



UENF

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Centro de Ciência & Tecnologia
Laboratório de Ciências Químicas

JOSIE MICHELLE SOARES

TEORIA COGNITIVISTA DE AUSUBEL E
TEORIA SISTÊMICA DA VIDA

Campos dos Goytacazes/RJ

Agosto/2007

**TEORIA COGNITIVISTA DE AUSUBEL E
TEORIA SISTÊMICA DA VIDA**

JOSIE MICHELLE SOARES

Monografia apresentada ao
Laboratório de Ciências Químicas do Centro de
Ciência & Tecnologia da Universidade Estadual
do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte
dos requisitos necessários para obtenção do
título de Licenciado em Química.

Orientador: José Glauco Ribeiro Tostes

Campos dos Goytacazes/RJ

Agosto/2007

TEORIA COGNITIVISTA DE AUSUBEL E TEORIA SISTÊMICA DA VIDA

Monografia aprovada em 02 de agosto de 2007, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciado em Química pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela comissão examinadora, formada pelos professores:

Prof. Dr. José Glauco Ribeiro Tostes

LCQUI-CCT-UENF

(Orientador)

Prof. Ms. Gerson Tavares do Carmo

Mestre em Cognição e Linguagem/CCH/UENF

Prof. Dr. Edmilson José Maria

LCQUI-CCT-UENF

Dedico este trabalho a minha Mãe que, assim como a Virgem Maria, minha sapiencial Mãe Celestial, nunca me deixou sem seus maternais cuidados durante todos esses anos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, a Deus, nosso Senhor, pela sua grande misericórdia e providência comigo.

Aos meus pais Sr. José Gomes Soares e Sra. Mércia Cunha Soares, e a minha irmã Maria Aparecida Alves da Cruz, pessoas que sempre foram exemplos de coragem, amor, determinação, retidão e perseverança.

Ao Professor José Glauco Ribeiro Tostes pela orientação e pelo constante auxílio e disponibilidade de seu tempo no desenvolvimento deste trabalho, pessoa sem a qual uma grande parte do meu trabalho não seria possível.

Ao Professor Gerson Tavares pela orientação.

Aos professores que fizeram parte da banca.

Resumo

Teorias sistêmicas da vida estão se tornando assunto relevante no ensino de 3º grau de ciências naturais, particularmente em biologia e ciências ambientais e é perfeitamente sensato conjecturar-se que elas serão exportadas futuramente para o 2º grau. Uma ponte entre tais teorias da vida e as leis físico-químicas da matéria “inanimada” vem sendo construída através da “ciência da complexidade” de Prigogine. Esta última consiste essencialmente no alargamento da tradicional termodinâmica do equilíbrio para sistemas longe do equilíbrio. Propomos-nos fornecer ao professor de licenciatura química e biologia de 3º grau material de ensino desta articulação matéria-vida via ciência da complexidade através do encadeamento entre: 1) seleção de trechos extremamente didáticos de texto de F. Capra introduzindo tal ciência como um dos fundamentos de uma teoria sistêmica da vida e 2) um método de “aprendizagem significativa” (Ausubel) na perspectiva de uma futura apresentação de todo esse material em sala de aula de 3º e 2º graus.

SUMÁRIO

Introdução-----	7
I. Objetivos -----	9
1. Objetivo geral -----	9
2. Objetivo específico -----	9
II. A Teoria cognitivista de Ausubel-----	10
3. Estrutura cognitiva humana e processos de aprendizagem-----	10
4. Aprendizagem significativa-----	10
5. Formas de aprendizagem significativa -----	12
5.1. Aprendizagem por subordinação -----	11
5.2. Aprendizagem por superordenação -----	14
5.3. Aprendizagem combinatória -----	15
III. A Máquina do mundo newtoniana -----	16
6. Método científico -----	16
6.1. Francis Bacon -----	16
6.2. René Descartes -----	17
7. Teoria científica -----	18
7.1. Isaac Newton -----	18
8. Termodinâmica e seu conflito com a vida (século XIX) -----	20
IV. Concepção sistêmica da vida -----	22
9. A nova visão da realidade -----	22
10. Natureza dos organismos vivos -----	23
10.1. Organismo X máquina -----	23
10.2 Auto organização -----	24
11. Evolução adaptativa -----	26
12. Evolução -----	27
V. Teoria cognitivista de Ausubel e teoria sistêmica da vida -----	29
Considerações finais -----	31
Referências Bibliográficas -----	32

INTRODUÇÃO

Teorias sistêmicas da vida estão começando a se tornar assunto relevante dentro do ensino de ciências naturais, particularmente em biologia e também em ciências ambientais. Até então os fenômenos biológicos eram estudados apenas pelo prisma do reducionismo mecanicista, vale dizer, pela “biologia molecular”. Agora a relação da biologia com as leis da física, e mais amplamente com leis da físico-química, está se tornando possível também através de uma teoria sistêmica denominada de “ciência da complexidade”. Trata-se de uma termodinâmica “alargada” por Prigogine (1985) e denominada de “termodinâmica do não equilíbrio” (ele ganhou o Nobel/1977 de química justamente por este trabalho originalmente aplicado apenas a sistemas pré-bióticos). Por outro lado, mirando a possível perspectiva de ensino deste material para alunos do ensino médio resolvemos apresentá-lo através de um texto original de 1982 do físico e ambientalista F. Capra (1987) uma vez que ele fornece uma introdução simplificada e extremamente didática, a nosso ver, desta nova ponte entre físico-química e vida propiciada pela ciência da complexidade prigoginiana.

Para apresentação futura deste material acima para alunos de 2º grau em matérias de química, biologia ou ciências ambientais, vamos tentar utilizar uma “teoria da aprendizagem” – de autoria de Ausubel (Moreira & Masini, 1982 e Cordeiro Cruz, 2006) – que a nosso ver valoriza bastante o papel clássico do professor em sala de aula. Este método tem como idéia central – falando de modo simplificado – o aprendizado de novos conhecimentos através de conhecimentos prévios ou “âncoras”. Assim sendo, usaremos como “âncora” da “nova” termodinâmica do não equilíbrio de Prigogine (que será extraída do cap. 9 do referido texto de Capra) a “velha” termodinâmica clássica ou de equilíbrio (que será extraída do cap. 2 do mesmo texto).

Apresentamos no tópico I um resumo do que precisaremos da “teoria da aprendizagem” de Ausubel. Embora ela seja estritamente falando um meio ou instrumento para um objetivo, podemos considerar tal método de aprendizado também como um “objetivo” lateral da presente monografia. Por esta razão, tal “teoria” também vai aparecer no tópico II, “Objetivos”, a seguir. Em outras palavras,

queremos oferecer aos leitores do presente trabalho – e certamente futuros professores de ensino médio – o acesso inicial a uma teoria de aprendizagem que poderá ser-lhe bastante útil nas suas aulas.

Nos tópicos III e IV apresentaremos respectivamente os trechos selecionados dos acima mencionados capítulos 2 e 9 do referido texto de Capra.

No tópico V faremos a “ponte” entre os tópicos III e IV.

I. OBJETIVOS

1. Objetivo Geral

O objetivo central do presente trabalho é – aplicando a “teoria da aprendizagem de Ausubel - tentar entender as “novas idéias” da termodinâmica do não equilíbrio (Prigogine) e de sua aplicação a uma “teoria sistêmica da vida” a partir da “âncora” de “velhas idéias” da termodinâmica clássica, trabalhada a partir da também “velha” mecânica clássica, isto é, a partir da “velha” perspectiva mecanicista reducionista das ciências naturais apresentada, em geral, nos livros textos de 3º grau. Em outras palavras, parte-se do pressuposto que o aluno (seja o nosso licenciando, seja um futuro aluno do ensino médio) tenha minimamente aprendidas tais “velhas idéias”.

Tanto as “velhas” como as “novas” idéias acima serão extraídas de uma seleção de dois capítulos de texto bem didático de F. Capra (1985) e constarão, respectivamente, dos tópicos III e IV a seguir.

2. Objetivo Específico

Como explicamos acima a própria “teoria da aprendizagem de Ausubel” será considerada simultaneamente como meio e fim (objetivo específico) no presente trabalho.

II. A TEORIA COGNITIVISTA DE AUSUBEL

3. Estrutura cognitiva humana e processos de aprendizagem

Conjunto de informações estruturadas hierarquicamente, que são representações de experiências sensoriais do sujeito.

Segundo Ausubel (apud Faria, 1989, p 8), a estrutura cognitiva é o conteúdo total e organizado de idéias de um dado indivíduo; ou, no contexto da aprendizagem de certos assuntos, refere-se ao conteúdo e organização de suas idéias naquela área particular de conhecimento. Ou seja, a ênfase que se dá é na aquisição, armazenamento e organização das idéias no cérebro do indivíduo.

Para Ausubel a estrutura cognitiva de cada indivíduo é extremamente organizada e hierarquizada, no sentido que as várias idéias se encadeiam de acordo com a relação que se estabelece entre elas. Além disso, é nesta estrutura que se ancoram e se reordenam novos conceitos e idéias que o indivíduo vai progressivamente internalizando, aprendendo.

4. Aprendizagem significativa

Para Ausubel, a aprendizagem consiste na “ampliação” da estrutura cognitiva, através da incorporação de novas idéias a ela. Dependendo do tipo de relacionamento que se tem entre as idéias já existentes nesta estrutura e as novas que se estão internalizando, pode ocorrer um aprendizado que varia do mecânico ao significativo.

A aprendizagem significativa tem lugar quando as novas idéias vão se relacionando de forma não-arbitrária e substantiva com as idéias já existentes. Por “não arbitrariedade entende-se que existe uma relação lógica e explícita entre a nova idéia e alguma(s) outra(s) já existente(s) na estrutura cognitiva do indivíduo.

Além de não-arbitrária, para ser significativa, a aprendizagem precisa ser também substantiva, ou seja, uma vez aprendido determinado conteúdo desta forma, o indivíduo conseguirá explicá-lo com as suas próprias palavras. Assim, um mesmo conceito pode ser expresso em linguagem sinônima e transmitir o mesmo significado (Aragão, 1976, p 21).

Procedamos ao alargamento da definição de aprendizagem que se deu nos parágrafos anteriores. Como foi definida, aprendizagem, na teoria ausubeliana, está relacionada com o aumento da estrutura cognitiva do indivíduo através da internalização de novas idéias e conceitos. No entanto, como afirmam Moreira & Masini (1982, p 101): aprendizagem significativa é a aquisição de novos significados. Estes, para Ausubel, podem ser definidos como denotativos ou conotativos.

O significado denotativo diz respeito às características “reais” relativas ao conceito/ idéia, que não dependem da interpretação particular do indivíduo. Por outro lado, o significado conotativo é aquele que o indivíduo constrói de maneira particular, idiossincrática, agregando suas emoções e sentimentos relativos àquele conceito/ idéia específico.

Adquirir um conceito, internalizar um significado, é algo “fenomenológico”¹, ou seja, algo que envolve tanto os aspectos denotativos quanto os conotativos. Por conta disso, poderia dizer que é importante levar em conta o fator idiossincrático ao pensar no¹ levantamento dos conceitos que constituirão os subsunçores de um novo assunto. Considerar apenas o significado denotativo pode incorrer no risco de se deixar de lado um dos pontos fundamentais que sustentam a teoria ausubeliana de aprendizagem significativa, isto é, que os conceitos resultam de uma experiência e são produtos “fenomenológicos”. (...) Lidar, pois, apenas com o aspecto denotativo é desconsiderar a experiência individual, pondo em questão a possibilidade de realizar-se a aprendizagem significativa. (Moreira & Masini, 1982, pp 39-40).

A estrutura cognitiva humana está ainda relacionada ao conceito de obliteração. De acordo com Ausubel, existe uma tendência reducionista da estrutura cognitiva humana, de modo que, com o tempo, as idéias mais específicas vão sendo progressivamente assimiladas pelas mais gerais às quais estão ligadas, e vão sendo gradativamente esquecidas.

Quando ocorre a ligação entre uma idéia nova e outra já existente na estrutura cognitiva do indivíduo, o processo que se dá é uma interação e não uma associação. Isto acontece porque tanto a idéia nova, quanto aquela que lhe serviu como âncora modifica-se em função desta ligação. Deste modo, caso a subordinação de um conceito a outro tenha sido feita “corretamente”, mesmo que

¹ Fenomenológico = experiência “sentida” que a pessoa tem frente a um fenômeno (que tem significado para a pessoa; inclui os aspectos conotativos e denotativos). (baseado em Moreira & Masini, 1982, p 104)

este novo alargue o sentido do antigo, a obliteração dele em prol do mais abrangente não significará necessariamente perda de informação. Isto acontece porque com a interação ocorrida por ocasião da subsunção (e em decorrência das eventuais experiências posteriores), o conceito mais inclusivo já se modificou a ponto de abarcar o novo significado que o menos inclusivo lhe agregara.

5. Formas de aprendizagem significativa

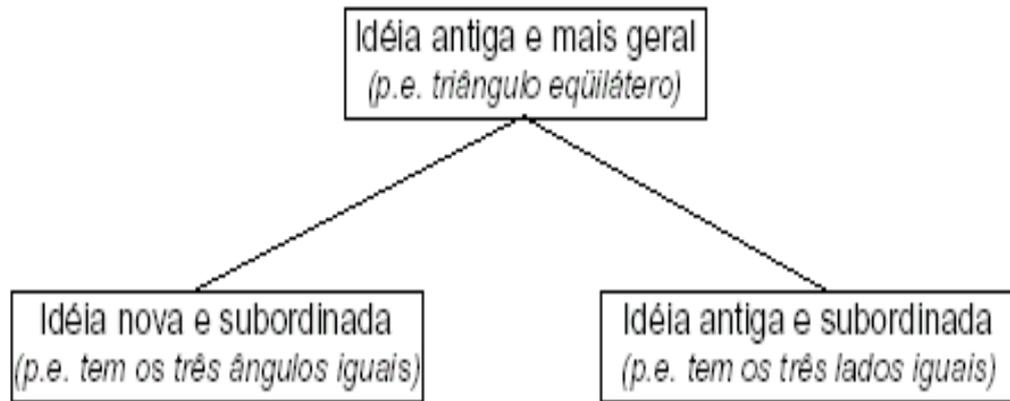
Uma vez existente um conjunto de idéias na estrutura cognitiva do sujeito, com as quais novas idéias podem se articular de maneira não-arbitrária e substantiva, este relacionamento pode acontecer de três formas diferentes: por subordinação (ou subsunção), por superordenação e de forma combinatória. (É importante salientar que a aprendizagem significativa acontecerá somente quando algum tipo de relação puder ser construída entre a nova idéia que se deseja ensinar e uma ou várias idéias que já se saiba.)

5.1 Aprendizagem por Subordinação

Acontece quando a nova idéia é um exemplo, uma especificação de algo que já se sabe. Mas esta relação pode acontecer segundo duas formas:

- *Derivativa*: o que se aprende é mais um exemplo daquilo que já se sabe, não trazendo qualquer alteração para a idéia mais geral à qual está relacionado. Assim, constitui-se exemplo deste tipo de aprendizagem a constatação que um dado sistema mecânico real é conservativo, associando-se ao conceito universal da conservação de energia um exemplo específico.
- *Correlativa*: a nova idéia que se aprende é um exemplo que alarga o sentido/significado de algo mais amplo que já se sabe. Assim, se à idéia que se tem de triângulo equilátero como sendo aquele em que os três lados têm o mesmo tamanho, acrescentar-se a idéia de que além dos lados, os ângulos também são iguais, haverá um alargamento do sentido de triângulo equilátero que, antes deste aprendizado, não existia.

Na subordinação, a relação hierárquica que se estabelece entre o que se aprende e o que já se sabe é do seguinte tipo:

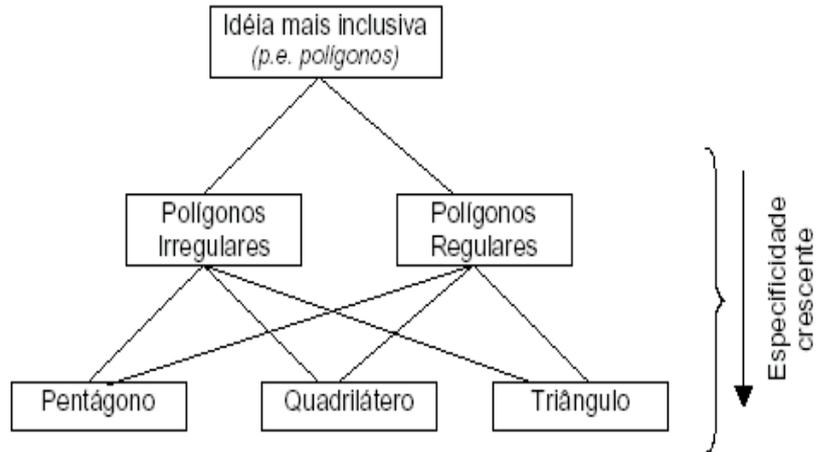


Ausubel acredita que a aprendizagem por subordinação é mais fácil para o ser humano do que a por superordenação. Em outras palavras, ele acredita que os conceitos e idéias devem ser sempre estudados a partir dos mais gerais para os mais específicos. Por conseguinte, o que se propõe é que se trabalhem preferencialmente os conceitos ditos mais inclusivos, ou seja, os conceitos mais amplos aos quais os conceitos mais restritos, quando forem trabalhados, poderão se ligar de maneira subordinada.

Em síntese, para Ausubel, as idéias e os conceitos devem ser preferencialmente trabalhados em uma ordem crescente de especificidade, dos mais gerais, para os mais específicos. Isso ele justifica através de dois motivos:

1. É mais fácil para o ser humano compreender os aspectos diferenciados de um todo [mais inclusivo] previamente aprendido, (...) do que formular o todo mais inclusivo a partir das suas partes diferenciadas previamente aprendidas (Ausubel apud Faria, 1989, p 28). Ou seja, generalizar a partir de conceitos mais específicos é mais difícil do que aprender conceitos particulares a partir de um mais geral.
2. Este tipo de hierarquia é a que acontece na mente de cada pessoa: as idéias mais gerais/ inclusivas ocupam o topo da estrutura cognitiva, e têm subordinadas a si idéias progressivamente mais específicas/ menos inclusivas.

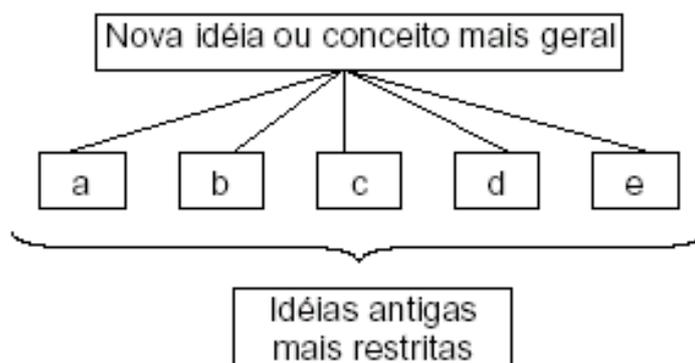
Abaixo segue um breve exemplo de como Ausubel acredita estar organizada a estrutura cognitiva humana.



Tendo-se em mente aquilo que deve ser aprendido pelo aluno naquela matéria, a proposta de Ausubel é que as várias idéias e conceitos pertencentes a este conteúdo sejam trabalhados a partir dos mais gerais para os mais específicos. Desta forma, os conceitos/ idéias mais amplos funcionam como contextualização para os mais restritos que a eles se ligarão. No entanto, a conceito amplo como “produto final”, da forma como idealiza uma dada disciplina, só é conseguido plenamente quando os mais específicos já estão “corretamente” ancorados a ele. Se as idéias mais inclusivas são necessárias para contextualizar e ancorar as menos inclusivas, são estas que, na interação com aquelas, as vão definir e “amoldar” àquilo que elas “de fato” são.

5.2 Aprendizagem por Superordenação

Ocorre quando a nova idéia que se aprende é mais geral do que uma ou um conjunto de idéias que já se sabe. Neste caso, a relação hierárquica que se estabelece é da seguinte forma:



Um exemplo deste tipo de aprendizagem pode ser o caso onde, indutivamente, a partir de vários sistemas mecânicos reais, percebe-se que em todos eles a energia se conserva, e que isso pode ser generalizado para todos os sistemas. Ou seja, a conservação da energia passa a ser um conceito mais amplo ao qual se relacionam todos os sistemas reais.

5.3 Aprendizagem combinatória

Este tipo de aprendizagem acontece quando a nova idéia não está hierarquicamente acima nem abaixo da idéia já existente na estrutura cognitiva à qual ela se relacionou de forma não-arbitrária e lógica. Ou seja, esta nova idéia não é exemplo nem generalização daquilo que se usou como âncora para ela na estrutura cognitiva do indivíduo. Esta âncora, no entanto, é necessária para que se possa estabelecer uma aprendizagem de fato significativa.

Um exemplo deste tipo de aprendizagem é o caso da metáfora que se faz de um sistema elétrico com um hidráulico. Neste caso, usam-se conceitos já dominados pelo indivíduo com relação aos sistemas de águas, para ensinar conceitos novos e que guardam alguma relação com os antigos que serviram como âncora. Mas os sistemas elétricos não são uma generalização nem um exemplo de sistemas hidráulicos, e vice-versa.

III. A MÁQUINA DO MUNDO NEWTONIANA

6. Método científico

Antes de 1500, a visão do mundo dominante na Europa, assim como na maioria das outras civilizações, era orgânica.

Entre 1500 e 1700 houve uma mudança drástica na maneira como as pessoas descreviam o mundo e em todo o seu modo de pensar.

A noção de um universo orgânico, vivo e espiritual foi substituída pela noção do mundo como se ele fosse uma máquina, e a máquina do mundo converteu-se na metáfora dominante da era moderna.

A ciência do século XVII baseou-se num método de investigação, defendido vigorosamente por Francis Bacon, o qual envolvia a descrição matemática da natureza e o método analítico de raciocínio concebido pelo gênio de Descartes.

A revolução científica começou com Nicolau Copérnico, que se opôs à concepção geocêntrica de Ptolomeu e da Bíblia, que tinha sido aceita como dogma por mais de mil anos. Depois de Copérnico, a Terra deixou de ser o centro do universo para tornar-se um dos muitos planetas que circundam um astro secundário nas fronteiras da galáxia.

A verdadeira mudança na opinião científica foi provocada por Galileu Galilei, que já era famoso por ter descoberto as leis da queda dos corpos quando voltou sua atenção para a astronomia.

Galileu foi o primeiro a combinar a experimentação científica com o uso da linguagem matemática para formular as leis da natureza por ele descobertas; é, portanto considerado o pai da ciência moderna.

6.1. Francis Bacon

Bacon foi o primeiro a formular uma teoria clara do procedimento indutivo - realizar experimentos e extrair deles conclusões gerais, a serem testadas por novos experimentos.

O “espírito baconiano” mudou profundamente a natureza e o objetivo da investigação científica.

A partir de Bacon, o objetivo da ciência passou a ser aquele conhecimento que pode ser usado para dominar e controlar a natureza e, hoje, ciência e tecnologia buscam sobretudo fins profundamente antiecológicos.

6.2. René Descartes

Descartes é considerado o fundador da filosofia moderna.

Visualizou um método que lhe permitiu construir uma completa ciência da natureza, acerca da qual poderia ter absoluta certeza; uma ciência baseada, como a matemática, em princípios fundamentais que dispensam demonstração.

A certeza cartesiana é matemática em sua natureza essencial. Descartes acreditava que a chave para a compreensão do universo era a sua estrutura matemática; para ele, a ciência era sinônimo de matemática. Assim, ele escreveu, a respeito das propriedades dos objetos físicos: “Não admito como verdadeiro o que não possa ser deduzido, com a clareza de uma demonstração matemática, de noções comuns de cuja verdade não podemos duvidar. Como todos os fenômenos da natureza podem ser explicados desse modo, penso que não há necessidade de admitir outros princípios da física, nem que sejam desejáveis”.

O novo método permitiu a Descartes aplicar um tipo muito geral de análise matemática ao estudo de corpos em movimento, de acordo com o seu grandioso plano de redução de todos os fenômenos físicos a relações matemáticas exatas. Assim, ele pôde afirmar, com grande orgulho: “Toda a minha física nada mais é do que geometria”.

O método de Descartes tinha por finalidade apontar o caminho para se chegar à verdade científica.

Assim, o conhecimento é obtido através da intuição e da dedução. Você tem uma intuição inicial que leva a uma dedução.

O seu método é racionalista. O ato da razão que percebe diretamente os primeiros princípios é a intuição. A dedução nada mais é do que uma intuição continuada.

O método de Descartes é analítico. Consiste em decompor pensamentos e problemas em suas partes componentes e em dispô-las em sua ordem lógica. Esse método analítico de raciocínio é provavelmente a maior contribuição de Descartes à ciência.

O método cartesiano levou à atitude generalizada de reducionismo na ciência – a crença em que todos os aspectos dos fenômenos complexos podem ser compreendidos se reduzidos às suas partes constituintes.

Para Descartes, o universo material era uma máquina, nada além de uma máquina. Não havia propósito, vida ou espiritualidade na matéria. A natureza funcionava de acordo com leis mecânicas, tudo no mundo material podia ser explicado em função da organização e do movimento de suas partes. Esse quadro mecânico da natureza tornou-se o paradigma dominante da ciência no período que se seguiu a Descartes.

Descartes deu ao pensamento científico sua estrutura geral – a concepção da natureza como uma máquina perfeita, governada por leis matemáticas exatas.

Descartes estendeu a concepção mecanicista aos organismos vivos, ou seja, plantas e animais passaram a ser considerados simples máquinas.

“Vejo o corpo como uma máquina”. Um homem saudável é um relógio bem-feito; um homem doente é um relógio mal-feito.

Sua ciência pretendia ser completa, e o conhecimento que ofereceu tinha a intenção de fornecer uma certeza matemática absoluta.

7. Teoria Científica

7.1. Isaac Newton

Antes de Newton, duas tendências opostas orientavam a ciência seiscentista: o método empírico, indutivo, representado por Bacon, e o método racional, dedutivo, representado por Descartes. Newton, em seus Principia, introduziu a combinação apropriada de ambos os métodos, sublinhando que tanto os experimentos sem interpretação sistemática quanto a dedução a partir de princípios básicos sem evidência experimental não conduziram a uma teoria confiável. Ultrapassando Bacon em sua experimentação sistemática e Descartes em sua análise matemática, Newton unificou as duas tendências e desenvolveu a metodologia em que a ciência natural passou a basear-se desde então.

Newton deu realidade ao sonho cartesiano e completou a revolução científica.

Newton desenvolveu uma completa formulação matemática da concepção mecanicista da natureza e, portanto, realizou uma grandiosa síntese das obras de Copérnico e Kepler, Bacon, Galileu e Descartes.

A apreensão matemática de Newton era bem mais poderosa do que a de seus contemporâneos. Ele criou um método completamente novo – hoje conhecido como cálculo diferencial – para descrever o movimento de corpos sólidos, um método que foi muito além das técnicas matemáticas de Galileu e Descartes.

Newton combinou as leis empíricas do movimento planetário (Kepler) e as leis da queda dos corpos (Galileu) e formulou uma grande teoria.

Ele compreendeu que a maçã era atraída para a Terra pela mesma força que atraía os planetas para o Sol, e assim descobriu a chave para a sua grandiosa síntese. Empregou então seu novo método matemático para formular as leis exatas do movimento para todos os corpos, sob a influência da força da gravidade.

O universo newtoniano era de fato, um gigantesco sistema mecânico que funcionava de acordo com leis matemáticas exatas.

O palco do universo newtoniano, no qual todos os fenômenos físicos aconteciam, era o espaço tridimensional da geometria euclidiana clássica. Era um espaço absoluto, um recipiente vazio, independente dos fenômenos físicos que nele ocorriam.

O modelo newtoniano de matéria era atomístico.

O movimento dessas partículas elementares era causado pela força da gravidade, a qual, na visão de Newton, atuava instantaneamente à distância.

Na mecânica newtoniana, todos os fenômenos físicos estão reduzidos ao movimento de partículas materiais, causado por sua atração mútua, ou seja, pela força da gravidade. O efeito dessa força sobre uma partícula ou qualquer outro objeto material é descrito matematicamente pelas equações do movimento enunciadas por Newton, as quais formam a base da mecânica clássica.

A concepção mecanicista da natureza está intimamente relacionada com um rigoroso determinismo, em que a gigantesca máquina cósmica é completamente causal e determinada.

A teoria newtoniana foi capaz de explicar o movimento dos planetas, luas e cometas nos mínimos detalhes, assim como o fluxo das marés e vários outros fenômenos relacionados com a gravidade.

8. Termodinâmica e seu conflito com a vida (século XIX)

A aplicação da mecânica newtoniana ao estudo dos fenômenos térmicos – o que envolve o tratamento de líquidos e gases como complicados sistemas mecânicos – levou os físicos à formulação da termodinâmica, a “ciência da complexidade”. A primeira grande realização dessa nova ciência foi a descoberta de uma das leis mais fundamentais da física, a lei da conservação da energia. Os físicos descobriram essa lei em seu estudo das máquinas a vapor e outras máquinas geradoras de calor, e é também conhecida como a primeira lei da termodinâmica.

A segunda lei da termodinâmica é a da dissipação da energia. Enquanto a energia total envolvida num processo é sempre constante, a quantidade de energia útil diminui, dissipando-se em calor, fricção, etc. A energia mecânica dissipa-se em calor e não pode ser completamente recuperada; quando se juntam água quente e água fria, resulta a água morna, e os dois líquidos não se separam.

O que todos esses processos têm em comum é que avançam numa certa direção – da ordem para a desordem -, e esta é a formulação mais geral da segunda lei da termodinâmica: qualquer sistema físico isolado avançará espontaneamente na direção de uma desordem sempre crescente. O termo que expressa essa direção é “entropia”. O termo representa uma combinação de “energia” e “tropos”, a palavra grega que designa transformação ou evolução. Assim, entropia é uma quantidade que mede o grau de evolução de um sistema físico. De acordo com a segunda lei, a entropia de um sistema físico isolado continuará aumentando; como essa evolução é acompanhada de crescente desordem, a entropia também pode ser vista como uma medida de desordem.

A formulação do conceito de entropia e a segunda lei da termodinâmica estão entre as mais importantes contribuições para a física no século XIX. O aumento de entropia em sistemas físicos, que marca a direção do tempo, não podia ser explicado pelas leis da mecânica newtoniana, e permaneceu um mistério até que Ludwig Boltzmann esclareceu a situação mediante a introdução de uma idéia adicional, o conceito de probabilidade. Com a ajuda da teoria das probabilidades, o comportamento de sistemas mecânicos complexos pôde ser descrito em termos de leis estatísticas, e a termodinâmica se assentou numa sólida base newtoniana, conhecida como mecânica estatística.

Boltzmann mostrou que a segunda lei da termodinâmica é uma lei estatística. Sua afirmação de que certos processos não ocorrem – por exemplo, a conversão espontânea de energia térmica em energia mecânica - não significa que eles sejam impossíveis, mas apenas que são extremamente improváveis. Em sistemas microscópicos, que consistem em apenas algumas moléculas, a segunda lei é violada regularmente; mas, em sistemas macroscópicos, que consistem num grande número de moléculas, a probabilidade de que a entropia total do sistema aumente torna-se virtualmente certa. Assim, em qualquer sistema isolado, composto de um elevado número de moléculas, a entropia – ou desordem – continuará aumentando até que, finalmente, o sistema atinja um estado de máxima entropia, também conhecido como “morte térmica”; nesse estado, toda a atividade cessa, estando o material uniformemente distribuído e à mesma temperatura. De acordo com a física clássica, o universo está caminhando como um todo para tal estado de máxima entropia, no qual irão declinando gradualmente os processos espontâneos de troca energética até que finalmente cessem.

Essa imagem sombria da evolução cósmica está em nítido contraste com a idéia evolucionista sustentada pelos biólogos, os quais observam que o universo vivo evolui da desordem para a ordem, para estados de complexidade sempre crescente. O surgimento do conceito de evolução em física trouxe à luz, portanto, uma outra limitação da teoria newtoniana. A concepção mecanicista do universo como um sistema de pequenas bolas de bilhar em movimento randômico é simplista demais para explicar a evolução da vida.

IV. A CONCEPÇÃO SISTÊMICA DA VIDA

9. A nova visão da realidade

A nova visão da realidade, de que vimos falando, baseia-se na consciência do estado de inter-relação e interdependência essencial de todos os fenômenos – físicos, biológicos, psicológicos, sociais e culturais. Essa visão transcende as atuais fronteiras disciplinares e conceituais e será explorada no âmbito de novas instituições.

A maior parte da biologia e da medicina contemporâneas tem uma visão mecanicista da vida e tenta reduzir o funcionamento dos organismos a mecanismos celulares e moleculares bem definidos. A concepção mecanicista é justificada, em certa medida, pelo fato de os organismos vivos agirem, em parte, como máquinas.

A concepção sistêmica vê o mundo em termos de relações e de integração. Os sistemas são totalidades integradas, cujas propriedades não podem ser reduzidas às de unidades menores. Em vez de se concentrar nos elementos ou substâncias básicas, a abordagem sistêmica enfatiza princípios básicos de organização. Os exemplos de sistemas são abundantes na natureza. Todo e qualquer organismo – desde a menor bactéria até os seres humanos, passando pela imensa variedade de plantas e animais – é uma totalidade integrada e, portanto, um sistema vivo. Os sistemas não estão limitados a organismos individuais e suas partes.

Todos esses sistemas naturais são totalidades cujas estruturas específicas resultam das interações e interdependência de suas partes. A atividade dos sistemas envolve um processo conhecido como transação - a interação simultânea e mutuamente interdependente entre componentes múltiplos. As propriedades sistêmicas são destruídas quando um sistema é dissecado, física ou teoricamente, em elementos isolados. Embora possamos discernir partes individuais em qualquer sistema, a natureza do todo é sempre diferente da mera soma de suas partes.

Um outro aspecto importante dos sistemas é sua natureza intrinsecamente dinâmica. Suas formas não são estruturas rígidas, mas manifestações flexíveis, embora estáveis, de processos subjacentes.

O pensamento sistêmico é pensamento de processos; a inter-relação torna-se associada à interação, e os opostos são unificados através da oscilação.

A descrição reducionista de organismos pode, portanto, ser útil e, em alguns casos, necessária. Ela só é perigosa quando interpretada como se fosse a explicação completa. Reduccionismo e holismo, análise e síntese, são enfoques de interação recursiva ou de laços de retroalimentação. Usados em equilíbrio adequado, nos ajudam a chegar a um conhecimento mais profundo da vida.

10. Natureza dos organismos vivos

Na concepção de Descartes e de Newton, o mundo era uma máquina do século XVII, essencialmente um mecanismo de relógio. É esse o tipo de máquina que temos em mente quando comparamos seu funcionamento com o de organismos vivos.

10.1 Organismo X Máquina

A primeira diferença óbvia entre máquinas e organismos é o fato de que as máquinas são construídas, ao passo que os organismos crescem. Essa diferença fundamental significa que a compreensão de organismos deve ser orientada para o processo.

As células, por exemplo, como todos os sistemas vivos, têm que ser entendidas em termos de processos que refletem a organização dinâmica do sistema. Se as atividades de uma máquina são determinadas por sua estrutura, a relação inverte-se nos organismos – a estrutura orgânica é determinada por processos.

As máquinas são construídas reunindo-se e montando-se um número bem definido de peças de modo preciso e previamente estabelecido. Os organismos, por outro lado, mostram um elevado grau de flexibilidade e plasticidade internas. O formato de seus componentes pode variar dentro de certos limites, e não há dois organismos que tenham peças rigorosamente idênticas. Embora o organismo como um todo exiba regularidades e tipos de comportamento bem definidos, as relações entre suas partes não são rigidamente determinadas.

As máquinas funcionam de acordo com cadeias lineares de causa e efeito, e quando sofrem uma variação pode ser usualmente identificada uma causa única para tal

defeito. Em contrapartida, o funcionamento dos organismos é guiado por modelos cíclicos de fluxo de informação, conhecidos por laços de realimentação.

10.2. Auto – organização

A plasticidade e flexibilidade internas dos sistemas vivos, cujo funcionamento é controlado mais por relações dinâmicas do que por rígidas estruturas mecânicas, dão origem a numerosas propriedades características que podem ser vistas como aspectos diferentes do mesmo princípio dinâmico – o princípio de auto-organização. Um organismo vivo é um sistema auto-organizador, o que significa que sua estrutura e função não é imposta pelo meio ambiente, mas estabelecida pelo próprio sistema. O fenômeno da criatividade somente será abordado no item 4 final.

Os três principais fenômenos dinâmicos da auto-organização são a auto-manutenção, auto-renovação – a capacidade dos sistemas vivos de renovar e reciclar continuamente seus componentes, sem deixar de manter a integridade de sua estrutura global – e criatividade – a capacidade de se dirigir criativamente para além das fronteiras físicas, passadas ou presente.

Na medida em que um sistema é autônomo em relação ao seu meio ambiente, ele é livre; na medida em que depender dele, através de interação contínua, sua atividade será modelada por influências ambientais. A relativa autonomia dos organismos geralmente aumenta com sua complexidade, e atinge o auge nos seres humanos.

Auto-manutenção

Para manterem sua auto-organização, os organismos vivos têm que permanecer num estado especial difícil de ser descrito em termos convencionais.

Um mecanismo de relógio, por exemplo, é um sistema relativamente isolado que exige energia para funcionar, mas que não precisa necessariamente interagir com seu meio ambiente para manter-se em funcionamento. Como todos os sistemas isolados, continuará a funcionar de acordo com a segunda lei da termodinâmica, da ordem para a desordem, até atingir um estado de equilíbrio em que todos os processos – movimento, troca de calor, etc. – cessarão. Os organismos vivos funcionam de um modo muito diferente. São sistemas abertos, o que significa que

têm de manter uma contínua troca de energia e matéria com seu meio ambiente a fim de permanecerem vivos. Essa troca envolve a assimilação de estruturas ordenadas, como o alimento, decompondo-as e usando alguns de seus componentes para manter ou mesmo aumentar a ordem do organismo. Esse processo é conhecido como metabolismo. Permite que o sistema permaneça num estado de não-equilíbrio, no qual está sempre “em atividade”. Um alto grau de não-equilíbrio é absolutamente necessário para a auto-organização; os organismos vivos são sistemas abertos que operam continuamente sem qualquer equilíbrio.

E ao mesmo tempo, esses sistemas auto-organizadores possuem um alto grau de estabilidade.

A estabilidade de sistemas auto-organizadores é profundamente dinâmica e não deve ser confundida com equilíbrio. Consiste em manter a mesma estrutura global apesar de mudanças e substituições contínuas de seus componentes.

O fenômeno de auto-organização não está limitado à matéria viva, mas ocorre também em certos sistemas químicos amplamente estudados por Prigogine. Ele chamou a esses sistemas “estruturas dissipativas”, para expressar o fato de que mantêm e desenvolvem uma estrutura mediante a decomposição de outras estruturas no processo de metabolismo, criando assim entropia – desordem – subsequentemente dissipada na forma de produtos residuais degradados. As estruturas químicas dissipativas exibem a dinâmica da auto-organização em sua forma mais simples, manifestando a maioria dos fenômenos característicos da vida – auto-renovação, adaptação e evolução. A única razão pela qual não são consideradas vivas é que não se reproduzem nem formam células. Assim, esses intrigantes sistemas representam um elo entre matéria animada e inanimada.

As flutuações desempenham um papel central na dinâmica da auto-manutenção. Qualquer sistema vivo pode ser descrito em termos de variáveis interdependentes, cada uma das quais pode variar numa ampla faixa entre um limite superior e um inferior. Todas as variáveis oscilam entre esses limites, de modo que o sistema encontra-se em estado de contínua flutuação, mesmo quando não existe qualquer perturbação. Tal estado é conhecido como homeostase. É um estado de equilíbrio dinâmico, transacional, em que existe grande flexibilidade, ou seja, o sistema tem um grande número de opções para interagir com seu meio ambiente. Quando ocorre alguma perturbação, o organismo tende a regressar ao seu estado original, e o faz adaptando-se de várias maneiras às mudanças ambientais.

Os mecanismos de realimentação entram em ação e tendem a reduzir qualquer desvio do estado de equilíbrio. Por causa desses mecanismos reguladores, também conhecidos como de realimentação negativa, a temperatura do corpo, a pressão sanguínea e muitas condições importantes dos organismos superiores permanecem relativamente constantes mesmo quando o meio ambiente muda de forma considerável. Entretanto, a realimentação negativa é apenas um aspecto de auto-organização através de flutuações. O outro aspecto é a realimentação positiva, que consiste em ampliar certos desvios em vez de amortecê-los. Esse fenômeno tem um papel crucial nos processos de desenvolvimento, aprendizagem e evolução.

Auto-renovação

A auto-renovação é um aspecto essencial dos sistemas auto-organizadores. Enquanto uma máquina é construída para produzir um produto específico ou executar uma tarefa específica determinada por aquele que a construiu, um organismo está empenhado primordialmente em renovar-se; as células dividem-se e constroem estruturas, e os tecidos e órgãos substituem suas células em ciclos contínuos. Assim, o pâncreas substitui a maioria de suas células de 24 em 24 horas.

Ainda que sejam capazes de se manter e se regenerar, os organismos complexos não podem funcionar indefinidamente. Em vez de substituírem as partes danificadas ou gastas, substituem o organismo todo. Esse, evidentemente, é o fenômeno da reprodução, característico de toda vida.

11. Evolução adaptativa

A capacidade de adaptação a um meio ambiente variável é uma característica essencial dos organismos vivos e dos sistemas sociais.

A adaptação evolutiva dos organismos vivos consiste na adaptação das espécies ao processo de evolução.

A capacidade da espécie de se adaptar a mudanças ambientais através de mutações genéticas foi estudada amplamente e com muito êxito em nosso século, assim como os mecanismos de reprodução e hereditariedade. Entretanto, esses aspectos representam somente uma parte do fenômeno da evolução.

A outra parte é o desenvolvimento criativo de novas estruturas e funções, independentemente de qualquer pressão ambiental, o que constitui uma manifestação do potencial de criatividade inerente a todos os organismos vivos. Portanto, os conceitos darwinianos expressam somente uma de duas perspectivas interativas (retroalimentação), sendo ambas necessárias para se compreender a evolução.

12. Evolução

A visão sistêmica dos organismos vivos é difícil de ser apreendida a partir da perspectiva da ciência clássica, porque requer modificações significativas de muitos conceitos e idéias clássicas.

A dinâmica básica da evolução, de acordo com a nova visão sistêmica, principia com um sistema em homeostase – um estado de equilíbrio dinâmico caracterizado por flutuações múltiplas e interdependentes. Quando o sistema é perturbado, tem a tendência para manter sua estabilidade por meio de mecanismos de realimentação negativa, os quais tendem a reduzir o desvio do estado equilibrado.

A estabilidade de um sistema vivo é continuamente testada por suas flutuações, e, em certos momentos, uma ou várias delas podem tornar-se tão fortes que impelem o sistema a passar por uma instabilidade rumo a uma estrutura inteiramente nova, a qual será de novo flutuante e relativamente estável. A estabilidade dos sistemas vivos nunca é absoluta. Ela persistirá enquanto as flutuações se mantiverem abaixo de um nível crítico, mas qualquer sistema está sempre pronto a transformar-se, sempre pronto a evoluir. Esse modelo básico de evolução, desenvolvido por Prigogine e seus colaboradores tendo em vista estruturas químicas dissipativas, tem sido aplicado com êxito para descrever a evolução de vários sistemas biológicos, sociais e ecológicos.

Há numerosas diferenças fundamentais entre a nova teoria sistêmica da evolução e a teoria neodarwiniana clássica. Na teoria clássica, a evolução avança para um estado de equilíbrio, com os organismos adaptando-se cada vez mais perfeitamente ao seu meio ambiente. De acordo com a visão sistêmica, a evolução se opera longe do equilíbrio e desenrola-se através de uma interação de adaptação

e criação. Além disso, a teoria dos sistemas considera que o meio ambiente é, em si mesmo, um sistema vivo capaz de adaptação e evolução. Assim, o foco transfere-se da evolução de um organismo para a co-evolução de organismo mais meio ambiente. A consideração dessa mútua adaptação e co-evolução foi negligenciada na visão clássica, e a ignorar fenômenos transacionais que são mutuamente condicionantes e transcorrem simultaneamente.

Jacques Monod viu a evolução como uma seqüência estrita de acaso e necessidade, o acaso de mutações randômicas e a necessidade de sobrevivência. Acaso e necessidade são também aspectos da nova teoria, mas seus papéis são muito diferentes. O reforço interno de flutuações e o modo como o sistema atinge um ponto crítico podem ocorrer aleatoriamente e são imprevisíveis, mas, uma vez atingido tal ponto crítico, o sistema é forçado a evoluir para uma nova estrutura. Assim, acaso e necessidade entram em jogo simultaneamente e atuam como princípios complementares. Além disso, a imprevisibilidade do processo todo não está limitada à origem da instabilidade. Quando mais o sistema distanciar do equilíbrio, mais opções existirão.

Quando o sistema se aproxima do ponto crítico, ele mesmo “decide” que caminho seguir, e essa decisão determinará sua evolução. A totalidade de possíveis vias evolutivas pode ser imaginada como um gráfico de múltiplas encruzilhadas com decisões livres em cada bifurcação.

Esse quadro mostra que a evolução é basicamente aberta e indeterminada. Não existe meta ou finalidade nela e, no entanto, há um padrão reconhecível de desenvolvimento. Os detalhes desse padrão são imprevisíveis por causa da autonomia que os sistemas vivos possuem em sua evolução, assim como em outros aspectos de sua organização. Na visão sistêmica, o processo de evolução não é dominado pelo “acaso cego”, mas representa um desdobramento de ordem e complexidade que pode ser visto como uma espécie de processo de aprendizagem, envolvendo autonomia e liberdade de escolha.

V. TEORIA COGNITIVISTA DE AUSUBEL E TEORIA SISTÊMICA DA VIDA

Começamos partindo do material selecionado do cap. 2 de Capra (“A máquina do mundo newtoniana”) e constante do nosso tópico III.

No final dos textos caprianos selecionados no tópico III, temos que uma das duas leis (a 2ª lei) da Termodinâmica Clássica ou de equilíbrio indica o critério universal de equilíbrio e espontaneidade em fenômenos naturais: crescimento da entropia em processos ocorrendo em sistemas isolados, o que é traduzido em termos mecanicistas (moleculares) e probabilísticos como um crescimento da ordem para a desordem, isto é, do mais para o menos complexo. Ou seja, poderíamos ter aí uma primeira aplicação concreta e trivial do método de aprendizagem ausubeliano: o professor de físico-química de 3º grau explica a 2ª Lei da “nova” termodinâmica clássica através da *âncora* de um modelo molecular vinculado a “velha” mecânica clássica ou newtoniana. Abrindo um parêntesis, lembramos que em química o significado de “explicar” quer dizer em última análise explicar os fenômenos e leis macroscópicas em termos de modelos microscópicos mecânicos, isto é, modelos moleculares; filosoficamente falando trata-se – nessa explicação - de um procedimento “mecanicista-reducionista”, bem enfatizado – e depois criticado - ao longo do cap. 2 de Capra, de onde selecionamos o material de nosso tópico III. Assim sendo poderíamos dizer que a âncora “fundamental” de qualquer “explicação” avançada (3º grau em diante) de fenômenos químicos são os modelos moleculares ou, mais profundamente, o conceito central da química: “estrutura molecular”. (Tostes, 1998).

No final do tópico III, no último parágrafo, Capra aponta para um dilema entre termodinâmica e vida, levantado no final do séc. XIX. Pela 2ª Lei da Termodinâmica o universo estaria evoluindo inexoravelmente no tempo para uma “morte térmica” (isto é, para um máximo de entropia e, portanto, de “desordem molecular”, estando então a matéria distribuída uniformemente). Já através da teoria de evolução biológica de Darwin, ao contrário, o universo vivo estaria evoluindo, no tempo, da desordem para a ordem, isto é, para estados de complexidade crescente. Parecia que física e biologia se opunham em seus respectivos processos evolutivos no tempo. No próximo parágrafo, passando para o cap. 9 de Capra (nosso tópico IV)

vamos ver como se está gerando, no final do séc. XX, uma solução para este aparente dilema e como poderemos então oferecer ao futuro professor um enfoque desta solução através da aprendizagem significativa ausubeliana.

No tópico IV, através de material selecionado do cap. 9 de Capra, é apresentada, ainda que de forma esquemática, a “nova” termodinâmica longe do equilíbrio, de Prigogine (também rotulada como “ciência do complexo”). De um ponto de vista ausubeliano podemos então dizer que a “velha” termodinâmica clássica funcionaria como uma âncora para aquela “nova” termodinâmica, alargando-se certos conceitos como “entropia” e “estabilidade”, esta última perfeitamente possível “longe do equilíbrio” (as famosas “estruturas dissipativas” de Prigogine, introduzidas no cap. 9 capriano). Na medida em que esta “nova” termodinâmica engloba a anterior, teríamos aí uma aprendizagem significativa por super-ordenação (ver o nosso tópico I). Note-se que nesta nova e mais ampla formulação, não existiria mais uma lei universal (entrópica) para processos espontâneos longe do equilíbrio.

O ponto central do material por nós selecionado do cap. 9 de Capra, olhado por uma “ótica” ausubeliana, é que a agora “velha” termodinâmica longe do equilíbrio serve como âncora para uma “nova” teoria sistêmica de organismos vivos e de sua evolução (o título do mencionado cap. 9 é “Teoria sistêmica da vida”). Capra procura mostrar com sua exuberante didática como esta conexão ou “ancoragem” resolve o aparente conflito anteriormente levantado entre termodinâmica e vida. Em particular, a termodinâmica “alargada” ou “sistêmica” permitiria compreender a emergência de complexidade dentro de uma outra perspectiva de processos espontâneos não isolados e não mais regidos por uma única lei ou tendência universal ao equilíbrio. Mais especificamente ainda a nova ciência do complexo seria capaz de explicar processos espontâneos onde se transita da desordem para a ordem em um sistema aberto (este é o caso, em especial, da vida). Como tal termodinâmica alargada engloba termodinâmica do equilíbrio e do não equilíbrio, partindo-se da “âncora” dessa termodinâmica alargada para o aprendizado da teoria sistêmica da vida, teríamos então uma aprendizagem significativa por *subordinação*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Procuramos aplicar de modo preliminar o método ausubeliano, “ ancorando ” primeiramente a “ nova ” termodinâmica do não equilíbrio à “ velha ” termodinâmica do equilíbrio, e em seguida “ ancorando ” a teoria sistêmica da vida àquela última termodinâmica, sempre através da seleção de trechos do texto “ Ponto de Mutação ” do físico F. Capra.

Apresentamos um resumo do método (construtivista) de aprendizagem significativa de Ausubel. Esperamos que ele venha a ser aplicado ao longo do nosso curso de Licenciatura; uma proposta didática é a do “ júri simulado ” (sugerida pelo Prof. Gerson do Carmo Tavares). Particularmente, este júri poderia ser aplicado ao caso acima onde uma nova Termodinâmica serve como “ âncora ” em Biologia.

Finalmente, esperamos que este trabalho venha a somar com um projeto mais amplo de se estender o ensino de teoria sistêmica da vida e de sistemas dissipativos em geral ao segundo grau. Conjeturamos que a introdução de tais temas no 3º e 2º graus está amadurecendo em função de condições históricas em curso, a saber, o agravamento da questão ambiental e a necessidade crescente de valorizarmos os seres vivos do planeta. É uma questão de nos anteciparmos e criarmos nosso próprio pensamento/método para trabalhar nestes temas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARAGÃO, R. M. R. (1976) Teoria da Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel. Tese de Doutorado, Campinas.

CAPRA, F. (1982) O Ponto de Mutação: A Ciência, a Sociedade e a Cultura emergente. 25ª edição. São Paulo: Pensamento.

CORDEIRO, C. C., A Teoria Cognitivista de Ausubel. Disponível em www.trendnet.com.br/users/hargento/cognitivismo.pdf > Acesso em 10 de junho de 2006.

FARIA, W. de. (1989) Aprendizagem e Planejamento de Ensino. São Paulo, Ática.

MARCO, A. M. MASINI, E. F. S. (1982) Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes.

PRIGOGINE, I., STENGERS, I. (1984) A Nova Aliança. Brasília: UNB.

TOSTES, J. G. R. (1998), Estrutura Molecular – o conceito fundamental da química. *Química Nova na Escola*, São Paulo, 7, 17 – 20.