, mais estável. No caso do cristal cloreto de sódio, é formado pela união entre cátions sódio e ânions cloreto. Cada um deles atraído fortemente por seis íons, de carga oposta, que os rodeia formando uma estrutura octaédrica tridimensional.

1.4 – A ligação covalente.

A ligação covalente é interpretada como resultante do compartilhamento de elétrons entre átomos em que a diferença de eletronegatividade é pequena e em consequência não há transferência de elétrons, mas a formação de uma substância em que seus átomos compartilham pares eletrônicos. As substâncias que melhor representam as ligações covalentes extremas são simples, tais como H₂, Cl₂, O₃... Nelas a diferença de eletronegatividade entre os átomos ligantes é nula, logo podemos afirmar que o par eletrônico fica distribuído uniformemente entre os núcleos que compõem a molécula.

Para representar a ligação covalente costuma-se utilizar a estrutura de Lewis, em que os elétrons das camadas internas e os núcleos atômicos são representados pelo símbolo do elemento químico, enquanto os elétrons da camada externa são representados por pontos.

Nas estruturas representadas anteriormente pode-se observar que se atribui aos átomos a configuração eletrônica de um gás nobre, após a formação da ligação química. Assim, o hidrogênio passa a ter dois elétrons de valência, semelhante ao hélio, e o cloro passa a ter oito elétrons de valência, semelhante ao neônio.

1.5 – Modelos de ligação química a partir do conceito de ressonância.

Na mecânica quântica se representa a localização do elétron em torno do átomo a partir de uma função de onda (ψ), sendo que ψ será o orbital atômico. O sistema é representado como uma combinação linear de equações de onda das estruturas formadas pela combinação dos elétrons com os núcleos. Considerando dois átomos A e B, os orbitais atômicos serão representadas pelas funções de onda ψ_A e

ψ_B . A combinação desses dois orbitais formará um novo sistema ao qual o par de elétrons alterna a posição ao longo do tempo.

De modo geral o novo sistema formado pela união de átomos que podem ser representados como uma combinação linear das equações de onda dos átomos unidos. Logo, a função de onda ψ_{AB} pode ser representada como $\psi_{AB} = a\psi_A \pm b\psi_B$. A combinação dessas funções de distribuição (ψ_A e ψ_B) pode ser variável, sendo que esta variação é expressa por a e b. Para uma molécula simples, tipo O_2 , “a” é igual a “b”. Nesse caso a molécula possui um baixo caráter iônico e um elevado caráter covalente, isso equivale a afirmar que o par eletrônico fica, a maior parte do tempo, compartilhado equitativamente entre os átomos ligantes. À medida que aumenta a diferença de eletronegatividade entre os átomos ligantes, aumenta a diferença entre a e b. Quando $a \gg b$, a participação da função de onda ψ_A é muito maior do que ψ_B e a função de distribuição ψ_{AB} tende a ser semelhante a ψ_A . Quando $b \gg a$, ocorre o inverso. Neste caso a distribuição eletrônica entre os dois átomos não é equitativa e a ligação tem um elevado caráter iônico. Quando a diferença entre a e b é pequena, a ligação é covalente com baixo caráter iônico. Baseado nessas informações é que podemos interpretar que para Pauling (1965) existem apenas compostos moleculares. Sendo que a diferença entre diferentes moléculas é apenas o caráter iônico. As substâncias formadas por elementos em que a diferença de eletronegatividade é nula possuem ligação covalente com um pequeno caráter iônico, enquanto as substâncias formadas por átomos que possuem uma elevada diferença de eletronegatividade possuem ligação covalente com um elevado caráter iônico. Todas as outras substâncias formadas pela união entre átomos em que a diferença de eletronegatividade não é nenhum desses dois extremos, então podem ser classificadas como pertencentes a um intermediário de uma linha contínua cujos

extremos estão as covalentes com baixo caráter iônico e as covalentes com alto caráter. Apenas não entrariam nesse grupo as substâncias metálicas.

Representando esquematicamente a linha anterior podemos colocar num desses extremos a molécula de hidrogênio cuja ligação é covalente com um baixíssimo caráter iônico, da ordem de dois por cento, e no outro a molécula do cloreto de cézio, que tem uma união quase totalmente iônica, sendo a contribuição covalente muito pequena da ordem de poucas unidades percentuais. Já o fluoreto de hidrogênio apresenta características peculiares. Nele a contribuição da estrutura covalente é igual a da estrutura iônica . “a união hidrogênio-flúor tem em torno de 50 por cento de caráter iônico” (Pauling, 1965, p.76). Todas as demais moléculas, excetuando os íons complexos, estariam distribuídas nessa linha continua:



De acordo com Pauling (1965), o átomo normal de hidrogênio é formado por um elétron que se move ao redor do núcleo atômico com uma órbita circular de raio 0,530 Angstroms e a uma velocidade de $2,182 \times 10^3$ cm/s. Sendo que a maior magnitude da função de onda que representa seu único elétron ocorre ao redor do núcleo, numa distância de aproximadamente 0,5 angstroms. Todavia, não podemos restringir a presença do elétron só a esta distância. Pode-se descrever o átomo de hidrogênio como sendo constituído por um núcleo e um elétron que se move numa região cuja possibilidade de encontrar o elétron é dada pela multiplicação da densidade de probabilidade (ψ^2) pelo volume. Esse modelo equivale a compreender que o um elétron circunda o núcleo atômico numa região em que a maior probabilidade de encontrá-lo situa-se entre o núcleo e um raio de 0,5 Angstrom.

A discussão teórica acerca da molécula-íon de hidrogênio, H_2^+ , é feita considerando primeiro o movimento do elétron no campo de um dos átomos. Em

seguida considera-se que o elétron está em movimento no campo do outro átomo. Sendo que a configuração eletrônica da molécula resulta da combinação das configurações eletrônicas dos átomos que a compõem e a energia corresponderá ao mínimo de energia e que dá, portanto, a máxima estabilidade.

Portanto, inicialmente supõe-se que o elétron está no campo do átomo de hidrogênio A e ocorre atração eletrostática por um cátion hidrogênio B, conforme a estrutura representada abaixo:



Utilizando o outro ponto de vista podemos afirmar que o elétron está no campo do átomo de hidrogênio B e este está unido ao cátion hidrogênio A (estrutura II). Essa estrutura é tão estável quanto a I e apresenta a mesma probabilidade de ocorrência. Logo, essas duas estruturas possuem a mesma energia e contribuem igualmente para a formação da molécula-íon do hidrogênio.

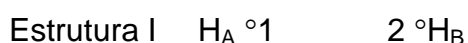


Dessa forma devemos considerar que na molécula-íon de hidrogênio não há predominância de nenhuma das duas estruturas anteriores, mas que as duas contribuem igualmente para a formação da molécula-íon e que nesta ocorre a ressonância dessas duas estruturas, sob esse ponto de vista, a ressonância é compreendida como uma alternância de posição do elétron entre os dois núcleos atômicos. E que esta função de distribuição do elétron ao formar a molécula-íon indica que:

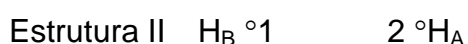
O elétron permanece, a maior parte do tempo, numa pequena zona entre os núcleos atômicos e que raramente ocupam a posição mais distante de algum deles. Podemos pensar que a presença do elétron entre os núcleos proporciona uma explicação para a estabilidade da união. (Pauling, 1965, p. 17).

Sendo que a energia de ressonância é que dá maior estabilidade à ligação. Como atesta Linus Pauling, “Os cálculos da curva de energia, usando as funções de onda das estruturas I e II, indicam a presença de um valor mínimo, mostrando, como resultado, que a ressonância do elétron entre os dois núcleos forma uma união monoelétrica estável.” (Pauling, 1965, p. 16). De forma que é possível afirmar que a estabilidade da união ocorre devido à possibilidade de ressonância das duas estruturas apresentadas anteriormente. Isso equivale a dizer que a união ocorre a partir da atração entre os núcleos atômicos e o elétron ligante. Essa inferência equivale a dizer que a estabilidade da união ocorre devido a presença do elétron entre ambos os núcleos atômicos.

Utilizando o mesmo modelo, Linus Pauling (1965) explica a formação da ligação entre dois átomos de hidrogênio a partir de um par de elétrons ligante para formar a molécula de hidrogênio (H_2). Nesse caso é preciso denominar os átomos por A e B e cada um dos dois elétrons por 1 e 2. Quando os dois átomos estão afastados a energia de interação é praticamente zero e existem apenas dois átomos de hidrogênio. Consideremos que o elétron 1 está associado ao núcleo A e o elétron 2 ao B, formando a estrutura abaixo:



Pode-se considerar que o elétron 2 está ligado ao átomo A e o elétron 1 ao átomo B. E da mesma forma que fizemos com a molécula-íon de hidrogênio, podemos afirmar que a estrutura II, abaixo, possui a mesma energia e a mesma probabilidade de ocorrência que a I, afinal as eletronegatividades dos átomos unidos são iguais.



Se as duas estruturas apresentam a mesma probabilidade de ocorrência, logo podemos afirmar que as duas contribuem igualmente para a formação da molécula de

hidrogênio e que a união resulta da combinação linear da equação das funções de onda de cada uma das estruturas. Isso equivale a dizer que a formação da molécula de hidrogênio resulta da ressonância das duas estruturas apresentadas anteriormente e que a ressonância caracteriza-se pela mudança de lugares entre os dois elétrons, na formação da ligação química. E mais uma vez, a estabilidade conferida a molécula resulta da ressonância dos elétrons na ligação.

Pauling (1965) adota que os elétrons estão compartilhados igualmente entre os dois átomos ligantes, no entanto, deve-se considerar que os dois elétrons podem permanecer, por certo intervalo de tempo, em torno de apenas um dos átomos, conforme estruturas abaixo:



Na estrutura III considera-se que o par eletrônico esteja apenas no campo do átomo A formando um ânion “com a estrutura completa do hélio (na camada K)” (Pauling, 1965, p. 24) e o átomo B fica carregado positivamente (cátion) em função da ausência do elétron em torno do próton. A estrutura IV tem igual probabilidade de ocorrência e mesma estabilidade que a III. Então, podemos descrever a união da molécula de hidrogênio como resultante, principalmente, da ressonância do par de elétrons em torno dos dois núcleos atômicos.

Resumindo os resultados anteriores pode-se descrever a molécula de hidrogênio como resultante, principalmente, da ressonância dos dois elétrons entre os dois núcleos. Este fenômeno contribui com oitenta por cento da energia total da ligação química. Cinco por cento da energia adicional é dada pela formação das estruturas iônicas (III e IV) $H^- H^+$ e $H^+ H^-$, que são de igual importância. Os quinze por cento restantes

atribuem-se a interações complexas com o nome de deformação. (Pauling, 1965, p.25).

Se existe possibilidade da ocorrência das estruturas III e IV e estas contribuem com cinco por cento da energia de estabilidade, então equivale a dizer que a ligação covalente que ocorre entre dois átomos de hidrogênio apresenta um caráter iônico devido à ressonância das estruturas. Para outros tipos de moléculas, como as de Cl_2 , não se têm muitas evidências sobre a proporção do caráter covalente. Considera-se apenas que “as estruturas Cl^+Cl^- e Cl^-Cl^+ contribuam muito menos para o estado normal da molécula do que as estruturas correspondentes a molécula de hidrogênio” (Pauling, 1965, p.74).

Até o momento o tratamento da ligação tem envolvido apenas a molécula de hidrogênio. A partir de agora serão discutidas as uniões entre átomos para formar outros tipos de moléculas. Embora a única molécula a qual se pode obter uma resolução exata da equação de Schrödinger é a do hidrogênio, todavia pode-se obter um tratamento aproximado para moléculas mais complexas. Apesar dos resultados quantitativos serem apenas aproximados, os resultados qualitativos são muito úteis, inclusive “é possível induzir as propriedades das substâncias sobre a natureza da união simples, no que depende da natureza dos átomos conectados por ela” (Pauling, 1965, p. 66).

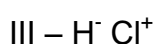
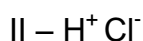
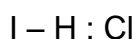
Primeiro será apresentado uma união simples entre os átomos A e B. Com relação à substância formada por esses dois átomos podemos escrever a função de onda como sendo:

$$\psi_{AB} = a\psi_{A:B} + b\psi_{A^+B^-}$$

Esta é formada pela combinação linear das funções de onda correspondentes à contribuição covalente (A:B) e à iônica (A^+B^-) em que o elemento mais eletronegativo

tem ambos os elétrons ocupando um dos orbitais da última camada. Os coeficientes a e b são denominados por Pauling (1965) de parâmetros estruturais. À medida que os parâmetros da molécula (em particular a eletronegatividade⁴) se modificam, a relação b/a varia de zero a infinito. A partir da razão b/a pode-se inferir sobre a contribuição do caráter iônico e covalente, sendo que esta razão pode variar de zero a infinito indicando o extremo covalente ou o iônico. Quando b/a tende a zero, os átomos A e B são semelhantes e a ligação é covalente com baixo caráter iônico, mas quando b/a tende a infinito a ligação será covalente com um elevado caráter iônico, aqui denominada por iônica extrema. Para valores intermediários de eletronegatividade relativa dos átomos A e B, pode-se descrever a ligação química como resultante da ressonância entre o extremo covalente e o iônico. “Portanto, a transição de um extremo a outro seria contínua” (Pauling, 1965, p.67).

Para uma molécula como o cloreto de hidrogênio, podemos escrever três estruturas:



A estrutura I representa uma união covalente extrema e as II e III iônicas extremas. Conforme Pauling (1965) a estrutura III pode ser desprezada, pois a eletronegatividade do cloro é maior que a do hidrogênio de modo que essa estrutura é pouco provável. Pode-se descrever a estrutura real com sendo ressonante das estruturas I e II e “dizer que a ligação é covalente com caráter iônico parcial” (Pauling, 1965, p.68).

⁴ Para Pauling (1965), a propriedade qualitativa que os químicos chamam de eletronegatividade é o poder de um átomo atrair elétrons para ele numa molécula. (Pauling, 1965, p.89).

Analisemos agora a união entre átomos em que a diferença de eletronegatividade não é muito grande. Nesse caso, a energia requerida para retirar o elétron e adicioná-lo ao outro átomo para formar as duas estruturas iônicas (indicadas abaixo) não difere muito. Como analisa o Pauling (1965) para o caso da união entre o cloro e o bromo. “A energia requerida para formar os íons Br^+ e Cl^- a partir dos átomos Br e Cl é de somente 186 kcal/mol. Enquanto a requerida para formar os íons Br^- e Cl^+ é de 218 kcal/mol.” (Pauling, 1965, p.75) Com base nesses dados pode-se afirmar que a estrutura II tem uma menor contribuição, pois consome mais energia no processo de ionização e a estrutura III contribui em maior grau para o caráter iônico da molécula, pois consome menos energia na ionização, formando uma união com maior energia e um composto com uma energia total menor sendo, portanto, mais estável.

I – Br : Cl

II – $\text{Br}^- \text{Cl}^+$

III – $\text{Br}^+ \text{Cl}^-$

As moléculas dos haletos alcalinos representam um extremo: união essencialmente iônica com um pequeno caráter covalente. Na distância de equilíbrio o cloreto de césio apresenta predominância da estrutura iônica Cs^+Cl^- e a contribuição da estrutura Cs^-Cl^+ é desprezível. Enquanto a contribuição da estrutura covalente $\text{Cs}:\text{Cl}$ é muito pequena, “da ordem de dois por cento” (Pauling, 1965, p. 77-78) . Quando os dois átomos estão afastados a afinidade eletrônica⁵ do cloro é de cerca de 86 kcal/mol, enquanto a energia de ionização do césio é de 89 kcal/mol. Isso indica que o composto iônico formado “é quase tão estável quanto a estrutura covalente $\text{Cs}:\text{Cl}$ ” (Pauling, 1965, p.77). A aproximação desses íons libera cerca de 100 kcal/mol resultando num composto com uma elevada energia de ligação e, em consequência,

⁵Os dados apresentados nesse parágrafo tais como energia de ionização, afinidade eletrônica e energia liberada pela aproximação dos íons formados foram retirados do Linus Pauling, p. 77.

um mínimo de energia total da molécula portanto, um máximo de estabilidade. Isso faz com que “esta molécula tenha uma ligação de caráter quase totalmente iônico” (Pauling, 1965, p.77).

Para analisar a energia das uniões numa ligação simples, Pauling (1965) parte de uma molécula simétrica formada por átomos iguais A-A que pode ser escrita da seguinte forma:

$$a\psi_{A:A} + b\psi_{A+A-} + b\psi_{A-A+}$$

Uma expressão semelhante pode ser escrita para uma molécula B-B. A razão b/a , que indica a contribuição do caráter iônico, é pequena e provavelmente deve ser para todas as moléculas simples.

Considerando agora uma substância formada por átomos diferentes ao qual um é mais eletronegativo do que o outro, podemos escrever a equação de onda que representa o sistema da seguinte forma:

$$a\psi_{A:B} + c\psi_{A+B-} + d\psi_{A-B+}$$

“Os melhores valores de c/a e d/a são aqueles que fazem máxima a energia de união (é dizer, faz o mínimo da energia total da molécula)” (Pauling, 1965, p.80). Como sugere Pauling, a energia total de uma ligação entre átomos diferentes (A-B) é maior ou, no mínimo, igual à “média aritmética dos valores das energias de união D (A-A) e D (B-B)” (Pauling, 1965, p.81). O que sugere Pauling (1965) é que a energia da união entre dois átomos diferentes pode ser calculada pela média aritmética da energia de união dos mesmos átomos ao formar substâncias simples. A diferença entre o valor calculado (usando a média aritmética das energias das uniões das substâncias simples) e o medido na prática para a substância A-B resulta da energia de ressonância e é esta que confere estabilidade a substância.

A partir das medidas dos calores de formação de diferentes substâncias Pauling (1965) formulou uma escala de eletronegatividade para os elementos químicos. Nessa escala, o flúor (elemento mais eletronegativo) tem eletronegatividade 4 e o frâncio (elemento menos eletronegativo) tem 0,7. Embora o autor admita que “é difícil formular uma relação exata entre o caráter iônico parcial de uma união e a diferença de eletronegatividade dos átomos que a forma...”(Pauling, 1965, p.98), mesmo assim propõe uma equação, proporção do caráter iônico é igual a $1 - e^{-1/4(xa-xb)^2}$, capaz de prever o caráter iônico parcial da união simples. Nessa equação xa e xb representam os valores de eletronegatividade dos elementos unidos. Isso significa que os núcleos atômicos atraem o par de elétrons mantendo-os unidos e a eletronegatividade “representa a atração dos elétrons por um átomo neutro numa molécula estável” (Pauling, 1965, p.96).

1.6 – A ligação metálica

A característica mais notável das uniões entre os metais é a mobilidade dos elétrons que formam a união. Apenas um modelo de ligação que considera os elétrons ligantes como “livres”⁶, e com isso capazes de se movimentar ao longo da estrutura cristalina, é capaz de explicar características típicas dos metais tais como a elevada condutividade elétrica e térmica dessas substâncias no estado sólido. O modelo que explica as ligações metálicas é diferente daquele que explica as ligações covalente e iônica, enquanto nestas a união é interpretada como sendo formada por núcleos que atraem pares de elétrons localizados entre os núcleos atômicos, na ligação metálica os elétrons não estão localizados entre os átomos que se unem, mas estão deslocalizados na rede cristalina. O tratamento mecânico-quântico da união covalente

⁶ A expressão livres encontra-se entre aspas, pois ao mesmo tempo que os elétrons podem se movimentar ao longo da estrutura e isso indicaria a liberdade do movimento são esses mesmos elétrons que promovem a união entre os átomos do metal.

leva em consideração que o par de elétrons ligante permanece preso numa região próxima aos núcleos atômicos, sendo que a região de maior probabilidade de encontrar o elétron é justamente entre os núcleos atômicos. Esse enclausuramento dos elétrons numa região próxima aos núcleos, devido a força de atração eletrostática, permite que se faça o tratamento mecânico-quântico considerando que a função de onda que representa o sistema formado pelos átomos unidos é resultado da combinação linear das funções de onda dos átomos que a constitui. Todavia, para as substâncias metálicas, tal tratamento não é possível, pois as propriedades dessas substâncias indicam que os elétrons não estão presos “numa caixa” cujos limites resultam da ação da força de campo de origem eletrostática gerada pelos núcleos dos átomos unidos. Portanto, não é possível estabelecer equações de onda para sistemas formados por núcleos e pares eletrônicos, afinal os elétrons mudam constantemente sua localização na estrutura cristalina do metal.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO - METODOLÓGICO

2.1 – Transposição didática

O conhecimento de Química ensinado na escola, que denominaremos de conhecimento escolar de química é originalmente construído no campo científico. Para ser ensinado precisa ser retirado do contexto científico e inserido em outro contexto, o escolar. Esse processo de transferência do conhecimento de um contexto para outro elimina as questões que lhe deram origem e os conflitos existentes durante a sua construção. O Saber sábio, denominação dada por Chevallard (2005) ao conhecimento científico, da forma como é produzido, só é compreendido pelos especialistas, não podendo ser ensinado sem sofrer um processo de transformação. Esse processo de transferência/transformação é denominado por Chevallard (2005) de transposição didática e o especialista da disciplina consegue identificar com facilidade as transformações sofridas pelo saber ao ser transferido para outro contexto. Daí a necessidade de falar numa ciência escolar como sendo aquela que visa ensinar conceitos oriundos da ciência de referência. Não se pode afirmar que a ciência escolar é uma mera cópia do saber sábio, afinal a ciência escolar possui uma epistemologia própria como nos sugerem diversos autores (Forquin, 1993; Lopes, 1999; Astolfi e Develay, 1991; Leite, 2007).

Basil Bernstein (1998), também discute a transferência do conhecimento de um contexto para outro, sob o título de recontextualização, e “que há algumas aproximações nos dois modelos teóricos” (Leite, 2007, p.70), “pois dizem respeito às transformações que o saber sábio ou o discurso científico sofrem ao passar para os contextos de ensino” (Marandino, 2006, p.104). Para a mesma autora, “na teoria da transposição didática, o foco de análise é a transposição dos *conceitos* científicos no

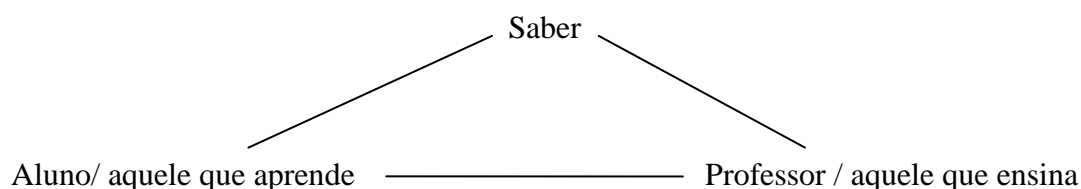
processo de ensino, tendo por referência ainda o saber sábio” (Marandino, 2006, p. 104), enquanto que “na perspectiva da recontextualização, o foco é estudar a *transferência dos textos entre diferentes contextos de produção e reprodução*, mediada pelas relações de poder e pela regulação do discurso de ordem social” (Marandino, 2006, p.104, *itálico da autora*). Como o foco desse trabalho não se caracteriza em estudar as transformações sofridas pelo conhecimento mediadas pela diferentes ações do poder, optou-se pela teoria de Chevallard em detrimento da bernsteiniana. Isso não significa que a utilização da transposição didática impeça a compreensão do CPNLEM como um mecanismo de ação do poder do estado sobre o saber a ser ensinado. Vale ressaltar que para Chevallard o sistema didático é aberto, portanto, sofre interferência de diversos grupos que integram a noosfera. Todavia, o foco desse trabalho não está voltado para compreender as relações entre os mecanismos de regulação e as diferentes formas de poder dos integrantes da noosfera.

O saber é dividido, por Chevallard (2005), em três esferas: saber sábio, saber a ser ensinado e saber ensinado. Cada uma destas esferas é constituída por agentes que pertencem a diversos grupos sociais e apresentam interesses distintos aos quais influenciam nas transformações sofridas pelo saber, desde a saída do saber sábio até o de fato ensinado. Portanto, o sistema didático possui um entorno caracterizado por uma estruturação muito complexa. Esse tratamento envolve o que Chevallard chama de noosfera. Este é um espaço de conflitos e disputas que envolvem professores, as famílias dos alunos, cientistas, alunos, autores de livros didáticos, as instâncias políticas (Ministério da Educação e Cultura), políticos e militantes de grupos que visam realizar a interface entre as esferas de produção do saber e a de ensino. Portanto, nela estão presentes todos aqueles que interferem nas transformações fazendo com

que o saber sábio se modifique e chegue até a escola. Isso sugere que o trabalho da noosfera co-responde a vários interesses e, muitas vezes, contraditórias necessidades sociais. “Ali se desenrolam os conflitos, ali se levam a cabo as negociações; ali se maturam as soluções” (Chevallard, 2005, p.28).

A noosfera é o centro operacional do processo de transposição, que traduzirá nos fatos a resposta ao desequilíbrio criado e comprovado (expresso pelos matemáticos, professores mesmos). Ali se produz todo conflito entre sistema e entorno e ali encontra seu lugar privilegiado de expressão. (Chevallard, 2005, p.34)

Ao discutir o sistema didático, Chevallard (2005) insere o constituinte saber numa relação que envolve três componentes os quais se estabelece uma relação didática, conforme esquema abaixo. Sob essa ótica, o ensino aprendizagem não é pensado apenas como uma relação entre aprendiz e professor. Para Chevallard (2005), pensar o sistema didático é necessário inserir o saber nessa relação tripla:



Esse saber, ensinado na escola, é necessariamente diferente do saber científico. Isso equivale a afirmar que há um distanciamento necessário entre o saber sábio e o saber a ser ensinado. Ao questionar sobre esse afastamento necessário, remete-se a pontos que Chevallard considera “sumamente importantes, tais como: gênese, filiações, legitimidade tudo isso mesclado e em forma de debate”. (Chevallard, 2005, p.15-16). Essa é uma discussão necessariamente de natureza epistemológica. Qual a origem do conhecimento escolar? Quais os mecanismos que o tornam legítimo?

Esse processo de transposição de conceitos do meio acadêmico para o escolar tende a distanciar a ciência escolar dos saberes de referência, aproximando o conhecimento escolar no conhecimento comum num fenômeno denominado por Chevallard (2005) de envelhecimento biológico. Isso equivale a afirmar que o objeto de referência, fonte de legitimidade e conformidade, tende a ser esquecido ao longo do tempo. Daí a necessidade de um fluxo contínuo de saber da esfera do saber sábio para a do saber a ser ensinado e essa transferência só é possível à medida que ocorre a vigilância epistemológica. Isso deve acontecer pois o “saber ensinado – o saber tratado no interior do sistema – deve ser visto, pelos mesmos ‘acadêmicos’, como suficientemente vizinho ao saber sábio a fim de não provocar a desautorização pelos cientistas” (Chevallard, 2005, p. 30). A vigilância epistemológica deve ser “um poderoso recurso para evitar a possível desfiguração do saber de referência, como resultado das várias transformações por que passa até chegar à condição de saber ensinado e/ou aprendido.” (Grillo et al, p. 153, 2008). À medida que os integrantes da noosfera⁷ questionam as origens, comparam as diferenças entre saber de referência e escolar, põem em questão o sistema didático que dever exercer, necessariamente, a vigilância epistemológica. Esse processo é conflituoso (como será melhor discutido adiante) e envolve a disputa de diferentes poderes e interesses.

A transposição didática deve transformar o conhecimento de forma a mantê-lo distante do saber banalizado e próximo do saber sábio. Uma aproximação demasiada entre saber a ser ensinado e saber banalizado levaria a por em questão o projeto de ensino. Com o tempo o saber tratado no sistema de ensino envelhece devido a um afastamento demasiado do saber ensinado em relação ao saber de referência, e uma conseqüente demasiada aproximação do saber banalizado. Isso significa que a correta

⁷ A noosfera é constituída por todos os integrantes que lutam no processo de constituição e legitimação do saber escolar. Dela participam pais de alunos, professores, pesquisadores, político militante da educação, editoras, escritores de livros didáticos... Tal conceito será retomado em tópicos posteriores.

distância entre saber escolar e banalizado é reduzida continuamente e o saber ensinado se desgasta. Conforme define Chevallard (2005), o saber banalizado é aquele que as famílias dos estudantes têm acesso sem a mediação escolar. Quando isso acontece, a legitimação do saber ensinado é questionada pelo entorno social. Isso provoca o “envelhecimento moral” do saber ensinado. Se o saber ensinado pela escola é de domínio público, o que justificaria essa instituição? Quando não há compatibilidade entre a escola e o entorno, então aquela é denunciada por pais, profissionais da área e professores como uma instituição arcaica e distante da realidade dos seus educandos.

Dentro da noosfera ocorrerá a seleção dos conteúdos a serem ensinados num processo chamado de trabalho externo de transposição. Este não é realizado pelo educador, pois este não tem poder de selecionar, diretamente, quais são os conteúdos que farão parte do currículo escolar. O professor, ao preparar uma lição, estará executando o trabalho interno que se caracteriza por selecionar tópicos que considera mais importantes e construir significados que se aproximem daqueles aceitos pela comunidade de referência.

Alguns componentes da noosfera, autores de livros didáticos e professores, estão a todo instante elaborando novos textos do saber com o objetivo de tornar compreensível o saber sábio. Um projeto de ensino sempre supõe a produção de textos do saber, esses textos por sua vez estabelecem uma relação específica com o tempo didático⁸, a escola sobrevive pela relação entre processo de ensino e duração desse processo que é planejado previamente por alguns integrantes (professores, coordenadores, escritores do livro didático) da noosfera. Aqui vale destacar que esse tempo não é de pleno domínio do professor, no sentido de que é ele quem determina o

⁸ Sabe-se que no planejamento escolar os conteúdos são apresentados ao aluno num determinado tempo que planejado previamente pelos integrantes da noosfera. Adota-se como tempo didático aquele em que será apresentado um determinado conteúdo ao aluno.

tempo de ensino. Se um determinado professor resolver, por exemplo, ensinar o conteúdo de ligação química ao longo de um ano letivo inteiro, então será cobrado por pais, alunos, direção e coordenação que conclua o conteúdo alegando que este deve ser ensinado num tempo muito menor. “Essa relação saber/duração é o elemento essencial do processo didático” (Chevallard, 2005, p.75). É a produção, prévia, desses textos do saber que permite que essa relação se estabeleça na escola e o processo didático se constitui como uma relação entre texto e uma duração. Esses textos podem ser escritos, no caso do livro didático, apostilas, ou serem simplesmente orais, quando o professor ministra uma aula apresentando conceitos e negociando significados com os integrantes do processo de ensino-aprendizagem.

Nesses dois processos, o saber sábio sofre modificações em diversos aspectos. Segundo Astolfi e Develay (1991), estas transformações podem ser no plano lingüístico, já que um mesmo conceito pode ser expresso utilizando diferentes enunciados; ou simplesmente a transformação pode ser no plano epistemológico, pois “cada enunciado pode ser relacionado a um problema, explícito ou implícito, do qual se constitui o resultado” (Astolfi; Develay, 1991, p. 60). Além dessas transformações, os conceitos na escola são hierarquizados. Isso significa que o ensino se dá a partir de formulações mais simples que se tornam mais abstratas e complexas à medida que o educando avança numa mesma série ou nas diferentes séries. Essa modificação, em relação ao saber sábio, é denominada por Astolfi e Develay de modificações no plano psicogenético.

Dentro do sistema didático há uma ilusão de que os saberes a serem ensinados e os que realmente são ensinados são idênticos aos saberes de referência. Isso significa que tanto alunos quanto professores não consideram plausível a idéia de que os conteúdos ensinados na escola diferem dos saberes científicos que lhes deram

origem. Essa atitude de desconsiderar as diferenças resulta da valorização social dos saberes de referência, essa valorização é transferida para a escola quando alimenta a idéia de que o conteúdo ensinado é o próprio conhecimento científico. Essa “ficção de identidade” (Chevallard, 2005, p.17) – do saber sábio com o saber ensinado – é abalada pela teoria da transposição didática.

O reconhecimento do distanciamento entre o saber escolar e o de referência não deve ser compreendido como uma depreciação do saber ensinado na escola, mas sim um reconhecimento de um saber escolar com suas próprias características e que se relaciona aos interesses, conflitos e necessidades da comunidade ao qual está sendo ensinado. As questões às quais o saber escolar busca responder são completamente diferentes daquelas que o saber científico responde. Considerando que todo saber é construído a partir de questionamentos, pode-se dizer que as questões formuladas ao longo de gerações e que deram origem ao conhecimento científico, são completamente diferentes das questões formuladas pelo professor para problematizar suas aulas, quando o professor resolve ensinar a partir de problemas. Mesmo utilizando uma metodologia problematizadora (ensino baseado em problemas), o que os estudantes fazem é responder aos questionamentos provocados pelo professor buscando as respostas que se aproximem de um conhecimento pré-estabelecido (saber escolar). Essa é a característica da mediação docente. Intervir nas explicações alternativas dadas pelos educandos, diante dos problemas propostos, conduzindo-as para que se aproximem daquelas aceitas pelos cientistas. Essa é mais uma característica que diferencia epistemologicamente o conhecimento científico do escolar, pois quando os cientistas estão envolvidos numa pesquisa, eles não buscam respostas que devam se aproximar de outro conhecimento estabelecido previamente. Constroem respostas a questionamentos aceitos pela própria comunidade em que

está inserido e buscam dar novas respostas baseadas em teoria(s), que também deve(m) ser aceita(s) pela comunidade. No entanto, a forma mais comum de construir conhecimento na escola não é baseada em problemas, mas apresentando o conhecimento que deve ser ensinado, e cobrando que os alunos saibam exatamente aquilo que se pretendeu ensinar. Nessa perspectiva, os estudantes não buscam responder a nenhum questionamento. Enquanto na esfera do saber científico o conhecimento é impulsionado pelos problemas propostos pela comunidade científica, na esfera do ensino tradicional, a aprendizagem não é impulsionada pela necessidade de resolução de problemas, mas sim pela necessidade de responder ao que o professor irá cobrar. Ou, simplesmente, o que o aluno acha que o professor irá cobrar ou quer que ele aprenda. “O saber que produz a transposição didática será portanto um saber exilado de suas origens e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio” (Chevallard, 2005, p.18), caracterizando-se como um saber atemporal e não pertencente a nenhum lugar.

Sob esse ponto de vista, adota-se a existência de dois contextos: o da produção de saberes e o das relações didáticas. Nesses dois contextos os processos de legitimação e constituição são perpassados por relações de poder entre diversos grupos sociais que compõe a noosfera. Com isso, os conflitos, anseios, interesses e disputas de poderes que se estabelecem nesses dois contextos são diferentes.

Os processos de legitimação do saber escolar envolvem professores, alunos, pais, grupos sociais, interesses econômicos (manifestado pelas editoras) e poderes de regulação (manifestado pelas ações do estado). Discutir o sistema didático numa abordagem epistemológica significa pensar essas relações, de natureza complexa, que nele se estabelecem.

Nessa discussão adota-se a existência de um saber científico (expresso pelos originais e artigos aceitos cientificamente), um saber a ser ensinado (expresso pelos livros didáticos) e o saber ensinado. Essa discussão envolve adotar que a transposição didática ocorre dentro e fora do sistema didático ou, como aponta Chevallard (2005), o sistema didático é aberto. “Sua sobrevivência supõe a compatibilização com seu meio. Este lhe impõe responder as exigências que acompanham e justificam o projeto social e cuja atualização deve responder” (Chevallard, 2005, p.17).

2.2 – Aprendizagem significativa

A teoria da aprendizagem significativa ausubeliana explica cognitivamente a construção de significados a partir da interação entre aspectos relevantes da estrutura do sujeito aprendente com a nova informação a ser aprendida. Para Ausubel, os significados não são estáticos, mas estão em contínua transformação a partir da interação substantiva⁹, não arbitrária e não literal¹⁰ com novas informações. Sob essa óptica, cada significado construído pode ser o ponto de partida para a construção de outros significados constituindo uma rede hierarquicamente organizada em que conceitos mais gerais e includentes ligam-se a outros mais restritos. O resultado dessa interação é a construção de significado que, “segundo Ausubel, é, pois, um produto ‘fenomenológico’ do processo de aprendizagem, no qual o significado potencial, inerente aos símbolos, converte-se em conteúdo cognitivo diferenciado para um determinado indivíduo” (Moreira e Masini, 2006, p. 14).

Segundo David Ausubel, a aprendizagem significativa “é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-litera) e não-

⁹ No sentido de ser essencial (importante) para o sujeito que aprende.

¹⁰ A informação não é memorizada exatamente como aparece no texto “já que não são os termos textuais da informação em si, mas, os diversos aspectos do seu conteúdo.” (Silva, 1999, p.29)

arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo” (apud Moreira, 2006, p.14). A idéia parece muito simples, se a pretensão do educador é ensinar significativamente, basta que o professor avalie o que o aluno já sabe e então ensine de acordo com esses conhecimentos. Portanto, segundo Ausubel (1980), o fator isolado mais importante que influencia na aprendizagem significativa o conhecimento que o aluno traz a sala de aula previamente ao ensino.

Apesar de a idéia parecer muito simples, as suas implicações são complexas. Primeiro, para ensinar significativamente é necessário conhecer o que o aluno já sabe, embora o saber pertença à estrutura cognitiva do sujeito e seja de natureza idiossincrática. Isso significa que não é um processo simples avaliar o que o sujeito sabe para em seguida agir de acordo. No entanto, é possível encontrar vestígios dos conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e essas sinalizações acerca do que o aprendiz sabe são dadas por meio da linguagem expressa pelo estudante. Situações que permitem ao educador ter indícios daquilo que o aluno já sabe são aquelas que exigem transformações do conhecimento original¹¹. Essas podem ser criadas a partir de um problema real ou até de uma questão de prova escrita, a qual não pode ser do tipo que exige uma resposta direta e memorizável. Mas sim uma situação nova que exija transformação do conhecimento a ser ensinado fazendo-o, por exemplo, re-escrever com suas próprias palavras aquilo que aprendeu, ou aplicar o conhecimento para explicar um fenômeno novo, ou tomar uma decisão baseando-se num determinado saber.

O processo de aprendizagem significativa promove uma interação entre a estrutura de conhecimentos específicos do aprendiz, ao qual Moreira (2001) chama de conceito subsunçor, e o que ele está aprendendo estabelecendo ligações ou pontes

¹¹ O que está sendo considerado como conhecimento original é justamente o saber a ser ensinado.

cognitivas. Por isso, pode-se dizer que a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação ancora-se a conceitos relevantes¹² preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Vale ressaltar que não se trata de uma mera união, mas um processo de assimilação em que a nova informação modifica os conceitos subsunçores transformando-os em conceitos mais gerais e abrangentes. Um subsunçor ou uma ideia-âncora pode ser um conceito, uma ideia, uma proposição ou uma imagem pré-existente na estrutura cognitiva de quem aprende e são construídos, preponderantemente, nos primeiros anos de vida dos humanos pelo método de tentativa e erro, de forma que, quando as crianças chegam à escola já possuem vários subsunçores necessários ao aprender significativamente.

Quando o docente pretende ensinar um conteúdo ao qual os estudantes não apresentam os subsunçores, então Moreira (2006) sugere que sejam introduzidos os organizadores prévios. Esse autor define um organizador prévio como sendo materiais introdutórios apresentados ao aluno antes mesmo da apresentação do conteúdo a ser aprendido. Estes devem ser caracterizados por um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade do que o material a ser aprendido. Ainda destaca o autor, que a ideia de organizadores prévios deve ser muito mais do que a de um pré-requisito, um sumário ou apenas visões gerais do conteúdo a ser aprendido. Se o aluno ainda não domina o conceito de ligação química pode memorizar, inicialmente, a lei de Coulomb e à medida que estuda as interações entre os átomos para constituir os agregados de matéria pode perfeitamente atribuir significados, diferenciando-os continuamente da informação memorizada inicialmente (lei de Coulomb).

Em oposição à aprendizagem significativa está a aprendizagem mecânica ou automática, como sendo aquela em que a nova informação é armazenada sem que

¹² Para Ausubel a estrutura cognitiva é organizada hierarquicamente, portanto ideias mais gerais e abrangentes servem de ancoradouro para as mais específicas. Logo, aqui se considera como relevantes justamente os conceitos mais gerais que servirão como subsunçores.

haja interação com informações existentes na estrutura cognitiva do sujeito. Esse tipo de aprendizagem não altera a estrutura cognitiva e, dessa forma, não contribui para a construção de significados. A informação é armazenada de forma literal e arbitrária, contribuindo pouco ou nada para a elaboração e diferenciação daquilo que o sujeito já sabe.

A aprendizagem significativa e a mecânica são dois extremos de uma continuidade. Isso significa que o processo mecânico pode ser utilizado para promover a aprendizagem significativa, basta, para isso, que a informação memorizada literalmente sirva de ancora para outros conceitos aprendidos posteriormente. Isso é comum a quem está tendo o primeiro contato com o objeto de conhecimento e o professor pode utilizar os organizadores prévios como estratégia introdutória.

Segundo Moreira (2006), a distinção entre aprendizagem significativa e mecânica não deve ser confundida com aprendizagem por descoberta e por recepção. Conforme o autor, na aprendizagem por recepção, o que deve ser aprendido é apresentado ao aprendiz em sua forma final. Enquanto na por descoberta, o conteúdo principal deve ser descoberto pelo aluno. Tanto uma quanto a outra podem ser significativa, basta, para isso, que o novo conhecimento se relacione aos subsunçores. “Em termos de aprendizagem de conteúdo, aquilo que for descoberto se torna significativo da mesma forma que aquilo que for apresentado ao aprendiz na aprendizagem receptiva.” (Moreira, 2006, p.18).

A operacionalização da aprendizagem significativa em sala de aula se dá a partir da garantia de algumas condições de ocorrência. Uma delas é a de que o material a ser ensinado deve ser “relacionável a estrutura cognitiva do aprendiz de forma não-arbitrária e não-literal.” (Moreira, 2006, p. 19). Isso significa que o material a ser ensinado deve ter significado lógico, ou seja, situar-se dentro da capacidade

humana de aprender. De forma geral, os textos do conhecimento a ser ensinado apresentam significado lógico. Além disso, é necessário que o indivíduo tenha em sua estrutura cognitiva os subsunçores específicos e necessários para construir significado por meio da ancoragem com o novo conhecimento.

Quando um material possui significado lógico e passível de estabelecer ligações com o conhecimento prévio (significativo) do aprendiz, diz-se que o material é potencialmente significativo. Quando há interação entre o significado lógico do material e o aspecto cognitivo do sujeito de forma substantiva e não-litera, então é construído o significado psicológico. Este, por sua vez, é de natureza idiossincrática e não depende apenas da natureza e da ação docente. Depende, também, da intencionalidade do aprendiz. Se a ação docente visa relacionar o novo conhecimento ao que o aprendiz já sabe, e o material é potencialmente significativo, mas a intenção do aluno é memorizar literalmente o que está lendo, então não haverá aprendizagem significativa. Construir significado numa perspectiva de compreender símbolos, leis, conceitos e teorias como representações de algo e que estas sejam duradouras e acessíveis na memória nos momentos em que o educando necessita daquele conhecimento para agir, exige do estudante esforço no sentido de relacionar aquilo que está aprendendo ao que ele já sabe. Portanto, a emergência do significado psicológico depende da presença do conteúdo ideacional adequado na estrutura cognitiva do aprendiz, da disposição do aprendiz em aprender significativamente, da ação docente visando relacionar o que o aluno sabe ao que está aprendendo e da natureza do material que deve ser logicamente significativo.

Para tornar mais claro esse processo de transformação de significado lógico em psicológico, Ausubel (1980) sugere o conceito de assimilação. “O resultado da interação que ocorre na aprendizagem significativa, entre o novo material a ser

aprendido e a estrutura cognitiva existente é uma assimilação de antigos e novos significados, que contribui para a diferenciação dessa estrutura” (Apud Moreira, 2006, p.28). Portanto, o processo de assimilação modifica tanto o conjunto de ideias da estrutura cognitiva do sujeito quanto à nova informação que está sendo aprendida.

Esse processo pode ser representado utilizando-se uma letra maiúscula, por exemplo, (A) para representar um conceito subsunçor, uma letra minúscula (a) para representar uma nova informação a ser aprendida e o produto interacional como sendo A'a'. Esquemáticamente:

$$A + a \longrightarrow A'a'$$

O produto assimilado deixa de ser a informação *a* ou o subsunçor *A* e passa a ser um produto interligado *A'a'* em que ambos permanecem relacionados formando um novo significado composto. Esse processo é inicialmente reversível, ou seja, é possível separar o produto interacional (*A'a'*) a informação original da ideia-âncora modificada.

$$A'a' \longrightarrow A' + a'$$

O tempo em que é possível separar os conceitos modificados e o produto interligado é variável e à medida que o tempo passa não é mais possível separá-los. Esta é uma segunda fase da assimilação e promove o esquecimento da nova informação e da que lhe serviu de ancoradouro. Essa é a fase obliteradora em que o produto interacional (*A'a'*) transforma-se em uma nova informação (*A'*) mais estável, espontânea e indissociável das informações que lhe deram origem.

$$A'a' \longrightarrow A'$$

Vale destacar que o processo de esquecimento, definido como “perda de disponibilidade, redução do grau de dissociação de uma ideia em relação às ideias mais abrangentes que a incluem” (Silva, 1999, p. 35), característico da aprendizagem

significativa, transforma a estrutura cognitiva tornando-a mais estável e abrangente facilitando, com isso, a posterior recuperação do conteúdo ideacional.

2.3 – Aprendizagem significativa e transposição didática.

O processo de construção cognitiva do saber envolve uma contínua relação entre o que o aluno já sabe e o que ele está aprendendo. Este último tem sua origem no processo de transposição do meio científico para o escolar, mas o que ele já sabe nem sempre tem origem acadêmica. Pode ser um conhecimento com diversas origens: escolar, cotidiana e/ou popular.

No cotidiano da ação educativa, trabalhamos igualmente conteúdos oriundos de práticas sociais de diversas procedências, até mesmo as vividas no ambiente social e familiar. O conhecimento escolar pode, portanto, ser tomado de diversas fontes de empréstimo, como da engenharia, da arte ou de outras instituições de formação. (Grillo et al, p. 152)

Alguns integrantes da noosfera buscam construir novos textos do saber com o objetivo de tornar compreensível o saber sábio. Isso significa que o papel exercido por alguns de seus integrantes, os escritores de livros didáticos, é a produção de textos do saber a ser ensinado que sejam potencialmente significativos. Nessa perspectiva, pode-se classificar que a transposição didática de primeira ordem é aquela que ocorre cognitivamente quando o sujeito busca compreender uma teoria, ou seja, faz sentido falar também na transposição subjetiva existente no plano cognitivo da pessoa que estuda. Assim serão analisadas as transformações sofridas pelo conhecimento ao sair do saber sábio, para o cognitivo (do autor do livro) , seguida para o saber a ser ensinado (presente no livro didático), passando para o saber ensinado (pela ação

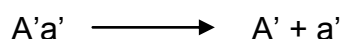
docente) e por fim para o saber aprendido (pelo aprendiz). Estas transformações serão analisadas sob o ponto de vista cognitivo a luz da teoria da aprendizagem significativa. Será dada ênfase à importância dos integrantes da noosfera no sentido de negociar sentidos e garantir uma certa convergência dos significados, caso contrário haveria uma divergência entre o saber sábio e o saber aprendido pelo estudante. O que a teoria da transposição didática indica é que o saber sábio deve ser diferente daquele a ser ensinado, todavia a vigilância epistemológica deve mediar o processo (pelo diálogo e conflito entre os diversos integrantes da noosfera) para que os conceitos sejam expressos de forma diferentes nos diferentes contextos, mas que haja concordância de significado acerca de um mesmo conceito.

Analisemos o caso da ligação química. Aqui se considera que diversos conceitos de ligação química, presentes nos livros didáticos de ensino médio, tiveram como principal origem o trabalho de Linus Pauling. Esse autor apresenta os conceitos de forma que seriam incompreensíveis aos estudantes de química do Ensino Médio. Para que estes se tornem compreensíveis é necessário que alguém leia a obra de Pauling e compreenda significativamente os conceitos trazidos por ele, só assim o transpositor será capaz de reescrever a mesma teoria utilizando outras palavras. “Quando o sujeito passa a ter relativo domínio sobre o saber, torna-se possível desencadear uma prática transformadora e geradora de novos saberes” (PAIS, 2008, p.14,). À medida que o leitor (e posterior escritor) compreende significativamente um conceito, este deixa de ser exatamente como foi produzido pelo autor do conceito, pois o processo de apreensão significativa de um saber transforma (conforme já vimos no processo de assimilação) tanto o subsunçor quanto o novo conceito aprendido, portanto, essa é a primeira etapa da transposição didática e aqui será denominada por transposição cognitiva.

Podemos chamar o conceito de ligação química em Pauling por A e o subsunçor do leitor-autor de a. Ao aprender haverá uma interação entre A e a, transformando-se num produto interacional A'a'. Esquemáticamente,

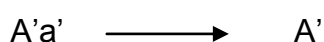


dissociável em A' e a'



onde A' é o conceito de ligação química construído significativamente pelo leitor que será o autor do texto didático.

Com o tempo o produto interacional transforma-se em significado psicológico indissociável:



Agora será necessário transformar o significado psicológico (A') num texto com sentido lógico para o estudante e, portanto, potencialmente significativo. Para tanto, o autor buscará relacionar o significado psicológico de sua estrutura cognitiva ao que ele considera como subsunçores pertencentes a estrutura cognitiva do estudante. Esse é um trabalho de construção de novos significados e é mais uma etapa da transposição. Nesse processo, o autor modificará A' ao construir o texto didático (o saber a ser ensinado) fazendo interagir com o que ele considera que o estudante já sabe (b) buscando tornar o seu material compreensível.

O conhecimento que o escritor considera como subsunçores do estudante será representado por b, então o texto didático produzido pelo autor será representado esquematicamente por:



Em síntese, a construção do texto didático resultado da interação entre o que o autor do livro sabe significativamente sobre ligação química e o que ele expressa no

texto relacionado ao que o estudante provavelmente já sabe, será representado por B. Ou seja $A'b=B$.

Então, o que aqui está sendo representado por B é o saber a ser ensinado, ou simplesmente o texto do saber escolar. Porém o processo de transformação do conhecimento não cessa aqui. Vale considerar que o texto do saber escolar (B), livro didático adotado pela escola, será utilizado pelo professor para ajudar o estudante a construir novos significados psicológicos e que o professor não irá buscar nos originais, Linus Pauling(1965), o saber a ser ensinado. Esse processo cognitivo, realizado pelo educador, é semelhante ao do autor do texto. Vamos representar o subsunçor do professor por c, então esquematicamente:

$$B + c \longrightarrow B' c',$$

Após obliteração:

$$B'c' \longrightarrow D$$

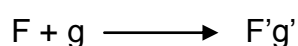
D é o significado psicológico do conceito de ligação química e este não será ensinado ao estudante exatamente como se encontra na estrutura cognitiva do professor, ele fará cortes e simplificações conforme as condições de ensino avaliada por ele. Conhecendo então a sua turma, o professor fará uma nova transposição didática no intuito de construir significados psicológicos na estrutura cognitiva dos seus estudantes Para isso, ele irá trabalhar no intuito de relacionar o saber a ser ensinado ao que ele considera que seus alunos já sabem.

Esse texto, construído muitas vezes oralmente, resultante da relação entre o que o professor sabe significativamente D e o que o ele considera como sendo os subsunçores pelos seus alunos (e) é o que aqui estamos considerando como o saber ensinado. Este portanto é mais um produto interacional:

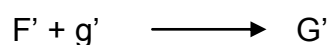
$$D + e \longrightarrow D'e'$$

Ao apresentar o saber a ser ensinado, o professor não o faz como unidades isoladas D e e, mas o apresenta como o produto interacional D'e''. Denominaremos esse saber ensinado (D'e') por F, portanto D'e'= F, em que F é a aula expositiva ministrada pelo docente

Portanto, aqui está sendo representado o saber ensinado como sendo F. Todavia, o saber ensinado não se transforma exatamente no significado psicológico exatamente como foi lecionado pelo docente. O estudante quando está aprendendo, relaciona aquilo que ele sabe realmente (g) - que só é acessível a ele mesmo (idiossincrático) - com aquilo que está sendo apresentado pelo professor F. Esquemáticamente,



Logo, F'g' é o conceito de ligação química construído significativamente na estrutura cognitiva do estudante. Este será denominado de saber aprendido. Com o tempo o saber aprendido pelo estudante sofre modificações as quais tornam indissociáveis F' e g':



Sendo que G' é o significado psicológico de ligação química construído pelo estudante. Portanto, o conceito de ligação química foi modificado cognitivamente de A a G'.

Consideramos até aqui a única fonte de contato do estudante com o conceito de ligação química é por meio da interação com o professor. Mas, também, ocorrerá através da leitura do próprio livro didático adotado pela escola e por diversas fontes que estarão acessíveis ao estudante, tais como a internet, a linguagem dos colegas e essa interação permite a negociação de significado do conceito a ser aprendido entre os integrantes da noosfera. Isso conduz o grupo a expressar significados

compreensíveis pelos integrantes que compartilham a linguagem química. Caso isso não ocorra, então A é completamente diferente de G' e há uma quimera de significados e a total incompreensão entre aqueles que pretende dialogar por meio da linguagem química. A vigilância epistemológica deve cumprir seu papel de trazer sempre à tona o saber sábio, comparando-o ao saber a ser ensinado. O professor também deve exercer o seu papel na vigilância epistemológica, afinal é ele que está em sala de aula, e o único que pode ter indícios daquilo que seu aluno está aprendendo, comparando-o com o conhecimento de referência e conduzindo o processo didático no sentido de partilhar significados aceitos pela comunidade dos químicos. Portanto, nesse processo de vigilância epistemológica, todos os integrantes da noosfera tem o papel fundamental de negociar significados construídos mantendo a correlação entre saber sábio e saber aprendido.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Os dados da pesquisa foram obtidos através da análise do capítulo referente a ligação química em diferentes livros didáticos de Química para o Ensino Médio aprovados pelo Programa Nacional do Livro do Ensino Médio (PNLEM), tendo como referencial teórico para análise o conceito de ligação química formulado por Linus Pauling (1965).

Escolheu-se Pauling (1965) como o autor do saber sábio devido à sua intensa produção acerca do conceito de ligação química estruturas moleculares, cristalografia e sua aceitação no meio científico, inclusive sendo honrado com o prêmio Nobel de Química em 1954.

A escolha dos livros didáticos de Química analisados foram àqueles aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático. Esse programa analisou diferentes livros (inscritos no programa) e produziu o Catálogo do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (CPNLEM).

Além da obra de Pauling, foram utilizadas a teoria da transposição didática de Chevallard e da aprendizagem significativa de Ausubel. Isso porque esse trabalho irá discutir a transferência do conceito de ligação química do saber sábio (Linus Pauling) para o livro didático do Ensino Médio e a transferência do saber de uma esfera do conhecimento para outra é discutida para teoria da transposição didática de Chevallard. O processo de transposição didática, realizado pelos integrantes da noosfera, será considerado por esse trabalho como uma ação que visa tornar o conhecimento a ser ensinado em um saber potencialmente significativo ao estudante. Dessa forma, a teoria da aprendizagem significativa ausubeliana será tomada como referencial teórico para analisar a transferência do conceito de ligação do saber sábio

para o saber escolar com o objetivo de torná-lo significativo. Por fim, essas duas teorias de cunho social (transposição didática) e cognitivo (aprendizagem significativa) serão relacionadas.

Para analisar as aproximações, distanciamentos necessários e afastamentos que podem induzir inadequações conceituais contidas nos livros didáticos de química, a obra de Pauling (1965) foi estudada, dela extraídos os conceitos que foram considerados centrais tais como as definições de ligação química, ligação covalente, iônica e metálica, eletronegatividade e caráter iônico e, em seguida, comparados com os presentes nos Livros Didáticos do Ensino Médio (LDEM). Para essa análise, cada conceito destacado por Pauling foi transcrito e comparado com os LDEM. Todavia, não foram considerados apenas esses tópicos, mas também os critérios de correção conceitual adotados pelo PNLEM.

Essa estratégia de análise destacando o conceito e buscando comparar com os presentes nos LDEM permitiu uma maior uniformidade na análise. De forma que foram utilizados os mesmos critérios para as diferentes obras. Vale salientar que não se buscou apontar os “erros” contidos nos LDEM, mas compará-lo com a ciência de referência. Isso conduz a perceber os distanciamentos necessários a transposição e também a encontrar inadequações conceituais, ou seja, vigiar epistemologicamente o saber a ser ensinado. Por isso o CPNLEM também se constituiu como documento de nossa análise.

Após a leitura de cada LDEM e da obra da ciência de referência buscou-se organizar os conceitos principais, de cada uma das obras, em esquemas¹³ conceituais. Esses esquemas foram importantes para identificar os conceitos chave e compará-los em diferentes livros, pois tornam acessível à visualização das definições trazidas por

¹³ Optou-se pela utilização da expressão esquemas conceituais em detrimento de mapa conceitual, pois não seguimos as regras que caracterizam a ferramenta mapa conceitual. Achou-se que ao representar as definições em esquema facilitaria a análise dos diferentes livros.

diferentes autores. Porém, os livros não foram analisados apenas utilizando os esquemas.

Ao apresentar os dados da análise, buscou-se trazer a definição do conceito de na ciência de referência logo no início do tópico a ser analisado. Essa estratégia teve como objetivo facilitar a compreensão do leitor, pois terá como ter acesso direto a ciência de referência e compará-lo, também, ao correspondente no livro didático. Além disso, o nome dos livros e seus autores foram suprimidos no intuito de buscar uma maior neutralidade na análise. Em lugar de indicar o livro e os respectivos autores, as obras serão representados por LD (livro didático) acompanhado por um número que segue a mesma ordem de análise do Catálogo do programa Nacional do Livro para o Ensino Médio. A correspondência entre o código e a referência da obra é apresentada numa tabela no anexo 8.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme já foi discutido, o conhecimento ensinado na escola não se origina no ambiente escolar, mas no ambiente científico. Não podemos considerar que o conhecimento escolar é uma mera cópia do conhecimento científico, pois para este ser ensinado na escola deve haver uma verdadeira transformação, inclusive pode-se falar num conhecimento com epistemologia própria. No entanto, não se deve considerar que a transformação do conhecimento perca a relação com o conhecimento de referência. Ou seja, embora haja transformação dos saberes científicos ao serem ensinados na escola, este processo não deve produzir conceitos errôneos e informações contraditórias com àquelas aceitas pela comunidade científica. A vigilância epistemológica precisa ser constante para que os materiais didáticos produzidos fora do ambiente científico e que façam referência a este não produza uma ciência escolar paralela e contraditória a aceita pelos cientistas.

4.1 – Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio.

Um dos critérios de avaliação do PCNLEM é a correção conceitual, portanto pode-se destacar a preocupação do Fundo Nacional de Educação (FNDE) com os aspectos conceituais apresentados por diferentes livros didáticos. O programa Nacional do Livro do livro didático avaliou diversos livros didáticos que se inscreveram no processo avaliativo. A primeira fase consistiu numa análise cuidadosa dos aspectos conceituais, metodológicos e éticos realizada “por especialistas da área de Química provenientes de universidades públicas de todo o Brasil” (PNLEM, 2008) surgiu o Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (CPNLEM). Segundo aponta o documento, a etapa de avaliação “assegura que todas as obras listadas no catálogo – e que, portanto, poderão ser escolhidas pelo professor –

reúnam condições satisfatórias para serem usadas no trabalho pedagógico”.(PNLEM, 2008, itálico nosso). Os livros foram avaliados com base em critérios eliminatórios e classificatórios. Dentre os critérios eliminatórios pode-se destacar a “correção e adequação conceituais e correção das informações básicas” (PNLEM, 2008).

No que se refere à correção e adequação conceitual e correção de informações básicas, sugere o documento, que é necessário respeitar “as conquistas e o modo próprio de construção do conhecimento de cada uma das ciências de referência” e que a obra analisada deve mostrar-se atualizada ao apresentar as informações básicas “respeitadas as condições da transposição didática, em conformidade conceitual com essas mesmas ciências” (PNLEM, 2008, p.13). Embora o catálogo não explicita quais são as referidas condições da transposição didática, interpreta-se que uma condição fundamental ao transpor uma teoria é que mantenha a pertinência de significados, ou seja, ao reconstruir o texto científico transformando-o em saber a ser ensinado, é necessário que os novos significados apresentados sejam aceitos pelos integrantes da comunidade de referência.

Aqui não se propõe a analisar os três aspectos sugeridos pelo PNLEM (aspectos conceituais, metodológicos e éticos), mas apenas os aspectos conceituais presentes nas seis obras indicadas pelo referido catálogo no que se refere ao conceito de ligação química. A análise consistiu em comparar os conceitos apresentados pelas diferentes obras com aqueles presentes no livro de Linus Pauling levando em consideração a teoria da transposição didática. Considerou-se que o conceito de ligação química apresentado por Pauling (1965) é, atualmente, aceito pela comunidade de químicos, podendo ser tomada como referência para análise da pertinência ou não dos conceitos apresentados pelos livros usados no Ensino Médio.

Esse trabalho é resultado da vigilância epistemológica exercida pela pesquisa quando de propõe a analisar os livros aprovados e o documento oficial (CPNLEM). Não se pretende descredenciar a análise dos programas oficiais, mas a intenção é reforçar a importância da ação do poder do Estado no controle do saber a ser ensinado.

O resultado da análise será apresentado logo a seguir e as correlações entre códigos (LD1, LD2...) e referências dos livros serão apresentadas no anexo 6.

4.2 – Em que medida as definições para ligação covalente, iônica e metálica contidas nos livros didáticos se aproximam daquelas contidas em Pauling (1965)?

Definições retiradas de Linus Pauling e que serviram de referência para analisar os mesmos conteúdos nos livros didáticos.

Ligação química: “há uma união química entre dois átomos ou grupo de átomos quando as forças que atuam entre eles são tais que levam a formação de um agregado com suficiente estabilidade para que seja conveniente considerá-lo como uma espécie molecular independente” (p.4)

Ligação iônica como sendo “resultante da atração de Coulomb devido à existência de dois íons de cargas opostas” (p. 4).

Ligação covalente: “interpretamos a união ordinária de valência como a participação de um par de elétrons dos dois átomos unidos”. (p.6). Em nota de rodapé sobre essa definição, acrescenta o autor: “o nome de união covalente, que usaremos freqüentemente neste livro, em vez de outras expressões mais complicadas, como união por pares de elétrons compartilhados ou união por pares eletrônicos”(p.6)

Ligação metálica: “ a característica mais notável das uniões de átomos num agregado metálico é a elevada condutividade térmica e elétrica” (p.8). Acrescenta que uma teoria sobre os metais que explica, de forma qualitativa, essas propriedades características é considerar “um metal como um ordenamento cristalinos de esferas duras (os cátions metálicos), com elétrons livres que se movem pelos interstícios. Esta teoria de elétrons livres proporciona uma explicação simples da alta condutividade térmica e elétrica, dos elevados valores de capacidade calorífica e entropia e de varias outras propriedades” (p. 403).

Livro didático 1 (LD1)

Ligação química: “ a união entre átomos é denominada ligação química interatômica.” (p. 117). Percebe-se uma aproximação entre esta definição e aquela trazida por Pauling.

Ligação iônica: “os íons Na^+ e Cl^- possuem cargas elétricas opostas: portanto se atraem mutuamente. Essa atração mantém os íons unidos, formando uma substância muito conhecida, o cloreto de sódio (comercializado como o sal de cozinha), representado pela fórmula NaCl . Tal união é chamada de *ligação iônica* (alguns a denominam *ligação eletrovalente*)” (p. 121, itálico dos autores).

Os autores buscam contextualizar a definição utilizando o sal de cozinha. Percebe-se claramente a aproximação no conceito apresentado por Pauling e pelos autores.

Ligação covalente: “quando átomos se unem por compartilhamento de elétrons, dizemos que entre eles estabelece uma *ligação covalente*.” (p.126, itálico dos autores). Definição converge com a apresentada por Pauling.

Ligação metálica: “os cientistas admitem que um metal sólido é constituído por átomos em posições ordenadas com seus elétrons de valência livres para se

movimentarem por todo o metal. Assim, temos um “amontoado” organizado de íons metálicos positivos mergulhados num “mar de elétrons” livres. Esse é o chamado *modelo do “mar de elétrons”*, que explica a condutividade elétrica dos metais.” (p.130, itálico dos autores).

Percebe-se, claramente, a convergência entre as definições apresentadas por Pauling e pelos autores.

Livro didático dois (LD2)

Ligação química: “as forças que mantêm os átomos unidos são fundamentalmente de natureza elétrica e são denominadas **ligações químicas**.”(p. 136, negrito do autor). Há uma convergência com Pauling não só no sentido de compreender a ligação como forças de atração como também ao considerar como sendo de natureza elétrica.

Ligação iônica: “tendo cargas elétricas opostas, os cátions e os ânions se atraem se mantêm unidos pela chamada **ligação iônica**” (p.138, negrito do autor). Definição em perfeita conformidade com a ciência de referência.

Ligação covalente: “**ligação covalente normal ou covalência normal** é a união entre átomos estabelecida por pares de elétrons de modo que cada par seja formado por um elétron de cada um dos átomos” (p. 144, negrito do autor). Há uma certa convergência entre ciência de referência e a definição do autor, todavia Pauling não define a ligação covalente como sendo formada por um elétron de cada átomo.

Ligação metálica: “o metal seria um aglomerado de átomos neutros e cátions, mergulhados em uma **nuvem (ou “mar”) de elétrons livres** (costuma-se também dizer que esses elétrons estão **deslocalizados**). Assim, a “nuvem” de elétrons funcionaria como uma **ligação metálica**, mantendo os átomos unidos” (p.152, negritos do autor). Há convergência ao considerar a ligação como sendo atração entre íons

metálicos e elétrons deslocalizados, todavia Pauling não considera que a nuvem eletrônica como sendo uma ligação metálica, para ele a ligação resulta da interação entre íons metálico e a nuvem eletrônica.

Livro didático 3 (LD3)

Ligação química: os autores definem ligação química como sendo a interação entre os átomos. Nas próprias palavras dos autores: “excetuando-se os gases nobres, praticamente todos os outros elementos naturais não são encontrados isolados na natureza, isto é, de alguma maneira interagem entre si para formar **ligações químicas**” (p. 234, negrito dos autores). Embora Pauling não retrate a impossibilidade dos gases nobres estabelecerem ligação, há uma convergência entre o LD3 e Pauling ao tratar a ligação como sendo uma interação entre átomos.

Ligação iônica: o LD3 define como sendo a interação eletrostática entre íons. “esse modelo eletrostático é utilizado no entendimento das ligações entre íons, isto é, considerando-se um conjunto de cátions – partículas positivas – e um conjunto de ânions – partículas negativas –, deverá ocorrer repulsão entre os íons de mesmo sinal e atração entre íons de sinais opostos” (p. 253). Portanto, em conformidade com Pauling.

Ligação covalente: “ligação que ocorre quando dois átomos se mantêm unidos por elétrons que são atraídos **simultaneamente** por dois núcleos é chamada de **ligação covalente**” (p.243, negrito dos autores). Definição em conformidade com o referente no saber sábio.

Ligação metálica: “pode-se imaginar que a estrutura de um metal é um conjunto de cátions organizados geometricamente no qual os elétrons se movimentam” (p.241). definição condizente com o saber de referência.

Livro didático 4 (LD4)

Ligação química: “os átomos responsáveis pela formação dos agregados atômicos das substâncias se mantêm unidos por causa de uma força de atração designada, genericamente, ligação química.” (p.200). A definição condiz com a de Pauling ao considerar a união como uma força que une os átomos para formar os agregados.

Ligação iônica: “em sua maioria, as substâncias iônicas são formadas por metais e não-metais. A força que mantém esses elementos unidos é chamada *ligação iônica*, cuja natureza é diferente daquela da ligação covalente.” (p.209, itálico dos autores). Esta definição não condiz com a apresentada na ciência de referência.

Ligação covalente: “ligação envolvendo os elétrons do último nível de cada átomo, com a formação de par eletrônico, que será compartilhado” (p.161). Definição condiz parcialmente com aquela trazida pela ciência de referência. Há convergência ao indicar que é uma ligação envolvendo o compartilhamento do par eletrônico. Porém, diverge ao indicar que é a ligação que envolve os elétrons do último nível de energia. Para Pauling, todos os três tipos de ligação envolvem os elétrons do último nível do átomo.

Ligação metálica: “em um cristal metálico, os elétrons livres são atraídos também pelos núcleos dos átomos vizinhos, formando uma *nuvem eletrônica*, que pertence a todo o cristal. A interação elétrica entre a nuvem eletrônica e os núcleos é chamada *ligação metálica*” (p. 153, itálico dos autores). Definição condizente com a ciência de referência.

Livro didático 5 (LD5)

Ligação química: os autores não definem diretamente a ligação química, mas a leitura do capítulo induz o leitor a definir a ligação química como sendo a interação

elétrica entre núcleos atômicos e elétrons. Principalmente quando indicam que “quando dois átomos estão afastados, praticamente não existe uma interação entre eles. À medida, que se aproximam, passam a atuar forças de atração entre o núcleo e cada um dos elétrons do outro” (p. 187). De forma que a definição apresentada pelos autores é pertinente com a ciência de referência.

Ligação iônica: os íons, “por terem cargas elétricas opostas, existe uma força de atração eletrostática, entre esses íons” (p. 189) Definição em conformidade com a abordagem de Pauling.

Ligação metálica: “um modelo de íons positivos, distribuídos na rede cristalina, imersos num “**gás**” de elétrons, que não se encontra firmemente ligados a nenhum núcleo.” O modelo está em conformidade com o apresentado por Pauling (1965). Há, inclusive, uma preocupação em fazer com que o educando perceba que o modelo de ligação usado para explicar as propriedades das substâncias metálicas é diferente daquele usado para explicar as das substâncias iônicas, moleculares e covalentes. Enquanto nestas é usado o modelo de atração elétrica de dois núcleos por par de elétrons, naquelas este modelo não explica as propriedades apresentadas. Por isso utiliza-se um modelo de elétrons dispersos na estrutura cristalina, onde ocorre atração entre elétrons e núcleos atômicos.

Livro didático 6 (LD6)

Ligação química: os autores não trazem uma definição direta para ligação química, no entanto, apresenta uma discussão, na página 192, indicando que as primeiras tentativas de explicar a ligação química – feita por Torbern Olof Bergman (1735 -1784) e Marcelin Berthelot (1827 – 1907) – era baseado no princípio de atração gravitacional dos átomos. Mas se percebeu que esse modelo não conseguia explicar algumas contradições e por isso foi abandonado. Ao apresentar os modelos

de ligação iônica, covalente e metálica, sugere um modelo elétrico para a união entre átomos. Este modelo é pertinente com o apresentado por Pauling.

Ligação iônica: os autores sugerem o conceito de ligação iônica de forma similar a ciência de referência. Estes definem a ligação iônica como sendo “as forças (de atração e repulsão) existentes nas substâncias iônicas fazem com que os íons sejam arranjados de forma organizada: ao redor dos cátions estão os ânions e ao redor dos ânions estão os cátions”. (p. 194)

Ligação covalente: define este tipo de ligação como sendo resultante do compartilhamento de elétrons. Indicando que nesse tipo de ligação “não há transferência de elétrons de um átomo para outro, ou seja, os elétrons de cada hidrogênio (*já que explica a ligação covalente a partir da molécula de hidrogênio*) ficam presos às suas eletrosferas, compartilhados pelos dois átomos” (p.212, nota em itálico nossa). Esta definição mostra-se pertinente com o saber sábio.

Ligação metálica: apresenta o modelo da ligação metálica como sendo: “uma grande quantidade elétrons movimentando-se livremente entre os átomos com cargas positivas. São os elétrons livres ao redor dos átomos positivos que mantêm sua coesão.

Para designar os elétrons livres, geralmente são usadas expressões “**mar de elétrons**” ou “**nuvem de elétrons**”. Note ainda que, nesse modelo, os átomos positivos não perderam elétrons, pois os mesmos continuam ao redor. Assim, embora os elétrons estejam livres, quimicamente consideramos que esses átomos são neutros” (p.632, negrito dos autores).

O modelo para a ligação metálica apresenta uma grande proximidade com o legitimado por Linus Pauling.

4.3 – Define ligação química com base num modelo elétrico?

Pauling indica que até o século XIX “a natureza da ligação química era completamente desconhecida” (p. 3). A descoberta do elétron impulsionou as tentativas de desenvolver uma teoria eletrônica para a ligação química. Segundo esse autor, essas tentativas culminaram com o trabalho de Lewis publicado em 1926. Com o avanço da teoria quântica e fundamentado no trabalho de Lewis é que sugere o princípio da ressonância do par eletrônico. Logo para esse autor a natureza da ligação química resulta da interação eletrostática dos prótons e elétrons e da ressonância do par eletrônico.

LD1 – Trata as ligações iônicas como sendo resultante da atração eletrostática entre íons de cargas opostas. Para as ligações covalentes utiliza a regra do octeto para explicar a necessidade do compartilhamento de elétrons. No campo em destaque (pag. 127) é que utiliza o modelo eletrostático para explicar porque os elétrons compartilhados mantêm os átomos unidos;

LD2 – tanto as ligações iônicas quanto as covalentes são definidas com base na interação eletrostáticas entre as cargas dos átomos que constituem a substância formada. Inclusive, na página 143, sugere uma ilustração como modelo elétrico para a ligação covalente. Estas abordagens estão em conformidade com a apresentada por Pauling.

LD3 – As ligações são abordadas em conformidade com o modelo eletrostático trazido por Pauling (1965). Tanto a ligação iônica é tratada como sendo resultante da atração entre íons de cargas opostas, quanto à ligação covalente como sendo resultado da atração simultânea de núcleos atômicos sobre o par de elétrons.

LD4 – As ligações químicas são tratadas como resultante da interação entre cargas elétricas. Ou seja, em conformidade com Pauling.

LD5 – Utiliza o modelo eletrostático para definir todos os três tipos de ligações químicas.

LD6 – Utiliza o modelo eletrostático para explicar tanto a ligação iônica quanto a covalente e metálica. Todavia, entra em contradição ao afirmar que “as forças de atração e repulsão das partículas atômicas não explicam todos os tipos de ligação química. Existem outros modelos de explicação” (Mól et al, 2005, p. 197), entretanto os autores não deixam claro quais são esses outros modelos já que explica, em seguida, a ligação covalente e metálica por meio da atração e repulsão das partículas que constituem os átomos unidos.

Ao analisar os diferentes livros didáticos percebe-se a aproximação quanto a natureza eletrostática da ligação e um distanciamento quanto a ressonância do par eletrônico. Compreende-se esse afastamento é necessário ao ensino desse conceito no Ensino Médio.

4.4 – Qual a definição de eletronegatividade apresentada pelos livros didáticos? Condiz com aquela apresentada por Pauling (1965)?

Segundo Linus Pauling (1965): “ eletronegatividade é o poder de um átomo, em uma molécula, de atrair elétrons para ele.” (p.89)

LD1 – “Denomina-se **eletronegatividade** a tendência que o átomo de um determinado elemento apresenta para atrair elétrons, num contexto em que se acha ligado a outro(s) átomo(s). Embora a atração se dê sobre todo o ambiente eletrônico que circunda o núcleo do átomo, é de particular interesse a atração que ele exerce sobre os elétrons envolvidos na ligação química” (p. 283, negrito dos autores). Aproxima-se da ciência de referência ao associar a eletronegatividade a força de atração do átomo sobre os elétrons quando estes formam a ligação. Todavia,

distancia-se e deixa o leitor confuso ao indicar que a força de atração é sobre todo o ambiente eletrônico. De fato, existe atração do núcleo sobre todos os elétrons, mas a eletronegatividade é definida como a força de atração sobre os elétrons da ligação.

LD2 – “Eletronegatividade é a capacidade que um átomo tem de atrair para si o par eletrônico que ele compartilha com outro em uma ligação covalente” (p.164). O contexto em que Pauling atribui a eletronegatividade dos átomos apenas às moléculas é diferente do livro didático do ensino médio. As substâncias iônicas, covalentes e moleculares são todas constituídas por moléculas, segundo Pauling (1965). No contexto do Ensino Médio, apenas as substâncias moleculares são constituídas por moléculas. Nesse aspecto, a definição trazida pelo LD2 diverge da ciência de referência. Não se pode restringir a eletronegatividade apenas as substâncias covalentes.

LD3 – “A eletronegatividade é a propriedade que mede a capacidade de os átomos atraírem elétrons que participam das ligações covalentes” (Bianchi et al, 2008, p.244). Percebe-se uma aproximação entre a definição de Pauling e a apresentada pela obra. Vale destacar que Pauling não define a eletronegatividade apenas para as ligações covalentes, por isso, é importante lembrar que o termo “molécula” contido na definição de Pauling abrange, inclusive, as substâncias iônicas (conforme já foi discutido em capítulos anteriores). Portanto, nesse aspecto, a definição trazida pelo LD3, diverge de Pauling, ou seja, a eletronegatividade não é uma grandeza que indica a força de atração do átomo sobre os elétrons apenas nas ligações covalentes.

LD4 – A eletronegatividade “é uma *medida relativa da tendência de um átomo de atrair elétrons* quando se liga a outro átomo” (p. 191). Aproxima-se da definição de Pauling ao indicar a eletronegatividade como uma força de atração exercida pelo átomo sobre os elétrons da ligação, mas diverge ao indicar que a eletronegatividade é

uma tendência do átomo. Conforme discutido também para o LD6, essa definição pode induzir no aluno a compreensão que a eletronegatividade é uma vocação ou até uma inclinação do átomo a atrair elétrons. Enquanto na definição de Pauling, a eletronegatividade é uma força de atração do átomo pelo elétron da ligação.

LD5 – Traz a definição de eletronegatividade em comum acordo com aquela proposta por Pauling (1965). “Eletronegatividade pode ser definida como a intensidade com que um átomo ligado atrai os elétrons da ligação química.” (p. 188).

LD6 – Traz a definição de eletronegatividade como sendo a “tendência de atrair elétrons” (p. 197). Há uma aproximação com a definição de Pauling, todavia para este a eletronegatividade não é uma tendência a atrair elétrons, mas a atração do átomo sobre os elétrons da ligação. A definição trazida pelos autores deste livro didático pode induzir construções no conceito que não condizem com o de referência, pois utiliza termo (tendência) que não confere o mesmo significado proposto por Pauling (1965).

4.5 – O livro didático associa a estabilidade da substância formada a regra do octeto ou a questão energética?

Linus Pauling relaciona a estabilidade às variações energéticas que ocorrem quando os átomos se unem. Nas próprias palavras do autor “a configuração para o estado normal da molécula é que corresponde ao mínimo valor da função de energia e que dá, portanto, sua máxima estabilidade a molécula” (p.15). Ou simplesmente quando a energia de união é máxima, há um mínimo de energia do sistema e a estabilidade é máxima. E que “a energia da ligação por um par de elétrons é, em sua maior parte, da energia de ressonância e corresponde ao intercâmbio dos dois elétrons entre os dois orbitais atômicos” (p. 24). Isso significa afirmar que a principal contribuição para a estabilidade da ligação resulta da ressonância do par eletrônico.

Na molécula de hidrogênio a ressonância dos dois elétrons entre os núcleos, contribui com “80 por cento da energia total da união.” (Pauling, 1965, p.25). De forma resumida, Pauling (1965), atribui a estabilidade da substância formada a diminuição energética e a principal contribuição a essa diminuição é dada pela ressonância do par eletrônico.

LD1 – Os autores associam a estabilidade da ligação à regra do octeto, em suas próprias palavras: um átomo estará estável quando sua última camada possuir 8 elétrons (ou 2, caso se trate da camada K). Os átomos não estáveis se unem uns aos outros a fim de adquirir essa configuração de estabilidade” (p. 118).

Os autores deste LD associam a estabilidade dos átomos à formação do octeto de elétrons. Esse tratamento diverge completamente daquele apresentado pela ciência de referência. Em nenhum momento Pauling refere-se à formação do octeto como condição para atingir a estabilidade. Para este autor a estabilidade só ocorre quando da ligação resulta uma substância com energia mínima.

Essa abordagem diverge da ciência de referência, pois enquanto o LD relaciona a estabilidade ao octeto, a ciência de referência utiliza o conceito de energia.

LD2 – O autor associa a estabilidade dos átomos, ao formar a ligação, à regra do octeto. “Um átomo adquire estabilidade quando possui 8 elétrons na camada eletrônica mais externa, ou 2 elétrons quando possui apenas a camada k.” (p.137). Essa abordagem diverge completamente da sugerida por Pauling. Para este, conforme apresentado anteriormente, a estabilidade resulta da formação de uma substância com energia mínima. Portanto, ao longo da obra da ciência de referência, não há qualquer relação entre estabilidade da ligação e a regra do octeto.

LD3 – O livro não discute a estabilidade das substâncias ou átomos. Portanto, não há qualquer associação, no capítulo sobre ligação química, entre a formação da

ligação química e aumento da estabilidade do agregado formado. Tal tratamento diverge da abordagem adotada por Pauling.

LD4 – Os autores associam a estabilidade à regra do octeto. Iniciam a abordagem da estabilidade a partir dos gases nobres indicando que “a estabilidade química apresentada pelos gases nobres pode então ser atribuída ao fato de terem 8 elétrons na última camada eletrônica, com exceção do hélio, que se estabiliza com 2 elétrons.” (p. 159). Estende esse tratamento para os demais átomos indicando que eles não são encontrados isolados, mas unidos formando substâncias, tais como N_2 , O_2 e o F_2 e acrescentam que:

“A estabilidade dessas moléculas é maior que a dos respectivos átomos isolados. Portanto, podemos supor que, ao se unirem, os átomos desse elementos se tornam estáveis. Provavelmente porque adquirem uma configuração eletrônica semelhante à dos gases nobres, ou seja, 8 elétrons na última camada eletrônica” (p.160).

Esse tratamento diverge daquele apresentado por Pauling, conforme discutido anteriormente com outros livros didáticos.

LD5 – Associa a estabilidade de uma substância a variações energéticas ocorridas durante a formação da sua ligação. Conforme os autores, “as substâncias buscam um estado energético mais estável, de menor energia.” (p. 187). Os autores sequer mencionam a regra do octeto para discutir a estabilidade. Esse tratamento condiz com o apresentado por Pauling (1965) ao associar a estabilidade da agregação de átomos à formação de substâncias menos energéticas. Percebe-se claramente a aproximação entre os conceitos trazidos pelos autores e aqueles aqui considerados como saber sábio.

LD6 – Os autores apontam a regra do octeto como uma tentativa de explicar a estabilidade dos átomos ao formarem uma ligação química, mas descartam essa

possibilidade ao indicar que “essa regra não explicou o motivo da estabilidade dos átomos.” (p. 198). Sugerem que esta regra pode ser muito útil para explicar fórmulas e a estrutura de muitas substâncias. Apesar de não relacionar a estabilidade a regra do octeto, em conformidade com Pauling, os autores também não relacionam a estabilidade ao menor nível energético da substância formada, tal como o faz Pauling. Nesse aspecto, há uma divergência entre a abordagem do LD e o de Pauling, simplesmente pela omissão.

4.5.1 – Comentário geral sobre os livros didáticos:

Percebe-se alguns distanciamentos entre os livros didáticos e o tratamento dado por Pauling a estabilidade da ligação. Alguns distanciamentos são necessários a transposição didática. Por exemplo, inserir a ressonância no Ensino Médio para explicar a estabilidade da união só dificultaria a compreensão dos estudantes, portanto é um distanciamento necessário. Porém, é perfeitamente possível, e necessário, apresentar a estabilidade relacionando a variação de energia durante a união. Portanto, associar estabilidade a regra do octeto não é uma condição da transposição didática e poderá contribuir com a construção de conceitos que não convergem com os da ciência de referência.

Vale destacar que o estudante só não irá associar a estabilidade à regra do octeto se houver mediação docente no sentido de desconstruir a relação estabilidade octeto, ou se o aluno entrar em contato com algum texto que desmistifique essa relação. Essa última opção é pouco provável, pois só ocorre a partir de textos oriundos da pesquisa aos quais os estudantes do ensino médio, geralmente, não têm acesso.

4.6 – Os livros didáticos apresentam o caráter iônico ao abordar a ligação química?

Conforme discutido no capítulo anterior, o tratamento dado as ligação química consiste em considerá-la como ressonante entre a estrutura extrema covalente e a iônica. Nesse tratamento “o estado real da molécula pode ser descrita como ressonante entre essas duas estruturas” (Pauling, 1965, p. 68). Isso significa “que esta descrição da união compreende a ressonância entre uma união covalente extrema $H : Cl$ e uma união iônica extrema H^+Cl^- , podemos dizer que a união *é uma união covalente com caráter iônico parcial*” e que o “caráter iônico da união está determinada pela importância da estrutura iônica (A^+B^-) *quando os núcleos estão em uma distância de equilíbrio*” (Pauling, 1965, p.68, itálico do autor). Sendo que o principal fator estrutural que interfere no tipo de ligação é a eletronegatividade relativa dos átomos A e B. Variando a eletronegatividade o tipo de ligação muda sem descontinuidade desde o extremo covalente até o iônico.

Esses tópicos foram destacados, pois considerou-se que são nesses pontos que o autor da ciência de referência define o caráter iônico das ligações.

LD1 – Define a polaridade das ligações utilizando o fluoreto de hidrogênio como exemplo e indica que

embora o par seja compartilhado, ele se encontra deslocado em no sentido do flúor. Dizemos que no flúor aparece uma **carga parcial negativa** (simbolizada por δ^-) e no hidrogênio uma **carga parcial positiva** (simbolizada por δ^+). A ligação entre H e F é chamada de **ligação covalente polar**, pois nela existem dois polos elétricos, um negativo e outro positivo (p.285, negrito dos autores,).

Percebe-se a aproximação entre a definição de caráter iônico proposta por Pauling e a definição de ligação polar utilizada pelo autor. Além disso, os conceitos se aproximam ao indicarem (os autores do LD e Pauling) que a polaridade está associada as eletronegatividades dos átomos ligados. Nas próprias palavras dos autores do LD1: “uma **ligação covalente** será **polar** se os dois átomos que estabelecem essa ligação covalente possuírem **diferentes eletronegatividades**” (p. 285, negrito dos autores).

LD2 – Define a ligação covalente polar utilizando o exemplo do cloreto de hidrogênio: “o cloro atrai o par de eletrônico compartilhado para si. Nesse caso, dizemos que o **cloro é mais eletronegativo do que o hidrogênio** e que a ligação covalente está polarizada, ou seja, é uma **ligação covalente polar**” (p.164, negritos do autor). Em seguida apresenta as duas classificações para a ligação covalente em função da eletronegatividade: “**Ligações apolares:** são as que apresentam diferença de eletronegatividade igual a **zero** (ou muito próximo de zero.” (p.165, negrito do autor). “**Ligações polares:** são as que apresentam diferença de eletronegatividade diferente de zero” (p. 165). Há uma aproximação entre o saber sábio e o LD ao definir a formação de polos nas ligações e ao indicar que o principal fator a intervir na formação de polos (caráter iônico) é a eletronegatividade.

LD3 – Para os autores, quando “dois átomos com eletronegatividade diferentes, ligados por um ou mais pares de elétrons compartilhados, formam entre si uma ligação covalente polar”(p. 256). Percebe-se uma aproximação entre o saber escolar e o sábio principalmente ao considerar que o fator que interfere na distribuição desigual dos elétrons é a eletronegatividade. Algumas divergências, principalmente no nome (o LD chama de ligação polar) e na classificação considerando apenas os extremos da linha continua sugerida no saber sábio. Para o LD, existem as ligações covalentes, que podem ser polares e apolares, e as iônicas ou metálicas.

LD4 – Os autores definem a ligação covalente como resultante do compartilhamento de elétrons e “em função da distribuição simétrica dos elétrons entre os núcleos, o centro da carga negativa coincide com o da positiva, anulando-se. Diz-se que esse tipo de ligação é *apolar*.” (p. 206, itálico dos autores). Os autores inserem um conceito que não está presente na ciência de referência: centro da carga. Não se encontrou, ao longo da obra, um tratamento que esclarecesse melhor a ideia de centro de carga. Qual seria o centro da carga negativa? O elétron tem centro?

Por sua vez, a ligação covalente polar é definida:

Quando a ligação covalente é estabelecida entre dois átomos de elementos diferentes, o par eletrônico não é igualmente atraído pelos dois núcleos, visto que os átomos possuem eletronegatividades diferentes, atraindo o par eletrônico da ligação com intensidades diferentes. Nesse caso, o compartilhamento é assimétrico e os centros das cargas negativa e positiva não coincidem. Essa ligação é *polar*. (p. 206. Itálico dos autores)

Os autores definem a formação de polos como sendo uma distribuição desigual dos elétrons da ligação e associam essa distribuição desigual a diferença de eletronegatividade dos átomos unidos. Essa abordagem aproxima-se daquela utilizada pela ciência de referência, guardada as diferenças necessárias a transposição didática. Todavia, diverge completamente ao relacionar polaridade ao centro das cargas.

LD5 – As ligações covalentes são classificadas em dois grupos: as apolares e as polares. Quando “os átomos possuem a mesma eletronegatividade, a ligação é chamada de **ligação covalente apolar**”(p. 188, negrito do autor). No entanto, quando a “diferença de eletronegatividade entre os átomos confere, assim, um caráter polar à ligação covalente, que passa ser chamada de **ligação covalente polar**” (p. 188,

negrito do autor). O tratamento dado a ligação covalente aproxima-se do conceito de caráter covalente adotado pelo saber sábio, principalmente quando considera que a polaridade da ligação está associada a diferença de eletronegatividade dos átomos unidos. Logo após a discussão da ligação covalente apolar, sucede a polar e em seguida a ligação iônica. Essa abordagem aproxima-se da sugestão de Pauling para a classificação do tipo de união como pertencente a uma linha contínua. Todavia, a abordagem do LD não é contínuo, mas discreto. Assim, as ligações são classificadas em covalente apolar, polar e iônica.

LD6 – “as moléculas que possuem cargas elétricas deslocadas são denominadas **polares** (que possuem pequenos polos elétricos positivos e negativos) e as que não possuem são **apolares**” (p.230, negrito dos autores). Ao explicar como se formam os polos da ligação os autores associam a eletronegatividade e utilizam o trabalho de Pauling como referência. Percebe-se uma aproximação entre o tratamento feito pela ciência de referência e o texto escolar desse LD. Algumas divergências são consideradas indispensáveis a transposição didática, tal como tratado nos tópicos anteriores. Não se percebeu uma aproximação no que se refere a classificação contínua do tipo de ligação utilizado pelo saber sábio.

4.6.1 – Comentário geral:

Percebe-se que o caráter iônico não é conceituado no livro didático utilizando a mesma nomenclatura do saber sábio. Devido a grande proximidade entre os conceitos nos LDs e em Pauling, aqui foi tratado que a polaridade das ligações são aproximações didáticas do caráter iônico. Logo, no saber a ser ensinado (LD) o caráter iônico é tratado com o nome de ligação covalente polar. As ligações iônicas são tratadas apenas como ligações iônicas puras, ou seja, diverge do saber sábio. Pois,

este trata as ligações iônicas como sendo ligações covalentes com um elevado caráter iônico. Além disso, as ligações das substâncias simples, tal como no H_2 , é tratado, no saber escolar, como ligação covalente apolar, enquanto no saber sábio essas mesmas ligações são abordadas como covalentes com um baixo caráter iônico (conforme discutido no capítulo anterior, da ordem de 2%). Vale destacar, portanto, que Pauling (1965) não trata o caráter iônico com o nome de polos da ligação.

Essas transformações do saber sábio, aqui são consideradas indispensáveis a transposição didática. O tratamento feito por Pauling ao considerar a classificação da ligação química como sendo continua entre o extremo covalente e o iônico dificultaria a construção desse conceito no Ensino Médio.

4.7 - A obra contém:

- a) Conceitos formulados erroneamente**
- b) Informações básicas erradas ou desatualizadas**
- c) Conceitos e informações mobilizadas de modo inadequado**

LD1 – Ao apresentar o conceito de ligação covalente indica que:

os químicos propuseram que, em substâncias como H_2 , O_2 , N_2 e Cl_2 , os átomos se mantêm unidos porque suas eletrosferas **compartilham** alguns elétrons, isto é, fazem uso comum da quantidade de elétrons necessária para que passem a ter eletrosfera semelhante a de um gás nobre. (p.125, negrito dos autores).

Afinal como as eletrosferas podem compartilhar elétrons, se as mesmas são constituídas por cargas negativas? A eletrosfera repulsa elétrons. Talvez os autores queiram se referir que os átomos compartilham elétrons, pois possuem núcleos que atraem os elétrons. Esta atração entra em equilíbrio com as forças repulsivas geradas

pela eletrosfera e pelos núcleos atômicos. Nesse tópico considera-se que houve uma impropriedade na linguagem utilizada e que esta compromete a compreensão do estudante sobre a união entre átomos, pois pode induzi-lo a entender que o que mantém unidos os átomos é a atração da eletrosfera por elétrons.

O CPNLEM indica que “a coleção apresenta, de maneira geral, um tratamento conceitual adequado”. (p.23) Isso indica, com palavras muito sutis, a presença de impropriedades conceituais. Há uma concordância entre a nossa análise e a feita pelo CPNLEM, quando este indica que “em algumas partes, aparecem algumas impropriedades, tanto conceitual como da linguagem utilizada na explicação dos fenômenos que (...) mostram a falta de uma revisão mais apurada do texto”. (p.23). No entanto, discorda-se quando o CPNLEM afirma que “essas impropriedades não comprometem seriamente a qualidade da obra” (p. 23).

LD2 – O CPNLEM indica que “em relação à correção conceitual, predomina na obra um tratamento apropriado” (p. 29). Quando há predominância é porque também está presente a inadequação conceitual (embora em menor quantidade em relação a adequação). Essas inadequações também foram encontradas ao relacionar a estabilidade à regra do octeto (já discutido anteriormente) e principalmente na utilização da linguagem. Embora o CPNLEM indique que “as analogias são empregadas apropriadamente, havendo usualmente explicitação clara da diferença entre significado literal e metafórico” (p. 29) tal compreensão não é compartilhada, por esse trabalho. O autor do LD2 ao se referir sobre a ligação química indica que “quando dois átomos vão se unir, eles **“trocaram elétrons entre si”** ou **“usam elétrons em parceria”**, procurando atingir a configuração eletrônica de um gás nobre” (p. 137, negritos do autor). Ao se referir a ligação covalente indica que “há um **par de elétrons compartilhado** (“em sociedade”) pelos dois átomos” (p. 144, negrito do autor) e

acrescenta que os “dois átomos de cloro são “sócios” desse par eletrônico” (p.144). Embora o autor utilize as aspas nas palavras (sociedade, sócios, trocam elétrons entre si e usam elétrons em parceria) empregadas inadequadamente, não explicita porque está aspeando-as. Entende-se que tais analogias podem conduzir o estudante a construir significados acerca dos conceitos tratados que não condizem com os aceitos pelos membros da comunidade de referência.

LD3 – O CPNLEM indica que “o conhecimento químico é apresentado adequadamente ao Ensino Médio” (p.36). Todavia, foram encontradas algumas impropriedades no capítulo que aborda as ligações químicas. Os autores não deixam claro o que compreendem por molécula e utilizam este termo para as substâncias iônicas ao indicar que no cloreto de sódio as “ ‘moléculas’ são formadas pela interação entre íons Na^+ e Cl^- ” (p. 234). Apesar de utilizar as aspas na palavra molécula, não deixa claro porque esta palavra tem aspas ao ser empregada para um composto iônico.

Avalia-se que os autores se confundem ao indicar que os íons sódio e cloreto “arranjam-se tridimensionalmente, de modo a fazer com que as forças atrativas sejam máximas e as repulsivas, mínimas” (p. 235). Se isso de fato acontecesse, os íons tenderiam a se aproximar até a distância em que as forças repulsivas tornem-se iguais a atrativas, ou seja, a uma distância de equilíbrio.

LD4 – Apenas a relação entre estabilidade e regra do octeto é que aparece na obra como formulado erroneamente, mas já foi discutido anteriormente. Além desse, de forma muito sutil, aparece que “a ligação iônica, cuja natureza é diferente daquela da ligação covalente” (p. 209). Não se pode afirmar que as naturezas das ligações iônicas e covalentes são diferentes, pois as duas são de natureza elétrica. O CPNLEM não indica a presença de inadequações conceituais, apenas indica que “conteúdos

abordados de forma simplificada podem levar a ideias incompletas de conceitos” (p.41).

LD5 – Não foi detectado nenhum conceito que foi considerado como formulado inadequadamente ou mobilizados de forma inadequada. O CPNLEM, também indica que “o tratamento conceitual é apropriado ao Ensino Médio” (p. 48).

LD6 – O CPNLEM não explicita diretamente a análise sobre a adequação conceitual, apenas indica que “estão em sintonia com as propostas curriculares mais recentes”(p.54). O que predomina nesse LD é um tratamento conceitual adequado, apenas não há concordância quando os autores tratam a ligação iônica e ao concluí-la indicam que “as forças de atração e repulsão das partículas atômicas não explicam todos os tipos de ligação química” (p.197). Se isso de fato acontecesse, os autores não poderiam tratar a ligação covalente, página 212, e a metálica, página 632, em função das interações elétricas. Compreende-se que, no nível médio, as ligações químicas devem ser tratadas apenas pela natureza elétrica, naturalmente o efeito da ressonância, presente na ciência de referência, não deve aparecer nessa fase.

4.8 - A obra contém ilustrações que veiculam

a) Ideias incorretas sobre conceitos

b) Ideias incorretas sobre as dimensões ou cores do que é representado, sem indicação apropriada de escala ou cores fantasia.

Pauling (1965) utiliza um modelo para representar o átomo de hidrogênio (apresentado na figura abaixo. Esse modelo será utilizado como referência para analisar os apresentados pelos livros didáticos.

Além do modelo apresentado para o átomo, será analisado a representação da ligação por meio da notação de Lewis.



Figura 1 – imagem proposta por Pauling para representar o átomo. Representa a diminuição da densidade eletrônica à medida que aumenta o raio.

“O átomo pode ser descrito como formado por um núcleo, rodeado por uma esfera simétrica de carga negativa (imagem borrada do elétron obtida com uma longa exposição fotográfica de seu movimento rápido)” (Pauling, 1965, p.14).

Livro didático 1 (LD1)

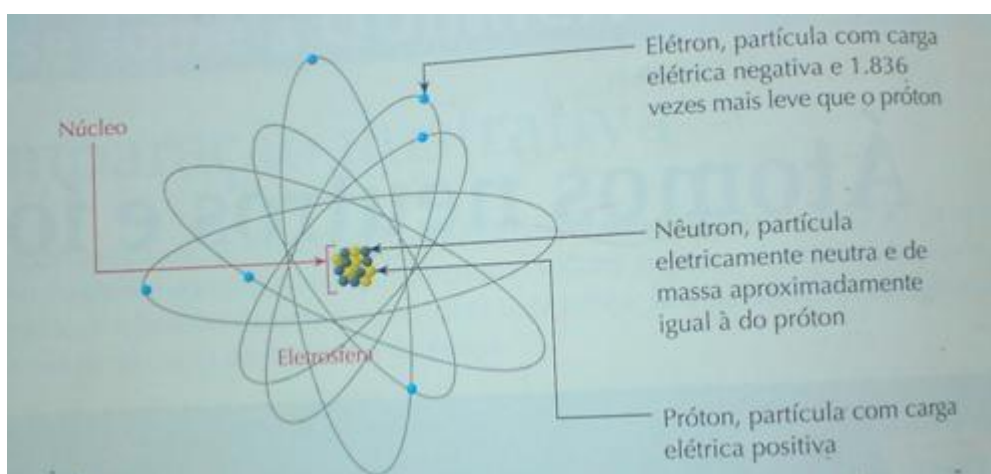


Figura 2 – representação para o átomo. (LD1 p.124)

O CPNLEM indica que “a obra apresenta um projeto gráfico de boa qualidade” (p. 25). Ao longo do capítulo sobre ligação Química os átomos não são representados por núcleos e elétrons que circundam em órbitas definidas. No entanto, os autores

representam o átomo (figura 2) de forma que não condiz com feita pela ciência de referência (figura 1). Apenas indicam, de forma coerente, que as cores utilizadas são fantasiosas.

Além disso, ao representar a ligação química por meio de um par de elétrons entre dois núcleos (p. 127), os autores só representam as forças atrativas entre as cargas opostas. Não há qualquer representação, por meio das mesmas setas usadas para indicar a atração, para as repulsões. Apenas indica, no texto que acompanha o esquema, que dois núcleos atômicos se repelem mutuamente e não faz qualquer referência a repulsão entre os elétrons. Quando se trata de compreender uma união química, é necessário levar em consideração todas as forças atrativas e repulsivas. Afinal, a substância forma-se a partir da união de átomos. E esta só acontece quando as forças de atração são iguais em intensidade e opostas em sentido às forças de repulsão.

O livro utiliza a fórmula eletrônica como sinônima de fórmula de Lewis e utiliza, de forma coerente, pontos idênticos (figura 3) para representar elétrons de átomos diferentes.



Figura 3 – Representação da transferência de elétron do átomo de sódio para o cloro. (LD 1, p. 121)

Livro didático 2 (LD2)

O autor representa a transferência de elétrons do átomo de sódio para o de cloro (figura 3) utilizando modelos que não condizem com o utilizado por Pauling (figura 1). Além disso, os elétrons do sódio e do cloro são representados (figura 3) por cores diferentes e o autor não alerta que as cores são fantasiosas ou que os elétrons de diferentes átomos são indistinguíveis.

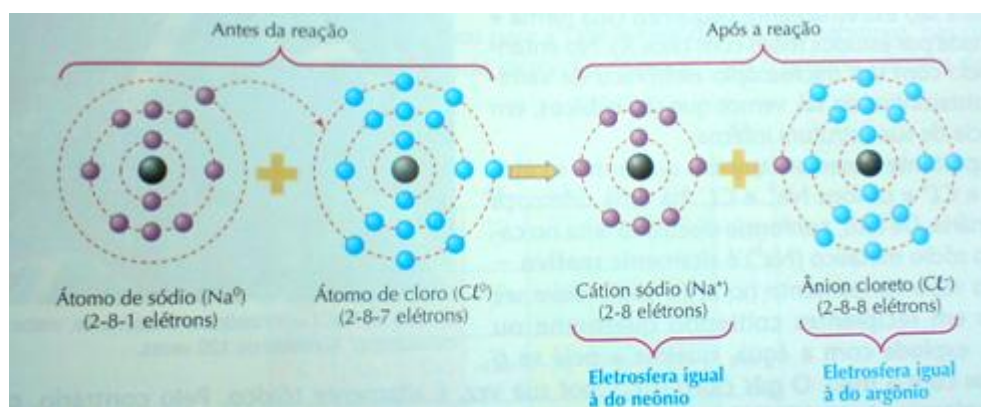


Figura 4 – Esquema para representar, eletronicamente, a reação entre o sódio e o cloro (LD2, p.137)

Quando utiliza a notação de Lewis para representar a ligação do sódio com o cloro, representa o elétron do sódio por um x e os do cloro por pontos (figura 5) e ainda reforça a ideia de possibilidade de distinguir elétrons de átomos diferentes pelo texto que acompanha a representação.

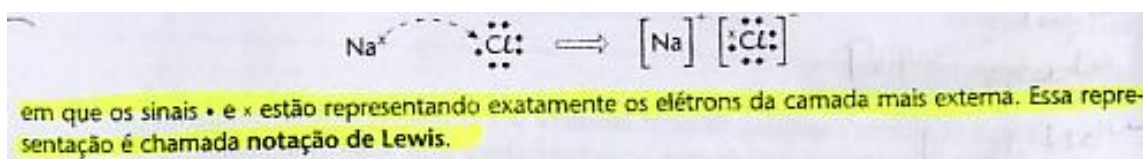


Figura 5 – Representação da transferência de elétron do sódio para o cloro. (LD2, p.137)

Livro didático 3 (LD3)

Os autores representam átomos e a molécula (figura 6) de forma pertinente com a ciência de referência (figura 1).



Figura 6 – Representação de uma ligação covalente se formando (LD3, p.243)

Entretanto, ao apresentar um modelo para o átomo o faz utilizando uma representação (figura 7) que não condiz com a ciência de referência (figura 1). Embora traga um lembrete indicando “que se trata de um modelo de representação, diferente do que poderia ser o átomo de hidrogênio” (LD3, p. 231). Esta informação encontra-se no canto superior esquerdo da figura 7 e não é seguido de qualquer esclarecimento, ou seja, é insuficiente para conduzir o aluno a compreender o átomo conforme a ciência de referência (figura 1). Afinal, o que os autores se referem com essa frase? Será que com ela o aluno compreenderá que esta não é representação adequada para o átomo?

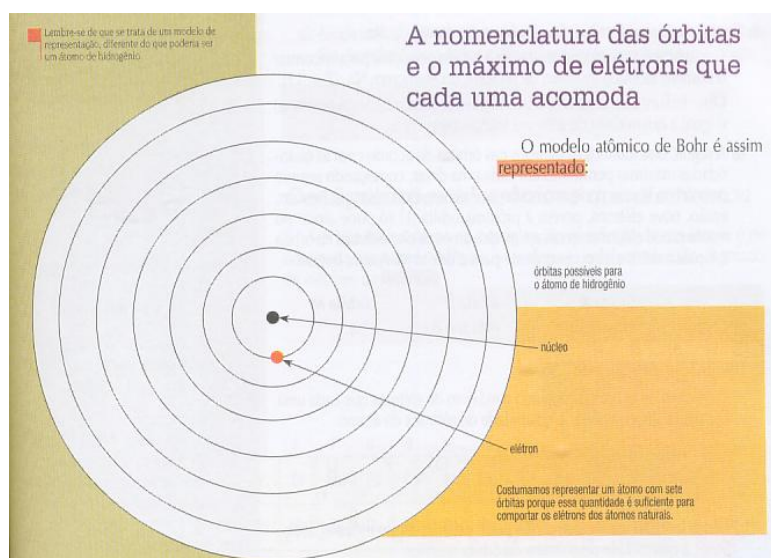


Figura 7 – Representação para o átomo conforme o modelo de Bohr (LD3, p. 231).

O LD3 não utiliza a estrutura de Lewis para explicar as ligações químicas.

A única discrepância encontrada, no projeto gráfico, foi em relação à representação do átomo de hidrogênio (figura 7). De modo geral, concorda-se com o resultado o apresentado pelo CPNLEM, onde indica que “o projeto gráfico tem qualidade visual e função explicativa do conteúdo químico” (p. 37). Ao representar a solubilidade (p.240) do cloreto de sódio em água, representa os átomos que formam as substâncias por cores diferentes e indica, coerentemente, que as cores são fantasia e que não está em escala.

Livro didático 4 (LD4)

Este LD aborda os modelos atômicos no mesmo capítulo em que trata a ligação química. No entanto, o modelo empregado para representar o átomo (figura 8) não é pertinente com o apresentado pelo saber sábio (figura 1).

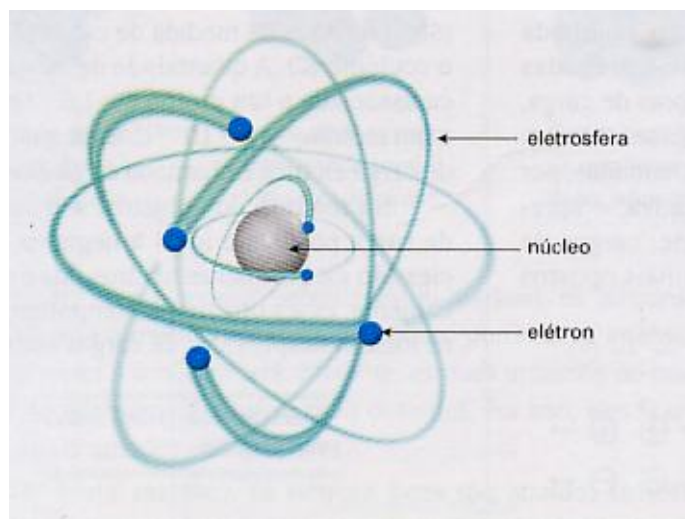


Figura 8 – modelo de Rutherford para o átomo (LD4, p.151)

Ao representar o átomo conforme, o modelo de Bohr, (figura 9) utiliza o mesmo modelo (em desconformidade com o da figura 1) e nem sequer indica que as cores utilizadas para representar as órbitas e para diferenciar prótons, nêutrons e elétrons são fantasiosas.

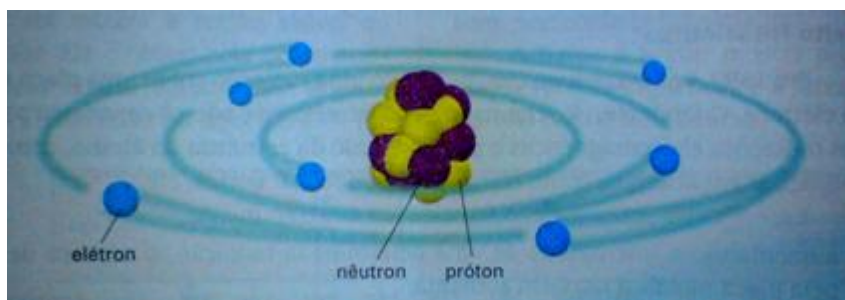


Figura 9 – representação do modelo atômico de Bohr. (LD4, p.174)

Ao utilizar a estrutura de Lewis (figura 10), representa os elétrons por meio de símbolos diferentes e não adverte que esta diferenciação é impossível para os elétrons.

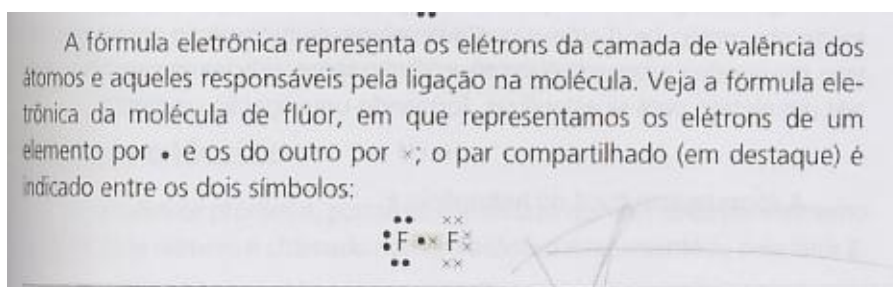


Figura 10 – fórmula de Lewis para a molécula do flúor. (LD 4, p. 161)

Livro didático 5 (LD5)

Os autores representam (figura 11) os átomos de hidrogênio separados e unidos, formando a molécula de hidrogênio, em conformidade com o saber sábio (figura 1). Tal conformidade ocorre, inclusive, ao diminuir a intensidade da cor à medida que o raio aumenta. Porém, os autores não explicitam (como o faz Pauling), em forma de texto escrito, essa intencionalidade na representação. Não se deve esperar que o aluno perceba informações ao qual não foi direcionado a observar.

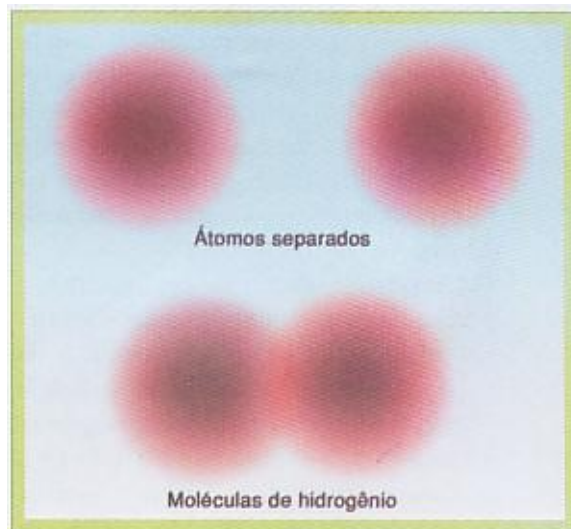


Figura 11 – representação de orbital molecular para o H₂ (LD 5, p. 187)

Utilizam modelos semelhantes ao anterior para representar as ligações covalentes apolar (figura 12) e polar (figura 13). Inclusive utilizam a expressão nuvem eletrônica para indicar a região onde estão distribuídos os elétrons da ligação. Nessa figura (12), também se percebe uma variação na intensidade da coloração que representa a nuvem eletrônica, sugerindo uma variação na densidade de probabilidade.

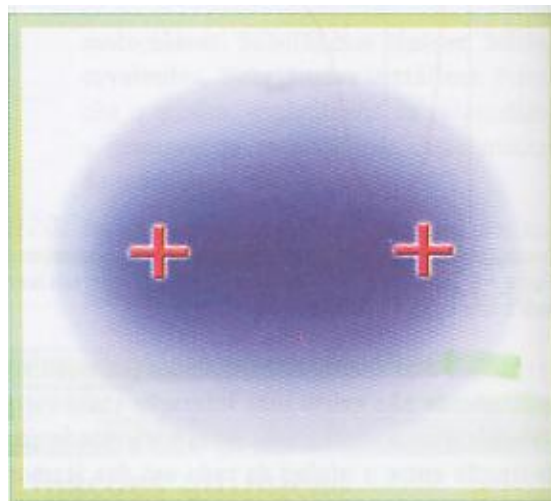


Figura 12 – Modelo de ligação covalente apolar (LD6, p. 188)

Percebe-se (na figura 13) que a coloração é mais intensa na região entre os núcleos, sugerindo que a probabilidade de encontrar o elétron é maior nessa região e

diminui à medida que se afasta da região central e dos núcleos atômicos. E que a nuvem eletrônica está deslocada em direção do elemento mais eletronegativo. Vale salientar que, também, não existe nenhum texto escrito que induza o aluno a observar esses aspectos, o aluno só é induzido a observar a distribuição homogênea (figura 12) ou desigual dos elétrons (figura 13) em torno dos átomos unidos.

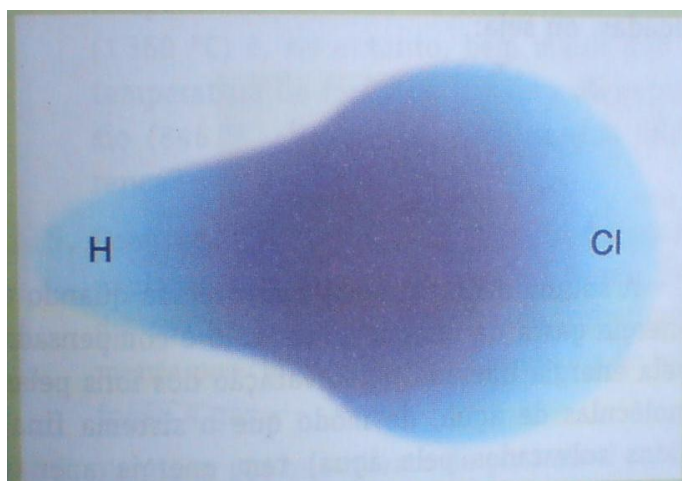


Figura 13 – modelo de ligação covalente polar (LD 5, p. 189)

Portanto, ratifica-se a avaliação do CPNLEM ao indicar que “o projeto gráfico tem qualidade visual e função explicativa do conteúdo químico” (p. 50).

A obra não utiliza a estrutura de Lewis para representar as ligações químicas.

Livro didático 6 (LD6)

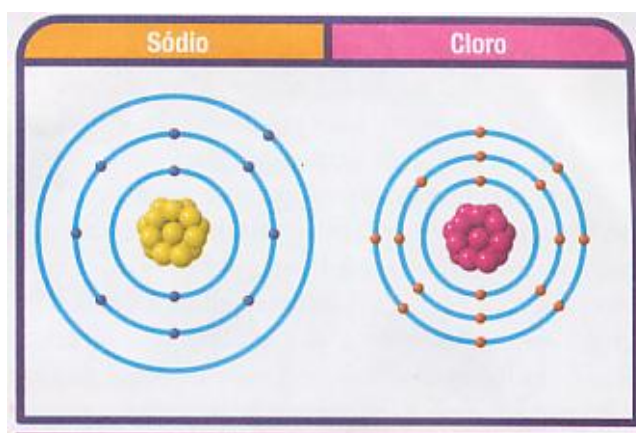


Figura 14 – representação dos átomos neutros de sódio e cloro (LD6, p. 197)

Percebe-se, em concordância com o CPNLEM, que as imagens são utilizadas em excesso e que “pode dificultar o leitor, principalmente nos momentos de estudo, já que quebram com a continuidade do texto, além do que, a mensagem expressa na imagem nem sempre está diretamente relacionada com o conteúdo tratado” (p. 55). Além disso, na representação dos átomos os modelos utilizados (figura 14) não condizem com aquele difundido pela ciência de referência (figura 1).

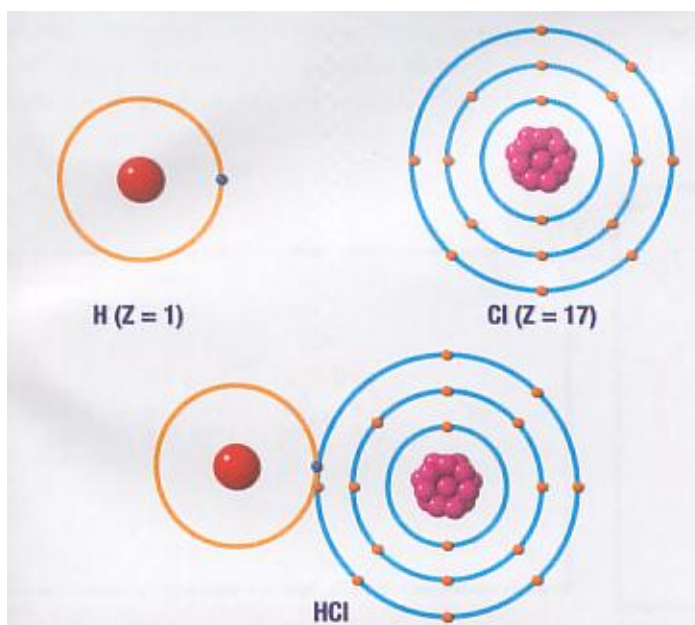


Figura 15 – representação do compartilhamento de elétrons na molécula do HCl. (LD6, p.213).

A mesma incoerência é cometida por diversas vezes ao longo da obra. Ao representar a formação da ligação covalente entre os átomos de hidrogênio e cloro (figura 15), os autores representam os elétrons em órbitas fixas (inclusive utilizando cores para estas órbitas) e cores diferentes para representar as diferentes partículas dos átomos e não alertam que as cores são fantasiosas. Além disso, o próton do hidrogênio é muito maior do que os do cloro (o próton do hidrogênio é quase do tamanho do núcleo do cloro) e os autores não fazem qualquer alerta sobre o fato de a figura não está representada fora de escala.

Além dos problemas apresentados anteriormente, a molécula da água (p.214) é representada por um modelo em que os três átomos que a constitui estão alinhados. Essa representação indica, inadequadamente, que esta molécula tem geometria linear e os autores não alertam para o fato de que a representação não está relacionada à geometria da molécula.

Quando utilizam a fórmula de Lewis (figura 16) para representar a transferência de elétrons do sódio para o cloro, empregam cores diferentes para diferenciar o elétron do sódio daqueles do cloro.

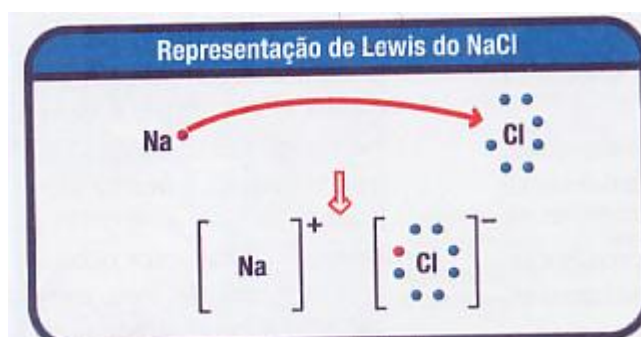


Figura 16 – representa de Lewis para o cloreto de sódio (LD6, p. 202).

Entretanto, advertem, coerentemente, que:

os elétrons são idênticos; independente de seus átomos de origem, pode-se usar uma única representação para todos eles. Mas por motivos didáticos, costuma-se representar os elétrons com sinais ou cores diferentes para que se visualize mais facilmente o número de elétrons de valência que cada átomo tinha antes da formação do íon. (LD6, p. 202).

4.9 – Discussões acerca dos esquemas conceituais

Os esquemas conceituais (em anexo) foram fundamentais para perceber, ao longo da análise dos livros didáticos, que as informações presentes nas diferentes obras se aproximam da ciência de referência. Eles permitiram ter o acesso “num único

olhar” as diferentes formulações para um mesmo conceito em obras diferentes. Isso foi possível porque as principais informações contidas num mesmo LD estavam todas dispostas numa única folha de papel. Bastou colocar as sete folhas próximas para observar que:

- Determinados conteúdos tem nomes diferentes no saber sábio e no livro didático, a exemplo do caráter iônico das ligações que é tratado como polaridades das ligações no livro didático;
- São utilizadas diferentes linguagens pelos diferentes livros para expressar um mesmo conceito;
- As classificações para os tipos extremos de ligações são idênticos no saber sábio e nos livros didáticos.

Outra diferença é que se percebe que o mapa conceitual do saber sábio é maior do que os demais. Isso ocorre porque, no processo de transposição, várias informações são eliminadas em decorrência dos integrantes da noosfera considerarem que várias informações são inadequadas para a fase em que aquele saber será ensinado. Se fosse possível construir um oitavo esquema (do saber ensinado), perceberíamos a ação do professor ao realizar a transposição didática interna, ou seja, seria um esquema daquilo que o professor ensinou em sua ação na sala de aula. Com esse hipotético¹⁴ esquema seria possível perceber:

- As diferenças de linguagem do saber do livro didático e a utilizada em sala de aula;
- A ausência, em sala de aula, de determinadas informações contidas no livro didático, pois o professor considera inadequado para aquele grupo;

¹⁴ Não foi objetivo desse trabalho analisar o saber ensinado em sala de aula.

- Aparecem informações em sala de aula que não existem no saber a ser ensinado, pois o professor considera que aquela informação apresentada por ele permite aos alunos relacionem o conhecimento novo ao que o aprendiz já sabe.

5.0 – Discussão acerca do Catálogo do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

O que se percebe, ao analisar os livros didáticos, é que os critérios eliminatórios não foram seguidos rigorosamente por quem avaliou os diversos livros textos, pois há diversos tópicos dos capítulos sobre ligação química que apresentam conceitos formulados inadequadamente, ou figuras que veiculam ideias impróprias. Não se considera, aqui, que a análise apresentada no CPNLEM seja inadequada, mas pensa-se que ela resultou do conflito de variados poderes, BERNSTEIN (2008), e que deles resultaram o catálogo como síntese de diversos interesses por vezes divergentes. Acredita-se que o CPNLEM se caracteriza num grande avanço no controle, pelo Estado, do discurso presente nos livros textos do Ensino Médio direcionando o saber a ser ensinado no sentido de aproximá-lo do saber sábio. Embora aqui se reconheça a importância da CPNLEM na vigilância epistemológica e se acredite que a sua elaboração resultou do conflito dos integrantes da noosfera, espera-se que o próximo CPNLEM deva ser mais rigoroso nos aspectos sobre correção conceitual. Esse caminho de evolução gradual, no sentido de não aceitar incoerências, permitirá uma aproximação dos significados apresentados pelos textos do saber escolar aos significados aceitos pela comunidade científica. Além disso, permitirá que os autores de livros possam adequar continuamente e gradualmente os seus materiais. Pensa-se que essa perspectiva permitirá aproximar a escola, os pesquisadores e os autores; mas longe de ser uma análise ingênua, esse caminho é tortuoso e envolve diversos

interesses resultando em disputas, ou seja, um palco ideal para o conflito de diversos integrantes da noosfera exercendo seu poder.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Traçar palavras conclusivas para um trabalho não é tarefa fácil, principalmente quando ele resgata conceitos diretamente da comunidade de referência para analisar e, com isso, avaliar o livro didático do ensino médio. Não se pretendeu, ao longo deste, avaliar conceitos e indicar qual livro apresenta melhor abordagem e por isso melhores condições de construção de conceito em sala de aula em conformidade com o saber sábio. Talvez isso fique a cargo do leitor e, principalmente do professor.

O que se observou é que o PNLEM utiliza os aspectos conceituais como critério eliminatório, todavia houve uma relativização desse critério de modo que livros apresentam conceitos inadequados e, mesmo assim, foram aprovados pelo programa. Entende-se que tal postura adotada na avaliação é natural em função do caráter de disputas que é o campo educacional. Todavia, sugere-se continuidade e maior rigor a medida que o processo de avaliação evolui.

Portanto, antes de ser um trabalho taxativo e conclusivo sobre o livro didático do ensino médio e sobre o CPNLEM, pretendeu-se que tenha incitado a discussão necessária acerca dos aspectos conceituais presentes nos livros didáticos brasileiros e das políticas de controle desses.

Ao desenvolver o trabalho, buscou-se aproximar duas teorias que inicialmente pareciam distanciadas: a teoria da aprendizagem significativa e a da transposição didática. E, à medida que se desenvolveu seu corpo teórico percebeu-se algumas aproximações e possibilidades de convergência. Todavia, as ideias aqui germinadas ainda são iniciais e carecem de maior investimento da pesquisa educacional. Não é tarefa simples tratar cognitivamente uma teoria, como a da transposição didática, com forte cunho social.

À medida que os integrantes da noosfera executam a transposição didática visam ensinar conceitos oriundos da ciência de referência. E, naturalmente, o objetivo não é fazer com que os educandos memorizem fórmulas e informações desconexas da realidade do estudante e distante do mundo em que vivem, ou seja, a transposição didática deve permitir que o conhecimento científico produzido pela pesquisa acadêmica seja ensinado aos estudantes do ensino médio de forma que eles possam construir significados acerca do que estão estudando. Afinal, construir significado, conforme já foi discutido, envolve um processo cognitivo ao qual a nova informação liga-se a aspectos cognitivos relevantes do sujeito que aprende. Através desse mecanismo de construção de significado, compreende-se que o sujeito que aprende terá maior facilidade de resgatar o conhecimento que aprendeu ao lidar com situações novas, será capaz de construir outras pontes cognitivas ao ler textos que envolvam conhecimentos científicos, será capaz de avaliar informações oriundas dos diferentes meios... ou seja, quando o estudante constrói significado acerca de um corpo teórico, então ele estará mais ativo cognitivamente.

Uma das condições para a aprendizagem significativa é que o material (livro didático) a ser utilizado seja potencialmente significativo. Isso significa que os autores de livro didático precisam conhecer dois contextos diferentes: o da ciência e o da escola. Isso significa que precisa partilhar dos significados aceitos pela comunidade de referência e ter indícios dos conhecimentos prévios dos estudantes. Só assim poderá construir um material que incite o estudante a associar aquilo que ele sabe ao que está aprendendo.

Isso exige um diálogo pouco comum no Brasil, entre a pesquisa educacional, os, os professores, os autores e editoras. O que parece prevalecer é uma disputa entre os autores de livro didático e os pesquisadores, pois enquanto os autores

escrevem para atender, muitas vezes, necessidades editoriais, os pesquisadores buscam encontrar os desvios conceituais. Logo, uma importante perspectiva futura desse trabalho é que o texto sobre ligação química transposto diretamente do original (numa transposição de primeira ordem) de Linus Pauling sofra uma segunda transposição didática (de segunda ordem) no intuito de originar um material potencialmente significativo aos estudantes do ensino médio. Em seguida que esse material possa ser aplicado numa sala de aula e estudado em que medida os estudantes conseguiram construir significados pertinentes aqueles aceitos pela comunidade de referência.

REFERÊNCIAS:

ASTOLFI, Jean Pierre; DEVELAY, Michel. **A didática das ciências**. Campinas: Papirus, 1991.

AUSUBEL, David P.;NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Psicologia educacional**. Tradução por Eva Nick et al. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BACHELARD, Gaston. **A Formação do Espírito Científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. São Paulo: Contraponto, 1996.

BERNSTEIN, Basil. **A pedagogização do conhecimento: estudos sobre recontextualização**. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cp/n120/a06n120.pdf>>. Acesso em: 22 de agosto de 2006.

BERNSTEIN, Basil. **Pedagogía, control simbólico e identidad**. Madrid: Morata, 1998.

BIANCHI, José Carlos de Azambuja; ALBRECHT, Carlos Henrique; MAIA, Daltamir Justino. **Universo da Química**. Volume 1. São Paulo: FTD, 2008.

BRASIL. **Química: catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio: PNLEM / 2008** Secretaria de Educação Básica, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. – Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2007.

BRASIL, **Fundo Nacional De Desenvolvimento da Educação**. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/home/index.jsp?arquivo=livro_didatico.html>. Acesso em: 14 de junho de 2009.

BROWN, Theodore L.et al. **Química a ciência central**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CANTO, Eduardo Leite; PERUZZO, Francisco M. **Química na abordagem do cotidiano**. São Paulo: Moderna, 2005.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica. Del saber sábio al saber enseñado**. Buenos Aires: Aique, 2005.

FELTRE, Ricardo. Química. São Paulo: Moderna, 2000.

FORQUIN, Jean-Claude. **Escola e Cultura: as bases sociais e epistemológicas do conhecimento escolar**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1993.

GRILLO, Marlene et al. Conhecimento escolar e transposição didática: o posicionamento de professores. In: GRILLO, Marlene; FERNANDES, Cleoni Maria Barboza. **Educação superior: travessias e atravessamentos**. Disponível em: < http://books.google.com.br/books?id=C3iGltLNWkkC&pg=PA151&dq=transposi%C3%A7%C3%A3o+did%C3%A1tica&ei=M9K2SN_sJZKQzQSi7PC_DQ&sig=ACfU3U3FQyuD9qJI_LOgit3WijBm3s_0Mw#PPA151,M1>. Acesso em: 28 de agosto de 2008.

LEITE, Miriam Soares. **Recontextualização e transposição didática – introdução a leitura por Basil Bernstein e Yves Chevallard**. Araraquara: Junqueira&Marin, 2007.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. **Conhecimento escolar em química – processo de mediação didática da ciência**. Química Nova, v. 20, n. 5, 1997. Disponível em: < http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1997/vol20n5/v20_n5_19.pdf >. Acesso em: 9 de dezembro de 2007.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. **Conhecimento escolar: ciência e cotidiano**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999.

MACHADO, Silvia Dias de Alcântara. **Educação matemática: uma (nova) introdução**. Disponível em: < http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=09ixcD1VLGQC&oi=fnd&pg=PA11&dq=transposi%C3%A7%C3%A3o+did%C3%A1tica&ots=7eJ3rqwQJu&sig=XPjKnP_K4gZQB64dvQkh9A7G0-M#PPP1,M1>

>. Acesso em: 28 de agosto de 2008.

MARANDINO, Martha. **Transposição ou recontextualização?** Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. Revista Brasileira de Educação. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n26/n26a07.pdf>>. Acesso em: 22 de agosto de 2006.

MOL, Gerson de Souza et al . **Química e sociedade**. São Paulo: Nova Geração, 2005.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2001.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: EdUnb, 1999.

MOREIRA, Marco Antonio. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implicação em sala de aula**. Brasília: EdUnb, 2006.

MORTIMER, Eduardo Fleury et al. **Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência**. Química Nova, 17 (2), 1994.

MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andrea Horta. **Química para o ensino médio**. São Paulo: Scipione, 2002.

NÚÑEZ, Isauro Beltran te. Al. **A seleção dos Livros Didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de ciências**. In OEI- Revista Iberoamericana de Educación. Disponível em: <<http://www.rieoei.org/deloslectores/427Beltran.pdf>>. Acesso em: 14 de junho de 2009.

PAIS, Luis Carlos. Transposição didática. In: FRANCHI, Anna et al. **Educação Matemática: uma (nova) introdução**. São Paulo, EDUC, 2008. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=09ixcD1VLGQC&printsec=frontcover&dq=educa%C3%A7%C3%A3o+matem%C3%A1tica&hl=pt->

BR&ei=WeWqTevbAujp0gHQIfH5CA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CDQQ6AEwAQ#v=onepage&q&f=false >. Acesso em: 20 de agosto de 2008.

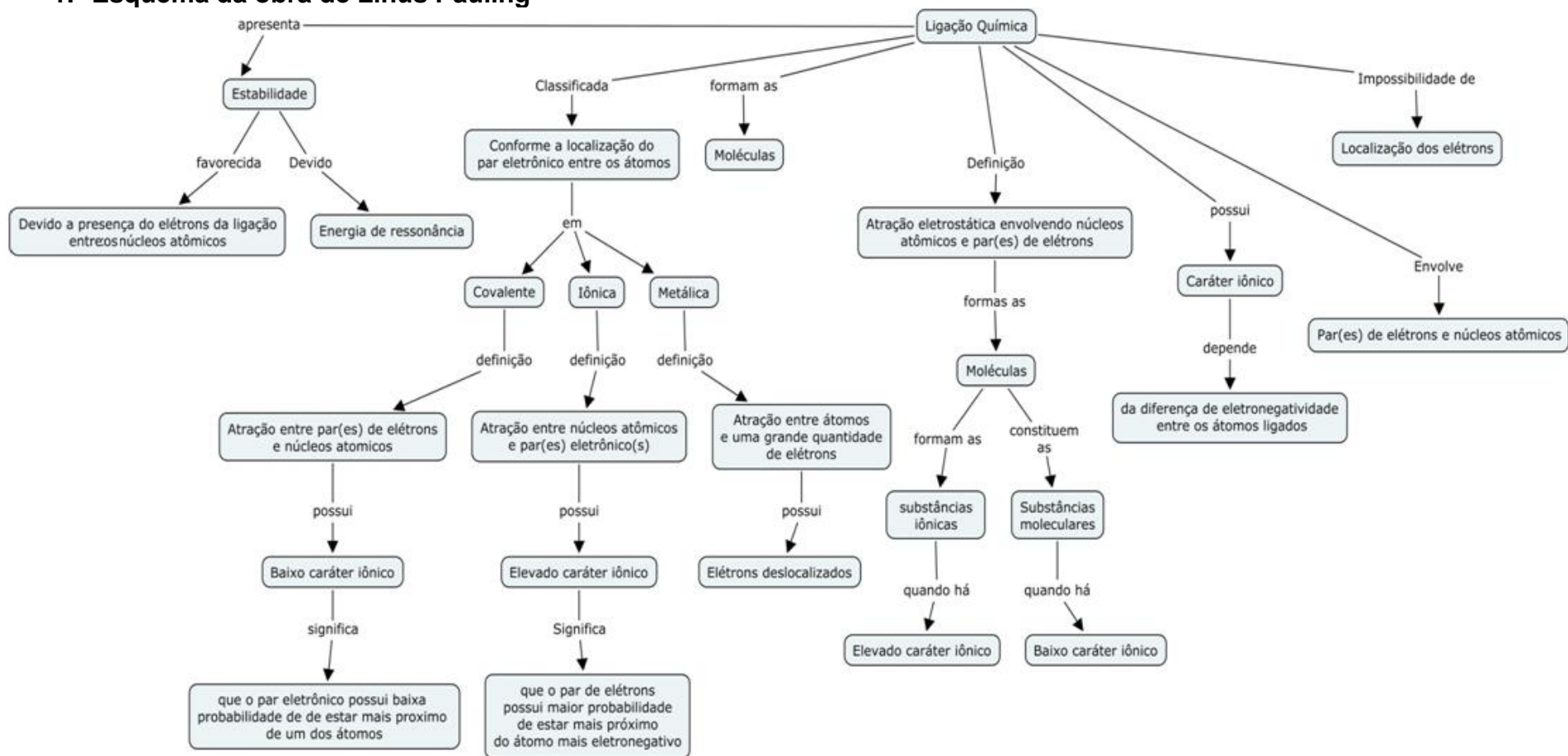
PAULING, Linus. **Unione químicas y la estructura de moléculas e cristales:uma introducción a la química estructural moderna**. Buenos Aires:Editorial Kapelusz, 1965.

RUSSEL, John Blair. **Química Geral**. São Paulo: Makron Books, 1994.

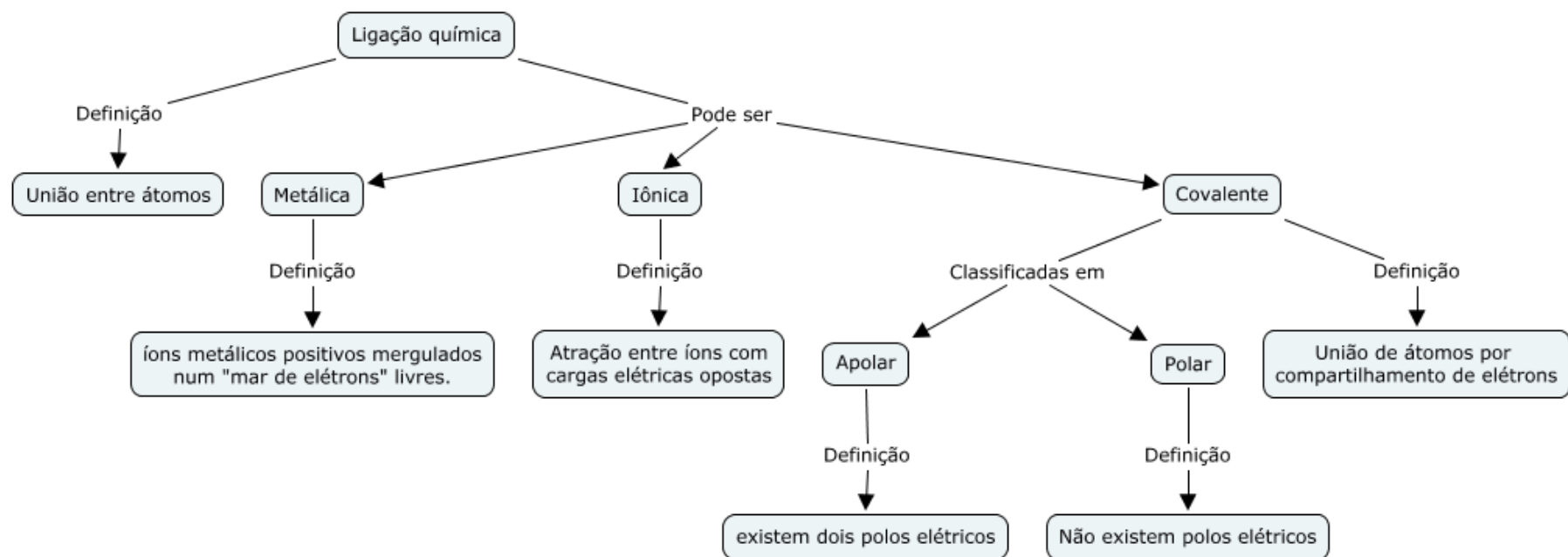
SILVA, José Luis de Paula Barros. **Um ensino facilitador da aprendizagem significativa da Termodinâmica básica**. Dissertação de mestrado. Salvador: IF/UFBA, 1999.

ANEXOS

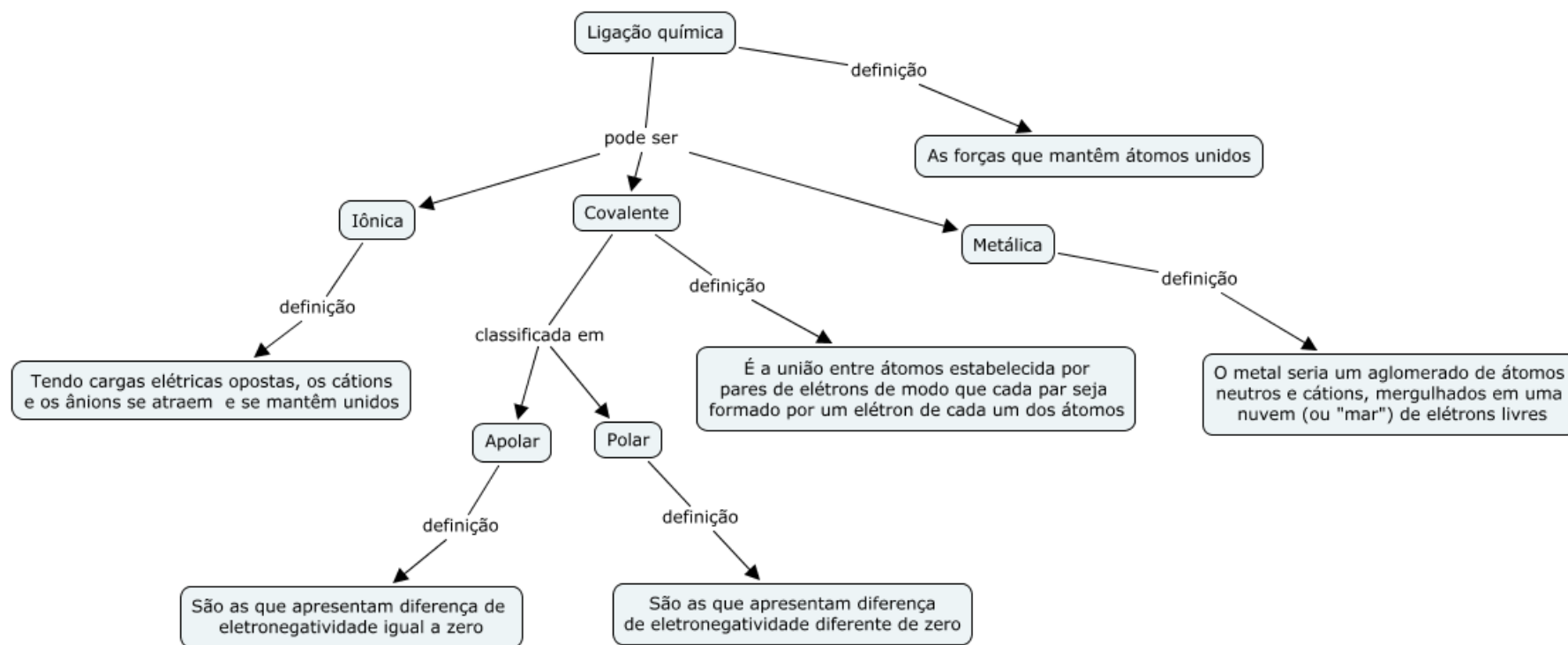
1. Esquema da obra de Linus Pauling



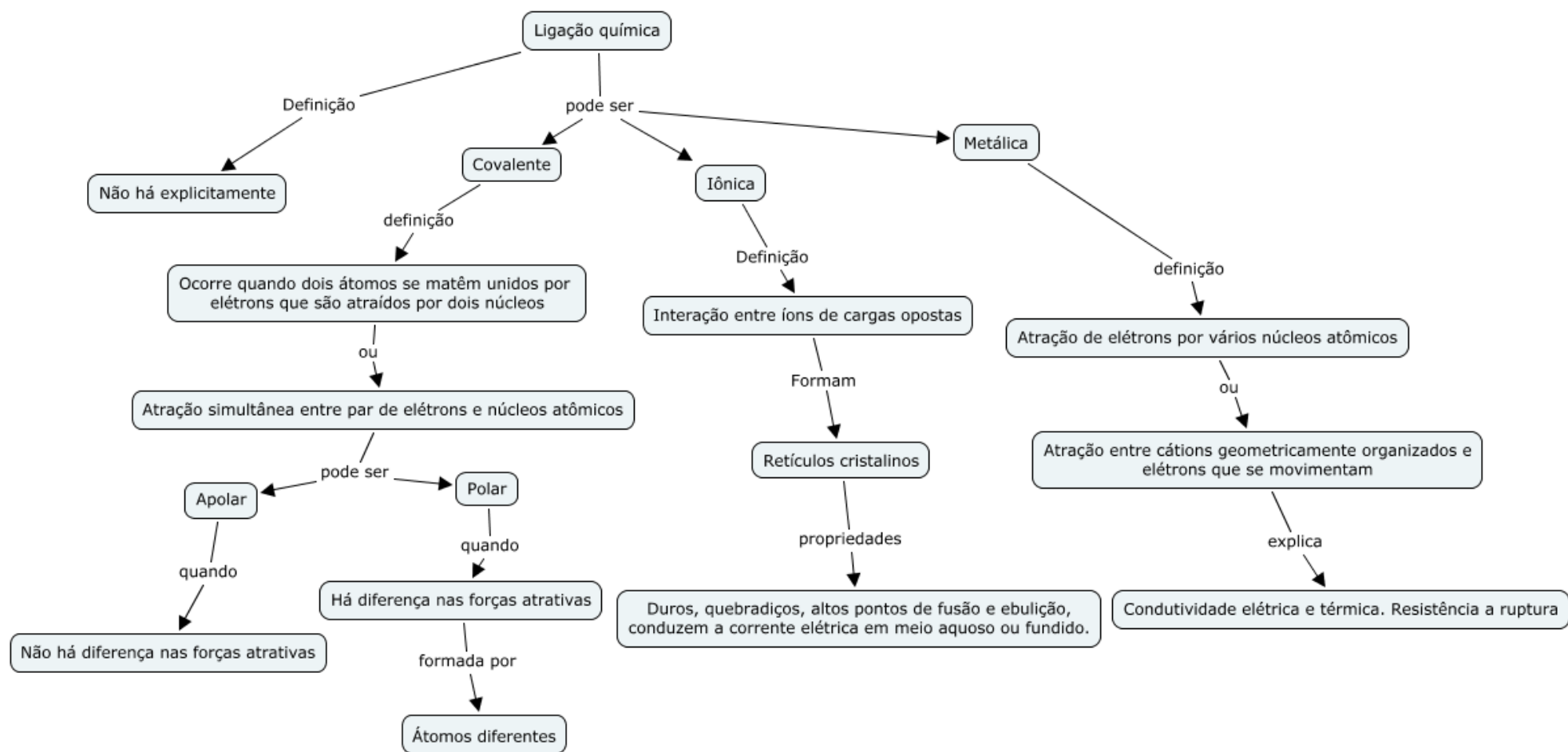
2. Esquema conceitual do LD1



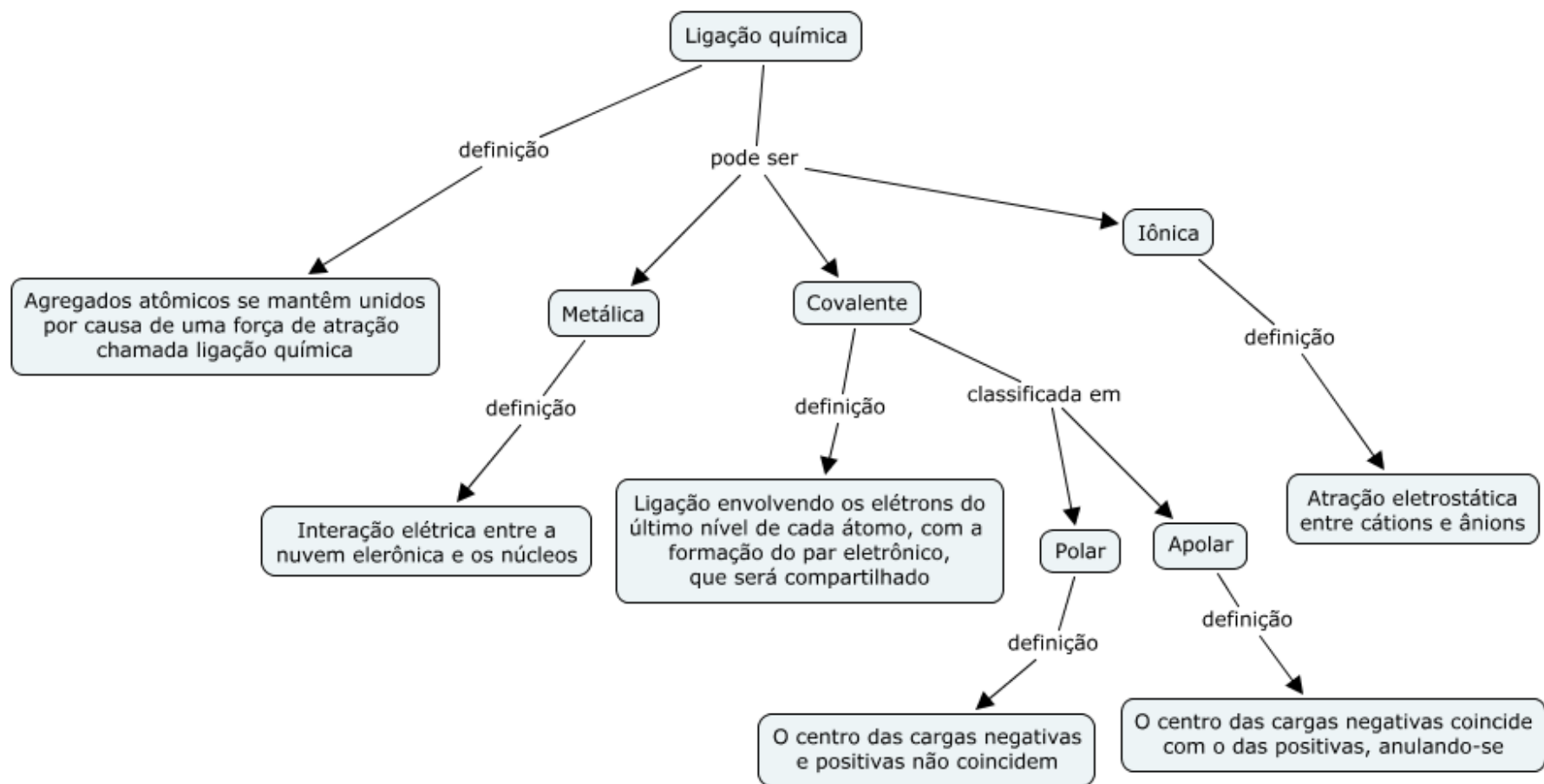
3. Esquema conceitual do LD2



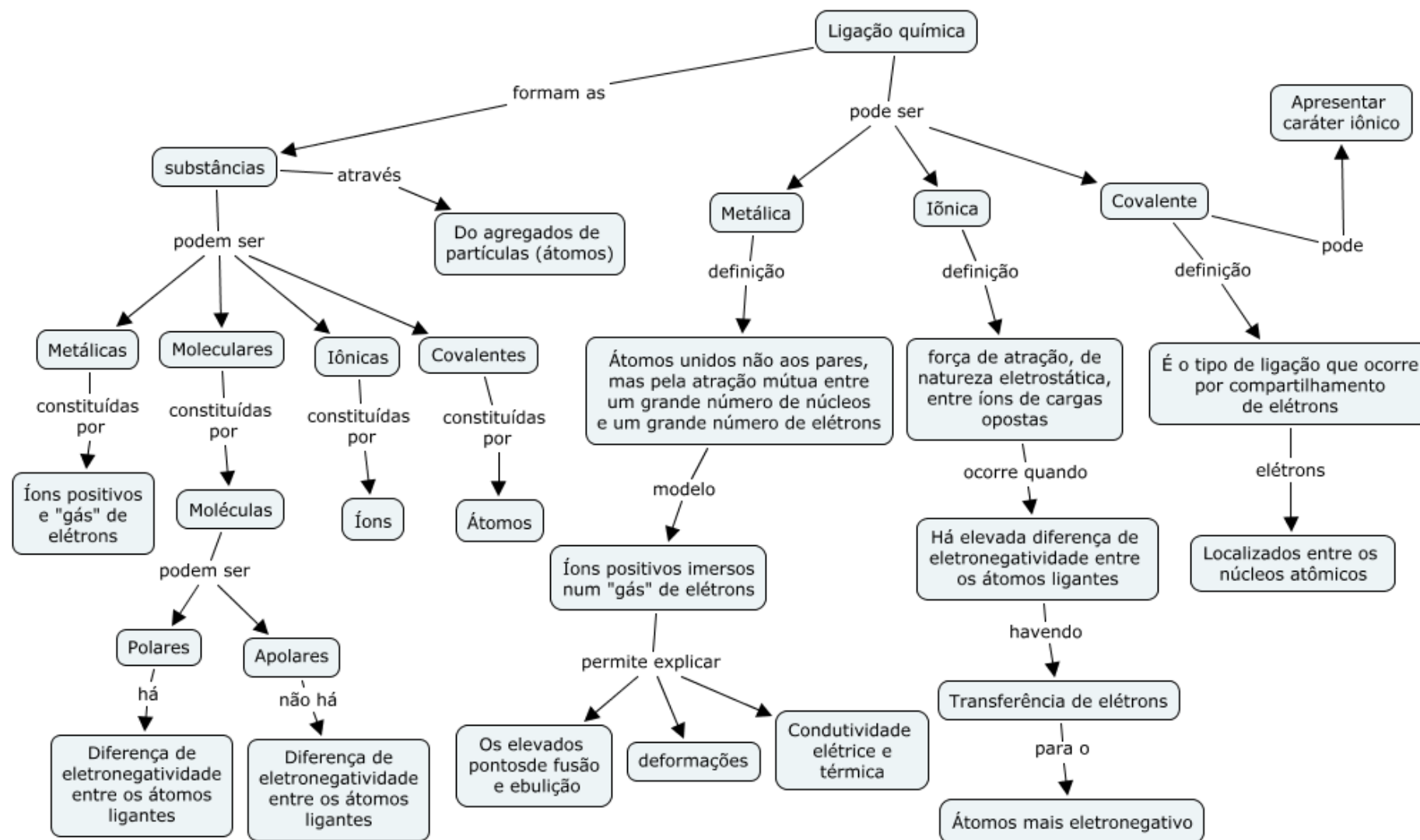
4. Esquema conceitual do LD3



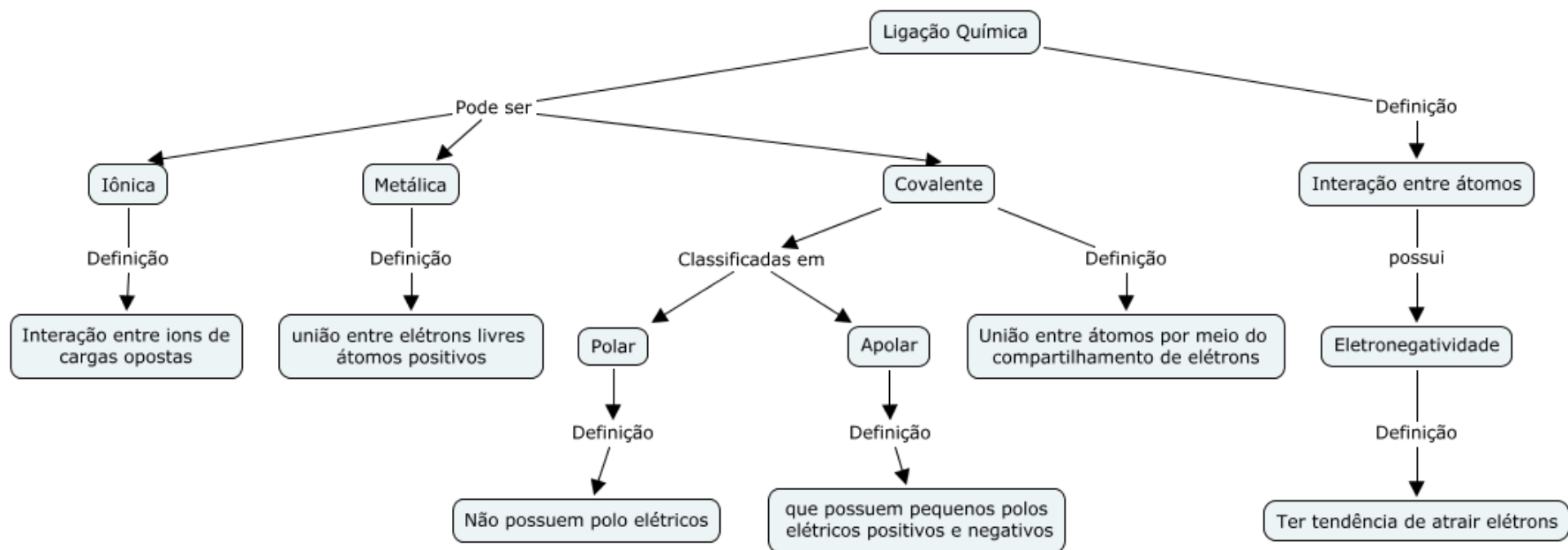
5. Esquema conceitual do LD4



6. Esquema conceitual do LD5:



Esquema conceitual do LD6:



7. Tabela dos Livros Didáticos analisados

<i>Código</i>	<i>Nome da coleção/ volume</i>	<i>Autor(es)</i>	<i>Editora / cidade / ano</i>	<i>Edição</i>
LD1	Química na abordagem do cotidiano / 1	Eduardo L. Canto e Francisco M. Peruzzo	Moderna / São Paulo / 2005	3 ^a
LD2	Química / 1	Ricardo Feltre	Moderna / São Paulo / 2004	6 ^a
LD3	Universo da Química / 1	José Carlos de Azambuja Bianchi, Carlos Henrique Abrecht e Daltamir Justino Maia.	FTD / São Paulo / 2008	1 ^a
LD4	Química / 1	Olimpio Salgado Nóbrega, Eduardo Roberto da Silva e Ruth Hashimoto da Silva	Ática / São Paulo / 2001	1 ^a
LD5	Química / único	Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta Machado	Scipione / São Paulo / 2002	1 ^a
LD6	Química e sociedade / único	Wildson L. P. Santos, Gerson S. Mól, Roseli T. Matsunaga, Siland M. F. Dib, Eliane N. F. de Castro, Gentil de S. Silva, Sandra M. de O. Santos e Salvia B. Farias	Nova Geração / São Paulo / 2005	1 ^a