

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE FÍSICA

**UM ENSINO FACILITADOR
DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA
DA TERMODINÂMICA BÁSICA**

JOSÉ LUIS DE PAULA BARROS SILVA

SALVADOR

1999

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE FÍSICA

UM ENSINO FACILITADOR
DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA
DA TERMODINÂMICA BÁSICA

JOSÉ LUIS DE PAULA BARROS SILVA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Física
da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do grau de
MESTRE EM FÍSICA

PROFA. YUKIMI H. PREGNOLATTO

ORIENTADORA

SALVADOR

1999

53:541.11

S586 Silva, José Luis de Paula Barros,

Um ensino facilitador da aprendizagem significativa da Termodinâmica básica / José Luis P. B. Silva. -- Salvador : IF/UFBA, 1999.

210p. il

Inclui apêndices.

Dissertação (mestrado) – Instituto de Física, UFBA.

Orientadora: Yukimi H. Pregnotatto.

1. Física – ensino 2. Termodinâmica – ensino.

I. Yukimi H. Pregnotatto. II. Universidade Federal da Bahia. III.

Título

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas nos incentivaram, apoiaram e ajudaram durante este percurso. Queremos agradecer especialmente a

Marco Antonio Moreira, do Instituto de Física da UFRGS;

Amin Bassrei, Artur Mattos Neto, Hélio Silva Campos, Maria Cristina Mesquita Martins, Maria das Graças Reis Martins, Nelson Andion e Olival Freire Jr., do Instituto de Física da UFBA;

Ana Hilda Fonseca, Antônio Reis Cerqueira, Humberto Testagrossa e Maria do Carmo Rangel Varela, do Instituto de Química da UFBA;

Esdras Santana dos Santos e Roberto Rivelino de Melo Moreno, colegas do Curso de Pós-Graduação em Física da UFBA.

Agradecemos mui especialmente, aos nossos alunos da disciplina Físico-Química I,

a Yukimi H. Pregnoatto, orientadora,

e a Osmália Ferreira de Paula e Silva, companheira,

pelo tanto que fizeram, tornando possível a realização do nosso trabalho.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	7
	RESUMO	9
	ABSTRACT	10
	CAPÍTULO 1	11
1	INTRODUÇÃO	13
	CAPÍTULO 2	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA	23
2.1	TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	25
2.1.1	Aprendizagem significativa	29
2.1.2	Assimilação	32
2.1.3	Diferenciação progressiva e reconciliação integradora	37
2.2	O MODELO DE ENSINO DE GOWIN	39
2.3	MAPAS CONCEITUAIS	43
2.4	UM ENSINO FACILITADOR DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	49
	CAPÍTULO 3	57
3	METODOLOGIA	59
3.1	DISCIPLINA, ALUNOS E PROFESSOR	60
3.2	CONTEÚDOS DA TERMODINÂMICA BÁSICA E MATERIAIS INSTRUCIONAIS	61
3.3	IDENTIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO DOS ALUNOS	72
3.4	METODOLOGIA DE ENSINO	75
3.4.1	Aulas expositivas e organização seqüencial dos conteúdos	75
3.4.2	Aulas de discussão de problemas	79

3.4.3	Avaliação de aprendizagem	84
	CAPÍTULO 4	89
4	RESULTADOS	91
4.1	CONCEITOS DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA PRÉVIOS AO ENSINO	92
4.1.1	Conceito de energia	92
4.1.2	Conceito de energia interna	100
4.1.3	Conceito de trabalho	105
4.1.4	Conceito de calor	112
4.2	MAPAS CONCEITUAIS	121
4.2.1	Mapas conceituais prévios ao ensino	121
4.2.2	Mapas conceituais posteriores ao ensino	136
4.3	RESOLUÇÕES DE PROBLEMAS	148
4.3.1	Resoluções de problemas prévias ao ensino	148
4.3.2	Resoluções de problemas posteriores ao ensino	156
	CAPÍTULO 5	181
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	183
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189
	APÊNDICE 1	197
	APÊNDICE 2	217
	APÊNDICE 3	225
	APÊNDICE 4	233

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1	Dimensões da aprendizagem	28
FIGURA 2-2	Mapa conceitual sobre conservação da energia	44
FIGURA 2-3	Mapa conceitual sobre mapas conceituais	47
FIGURA 3-1	Princípios da termodinâmica	62
FIGURA 3-2	Conservação da energia	63
FIGURA 3-3	Diferenciação da conservação da energia	65
FIGURA 3-4	Transferência de energia	66
FIGURA 3-5	Sistemas termodinâmicos	67
FIGURA 3-6	Equilíbrio termodinâmico	68
FIGURA 3-7	Conceitos básicos para formalização da termodinâmica	69
FIGURA 3-8	Processos termodinâmicos	70
FIGURA 3-9	Entropia	71
FIGURA 4-1	Concepções dos alunos sobre energia	93
FIGURA 4-2	Concepções dos alunos sobre energia interna	100
FIGURA 4-3	Concepções dos alunos sobre trabalho	106
FIGURA 4-4	Concepções dos alunos sobre calor	114
FIGURA 4-5	Exemplos de estruturas conceituais	125
FIGURA 4-6	Estrutura conceitual da categoria 1	126
FIGURA 4-7	Estruturas conceituais da categoria 2	128
FIGURA 4-8	Estruturas conceituais da categoria 3	131
FIGURA A4-1	Mapa conceitual do aluno F5	235
FIGURA A4-2	Mapa conceitual do aluno K4	237

FIGURA A4-3	Mapa conceitual do aluno Tr5	239
FIGURA A4-4	Mapa conceitual do aluno A4	241
FIGURA A4-5	Mapa conceitual do aluno Je5	243
FIGURA A4-6	Mapa conceitual do aluno Is5	245
FIGURA A4-7	Mapa conceitual do aluno W4	247
FIGURA A4-8	Mapa conceitual do aluno Ap4	249
FIGURA A4-9	Mapa conceitual do aluno Ar8	251
FIGURA A4-10	Mapa conceitual do aluno Rd8	253
FIGURA A4-11	Mapa conceitual do aluno CA4	255
FIGURA A4-12	Mapa conceitual do aluno Rm8	257
FIGURA A4-13	Mapa conceitual do aluno AM4	259
FIGURA A4-14	Mapa conceitual do aluno AI5	261

RESUMO

A aprendizagem da termodinâmica, nos diversos níveis de ensino, é um problema que tem sido objeto de estudo em todo o mundo. Embora a aprendizagem seja uma atividade própria dos alunos, o professor pode facilitar-lhes a captação dos significados a aprender através do ensino que pratica.

Com o propósito de reduzir as dificuldades de aprendizagem de alunos universitários dos cursos de formação de profissionais da Química, formulamos uma proposta de ensino da termodinâmica básica, fundamentada na teoria da aprendizagem significativa e no modelo de ensino de Gowin. A proposta foi experimentada em condições reais de sala de aula.

Os resultados obtidos demonstram que o ensino facilitou a aprendizagem significativa da termodinâmica. Especificamente, os alunos manifestaram mudanças em relação à compreensão da energia, considerando-a como o conceito mais geral da termodinâmica, possuindo características de armazenagem, transferência e multifunção. Estabeleceram os conceitos de energia interna, calor e trabalho como formas de energia, diferenciando-os progressivamente em energia armazenada nos sistemas (energia interna) e em formas de transferir energia (calor e trabalho).

Os alunos desenvolveram a capacidade de discutir os processos termodinâmicos tanto de maneira qualitativa, quanto matemática. Desse modo, aprenderam a resolver problemas explicando claramente o raciocínio empregado.

ABSTRACT

The learning of thermodynamics, from highschool to university, is a subject that has been studied around the world. Although learning is a student task, teachers can make easier for students to grasp meaning by their teaching practice.

With the goal to decrease learning difficulties of undergraduate students of chemistry and related courses, we made a proposal of teaching basic thermodynamics founded on the meaningful learning theory and the Gowin's teaching model. The proposal was tested in actual classroom environment.

The results show evidence of student's meaningful learning of thermodynamics induced by our teaching. Specifically, they change their conceptions of energy, understanding it as the more general concept of thermodynamics, with characteristics of storage, transfer and multiforming. They established the concepts of internal energy, heat and work as energy forms, making progressive differentiation between stored energy in the systems (internal energy) and energy transfer forms (heat and work).

The students improved their ability to discuss thermodynamic processes, both in qualitative and mathematical basis. In this way, the students have learned how to solve problems clearly explaining the reasoning employed.

Capítulo 1
INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação apresenta uma proposta de ensino fundamentada na teoria da aprendizagem significativa e no modelo de ensino de Gowin e os resultados da investigação de sua eficácia na facilitação da aprendizagem significativa de conceitos da primeira lei da termodinâmica.

O trabalho se iniciou com o propósito de buscar soluções viáveis para uma situação específica: a dificuldade de aprendizagem da termodinâmica manifestada por estudantes universitários de química e engenharia química da Universidade Federal da Bahia. Tomamos como evidência dessa dificuldade o fato de que no período de 1981 a 1986, apenas trinta por cento (30%) dos alunos matriculados lograram aprovação na disciplina Físico-Química I, de acordo com os boletins de notas.

Nos currículos dos cursos de profissionais da química da UFBA, os conteúdos fundamentais da termodinâmica estão distribuídos em quatro disciplinas: Física Geral e Experimental II-E, Química Geral II, Físico-Química I e Físico-Química II. De caráter introdutório, as disciplinas de Física Geral e Química Geral são requisitos para a Físico-Química I, que é seqüenciada em Físico-Química II.

Um fato notável foi a superposição de conteúdos da termodinâmica observada ao compararmos os programas dessas disciplinas. Do ponto de vista curricular, seria desejável uma integração maior das disciplinas, com redução ou eliminação da superposição de conteúdos. Entretanto, os alunos egressos das disciplinas de Física Geral e Experimental II-E e Química Geral II, revelavam pouco conhecimento termodinâmico, sugerindo a necessidade de se repetir o ensino dos princípios da termodinâmica na disciplina de Físico-Química seguinte. A repetição, contudo, não resolvia o problema de aprendizagem, pois, os alunos aprovados em Físico-Química I apre-

sentavam também, conceitos termodinamicamente incorretos e dificuldades na resolução de problemas quando cursavam Físico-Química II.

Os professores atribuíam o fato à dificuldade intrínseca da termodinâmica, à insuficiente dedicação dos alunos ao curso, à “falta de estímulo para o estudo contínuo, fundamental para um bom desempenho, devido ao fato de se dar em cadeia o desenvolvimento do conteúdo programático da disciplina” [1]. Discordamos desta interpretação. Consideramos a hipótese de que o ensino praticado na disciplina contribuía para as dificuldades de aprendizagem manifestadas pelos alunos. Como consequência, um outro ensino que considerasse essas dificuldades poderia facilitar-lhes a aprendizagem da termodinâmica.

Tradicionalmente, o ensino da termodinâmica tem se voltado para a exposição dos resultados da teoria, em lugar do entendimento da construção teórica. O reconhecimento do problema do dogmatismo no ensino das ciências não é novo. Em 1933, Langevin alertava [2]:

“Os conhecimentos atuais são apresentados (...) sob uma forma dogmática: aprende-se as leis, as fórmulas que as traduzem e depois sua utilização. (...) O ensino dogmático é frio, estático e acaba dando a impressão, absolutamente falsa, de que a ciência é uma coisa morta e definitiva. (...) Acreditar que temos apenas conclusões a tirar de princípios definitivamente adquiridos é uma idéia absolutamente errada que põe em perigo o valor educativo do ensino científico”.

[1] PROJETO DE AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA QUI013 FÍSICO-QUÍMICA I. Salvador : Depto. de Físico-Química da UFBA, [1988?]. Não publicado.

[2] LANGEVIN, Paul. O valor educativo da história das ciências. *Revue de Synthèse*, tomo VI, n.1, avr.1933. Tradução não publicada.

Esse traço dogmático, porém, não se realiza sozinho: é acompanhado do ensino autoritário. O autoritarismo impede o questionamento, as discussões e debates acerca da pluralidade de interpretações dos fenômenos. O professor, em seu papel de autoridade, se impõe como o detentor do saber e as leis das ciências assumem foros de verdades definitivas. A palavra do professor e os conteúdos dos livros-textos são inquestionáveis. Em lugar de educativo, o ensino passa a ser doutrinário.

O ensino dos resultados da termodinâmica apenas, produz uma falsa concepção do processo de produção do conhecimento científico: é como se as idéias científicas já nascessem prontas, acabadas. Descoberta científica passa a ser sinônimo de desvelamento da natureza, como se o conhecimento estivesse posto em algum lugar, pronto, em forma final, à espera de um descobridor, que num lance genial percebe a verdadeira natureza das coisas. O ensino tradicional, além de dogmático e autoritário, é mitificador.

A falsa idéia de que as ciências são feitas por indivíduos excepcionais pode induzir os alunos, que são pessoas normais, a considerar a tarefa de aprendizagem como muito difícil, pois apenas gênios podem compreender coisas geniais. Então, na ausência da possibilidade de compreender, lhes restaria aprender de modo textual: as verdades científicas seriam memorizadas sem qualquer crítica. Os conhecimentos científicos seriam armazenados de forma arbitrária [3], literal; os conceitos não passariam de asserções de conhecimento isoladas, sem maior significado; as teorias não seriam mais que um amontoado de enunciados, todos com o mesmo peso, sem qualquer hierarquia [4]. A aprendizagem tornar-se-ia mecânica.

A dogmatização do ensino esconde o fato de que as ciências, em geral, e a

[3] OTERO, J. C. Assimilation problems in traditional representations of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, v.7(4), p.361-370, 1985.

[4] WANDERSEE, J. H. The historicity of cognition: implications for science education research. *Journal of Research in Science Teaching*, v.29(4), p.423-434, 1992.

termodinâmica, em particular, são corpos de conhecimentos estruturados, com articulações entre suas diversas partes. Esconde que os fenômenos estudados pela termodinâmica podem ser descritos de diversos modos e em mais de um nível de detalhe. A ignorância dos alunos sobre a construção teórica conduz a que, na leitura dos enunciados dos problemas, não se busque as relações entre os significados dos conceitos termodinâmicos e matemáticos envolvidos. Em seu lugar são estabelecidas associações entre termos técnicos e expressões matemáticas que se transformam em regras. Os alunos tentam resolver um problema “procurando um algoritmo que se ajuste à sua interpretação da questão” [5].

Outro ponto complicador presente no ensino tradicional, é a concepção de que o conhecimento científico é fruto apenas da experiência. O objeto real, posto na natureza, imprimiria seu conteúdo na mente do cientista, por intermédio de observações e medições, produzindo o objeto científico. Para tanto, seria preciso despojar a mente de todo conhecimento teórico, subjetivo, para deixar penetrar o conhecimento objetivo através dos sentidos ou suas extensões. Ora, se é assim que os cientistas aprendem ciência, assim os alunos devem aprender: o professor transmite os ensinamentos que os alunos devem absorver passivamente, procurando esquecer tudo que já sabiam a respeito do assunto. Como não se permite questionamento acerca da matéria de ensino, resta aos alunos aprender do único modo possível: mecanicamente.

Em suma, para quem ensina tradicionalmente, o conhecimento existe na natureza, independentemente das pessoas. Cabe ao professor transmitir os conhecimentos acumulados; os alunos devem esvaziar suas mentes para receber, sem questionamentos, as novas informações. A aprendizagem consiste no armazena-

[5] FRANK, David V. BAKER, Claire A., HERRON, J. Dudley. Should students always use algorithms to solve problems? *Journal of Chemical Education*, v.64(6), p.514-515, 1987. p. 514.

mento literal de informações, associadas de modo arbitrário. O conhecimento anterior do aluno não é considerado. As avaliações procuram identificar a exatidão com que o material foi absorvido.

Segundo a visão tradicional, portanto, não haveria problema de ensino a resolver. O baixo índice de aprovação em Físico-Química I seria uma conseqüência natural da dificuldade da termodinâmica, aliada à falta de preparo e de estudo dos alunos.

Entretanto, a avaliação da disciplina realizada em 1988, revelou que as aulas não despertavam o interesse pelo assunto, havia falta de clareza no ensino dos conceitos, o tempo para o ensino do conteúdo era considerado insuficiente, faltava integração entre aulas teóricas e práticas, as avaliações eram inadequadas [6]. Os alunos ainda reclamavam do elevado número de fórmulas matemáticas a memorizar para resolver as questões das provas. A insatisfação dos alunos em relação à Físico-Química I era clara.

Considerando a hipótese de que o ensino poderia contribuir para a aprendizagem da termodinâmica, optamos por reformulá-lo. No período de 1987 a 1990, introduzimos várias modificações em nosso modo de ensinar. Primeiro, buscamos outro tipo de relação professor-aluno em sala de aula, abrindo espaço para a discussão das dificuldades de aprendizagem e propostas de soluções. De início, somente alguns poucos estudantes acreditaram em nossos propósitos de melhoria do ensino. Porém, à medida que suas críticas e sugestões foram sendo aceitas, adquirimos credibilidade, até que conseguimos atingir uma relação transparente, na qual os papéis do professor e dos alunos ficaram bem estabelecidos.

[6] AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA QUI013 FÍSICO-QUÍMICA I. Salvador : Depto. de Físico-Química da UFBA, 1988. Não publicado.

Paralelamente à reconstrução da relação professor-aluno, preparamos materiais instrucionais [7] com a finalidade de elucidar tópicos pouco claros na bibliografia recomendada da disciplina. Os conteúdos foram reorganizados em outra seqüência onde as equações das funções termodinâmicas eram desenvolvidas em conjunto, enfatizando a similaridade do tratamento formal [8].

Reformulamos os objetivos específicos da disciplina e esclarecemos aos alunos os critérios empregados nas avaliações de aprendizagem, coerentes com os objetivos propostos. Cuidamos da redação das questões buscando a máxima clareza possível, de modo a minimizar erros de interpretação, muito numerosos naquela época.

Incentivamos a discussão nas aulas teóricas, que eram apenas expositivas. Modificamos o ensino nas aulas de discussão de problemas: em lugar de expormos soluções prontas, passamos a discutir as resoluções propostas pelos alunos de acordo com os critérios definidos para as avaliações de aprendizagem, orientando, questionando, procurando mostrar como aplicar a teoria aos casos particulares em foco.

Com a introdução dessas modificações no ensino, a taxa de aprovação na disciplina elevou-se à faixa dos sessenta por cento (60%) dos alunos matriculados e não retornou ao antigo índice; a insatisfação dos alunos com a disciplina diminuiu sensivelmente. Entretanto, observamos que alunos aprovados apresentavam dificuldades no emprego da teoria termodinâmica na disciplina subsequente, demonstrando aprendizagem inadequada. Embora as mudanças realizadas no ensino tivessem

[7] SILVA, José Luis P. B. Emprego de modelos no ensino da físico-química. *Anais do 3º Encontro de Química do Nordeste*. Salvador : SBQ/UFBA/UNEB, 1987. p. 90. SILVA, José Luis P. B. Emprego de modelos no ensino da físico-química. II . *5º Encontro Nacional de Ensino de Química*. Porto Alegre - RS, 1990. Livro de resumos, p. 10. SILVA, José Luis P. B. Variações isotérmicas das funções termodinâmicas de fases condensadas. *5º Encontro Nacional de Ensino de Química*. Porto Alegre - RS, 1990. Livro de resumos, p. 9.

[8] SILVA, José Luis P. B. Roteiro para estudo da termodinâmica de sistemas unicomponentes. *Anais do 4º Encontro de Química do Nordeste*. Aracaju : SBQ/UFS, 1989. p. 56.

melhorado o ambiente em sala de aula e eliminado alguns obstáculos à aprovação, não davam conta das dificuldades de aprendizagem, de modo que procuramos equacionar o problema da aprendizagem da termodinâmica com base na teoria da aprendizagem significativa [9].

A opção pela teoria da aprendizagem significativa se explica pela concordância que experimentamos com os conceitos ali expostos. A concepção de aprendizagem como estabelecimento de relações entre conhecimento novo e conhecimento prévio, o conceito de estrutura cognitiva organizada hierarquicamente, os mecanismos de assimilação de significados, entre outras idéias, possuem grande poder explicativo dos processos que ocorrem com os alunos em sala de aula.

Por outro lado, entendendo-se que a função primordial do ensino é facilitar a aprendizagem, a teoria da aprendizagem significativa proporciona uma boa orientação para por-se em prática o modelo de ensino de Gowin [10] que posteriormente, passamos a adotar.

Esta dissertação trata, portanto, da formulação e da aplicação de uma proposta construtivista de ensino da termodinâmica que tem por base a teoria da aprendizagem significativa e o modelo de ensino de Gowin. A proposta foi experimentada em condições normais de sala de aula e os resultados são bons.

No próximo capítulo serão discutidos os fundamentos teórico-metodológicos a partir dos quais baseamos nossa proposta: a teoria da aprendizagem significativa, o modelo de ensino de Gowin e os mapas conceituais. A seguir, examinaremos as contribuições do conteúdo de cada seção para um ensino facilitador da aprendizagem significativa.

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

[10] GOWIN, D. Bob. *Educating*. Ithaca, NY : Cornell University Press, 1981.

No capítulo três, apresentaremos os aspectos metodológicos da pesquisa: o campo de trabalho, a estrutura conceitual da termodinâmica, os instrumentos de investigação dos conhecimentos dos alunos, a metodologia de ensino e os critérios de avaliação de aprendizagem.

No capítulo quatro discutiremos os conhecimentos explicitados pelos alunos prévia e posteriormente ao ensino da termodinâmica e procuraremos demonstrar que as mudanças observadas foram facilitadas por nossa prática de ensino.

Por fim apresentaremos nossas considerações finais, examinando algumas possibilidades de desenvolvimento do trabalho relatado.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO

TEÓRICO-METODOLÓGICA

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

Neste capítulo, apresentaremos os fundamentos teórico-metodológicos do nosso trabalho. Na primeira seção, trataremos da teoria da aprendizagem significativa; na segunda, descreveremos o modelo de ensino de Gowin; a seguir, introduziremos a técnica de mapeamento conceitual; por fim, reuniremos esses referenciais em uma proposta de ensino facilitadora da aprendizagem significativa.

A teoria da aprendizagem significativa teve seu início nos trabalhos de David Ausubel. A publicação da teoria, em 1963, foi importante na interpretação dos resultados de pesquisa de Joseph Novak que, juntamente com seus colaboradores incorporaram-na e ampliaram-na em seus estudos [11]. No Brasil, a teoria da aprendizagem significativa tem em Marco Antonio Moreira seu representante máximo [12], que a vem utilizando em estudos sobre ensino de ciências há mais de vinte anos.

A teoria da aprendizagem significativa está voltada para a aprendizagem em sala de aula. Esta intenção explícita a distingue de teorias comportamentalistas que buscam extrapolar resultados de estudos em laboratório para as situações de aprendizagem escolar, sem levar em conta a realidade das relações que se estabelecem em classe e sem considerar a natureza do conteúdo a ser aprendido [13].

A teoria da aprendizagem significativa é construtivista, já que admite o pressuposto de que as pessoas constroem, individual e coletivamente, suas idéias sobre o mundo [14]. O conhecimento não é algo imposto às pessoas, vindo de fora, mas,

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

[12] MOREIRA, Marco Antonio. *Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física*. Porto alegre : EDUFRGS, 1983.

[13] AUSUBEL, Op. Cit. p. 3.

[14] NOVAK, J. D. Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, v.6(3), p.213-223, 1988.

resultante de um processo de construção de relações entre idéias que tem como produto os significados. O construtivismo é epistemologicamente oposto ao positivismo repudiando, em conformidade, a psicologia comportamentalista. Sob a denominação construtivista abrigam-se estudos fundamentados nas idéias de Piaget, Ausubel, Novak, Gowin, Kelly, Vygotsky, Driver, entre outros. Resnick [15] resumiu de forma brilhante os princípios consensuais do atual construtivismo:

“Aprendizes constróem significados. Não reproduzem simplesmente o que lêem ou o que se lhes ensina. Os aprendizes buscam significados nos eventos do mundo, mesmo na ausência de informação completa. Isto implica em que teorias ingênuas serão sempre construídas como parte do processo de aprendizagem.”

“Compreender algo é estabelecer relações. O conhecimento humano é armazenado de forma agrupada e organizado em esquemas que as pessoas usam para interpretar situações familiares e raciocinar sobre novas situações. Fragmentos de informações isolados dessas estruturas são esquecidos ou tornam-se inacessíveis à memória.”

“Toda aprendizagem depende de conhecimento prévio. Os aprendizes tentam relacionar a nova informação com aquelas que possuem no sentido de interpretar o novo material em termos dos esquemas estabelecidos. É por isso que os estudantes interpretam demonstrações científicas em termos de suas teorias ingênuas e por isso mantêm tais teorias por tanto tempo.”

[15] RESNICK, Lauren B. Mathematics and science learning: a new conception. *Science*, v.220, p.477-478, 1983.

Ao longo deste capítulo mostraremos que tais princípios derivam, em grande parte, da teoria da aprendizagem significativa.

O modelo de ensino de Gowin [16] apresenta grande afinidade com a teoria da aprendizagem significativa. Ambos postulam a ausência de causalidade necessária entre ensino e aprendizagem: o ensino é da competência do professor, enquanto a aprendizagem só pode ser realizada pelo aluno. O ensino é apenas um dos fatores a afetar a aprendizagem. A concepção dos significados como construções sociais é determinante do planejamento das atividades em sala de aula, quando a perspectiva é a aprendizagem de significados.

O mapeamento conceitual [17] é uma técnica que nos permite revelar as estruturas conceituais dos conhecimentos. Em nossa investigação eles foram empregados no planejamento do ensino e para fins de avaliação. São bastante úteis como complemento das tradicionais provas de resolução de problemas.

Com base nos conceitos apresentados nas seções anteriores, discutiremos uma proposta de ensino facilitadora da aprendizagem significativa.

2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A teoria da aprendizagem significativa tem orientação cognitivista, à medida que busca explicar os processos de aquisição, transformação, armazenamento, re-

[16] GOWIN, D. Bob. *Educating*. Ithaca, NY : Cornell University Press, 1981.

[17] MOREIRA, Marco Antonio, BUCHWEITZ, Bernardo. *Mapas conceituais*. São Paulo : Moraes, 1987.

cuperação e emprego das informações, embora considere a importância dos fatores afetivo-sociais na aprendizagem [18].

A primeira idéia fundamental da teoria da aprendizagem significativa é que cada indivíduo possui um corpo organizado de conhecimentos, denominado estrutura cognitiva.

De fato, ao longo da existência as pessoas adquirem conhecimentos que utilizam em situações posteriores. Esta possibilidade de acesso às informações armazenadas e seu emprego em situações diversas àquelas em que as informações foram adquiridas, revela a existência de relações entre os conhecimentos. As relações entre as informações provêm uma estrutura para o todo, daí a denominação estrutura cognitiva. Entende-se a organização da estrutura cognitiva como hierarquizada, onde estruturas com significados mais amplos, gerais, incluem outras com significados específicos [19].

A estrutura cognitiva é passível de modificação tanto de conteúdo, quanto de organização, à medida que novas informações que podem ser inseridas vão estabelecer relações com os conhecimentos ali contidos e provocar a alteração das relações pré-existentes [20]. Por outro lado, pode também ocorrer modificação da estrutura cognitiva por esquecimento (ver processo de assimilação, adiante).

A segunda idéia fundamental é que aprendizagem ocorre pelo relacionamento dos conhecimentos novos, a aprender, com os conhecimentos já possuídos pelo indivíduo [21].

As relações podem ser substantivas (essenciais, não-literais) e não-arbitrárias (coordenadas), originando novos significados por interação do conhecimento novo

[18] AUSUBEL, Op. Cit. p. 24-26.

[19] AUSUBEL, Op. Cit. p. 20-25; MOREIRA, *Uma abordagem...* p. 18.

[20] AUSUBEL, Op. Cit., p. 138

[21] Esta idéia é inferida do texto de Ausubel, uma vez que este não explicita o conceito de aprendizagem em termos gerais, mas apenas dos tipos de aprendizagem.

com o conhecimento prévio, o que caracteriza a aprendizagem significativa. Ou podem se constituir em associações literais e arbitrárias, simples adição de informação sem produção de significados, resultando em aprendizagem mecânica ou automática [21].

Esses dois tipos de aprendizagem não são mutuamente excludentes. Um indivíduo pode iniciar uma tarefa de aprendizagem de modo mais próximo do mecânico (por exemplo, gravando expressões matemáticas com a finalidade de resolver problemas) e posteriormente assimilar os significados daquele assunto (os significados das expressões matemáticas que havia memorizado mecanicamente). Por isso, pode-se pensar em uma dimensão da aprendizagem em que é possível passar continuamente da aprendizagem mecânica à significativa.

Cabe distinguir também, entre aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta. No primeiro caso a informação é apresentada na forma que se julga adequada à aprendizagem. Ao aluno compete estabelecer as relações entre o que se lhe é apresentado e o conhecimento que possui, realizando as necessárias reorganizações de estrutura cognitiva, de modo a integrar a nova informação de modo harmônico.

Na aprendizagem por descoberta a informação a ser aprendida não é apresentada ao aluno mas, deve ser descoberta por ele para, então, ser relacionada à sua estrutura cognitiva.

Embora a aprendizagem por descoberta seja um processo psicológico mais complexo que a aprendizagem por recepção, é preponderante nos primeiros anos de vida dos seres humanos pois, muito do conhecimento adquirido nessa fase é por experiência empírico-concreta. A aprendizagem receptiva desenvolve-se juntamente com a linguagem, passando a dominar quando a criança torna-se capaz de assimilar

[21] AUSUBEL, Op. Cit., p.23; MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 20-22.

conhecimento veiculado de modo verbal e escrito [22].

A aprendizagem receptiva e a aprendizagem por descoberta estabelecem uma outra dimensão da aprendizagem, independente da dimensão mecânico-significativa, pois o modo como a informação chega ao aluno não determina que relações ele irá estabelecer entre o novo conteúdo e sua estrutura cognitiva. A independência das duas dimensões de aprendizagem revela o equívoco de uma crença bastante difundida: que a aprendizagem receptiva é necessariamente mecânica, enquanto a aprendizagem por descoberta é invariavelmente significativa. De fato, tanto a aprendizagem receptiva quanto a aprendizagem por descoberta podem ser mecânicas ou significativas. A Figura 2-1 ilustra a ortogonalidade das duas dimensões de aprendizagem [23].

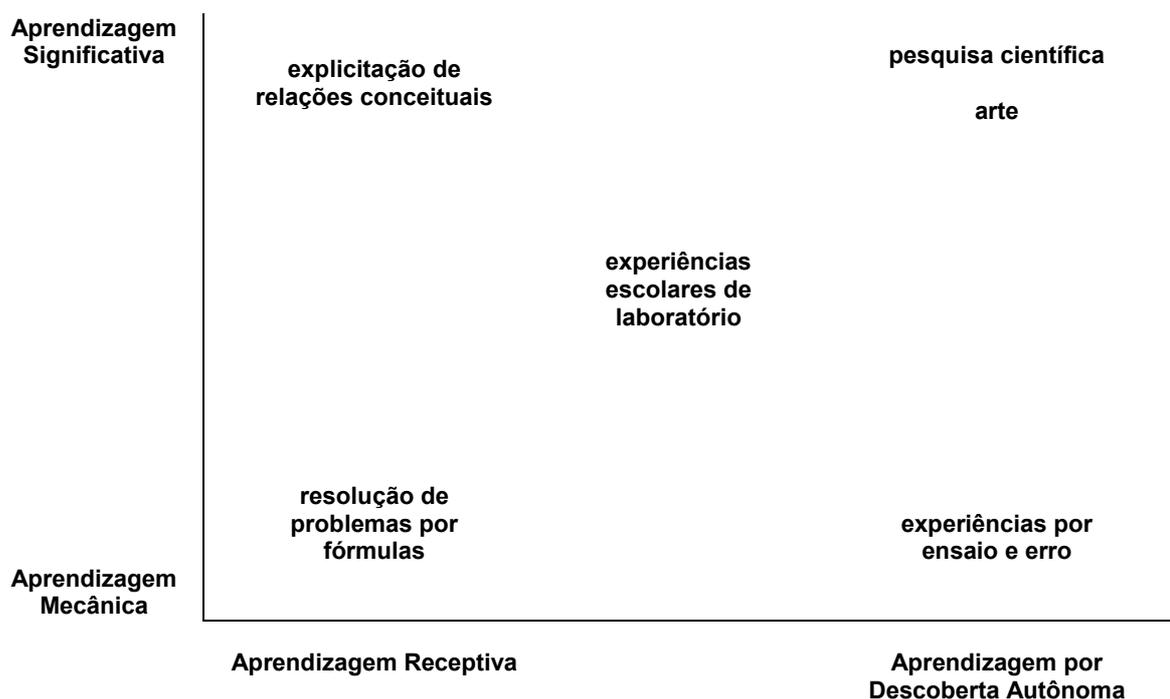


FIGURA 2-1: DIMENSÕES DA APRENDIZAGEM

[22] NOVAK, J. D. Ayudar los alumnos a aprender como aprender. *Enseñanza de las Ciencias*, v.9(3), p. 215-228, 1991. p. 217

[23] AUSUBEL, Op. Cit. p. 20-23.

Embora uma parte da aprendizagem escolar possa ser mecânica, como a aprendizagem de termos científicos e símbolos, ela é preponderantemente significativa, embora não necessariamente correta do ponto de vista da matéria de ensino. As associações arbitrárias e literais que caracterizam a aprendizagem mecânica constituem entidades discretas e relativamente isoladas em relação aos sistemas de significados dos alunos. Por isso, não alteram a estrutura cognitiva de modo a facilitar a aquisição significativa de mais conhecimento e são facilmente esquecidas. Considerando o fato de que os alunos adquirem a capacidade de relacionar informações significativamente em quantidade cada vez maior ao longo do tempo, fica claro que a aprendizagem escolar por excelência é a aprendizagem significativa. Interessamos, enquanto professores, a aprendizagem significativa, que discutiremos a seguir.

2.1.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A aprendizagem significativa caracteriza-se pelo estabelecimento de relações substantivas e não-arbitrárias entre a nova informação e a estrutura cognitiva. Substantivas no sentido de essencial, não-literal, já que não são os termos textuais da informação em si, mas, os diversos aspectos do seu conteúdo, que se relacionam com os significados pré-existentes. Não-arbitrárias porque a relação se estabelece entre os vários aspectos da nova informação e idéias similares e opostas, mais gerais e mais específicas da estrutura cognitiva, ou seja: aspectos relevantes para a incorporação do conhecimento novo, denominados idéias-âncoras. Como resultado da interação, tanto o material a ser aprendido quanto as idéias-âncoras se modifi-

cam, dando lugar ao significado psicológico da informação, assimilado à estrutura cognitiva.

O primeiro requisito para a ocorrência da aprendizagem significativa é a disposição do aluno para sua realização. É preciso um esforço consciente para estabelecer relações substantivas e não-arbitrárias entre a nova informação e sua estrutura cognitiva. Faz-se necessário identificar os conceitos presentes na nova informação, seus atributos, como se relacionam entre si e com os conceitos já conhecidos, para atingir a “memorização compreensiva” do material de aprendizagem [24]. Entretanto, se o aluno estiver determinado a memorizar mecanicamente os novos conhecimentos, tanto o processo quanto o produto da aprendizagem serão mecânicos.

Em segundo lugar, é preciso que o material de aprendizagem possua significado lógico — caracterizado por uma estrutura não-arbitrária onde os símbolos utilizados possuam valor cultural — para que seja possível o estabelecimento de relações substantivas e não-arbitrárias “com as idéias correspondentemente relevantes que se encontram dentro do domínio da capacidade intelectual humana” [25]. Os conteúdos das disciplinas acadêmicas são produtos da experiência humana e como tais, passíveis de serem aprendidos significativamente.

A existência de significado lógico assegura que o material é passível de aprendizagem por, ao menos, alguns seres humanos. Para que um aluno específico — que apresente uma atitude direcionada à aprendizagem significativa e esteja exposto a um material logicamente significativo — aprenda significativamente, é necessário que disponha de idéias-âncoras claras, estáveis e bem elaboradas, para o

[24] COLL, C., GALLART, I. S. I. La importancia de los contenidos en la enseñanza. *Investigación en la escuela*, v.3, p. 19-27, 1987.

[25] AUSUBEL, Op. Cit. p. 35.

estabelecimento das relações desejadas, sem o que torna-se impossível a integração da nova informação à sua estrutura cognitiva. Segundo Ausubel [²⁶]:

“Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Determine isso e ensine-o de acordo.”

O desenvolvimento das investigações acerca das concepções dos alunos viria a fortalecer a evidência empírica deste princípio da teoria da aprendizagem significativa e transformá-lo em um dos conceitos fundamentais do atual consenso construtivista.

O significado lógico do conhecimento novo e a disponibilidade de idéias-âncoras na estrutura cognitiva do aluno compõem o potencial significativo do material de aprendizagem.

Uma diferença importante a ressaltar ocorre entre significados lógico e psicológico. O primeiro é uma característica do material de aprendizagem. Se a informação é passível de aprendizagem significativa por alguns seres humanos, ao menos, ela é logicamente significativa. Significado lógico é um conceito associado à capacidade intelectual humana em sentido abrangente.

O significado psicológico, por sua vez, é produto da interação entre a informação logicamente significativa e a estrutura cognitiva de um dado indivíduo. É o produto de uma experiência particular. Embora os conhecimentos adquiridos possuam uma componente socialmente determinada, passível portanto de ser compartilhada por diversos indivíduos dentro da mesma cultura, o processo de assimilação do co-

[²⁶] Apud MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 18

nhcimento envolve aspectos da experiência individual que lhe atribuem caracteres idiossincráticos. O significado psicológico é o produto idiossincrático da aprendizagem significativa [27].

A disposição para a aprendizagem significativa e o potencial significativo do material são, ambos, condições necessárias complementares. Isoladamente são insuficientes, pois a aprendizagem significativa não ocorrerá se o aluno se dispuser a aprender mecanicamente um material potencialmente significativo, ou se o material não possuir potencial significativo, apesar do aluno se dispor a aprender significativamente.

2.1.2 ASSIMILAÇÃO

A aprendizagem significativa “ocorre por meio de uma interação entre o novo conteúdo e aquele já adquirido. O resultado da interação, que ocorre entre o novo material e a estrutura cognitiva existente, é a assimilação dos significados velhos e novos, dando origem a uma estrutura mais altamente diferenciada” [28]. Portanto, a assimilação é um processo interno que culmina na produção de significado. Porém, a assimilação continua após a conclusão da aprendizagem, conduzindo ao esquecimento. A compreensão da assimilação passa pelos mecanismos de interação dos conhecimentos novos e antigos.

Considera-se um modelo da estrutura cognitiva “organizada hierarquicamente em relação ao nível de abstração, generalização e abrangência das idéias” [29]. O

[27] AUSUBEL, Op. Cit. p. 41-42.

[28] AUSUBEL, Op. Cit. p. 57-58.

[29] AUSUBEL, Op. Cit. p. 48.

conhecimento encontra-se integrado de maneira organizada, com estruturas conceituais mais gerais, abrangentes e abstratas incluindo estruturas mais específicas. A assimilação pode então ocorrer pela interação da estrutura cognitiva [#] com uma informação mais específica, mais geral, ou ainda do mesmo nível, dando lugar à aprendizagem subordinativa, à aprendizagem superordenadora e à aprendizagem combinatória.

Na aprendizagem subordinativa a nova informação é assimilada por intermédio de uma idéia mais geral, presente na estrutura cognitiva do aluno, que a subordina. Quando o conhecimento adquirido é derivável do conceito subordinador, como no caso de um exemplo ou uma ilustração a mais de um dado conceito, diz-se que a aprendizagem é subordinativa derivativa.

Quando o novo conteúdo não é derivável do conhecimento previamente aprendido mas, é uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação deste, a aprendizagem denomina-se subordinativa correlativa.

Os diferentes estágios do processo de assimilação podem ser ilustrados esquematicamente representando-se, entre chaves, os conceitos gerais por letras maiúsculas, {A}, {B}, etc., e as idéias específicas por letras minúsculas, {a}, {b}, etc., do seguinte modo [³⁰]:

1. Aluno com conceito {A} estabelecido na estrutura cognitiva trava contato com nova idéia {a}, potencialmente significativa. A interação modifica a estrutura cognitiva e a nova idéia, gerando {a}' e {A}' e o produto interacional {a'A'}:

$$\{a\} + \{A\} \rightarrow \{a'\} + \{A'\} \rightarrow \{a'A'\}$$

[#] Estrutura cognitiva, neste contexto, refere-se ao conteúdo organizado de idéias na área particular de conhecimentos interagentes com a nova informação (MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 18).

[³⁰] AUSUBEL, Op. Cit. p. 105.

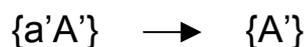
2. Os novos significados são incorporados à estrutura cognitiva. Neste estágio, tanto a nova informação {a'} quanto a idéia-âncora mais diferenciada, {A'}, são identificáveis e reprodutíveis individualmente. A aprendizagem propriamente dita está completa e a disponibilidade dos novos significados é máxima. Diz-se que os significados são facilmente dissociáveis do produto interacional:



3. Após a aprendizagem a assimilação continua, dando lugar ao esquecimento. Quando os significados aprendidos não são utilizados, a força de dissociação de {a'} em relação a {A'a'} diminui gradativamente de modo que, com o correr do tempo, a nova idéia {a'} já não se encontra tão disponível quanto antes. Este processo, que segue à aprendizagem de modo imediato, é a assimilação obliteradora:



4. Ao longo do tempo o produto interacional {a'A'} torna-se espontânea e progressivamente menos dissociável, até que a força de dissociação caia abaixo de um nível crítico — o limiar de disponibilidade. O significado {a'} é assimilado por {A'} ao ponto de não estar mais disponível como entidade independente. Dá-se o esquecimento de {a'} e resta a idéia subordinadora modificada {A'}:



Em suma, assimilação é um processo em que “significados são adquiridos através da interação do novo conhecimento com conceitos ou proposições previamente aprendidos. Essa interação resulta em um produto interacional {A'a'} no qual

não só a nova informação adquire significado ($\{a'\}$) mas também a idéia-âncora $\{A\}$ adquire significados adicionais ($\{A'\}$). Durante a fase de retenção esse produto é dissociável em $\{a'\}$ e $\{A'\}$ porém, à medida que o processo de assimilação continua e entra na fase obliteradora, $\{A'a'\}$ reduz-se simplesmente a $\{A'\}$, ocorrendo então o esquecimento” [31]. Esquecer significa perda de disponibilidade, redução do grau de dissociação de uma idéia em relação às idéias mais abrangentes que a incluem.

O esquecimento de conhecimento aprendido significativamente é diferente daquele que ocorre após a aprendizagem mecânica. No primeiro caso, os conceitos subordinadores permanecem e apresentam diferenciação maior que antes da aprendizagem, pois $\{A\}$ converteu-se em $\{A'\}$. Resta portanto, uma diferenciação da estrutura cognitiva com ampliação das possibilidades de aprendizagem significativa. No caso do esquecimento de material aprendido mecanicamente, nada resta, pois as associações arbitrárias que se estabelecem durante a aprendizagem não contribuem para a diferenciação da estrutura cognitiva [32].

No caso da aprendizagem superordenadora, um conceito geral, abrangente, inclusivo, é assimilado por intermédio de outros mais específicos. É um processo que exige a reorganização da estrutura cognitiva pois introduz uma nova idéia de grau elevado na hierarquia. O significado emergente vai subordinar suas idéias-âncoras, produzindo a nova ordem de cima para baixo, daí a aprendizagem ser superordenadora.

As seguintes etapas para a assimilação de uma idéia geral $\{A\}$, por idéias específicas $\{a\}$ e $\{b\}$, são propostas [33]:

[31] MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 40-41.

[32] AUSUBEL, Op. Cit. p. 115.

[33] AUSUBEL, Op. Cit. p. 109.

1. Em primeiro lugar, ocorre a modificação da estrutura cognitiva a e b, e da idéia a ser assimilada A, para formação do produto interacional:

$$\{A\} + \{a\} + \{b\} \rightarrow \{A'\} + \{a'\} + \{b'\} \rightarrow \{A'a'b'\}$$

2. Na segunda etapa dá-se a aprendizagem e a retenção de $\{A'\}$ porém, relacionada à estrutura cognitiva através de $\{a'\}$ e $\{b'\}$:

$$\{A'a'b'\} \rightleftarrows \{A'\} + \{a'\} + \{b'\}$$

3. Em seguida o significado de $\{A'\}$ é obliterado, restando $\{a'\}$ e $\{b'\}$:

$$\{A'a'b'\} \rightarrow \{a'\} + \{b'\}$$

4. O quarto passo da assimilação constitui-se na reorganização da estrutura cognitiva. Para tanto, é necessário que $\{A'\}$ seja reaprendido de modo diferenciado $\{A''\}$, diretamente relacionado a outras idéias gerais relevantes. Segue-se a subordinação de $\{a'\}$ e $\{b'\}$ como na aprendizagem subordinadora:

$$\{A''a'b'\} \rightleftarrows \{A''\} + \{a'\} + \{b'\}$$

5. Depois da aprendizagem, ocorre a obliteração de $\{a'\}$ e $\{b'\}$, restando $\{A''\}$:

$$\{A''a'b'\} \rightarrow \{A''\}$$

A aprendizagem superordenadora é um processo psicológico mais complexo que a aprendizagem subordinativa. Corresponde à aquisição de conhecimento por raciocínio indutivo.

Uma terceira forma de aprendizagem ocorre quando da assimilação de informações que não se subordinam a idéias pré-existentes e também não as subordinam: é a aprendizagem combinatória. A aprendizagem de material por processo combinatório é mais difícil, pois as relações se estabelecem com a estrutura cognitiva como um todo, em lugar de idéias particulares como nas outras formas de aprendizagem. As novas idéias são potencialmente significativas na medida em que, de modo geral, se harmonizam com os conhecimentos do aluno, imprecisos, a princípio, mas, com sentido. Esse tipo de aprendizagem ocorre na criação de relações entre idéias aparentemente díspares. Não há proposta de mecanismo para a aquisição dos significados combinatórios.

No decorrer da assimilação a estrutura cognitiva se desenvolve através de dois processos correlatos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

2.1.3 DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA

A diferenciação progressiva corresponde à assimilação cada vez maior de aspectos novos dos conceitos estabelecidos que assim, tornam-se mais diferenciados, daí a sua denominação. É um processo de permanente elaboração conceitual [34], em que os conceitos são concomitantemente ampliados — por derivação, extensão, elaboração, modificação ou qualificação de seus atributos — e aprofundados pelas inserções que os novos detalhes lhes facultam.

[34] NOVAK, J. D. Application of advances in learning theory and philosophy of science to the improvement of chemical teaching. *Journal of Chemical Education*, v.61(7), p. 607-612, 1984.

A diferenciação progressiva é preponderante na aprendizagem subordinativa onde conceitos específicos, progressivamente assimilados por idéias inclusivas, as tornam mais e mais diferenciadas a cada nova assimilação.

A reconciliação integradora é um processo de reorganização da estrutura cognitiva destinado a resolver conflitos, contradições e dissonâncias provenientes da inclusão de novos significados, e assim conduzi-los à uma situação de estável integração.

A reconciliação integradora é essencial na aprendizagem superordenadora e na aprendizagem combinatória pois a assimilação de idéias tão ou mais gerais e abrangentes quanto as pré-existentes, introduz perturbações na estrutura cognitiva. Conquanto o aluno esteja disposto a aprender significativamente, deve reconciliar suas idéias criando e recriando relações conceituais como forma de integrar os significados emergentes de modo harmonioso com os demais.

A diferenciação progressiva e a reconciliação integradora não são mutuamente excludentes, ao contrário, ocorrem concomitantemente durante os diversos tipos de aprendizagem — subordinativa, superordenadora e combinatória — pois a reorganização da estrutura cognitiva pela inserção de idéias abrangentes e gerais conduz a relações de subordinação e a inclusão de conceitos correlatos ou derivados modifica os conceitos subordinadores, requerendo a reconciliação integradora.

Enfim, cada indivíduo aprende de acordo com seu conhecimento prévio, mais ou menos diferenciado, mais ou menos reconciliador, gerando o significado psicológico da nova informação.

Na próxima seção discutiremos outro marco teórico empregado na construção da nossa proposta de ensino, o modelo de ensino de Gowin, coerente com a teoria da aprendizagem significativa aqui exposta.

2.2 O MODELO DE ENSINO DE GOWIN

Educar, segundo Gowin [35], é um processo que tem como finalidade a mudança dos significados da experiência humana. A educação formal é uma intervenção deliberada na vida das pessoas, com um conjunto seletivo e refinado de materiais. Com a mudança dos significados busca-se desenvolver o pensar, o sentir, e o agir como disposições habituais, a fim de dar sentido à experiência humana.

A criação de significado ocorre quando se compreende que algo (A) pode vir a representar outra coisa (B). Quando se diz que “A é um sinal de B” ou que “A representa B”, se está dizendo também que “A significa B”. A atribuição de significados é uma atividade humana compartilhada de modo tal que o mesmo sinal é tomado para representar o mesmo evento. O significado é produzido da experiência compartilhada. Para Gowin [36], a criação, o refinamento e a extensão do significado é social e a educação só é possível porque os significados podem ser compartilhados por diferentes pessoas.

Os significados conectam as coisas, dão sentido ao mundo. O valor educacional de um evento ou de um objeto, reside em sua utilidade para, através da construção de significados, ajudar às pessoas a exercitar suas potencialidades e melhor compreender o mundo em que habitam.

Educar é um processo dinâmico. O processo educativo formal “tem lugar quando pessoas se juntam em torno de um currículo em seus papéis sociais de professores, alunos, dirigentes.” É a interação entre essas quatro partes — currículo,

[35] GOWIN, Op. Cit., p. 35-36.

[36] GOWIN, Op. Cit., p. 40.

professor, aluno e dirigente — que faz o processo ocorrer [³⁷]. Não discutiremos todos os aspectos da teoria educacional de Gowin, restringindo-nos ao do seu modelo de ensino.

A idéia fundamental do modelo é a existência de uma relação triádica entre professor, materiais educativos e aluno. A relação constitui um fluxo de significados entre os três elementos [³⁸].

Os professores são os responsáveis pelo ensino. Os professores empregam materiais educativos com o intuito de compartilhar significados que possibilitarão aos alunos realizar algo que não pode ser feito com os conhecimentos que possuem.

Para que os conhecimentos científicos — fruto das pesquisas nas diversas áreas de conhecimento — se qualifiquem como materiais educativos, devem ser submetidos a um processo de didatização. Os conteúdos extraídos do conhecimento científico para fins de ensino devem ser reconstruídos de modo adequado à partilha de significados na interação professor-aluno. Assim, os materiais educativos incorporam critérios de excelência provenientes do conhecimento científico e da teoria educacional diretriz da didatização.

A seleção e a produção de material didático é uma tarefa curricular, parte da qual é completada antes do início do ensino, sendo outra parte gerada durante o episódio educativo. O professor é responsável pela qualidade dos materiais que emprega com seus alunos.

Embora o ensino tenha como finalidade facilitar a aprendizagem, não é a causa da aprendizagem [³⁹]. A aprendizagem é um processo sob deliberado controle do aluno, a que ele escolhe se submeter a fim de mudar os significados que possui. É algo que a pessoa faz para si, é individual e idiossincrática. É o ato que cada um

[³⁷] GOWIN, Op. Cit., p. 47.

[³⁸] GOWIN, Op. Cit., p. 73

[³⁹] GOWIN, Op. Cit., p. 62.

deve executar por si próprio, mesmo que se requeira ajuda de outros. Aprender é uma responsabilidade que o indivíduo não pode dividir.

Captar significados é a primeira etapa da aprendizagem. A captação ocorre quando professor e aluno buscam a congruência dos significados contidos nos materiais curriculares. Parte das atividades de ensino, dentro e fora da sala de aula, visa a explicitação dos significados, de parte a parte, para que se possa alcançar a partilha desejada. Somente depois de captados os novos significados é que o aluno voluntária e deliberadamente pode escolher conectar os novos significados captados a aquilo que já sabe. A aprendizagem é uma “reorganização ativa de um padrão de significados existente” [40].

A intervenção educacional se dá em etapas, por interação dos elementos da tríade [41]. De início, o professor age no sentido de mudar o significado da experiência do aluno usando materiais educativos. Em um momento de escolha em prestar atenção ao professor e aos materiais, o aluno age intencionalmente para captar significados. O estabelecimento de uma interação professor-aluno pode ser mais ou menos demorada. Em geral, os alunos desconhecem a necessidade de seu engajamento no ensino, ignoram que os novos significados serão aprendidos em termos dos velhos. É função do professor alertá-los a esse respeito, para que tenham uma participação efetiva na construção de seu conhecimento.

Na interação que se cria, estudante e professor tendem juntos a estabelecer congruência de significados. O professor é responsável por observar que os significados que o estudante capta dos materiais educativos são aqueles que ele pretende que o aluno adquira; o aluno é responsável por observar que os significados que capta são aqueles que o professor pretende que ele capte. Quando essas respon-

[40] GOWIN, Op. Cit., p. 124.

[41] GOWIN, Op. Cit., p. 52-53, p. 62, p. 72-73.

sabilidades são separadamente cumpridas e a partilha de significados é alcançada, ocorreu um episódio de ensino. Nesta concepção de ensino, a partilha de significados só é possível com a participação ativa do aluno.

Após a partilha de significados o estudante decide se quer aprender ou não. Aprender os significados captados é uma responsabilidade que o aluno não pode delegar: cada um é responsável pela própria aprendizagem. Então, o aluno age no sentido de entender como o conhecimento que possui é ou pode ser modificado como consequência da incorporação dos novos significados na estrutura dos mais antigos. A aprendizagem real é causada pela ação do aluno, não do professor.

De acordo com Moreira [⁴²] toda área de conhecimento é constituída por significados compartilhados entre os membros da comunidade que nela atua, os quais são usados para comunicação, solução de problemas e construção de novos significados. São esses significados que o professor, ao ensinar, procura compartilhar com o aluno. As componentes idiossincráticas, intrínsecas à aprendizagem significativa atribuídas aos significados tanto pelo professor como pelos alunos, não são compartilháveis.

Por fim, o aluno torna-se apto para acessar diretamente os conhecimentos científicos independentemente da interpretação do professor. Embora não dependa mais do professor, o aluno incorpora os critérios de excelência dos materiais educativos e os emprega como meio de atribuir sentido à natureza e à experiência humana.

A seção seguinte apresenta a técnica de mapeamento conceitual, muito útil na preparação dos materiais educativos e na avaliação dos significados compartilhados por professores e alunos.

[⁴²] MOREIRA, Marco Antonio. *Pesquisa em ensino: o vê de Gowin*. São Paulo : EPU, 1990, p. 71.

2.3

MAPAS CONCEITUAIS

Mapas conceituais, em sentido amplo, são diagramas que indicam relações entre conceitos [43]. No contexto da teoria da aprendizagem significativa onde foram desenvolvidos, possuem o significado de representações gráficas de estruturas conceituais hierarquizadas [44].

Não há regras fixas para a construção de mapas conceituais: pode-se variar o número de dimensões, as orientações sobre como definir a hierarquia, como explicitar as relações entre os conceitos, etc. Entretanto, empregam-se usualmente mapas em duas dimensões, por serem mais ricos que os mapas unidimensionais e mais simples de construir que em três dimensões. Como exemplo, a Figura 2-2 apresenta um mapa conceitual referente a um texto introdutório à conservação da energia [45].

No topo do mapa aparece a energia como o conceito mais geral, a que os demais estão subordinados. Seguem-no os conceitos de conservação, conversão, produção e consumo, à medida que aumenta a especificidade. Por exemplo, produção e consumo estão colocados no mesmo nível, significando que neste caso, possuem o mesmo grau de generalidade. O mesmo ocorre com as formas de energias citadas: o fato destas se encontrarem no nível mais baixo do mapa, indica que no texto, aparecem como simples exemplos do conceito subordinador — energia. Nas situações em que as formas de energia fossem discutidas em detalhe, um mapa cor-

[43] MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 74-75.

[44] NOVAK, Joseph D., GOWIN, David B. *Learnig how to learn*. Cambridge : Cambridge University Press, 1984, p. 15.

[45] SILVA, José Luis P. B. Construindo a primeira lei da termodinâmica. *1º Encontro Norte-Nordeste de Ensino de Química*. Recife, 1991.

respondente as mostraria num nível mais elevado, subordinando conceitos mais específicos.

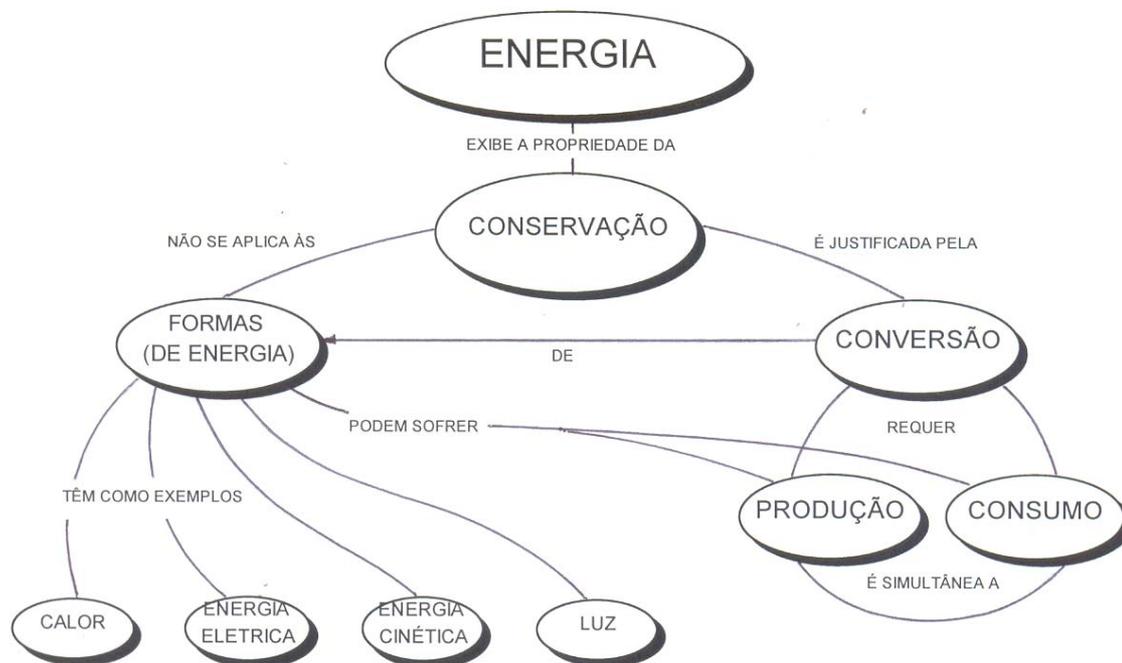


FIGURA 2-2: MAPA CONCEITUAL SOBRE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

No exemplo da Figura 2-2, foi adotada a orientação de Novak [46] no que se refere à hierarquia: quanto mais próximo do topo do mapa, mais geral e abrangente o conceito. Ao proceder a leitura do mapa, de alto a baixo, é evidente a diferenciação progressiva dos conceitos que vão tornando-se mais e mais específicos até transformar-se em simples exemplos. A leitura do mapa no sentido oposto, de baixo para cima, conduz à integração dos conceitos específicos nos mais inclusivos.

A integração global requer leituras na direção lateral, para a compreensão das relações entre os conceitos de níveis de inclusividade similares. Entretanto, a opção por uma definição clara da hierarquia, em concordância com o modelo de estrutura

[46] NOVAK, Joseph D. *Uma teoria de educação*. Tradução por Marco Antonio Moreira. São Paulo : Pioneira, 1981, p. 70-71.

cognitiva proposto, pode levar à menor estruturação da dimensão horizontal do mapa. Porém, há que se cuidar da harmonia do mapa como um todo.

As relações entre os conceitos são representadas por linhas, sendo a natureza da relação explicitada por palavras-chave ou frases curtas. A esse respeito, Moreira [47] chama a atenção para que se evite o emprego de conectivos pobres, que revelem pouco das relações conceituais e diminuam o potencial significativo do mapa.

É importante ressaltar que, delimitado um conjunto de idéias, vários mapas conceituais podem ser traçados, isto é: como “representações visuais da hierarquia e das relações entre conceitos contidas nas mentes” dos indivíduos [48], estão sujeitos ao contexto e ao desenvolvimento cognitivo de cada um, de modo que cada mapa é um exemplar dentre várias possibilidades. Todavia, como as relações entre conceitos são coordenadas, não-arbitrárias, o número de mapas representativos da estrutura de dada área do conhecimento fica limitado pelas possibilidades das relações conceituais.

Um roteiro para a construção de mapas conceituais, adaptado de Moreira [49], é o seguinte :

- A. Identificar e listar os conceitos chave do conteúdo que se vai mapear. Convém limitar o número de conceitos até um máximo de dez para iniciar a construção do mapa, a fim de evitar perder-se nas numerosas relações conceituais.
- B. Ordenar os conceitos por grau de generalidade. Colocar o(s) mais geral(is) e abrangente(s) no topo do mapa e agregar os demais, descendo no mapa segun-

[47] MOREIRA, Marco Antonio. *Mapas conceituais no ensino da física*. Porto Alegre : Instituto de Física da UFRGS, 1992, p. 42.

[48] GONZÁLEZ GARCÍA, F. M. Los mapas conceptuales de J. D. Novak como instrumentos para la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, v.10(2), p.197-212, 1992.

[49] MOREIRA, *Mapas conceituais no ensino da física*, p.38.

do o grau de generalidade decrescente. Incluir exemplos, se necessário, que devem ocupar o nível mais baixo do mapa.

- C. Interligar os conceitos com linhas. Rotular as linhas com uma ou mais palavras-chave que explicitem as relações conceituais. Cada par de conceitos ligados deve, juntamente com as palavras-chave, formar uma proposição que expresse o significado da relação. (No exemplo da Figura 2-2 as proposições estão escritas no sentido descendente; para ler o mapa no sentido ascendente, deve-se adequar os conectivos.)
- D. Examinar o resultado. Em geral, a primeira tentativa apresenta simetria pobre e alguns conceitos ou grupos de conceitos ficam mal situados em relação a outros. Refazer o mapa, parcial ou totalmente, se necessário.

Mapas conceituais podem ser confeccionados para representar as estruturas conceituais de um texto — como o que compõe esta seção, ver Figura 2-3 —, uma entrevista [50], uma aula [51], uma disciplina [52], um currículo [53], enfim qualquer conjunto de informações interrelacionadas. Prestam-se para o trato de conteúdos de toda natureza. Estas características propiciam que sejam instrumentos adequados para a análise e a organização dos conteúdos curriculares. O planejamento de um currículo ou parte de um currículo requer a identificação da estrutura conceitual do conteúdo pertinente, a partir da qual é possível propor seqüências de conteúdos condizentes com um ensino facilitador da aprendizagem significativa.

Como recurso didático, os mapas conceituais possibilitam reduzir a opacidade dos conteúdos das matérias de ensino-aprendizagem, tornando-os mais conceitual-

[50] NOVAK, Joseph D. Concept mapping: a useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, v.27(10), p.937-949, 1990.

[51] Ver os mapas conceituais apresentados no capítulo 3.

[52] GANGOSO, Zulma. El fracaso en los cursos de física. El mapa conceptual, una alternativa para el análisis. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.14 (1), p.17-36, 1997.

[53] PRO BUENO, Antonio. El análisis de las actividades de enseñanza como fundamento para los programas de formación de profesores. *Alambique*, v.15, p. 15-28, 1998.

mente transparentes [54], por enfatizar os significados dos conceitos-chave e de suas inter-relações.

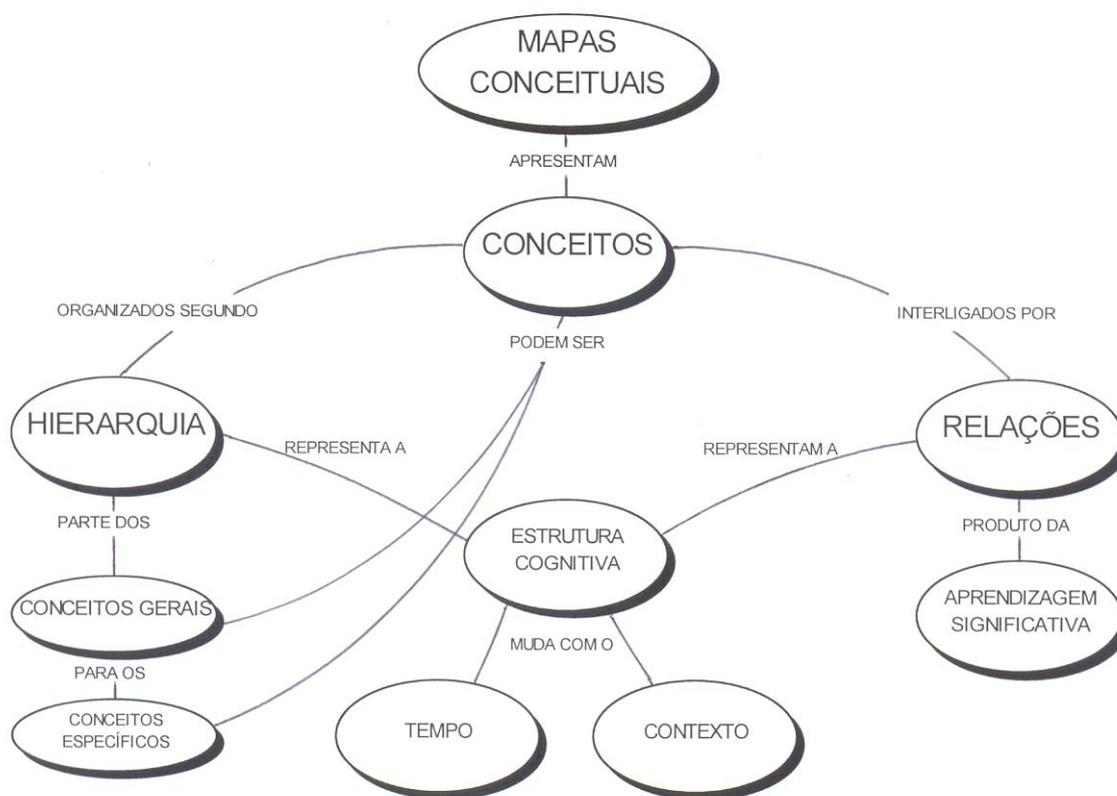


FIGURA 2-3: MAPA CONCEITUAL SOBRE MAPAS CONCEITUAIS

Podem ser empregados pelo professor, no início das atividades de ensino, para exibir a estrutura conceitual do conteúdo a ser estudado pois, devido à sua natureza concisa, proporcionam uma visão global do assunto. À medida que vai-se progredindo nos estudos, o mapa geral pode ser empregado como instrumento para percepção da progressiva diferenciação dos conceitos e de integração dos conceitos específicos na estrutura mais ampla e geral [55].

[54] NOVAK, J. D. Ayudar los alumnos a aprender cómo aprender. *Enseñanza de las Ciencias*, v.9(3), p. 215-228, 1991. p. 224.

[55] MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 81.

A confecção de mapas conceituais pelos alunos pode conduzir à percepção de suas próprias dificuldades no entendimento da matéria em estudo, já que o estabelecimento de ligações conceituais nem sempre é uma tarefa fácil. Entretanto, alunos reconhecem nos mapas conceituais um instrumento cognitivo de valor que ajuda na organização de material de aprendizagem complexo, facilitando a aprendizagem significativa [56].

Um mapa conceitual é uma representação da estrutura cognitiva de quem o confecciona, no momento em que o confecciona. À medida que as pessoas mudam suas estruturas cognitivas, os mapas conceituais elaborados com um mesmo conjunto de conceitos sofrem alterações. Por isso, são úteis para investigar mudanças em estruturas de conhecimentos.

Confeccionados pelos alunos no início de um curso, mapas conceituais constituem-se em diagnóstico do conhecimento prévio ao ensino. Do ponto de vista da teoria da aprendizagem significativa, a estrutura cognitiva do aluno é determinante de sua aprendizagem, e um mapeamento conceitual sobre a matéria a ser ensinada e conhecimentos correlatos, é de grande utilidade no planejamento do ensino.

A construção de mapas conceituais pelos alunos ao longo de um curso possibilita a avaliação de aprendizagem. A comparação entre mapas confeccionados antes e após o ensino fornece informações sobre o que foi aprendido. A avaliação por mapas conceituais não requer condições especiais, é confiável, rápida e sucinta, fornecendo uma visão global das estruturas de significados construídas [57].

Os mapas conceituais têm tido ampla utilização como instrumentos didáticos, de avaliação e análise de currículo. Empregados também na pesquisa educacional

[56] BARENHOLTZ, H., TAMIR, P. A comprehensive use of concept mapping in design instruction and assessment. *Research in Science & Technological Education*, v.10(1), p. 37-52, 1992.

[57] MARKHAM, K. M., MINTZES, J. J., JONES, M. G. The concept map as a research and evaluation tool: further evidence of validity. *Journal of Research and Science Teaching*, v.31(1), p. 91-101, 1994.

[58] e na formação de professores [59], não se restringem a qualquer área de conhecimento.

Uma das principais virtudes dos mapas conceituais, a compacidade, é também sua grande limitação: um mapa só, é incompleto. Para que se possa compartilhar dos significados de um mapa confeccionado por um dado indivíduo, faz-se necessária uma complementação na forma de explicação oral ou escrita. Como as relações conceituais que cada um estabelece em sua estrutura cognitiva apresentam natureza idiossincrática, o discurso complementar possibilita a explicitação dos componentes dessas relações, facilitando a compreensão por quem lê o mapa.

Em suma, mapas conceituais são poderosos instrumentos para o ensino e a aprendizagem. Representando o conhecimento possuído por seu construtor, eles podem ser entendidos, no dizer de Wandersee [60], como mapas de cognição.

Na próxima seção, discutiremos uma proposta de ensino que tem como finalidade a facilitação da aprendizagem significativa.

2.4 UM ENSINO FACILITADOR DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Um aluno aprende significativamente quando estabelece relações substantivas e não-arbitrárias entre a nova informação e sua estrutura cognitiva. Com o ensino procura-se influenciar a estrutura cognitiva do aluno através dos materiais educa-

[58] ROTH, Wolff-Michael, ROYCHODHURY, Anita. Science discourse through collaborative concept mapping: new perspectives for the teacher. *International Journal in Science Education*, v.16 (4), p. 437-455, 1994.

[59] WILLSON, M., WILLIAMS, D. Trainee teacher's misunderstanding in chemistry: diagnosis and evaluation using concept mapping. *Secondary Science Review*, v.77(280), p. 107-113, 1996.

[60] WANDERSEE, J. H. Concept mapping and the cartography of cognition. *Journal of Research and Science Teaching*, v.27(10), p. 923-936, 1990.

tivos, de modo a alcançar a congruência acerca dos significados a serem aprendidos. Considerando que o aluno esteja disposto a aprender significativamente, o objetivo do ensino é facilitar-lhe a captação dos significados — primeira etapa da assimilação dos significados — para que, a partir de então, o aluno possa aprender.

Segundo Moreira [⁶¹], a facilitação da aprendizagem significativa requer do professor a realização de algumas tarefas prévias ao ensino. A primeira consiste em elucidar a estrutura conceitual da matéria a ser ensinada. A identificação dos conceitos primitivos, mais gerais, inclusivos e abstratos, dos diversos níveis de inclusividade, de conceitos específicos e exemplos, é uma atividade essencial à organização do conteúdo para o ensino. O conhecimento da estrutura conceitual da matéria de ensino, também é imprescindível à seleção e à preparação dos materiais curriculares. A apresentação dos conteúdos, para ser adequada, requer relações conceituais explícitas e claras. Um modo conciso e hierarquicamente organizado de realizar esta tarefa é por mapeamento conceitual. Porém, como já assinalamos, há que se produzir a explicação dos mapas confeccionados para complementar o trabalho.

Em segundo lugar, é necessário o professor proceder a identificação das idéias-âncoras especificamente relevantes à aprendizagem do assunto a ser ensinado. São essas, em geral, as idéias com maior poder de inclusão, para que possam servir à ancoragem de outros conhecimentos mais específicos. De posse dessa informação, determinar a disponibilidade de conhecimento apropriado na estrutura cognitiva dos alunos. Isso pode ser realizado por intermédio de testes, questionários, entrevistas, mapas conceituais etc. O importante é conseguir o máximo de informação acerca [⁶²]: do nível de inclusividade, generalidade e abstração do conhecimento

[⁶¹] MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 57-58.

[⁶²] AUSUBEL, *Op. Cit.*, p. 138.

possuído pelo aluno; da possibilidade de discriminação das idéias-âncoras possuídas em relação às novas; da estabilidade e da clareza das idéias-âncoras.

Quando as idéias-âncoras relevantes para a aprendizagem do novo material não estiverem disponíveis, empregam-se organizadores prévios, que são materiais introdutórios “apresentados num nível de abstração mais elevado, maior generalidade e inclusividade do que o novo material a ser aprendido.” São inseridos antes do ensino do assunto propriamente dito e tratam de “tópicos unitários ou de conjuntos de idéias muito relacionadas”. A função principal do organizador é relacionar aquilo que o aluno já conhece ao que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente [63].

O estudo dos conhecimentos dos alunos facilita a comunicação professor-aluno durante o ensino, o que é importante para se atingir a congruência dos novos significados. Por outro lado, é um parâmetro fundamental para a avaliação de aprendizagem.

É prática comum, entre os professores, supor que os alunos possuem as idéias-âncoras adequadas para a assimilação dos novos significados. Se a suposição não for verdadeira, os alunos podem resolver adotar dois conceitos: um, para uso em sala de aula, visando a satisfação do professor, que seria prontamente esquecido após a aprovação na disciplina pois teria sido aprendido mecanicamente; outro, o conceito que o aluno já possuía, adquirido às custas de esforço, ou seja, aprendido significativamente, permaneceria. Como não teria sido devidamente diferenciado durante a aprendizagem, não poderia servir de ancoradouro aos novos significados que o professor iria ensinar em seqüência. O levantamento do conhecimento prévio dos alunos evitaria esse tipo de problema.

[63] AUSUBEL, Op. Cit., p. 143-144.

O ensino se inicia com o professor agindo no sentido de mudar os significados das experiências dos alunos. Para tanto, intervém em sua estrutura cognitiva de modo substantivo, utilizando dos conceitos primitivos, unificadores da disciplina, que possuem maior poder de generalidade e inclusividade e são, por isso, relacionáveis com grande parte dos conceitos específicos. Estas características lhes conferem propriedades de organização e integração da estrutura cognitiva dos alunos. Assim, a aprendizagem dos conceitos mais gerais e inclusivos do material facilita a assimilação dos demais, como correlações e derivações dos primeiros.

O professor também manipula programaticamente as estruturas de significados dos alunos, utilizando da organização seqüencial, da diferenciação progressiva, da reconciliação integradora e da consolidação [64].

A utilização da organização seqüencial na programação do assunto a ser ensinado se baseia na concepção de que o conhecimento, como um todo, é estruturado. Assim sendo, na maioria das vezes o novo assunto faz parte de uma seqüência aceita como normal, dentro da estrutura maior. Ensinar de acordo com a ordem natural pode maximizar o potencial significativo da tarefa de aprendizagem pois, requer idéias-âncoras que em princípio, estariam disponíveis por terem sido aprendidas nas etapas anteriores da seqüência. Como já dito, cabe verificar tal disponibilidade antes de prosseguir no ensino.

Um segundo princípio empregado no ensino é a diferenciação progressiva. Coerentemente à idéia de que a estrutura cognitiva é organizada hierarquicamente, o ensino inicia-se pelos conceitos mais gerais, realizando-se a progressiva diferenciação destes pela introdução dos conceitos específicos. À medida que as novas informações vão sendo apresentadas segundo a hierarquia, surge a necessidade de explicitação de outras relações conceituais para que o conhecimento seja integrado

[64] MOREIRA, *Uma abordagem...*, p. 61-69.

de modo harmônico. Portanto, ao mesmo tempo em que se pratica a diferenciação progressiva dos conceitos, realiza-se a reconciliação integradora. Mapas conceituais são extremamente úteis na programação dos conteúdos para o ensino, segundo estes princípios, bem como para facilitar aos alunos a captação da organização da estrutura conceitual em estudo.

A consolidação do assunto aprendido facilita a aquisição dos novos conteúdos da seqüência destes pois, dá estabilidade e clareza às idéias-âncoras necessárias para sua assimilação. A consolidação é realizada através da repetição, confirmação, correção, clarificação, aplicação a diferentes situações, retroalimentação, revisão ao longo de repetidas exposições. A consolidação como princípio orientador do ensino se conecta diretamente com os princípios de que o conhecimento prévio do aluno determina sua aprendizagem.

A elaboração e implementação de uma proposta de ensino fundamentada nos princípios aqui apresentados, tem por finalidade influenciar a estrutura cognitiva dos alunos possibilitando-os realizar a mudança conceitual desejada pelo professor, ou seja, a aquisição de significados novos que possibilitem aos alunos realizar algo que não podiam fazer com os conhecimentos que possuíam antes do ensino.

A mudança conceitual proposta por Posner et al. [65] tornou-se um objeto de estudo e um objetivo de ensino após o reconhecimento pelos pesquisadores educacionais, da importância do conhecimento possuído pelo aluno, para a aprendizagem. Verificou-se que muito do que o aluno sabe é diferente do consensualmente aceito nas diversas áreas de conhecimento. Por isso, os conceitos possuídos pelos alunos receberam diversas denominações que procuraram expressar essa diferença: con-

[65] POSNER, George J. et al. Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, v.66(2), p. 211-227, 1982.

cepções dos alunos, conceitos errôneos ou equivocados (misconceptions), crenças ingênuas, concepções alternativas, esquemas alternativos dos alunos [66].

Dentre as características mais marcantes do conhecimento dos alunos está a de ser persistente, não se modificando facilmente com as estratégias de ensino convencionais [67]. Posner et al. propuseram uma teoria de mudança conceitual individual, visando a aprendizagem de conceitos científicos, fundamentados em mudanças conceituais que ocorrem nas ciências. Estabeleceu-se então, um entendimento generalizado de mudança conceitual como “o abandono de um sistema conceitual ou de uma maneira de ver referente a determinados fenômenos e à adoção de um novo sistema conceitual ou de uma nova maneira de ver referente aos mesmos fenômenos” [68].

Entretanto, no âmbito da teoria da aprendizagem significativa, a idéia de abandono das idéias aprendidas significativamente perde o sentido pois, mesmo quando obliteradas, deixam a estrutura cognitiva substancialmente diferenciada, de acordo com o processo de assimilação anteriormente descrito. Não há como substituir uma estrutura cognitiva por outra.

A aprendizagem de conceitos científicos não requer o abandono dos demais significados, e sim, a diferenciação da estrutura cognitiva do aluno. O que se deve esperar, ao ensinar novos conteúdos, é a aprendizagem subordinativa correlativa, ou seja, a aprendizagem dos significados correlatos a aqueles que os alunos possuem, porém, aceitos dentro de um contexto diferente dos demais contextos onde os significados anteriormente aprendidos fazem sentido. De acordo com a teoria da aprendizagem significativa, a mudança conceitual constitui-se em desenvolvimento e

[66] JIMÉNEZ GOMEZ, E. et al. Problemas de terminología en estudios realizados acerca de “lo que el alumno sabe” sobre ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, v.12 (2), p. 236, 1994.

[67] FURIÓ MÁS, Carles J. Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, v.7, p. 12, 1996.

[68] VILLANI, Alberto. Mudança conceitual no ensino de física: objetivo ou utopia? *Atas do 3º Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Porto Alegre : Instituto de Física da UFRGS, 1990. p. 20-21.

enriquecimento da estrutura cognitiva do aluno, sem que ocorra o abandono das antigas idéias que podem ser úteis em determinados contextos diferentes daquele a que a matéria de ensino se refere [⁶⁹].

Há que se considerar também, o fato de um mesmo termo poder assumir diferentes significados conforme o contexto em que esteja inserido. Quaisquer conceitos podem ser aprendidos significativamente, não apenas os conceitos aceitos nos contextos das comunidades científicas. Por isso, Moreira defende que as idéias dos alunos não são conceitos errôneos mas, conceitos contextualmente errôneos [⁷⁰]. O ensino da ciência não deve ter como objetivo que o aluno abandone sua visão de mundo, mas, que adquira a visão científica de ver este mesmo mundo.

No próximo capítulo aplicaremos os conceitos aqui desenvolvidos ao ensino da termodinâmica básica em nível superior.

[⁶⁹] MOREIRA, Marco Antonio. Cambio conceptual: critica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Conferencia internacional "Science and mathematics education for the 21st century: towards innovatoty approachs"*. Concepción, Chile, 1994.

[⁷⁰] MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizaje significativo, conocimiento científico y cambio conceptual. Conferência apresentada no *Seminário sobre "Aspectos relevantes en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y la matemática"*. Madrid, 1992.

Capítulo 3

METODOLOGIA

3.

METODOLOGIA

Como assinalado no capítulo um, nosso propósito é a formulação de uma proposta de ensino e o estudo de sua eficácia como facilitadora da aprendizagem significativa da termodinâmica básica. Não tencionamos comparar nosso modo de ensinar com aqueles praticados por diferentes professores. Convictos que a prática tradicional de ensino da termodinâmica havia induzido muitos alunos à aprendizagem mecânica, nos propusemos trabalhar com os estudantes a identificação e a explicitação de relações entre os conceitos termodinâmicos. A comparação das respostas dos alunos às questões propostas, prévia e posteriormente ao ensino, proveriam, ou não, evidência de aprendizagem significativa. O estudo foi conduzido sob um enfoque interpretativo [71].

Limitamos a implementação de nossa proposta a uma disciplina específica, Físico-química I, que escolhemos tanto pela facilidade de atuar como professor da mesma, quanto porque ali havíamos detectado o problema de aprendizagem. (Esperávamos, com o estudo, vislumbrar possíveis encaminhamentos de soluções.)

A proposta de ensino foi desenvolvida mantendo os conteúdos programáticos, a carga horária da disciplina e avaliação por provas escritas. Considerando que muito da conceituação básica da termodinâmica não é discutido nos textos usuais, elaboramos os conceitos sob o ponto de vista fenomenológico e seqüenciamos os conteúdos de acordo com a teoria da aprendizagem significativa. Paralelamente, modificamos o modo de ensinar nas aulas expositivas e de resolução de problemas, e incluímos mapas conceituais como instrumentos de avaliação da aprendizagem.

[71] MOREIRA, *Pesquisa em ensino...*, p. 28-45.

Para identificar o conhecimento termodinâmico dos alunos prévio ao ensino empregamos um questionário de perguntas abertas e mapas conceituais para complementá-los. Na verificação do conhecimento posterior, usamos as provas da disciplina e novos mapas conceituais.

Os diversos aspectos metodológicos da pesquisa foram elaborados paulatina e concomitantemente, em permanente interação. À medida que os resultados das modificações introduzidas eram analisados e considerados satisfatórios ou não, essas eram mantidas ou reelaboradas. O trabalho foi desenvolvido em quatro semestres não consecutivos.

3.1 DISCIPLINA, ALUNOS E PROFESSOR

A disciplina Físico-química I é oferecida à matrícula por turmas teóricas, com um máximo de quarenta alunos, que são subdivididas em turmas práticas, com até dez alunos. A carga horária semanal é de seis horas, sendo três horas para aulas teóricas e outras três horas para aulas práticas. As aulas teóricas são tradicionalmente destinadas à exposição dos conteúdos. As aulas práticas são de laboratório em que os alunos realizam experiências, e de resolução de problemas onde, em geral, os professores resolvem problemas escolhidos.

Não houve processo seletivo para a composição das turmas nas quais fizemos as experiências. Os alunos matricularam-se normalmente, informados acerca de quais eram os professores de teoria e de prática.

Os grupos estudados variaram em número, entre vinte e trinta e um alunos. A frequência às aulas teóricas era franqueada como normalmente se faz na disciplina,

de modo que havia alguma flutuação dos presentes em cada aula. Em cada grupo, um número variável de alunos abandonou o curso ao meio.

As turmas apresentavam as características habituais: compostas por alunos dos cursos de licenciatura e bacharelado em química, química industrial e engenharia química, com heterogeneidade de interesses, de conduta, de formas de expressão, de conhecimentos termodinâmicos e de motivação para o estudo do assunto. Alguns alunos já haviam cursado a disciplina anteriormente.

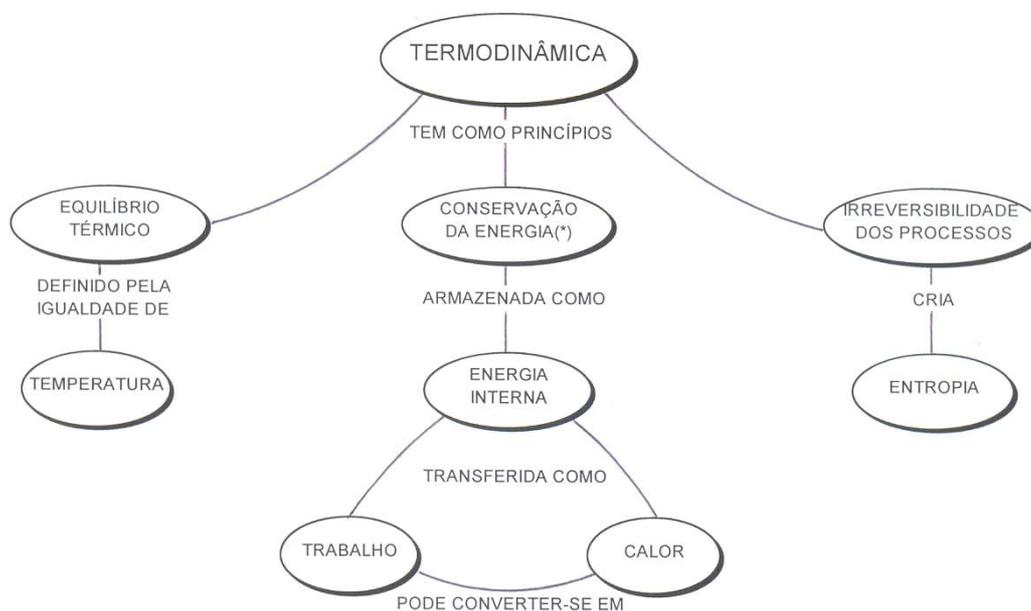
Agimos, nós próprios, como professor, tanto nas aulas teóricas como nas aulas práticas. Na época do início do estudo contávamos com oito anos de experiência no ensino tradicional da disciplina.

3.2 CONTEÚDOS DE TERMODINÂMICA BÁSICA E MATERIAIS INSTRUCIONAIS

Os conteúdos acerca dos quais investigamos a aprendizagem significativa foram restritos à primeira lei da termodinâmica e estão incluídos no que denominamos termodinâmica básica, constituída pelos princípios da termodinâmica fenomenológica e sua aplicação ao estudo de transformações em sistemas simples e fechados.

A Figura 3-1 apresenta um mapa dos conceitos fundamentais da termodinâmica. No lado esquerdo do mapa está a estrutura correspondente ao princípio zero da termodinâmica, composta pelos conceitos de equilíbrio térmico e de temperatura; ao centro encontra-se a estrutura da primeira lei composta pelos conceitos de energia, energia interna, calor e trabalho; à direita, a estrutura da segunda lei da termo-

dinâmica constituída pelos conceitos de irreversibilidade dos processos e da entropia [72].



(*) A DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA REFERE-SE AO CONCEITO DE ENERGIA

FIGURA 3-1: PRINCÍPIOS DA TERMODINÂMICA

A estrutura conceitual da energia, vista como exemplo no capítulo dois (Figura 2-2) é aqui reproduzida na Figura 3-2.

A construção da idéia de conservação requer o entendimento de que a energia se manifesta de diversas formas interconvertíveis. Portanto, embora a energia seja conservada em seu todo, suas formas não o são. Este mapa se conecta com o da Figura 3-1 compondo uma terceira dimensão; como afirmamos anteriormente, preferimos a representação bidimensional por ser mais facilmente realizável.

[72] SILVA, José Luis P. B. Mapeamento conceitual e ensino da termodinâmica. 7º Encontro Nacional de Ensino

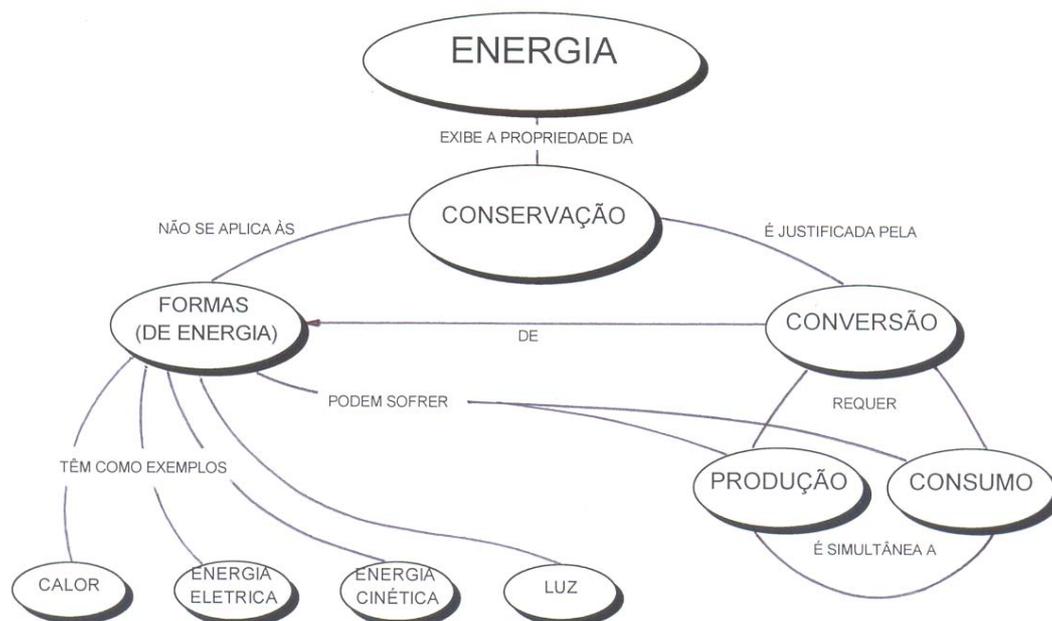


FIGURA 3-2: CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Com base nesta estruturação conceitual preparamos um texto de discussão da primeira lei da termodinâmica, sistemas e processos [73] com o objetivo de complementar a bibliografia recomendada no programa da disciplina [74]. Buscamos apresentar uma construção da primeira lei do ponto de vista fenomenológico, explicitando relações conceituais que não são costumeiramente exploradas e algumas questões epistemológicas, como a relação entre teoria e experimento em ciência, as idéias de conceito primitivo e conceito derivado e o problema da substituição de uma teoria por outra. O texto se encontra no Apêndice 1.

de Química. Belo Horizonte-MG, 1994.

[73] SILVA, José Luis P. B. Energia. *Anais do 8º Encontro Nacional de Ensino de Química*. Campo Grande-MS : UFMS, 1996. p. 141.

[74] CASTELLAN, Gilbert. *Físico-Química*. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1972. v1. PILLA. Luíz. *Físico-Química*. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e científicos, 1979. v.1

Existem vários modos pelos quais a termodinâmica é apresentada em nível universitário [75] refletindo a diversidade de posições sobre o ensino do assunto. Há trinta anos McGlashan [76] já assinalava a má apresentação da termodinâmica nos cursos de graduação e propunha uma conceituação mais vinculada à experiência em moderna calorimetria que à discussão dos fundamentos. Num outro sentido — porque voltado ao ensino para futuros engenheiros — porém convergindo com McGlashan, Jones defende a idéia que se deve enfatizar o caráter prático da termodinâmica [77]. Em um encontro de professores de termodinâmica ocorrido na Inglaterra em 1984, Rose [78] relatou sua experiência de quinze anos de ensino com o que denominou de “uma abordagem direta”, em que a termodinâmica é apresentada de modo postulatório, que o professor considera vantajoso para os alunos. No mesmo encontro várias outras abordagens foram comunicadas.

Nossa proposta de estrutura conceitual para fundamentar o ensino tem suas raízes na idéia de que pode facilitar o estabelecimento de relações dos novos significados com o conhecimento prévio dos alunos.

Começamos por discutir o conceito de energia devido ao seu poder ordenador, pelo papel central que exerce na termodinâmica. Inicialmente apontamos alguns significados correntes no dia-a-dia, para em seguida romper com o senso comum, introduzindo a conservação como atributo fundamental da energia. Essa abordagem nos parece a mais adequada porque em geral, os alunos desconhecem o significado de conservação aplicado à energia [*]. É preciso juntar os conceitos de formas de energia, conversão de energia e conservação (em sentido amplo) para construir a

[75] TARSITANI, Carlo, VICENTINI, Matilde. Mental representations of thermodynamics. *Science and Education*, v.5, p. 51-68, 1996.

[76] McGLASHAN, M. L. The use and misuse of the laws of thermodynamics. *Journal of Chemical Education*, v.43(5), p. 226-232, 1966.

[77] JONES, Hugh G. Thermodynamics — a practical subject. *Physics Education*, v.19(1), p. 15-18, 1984.

[78] ROSE, J. W. Thermodynamics — a direct approach. In: LEWINS, Jeffrey D. *Teaching Thermodynamics*. Plenum : New York, 1985. p. 47-49.

[*] Ver conhecimento prévio dos alunos, no próximo capítulo.

conservação da energia. Em seguida buscamos mostrar como se deu o processo de elaboração conceitual pelos cientistas da época. Não se trata de mera curiosidade histórica mas, de fazer ver aos alunos a complexidade dos fatores que determinaram o estabelecimento de um dos conceitos fundamentais da teoria que estão estudando.

Discutida a conservação da energia, procuramos diferenciar sua estrutura conceitual. A idéia de conservação inclui a conversão das formas de energia, a contenção da energia (pois se algo se conserva então, está contido em algum lugar) e a transferência quantitativa da energia de um local para outro (ver Figura 3-3).

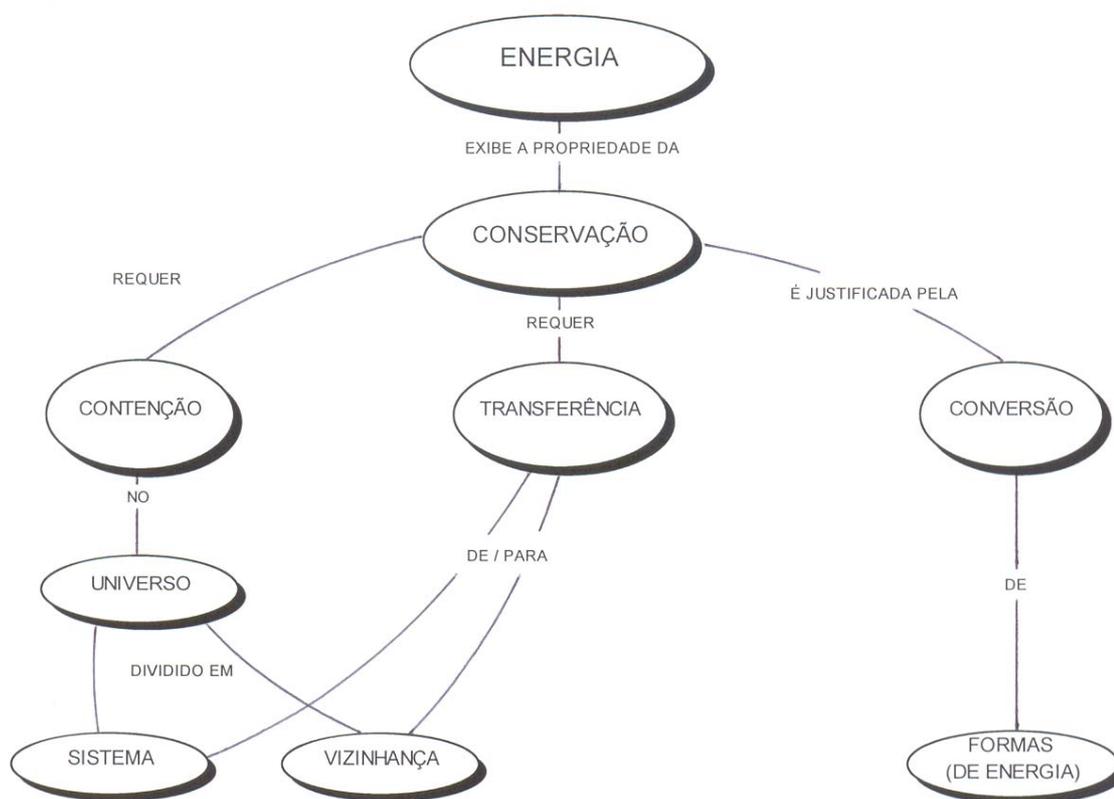


FIGURA 3-3: DIFERENCIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

A contenção da energia cria o conceito de energia interna dos sistemas. Porém, ao interagir com as vizinhanças um sistema pode variar sua energia interna. Isso se dá através de três tipos de transferências de energia: transferência de massa

(a matéria contém energia), calor e trabalho, conforme representado na Figura 3-4. Esta última estrutura conceitual da primeira lei da termodinâmica tem sua tradução formal na expressão $\Delta U = Q - W + \sum_k u_k \cdot \Delta m_k$, onde Q simboliza o calor, W, o trabalho e a somatória representa a transferência de massa.



FIGURA 3-4: TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

Outro conceito importante é o de sistema termodinâmico. Tratamos apenas de sistemas simples, definidos por Callen como “macroscopicamente homogêneos, isotrópicos e sem cargas, suficientemente grandes para que os efeitos de superfície sejam negligenciados e que não estão sob a ação de campos elétricos, magnéticos ou gravitacionais” [79]. Por isso, nos sistemas fechados o único tipo de trabalho possível é de variação de volume.

A denominação dos sistemas termodinâmicos é estabelecida segundo as possibilidades de interação com as vizinhanças [80]. Em suas definições incorporamos as características das paredes aos mesmos, como já realizado por outros auto-

[79] CALLEN, Herbert B. *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics*. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1985. p. 9.

[80] SILVA, José Luis P. B. Interações, paredes e sistemas termodinâmicos. *Atas do 12º Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Belo Horizonte : UFMG/CECIMIG/FAE, 1997. p. 49-50.

res com os sistemas abertos e fechados [81]. Os conceitos dos sistemas de interesse na termodinâmica básica são mostrados na Figura 3- 5.

Um aspecto a ressaltar é a distinção entre os conceitos de sistema fechado: em química o fechamento restringe a transferência de massa e em física, a todas as transferências de energia [82]. Como se pode ver no mapa conceitual, empregamos a idéia menos restritiva porque a disciplina se destinava a futuros profissionais da química.

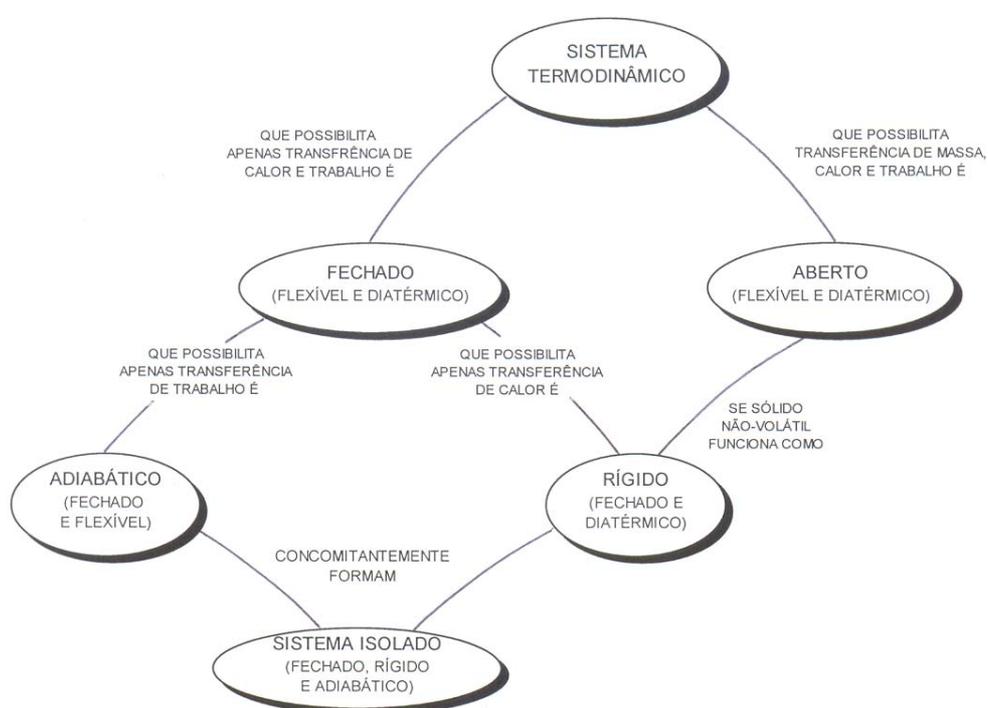


FIGURA 3-5: SISTEMAS TERMODINÂMICOS

Passando à estrutura conceitual do zero-ésimo princípio, temos os conceitos de equilíbrio térmico e temperatura. O conceito de equilíbrio térmico, de alto grau de

[81] DENBIGH, Kenneth. *The principles of chemical equilibrium*. 4th ed. Cambridge : Cambridge University Press, 1981. p. 5.

[82] CALLEN, Op. Cit. p. 17.

generalidade em termodinâmica, se insere no conceito de equilíbrio físico-químico macroscópico, conforme apresentado no mapa conceitual da Figura 3-6.

Neste contexto, o equilíbrio térmico é apenas um entre diferentes tipos de equilíbrio sendo portanto, um conceito específico.

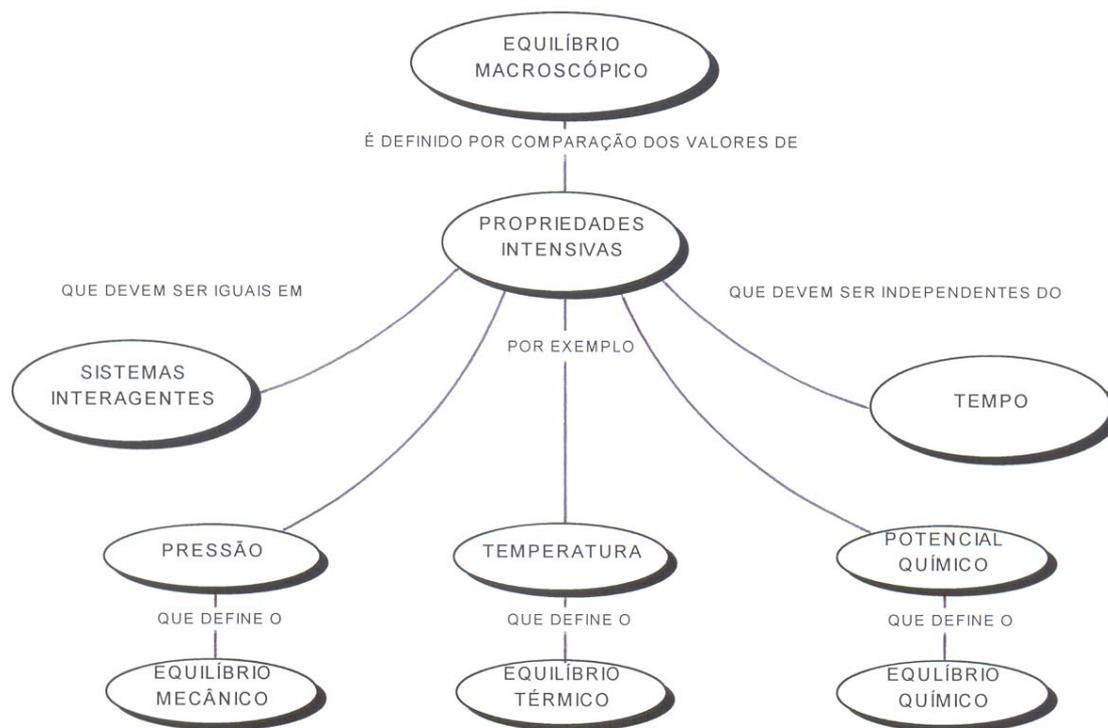


FIGURA 3-6: EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO

O equilíbrio termodinâmico refere-se a um estado caracterizado pela constância dos valores das propriedades macroscópicas do sistema. Em se tratando de propriedades intensivas, além de constantes, os valores devem ser os mesmos em todos os pontos do sistema. Os diferentes tipos de equilíbrio são definidos por diversas propriedades intensivas, dos quais o mapa conceitual apresenta três exemplos de importância em termodinâmica básica.

O conceito de estado se aplica às fases do sistema e é matematicamente representado pelas equações de estado. O entendimento das fases como meios materiais contínuos implica em que sua descrição possa ser realizada por funções contínuas. Portanto, as equações de estado são funções contínuas. Estas idéias, apresentadas no mapa conceitual da Figura 3-7, constituem a base do processo de formalização da termodinâmica.

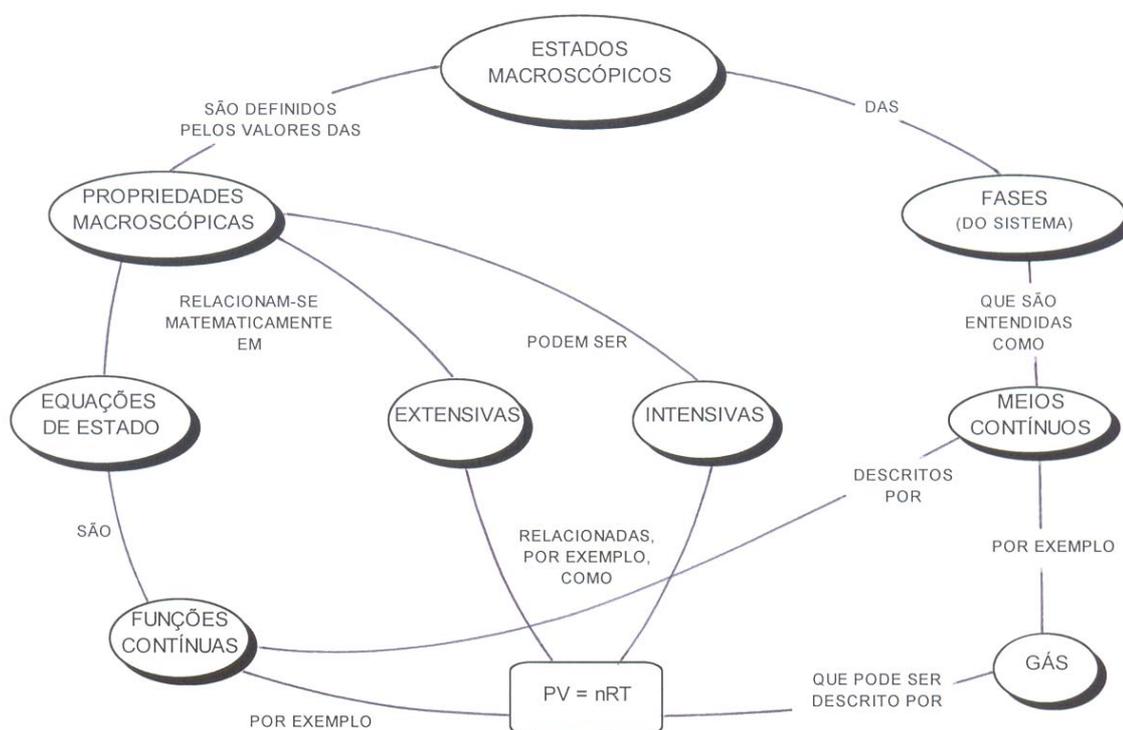


FIGURA 3-7: CONCEITOS BÁSICOS PARA A FORMALIZAÇÃO DA TERMODINÂMICA

Em oposição ao equilíbrio estabelecemos o conceito de processo: um sistema encontra-se em processo se suas propriedades dependem do tempo. Durante um processo pode haver algum tipo de equilíbrio, porém nem todas as propriedades intensivas vão apresentar valores iguais no sistema e na vizinhança. Como se vê no mapa conceitual da Figura 3-8, os desequilíbrios são causas para a ocorrência dos processos. Porém, o processo se desenvolve por interação sistema/vizinhança, o

que só é possível se há um contato adequado entre ambos, de modo a que possam se influenciar mutuamente.

Os processos de transferência de energia que ocorrem com sistemas fechados podem ser especificados de acordo com o tipo de controle que se impõe ao sistema ou às suas propriedades. Na base do mapa são apresentados exemplos de processos discutidos durante as aulas: processo isovolumétrico, isobárico, isotérmico e adiabático.

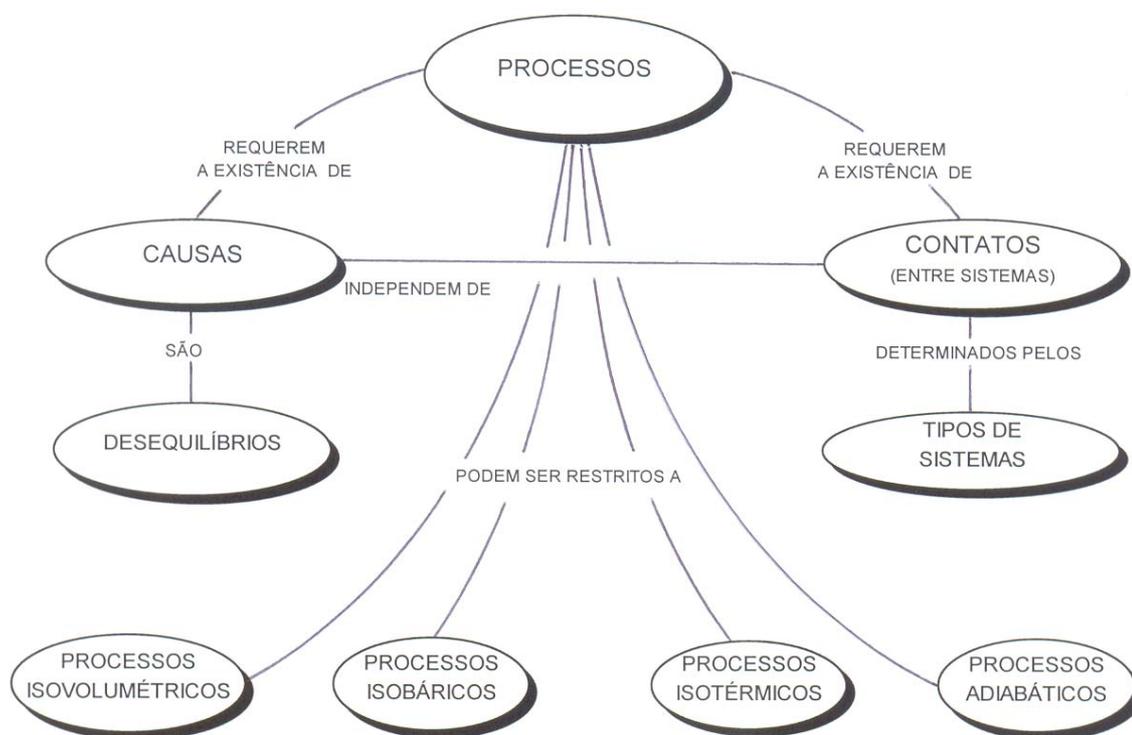


FIGURA 3-8: PROCESSOS TERMODINÂMICOS

A complementação do conceito de processo é realizada com a introdução das idéias de irreversibilidade e reversibilidade, pertencentes à estrutura conceitual da segunda lei da termodinâmica. Então, as propriedades de criação e conservação da entropia nos processos irreversíveis e reversíveis respectivamente, são demonstradas (ver Figura 3-9).

Com a segunda lei da termodinâmica encerra-se a discussão dos aspectos fenomenológicos da teoria. A entalpia e as funções de Gibbs e de Helmholtz são introduzidas como funções auxiliares [83], adequadas a cálculos referentes a processos físico-químicos realizados a pressão e temperatura constantes.

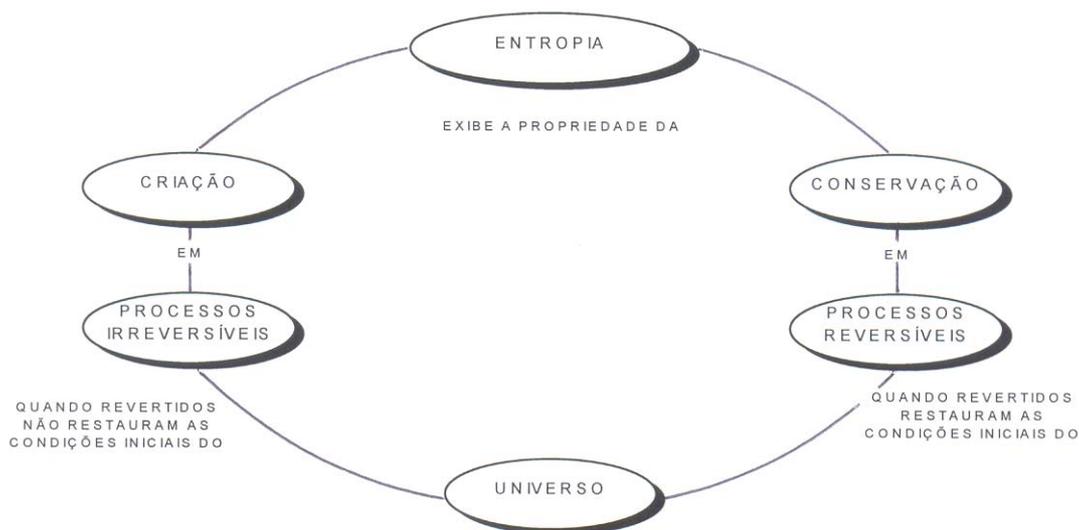


FIGURA 3-9: ENTROPIA

As deduções de expressões apropriadas para cálculos de variações das funções termodinâmicas em sistemas unicomponentes, foram condensadas em outro material produzido para os alunos, exposto no Apêndice 2. (Em nossa investigação restringimos os processos de interesse às mudanças de temperatura e de pressão em sistemas unicomponentes, embora os conteúdos da disciplina incluam mudanças de estados de agregação e reações químicas.)

Em geral, os livros-textos de físico-química apresentam separadamente as deduções para cada função (energia interna (U), entropia (S), entalpia (H), função de Gibbs (G) e função de Helmholtz(F)). Essa forma de expor o assunto, além de difi-

[83] DENBIGH, Op. Cit. p. 63-101.

cultar a visualização de similaridades das expressões formais e dos procedimentos empregados nas deduções, requer um tempo de discussão em sala maior que a dedução conjunta que propomos.

A dedução em separado é coerente com a apresentação fragmentada do conhecimento termodinâmico tradicionalmente seguida por esses livros: pouca discussão fenomenológica na apresentação das propriedades e formalização imediata. Não há um contexto claro onde o aluno possa situar-se.

A dedução conjunta torna-se possível pela construção de uma estrutura conceitual anterior baseada na explicação de determinados fenômenos e que requer a formalização para ser quantitativamente efetiva. A apresentação das expressões das diversas funções termodinâmicas em conjunto cumpre o propósito de mostrar as relações que as conectam, estendendo a coesão do assunto do nível fenomenológico para o formal.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO DOS ALUNOS

A investigação da estrutura cognitiva dos alunos previamente ao ensino da disciplina foi realizada por intermédio de um teste composto por um questionário e mapas conceituais. Aplicamo-lo no primeiro dia de aula, explicando-lhes que se destinava a informar seu conhecimento sobre alguns conceitos termodinâmicos e que essa informação seria usada na preparação das aulas. Comunicamo-lhes também que não seria atribuída nota ao teste e sua participação na avaliação de aprendizagem seria em termos comparativos com o conhecimento demonstrado posteriormente.

O questionário foi constituído por perguntas abertas pois pretendíamos identificar que conhecimento os alunos dispunham no início do curso, interferindo minimamente na forma como esse conhecimento podia ser expresso. Nas quatro vezes que foi empregado, teve três versões.

A primeira versão possuía quatro quesitos. No primeiro quesito solicitamos a conceituação de energia, energia interna, calor, trabalho, equilíbrio térmico, temperatura, processo irreversível, entropia, entalpia e energia livre. Estes conceitos, exceto por entalpia e energia livre, compõem os princípios da termodinâmica e constam do mapa da Figura 3-1.

As outras questões constaram de problemas cuja resolução envolvia cálculos, escolhidos com base na bibliografia das disciplinas de Física Geral e Química Geral. Cada um dos três problemas tratava de um processo distinto: troca de calor no interior de um sistema termicamente isolado, mudança de fase de substância e reação química.

Explicamos aos alunos que as respostas deveriam ser as mais completas possíveis, pois buscávamos conhecer os raciocínios empregados na resolução dos problemas.

Solicitamos também a confecção de um mapa conceitual sobre termodinâmica, incluindo os mesmos termos dos quais pedimos a conceituação no primeiro quesito do questionário. Como os alunos desconhecessem o que fosse um mapa conceitual, fizemos uma breve exposição sobre o assunto, acompanhada de um exemplo e orientações escritas para sua construção adaptadas de Moreira [84]. O mapa complementa as conceituações da primeira questão, proporcionando uma visão compacta e integrada dos conceitos.

[84] MOREIRA, *Mapas conceituais no ensino da física*, p. 38.

A segunda versão do teste incluiu mais um problema, envolvendo um outro tipo de processo, expansão isotérmica de gás. O Apêndice 3 apresenta essa segunda versão do questionário, a que possui maior extensão.

Os resultados do teste, nas duas primeiras vezes em que foi aplicado, mostraram que os alunos possuíam conceitos termodinamicamente errôneos de entalpia e energia livre e que não sabiam resolver tanto o problema sobre mudança de fase quanto o problema sobre reação química.

Por outro lado, o problema que envolve a expansão de gás revelou-se um bom indicador das mudanças de procedimentos dos alunos nas resoluções de problemas.

Na terceira e última versão do questionário suprimimos os conceitos de entalpia e energia livre e mantivemos apenas o problema sobre expansão de gás.

O conhecimento dos alunos posterior ao ensino foi avaliado através de: (a) novos mapas conceituais, baseados na mesma relação de termos fornecida no início do curso (energia, energia interna, calor, trabalho, equilíbrio térmico, temperatura, processo irreversível e entropia); (b) resoluções de problemas em situação de prova. Usamos os problemas sobre troca de calor e expansão isotérmica de gás, com redação idêntica à do teste prévio ou modificada e também, um problema sobre aquecimento isobárico de gás.

Realizamos uma tentativa de aplicação de um teste posterior ao ensino ao fim do curso, sem relação com as avaliações de aprendizagem. As respostas foram bem menos explicativas que nas provas. Desconsideramos seus resultados.

As respostas do teste de conhecimento prévio ao ensino das leis da termodinâmica foram comparadas com as respostas das provas e o outro mapa conceitual construído posteriormente, para fins de avaliação de aprendizagem dos alunos e avaliação da eficácia de nossa proposta de ensino.

3.4 METODOLOGIA DE ENSINO

3.4.1 AULAS EXPOSITIVAS E ORGANIZAÇÃO SEQÜENCIAL DOS CONTEÚDOS

Ao modificar o ensino para facilitar a aprendizagem significativa dos alunos, consideramos a possibilidade de nosso trabalho ser útil a outros professores. Por isso, nos preocupamos com que as mudanças introduzidas fossem restritas ao mínimo, para que pudessem ser mais facilmente compreendidas e assimiladas. Em geral, os professores resistem à introdução de mudanças em suas disciplinas. O emprego de técnicas de ensino pouco convencionais poderia se constituir em um obstáculo a mais para essa assimilação. Assim, optamos por manter as aulas expositivas na apresentação da teoria termodinâmica.

A aula expositiva possui fortes vínculos com o ensino tradicional e “tem sido criticada pela forma como vem sendo adotada pela grande maioria dos professores, a saber, de modo mecânico e desvinculado da prática social, produzindo uma postura autoritária do professor e inibição da participação do aluno” [85].

Segundo Gil-Pérez [86], existiriam dúvidas quanto ao favorecimento da aprendizagem significativa pelo ensino por transmissão verbal de conhecimentos.

Se é verdade que estas críticas se aplicam a muitas situações e a muitos professores, não é uma necessidade que as aulas expositivas devam se constituir

[85] LOPES, Antonia Osima. Aula expositiva: superando o tradicional. In: VEIGA, I. P. A. *Técnicas de ensino: por que não?* Campinas, SP : Papirus, 1993. p. 46.

[86] GIL-PÉREZ, Daniel. Tres paradigmas basicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, v.1(1), p. 26-33, 1983.

em insípidos monólogos do professor. Também não há relação causal entre ensino expositivo e aprendizagem mecânica, como quer fazer crer o professor Gil-Pérez.

Ao ensino expositivo corresponde a aprendizagem receptiva que pode ser significativa, pois a dimensão receptiva-descoberta é independente da dimensão mecânico-significativa da aprendizagem. A assimilação de significados pode ser atingida através de aprendizagem receptiva estimulada por aulas expositivas criativas que requeiram “a atividade e a iniciativa dos alunos sem prescindir da iniciativa do professor; favoreçam o diálogo entre professor e alunos e dos alunos entre si, sem cair numa prática permissiva; considerem os interesses e experiências dos alunos sem desviar-se da sistematização lógica dos conteúdos previstos nos programas de ensino” [87].

O problema das dificuldades em facilitar a aprendizagem significativa dos alunos não se resolve pelo abandono das aulas expositivas e emprego de outras técnicas de ensino — que podem apenas mascarar a realidade e conduzir à aprendizagem mecânica tão bem quanto aulas expositivas de má qualidade — mas, pela busca de referências educacionais que orientem para um ensino coerente com esse objetivo. Adotamos, portanto, o ensino expositivo nas aulas teóricas da disciplina.

O levantamento do conhecimento dos alunos anterior ao ensino apontou para a existência de concepções incorretas da estrutura conceitual da termodinâmica. Por isso julgamos adequado expor a construção fenomenológica dos conceitos fundamentais da termodinâmica. Empregamos os já citados materiais instrucionais que elaboramos parcialmente apoiados na história da ciência. A história, além de nos evidenciar a dinâmica própria da elaboração dos conceitos científicos, pode nos prover

[87] LOPES, Op. Cit., p. 47.

de argumentos adequados para o ensino. As discussões acerca dos conceitos de energia e calor são dois bons exemplos dessa afirmação [#].

Entretanto, a seqüência de apresentação dos conteúdos não seguiu a ordem histórica da produção do conhecimento termodinâmico. É sabido que os trabalhos de Sadi Carnot que conduziram à segunda lei da termodinâmica, antecederam em décadas as experiências sobre a conservação da energia [88]. É conhecido também, que o conceito de equilíbrio térmico só teve sua fundamental importância reconhecida neste século, tendo por isso recebido a pouco usual denominação de zero-ésimo princípio da termodinâmica [89].

Entendemos que apresentar a termodinâmica na ordem em que os artigos científicos foram publicados seria ensinar história da ciência, o que não era nosso objetivo. Então, privilegiamos o princípio da diferenciação progressiva dos conceitos como ordenador dos conteúdos a serem expostos em aula. Entretanto, procuramos evitar que a escolha da seqüência lógica em lugar da cronológica conduzisse ao ensino do conhecimento termodinâmico dissociado do processo de sua elaboração que, segundo Pregnotatto, é comum acontecer [90].

Organizamos os conteúdos em três blocos: o primeiro constituiu-se da construção das estruturas conceituais dos três princípios da termodinâmica, de um ponto de vista fenomenológico; o segundo, da formalização desses princípios, deduzindo-se as expressões de grandezas termodinâmicas como funções da temperatura, volume ou pressão e composição dos sistemas; no terceiro bloco os conhecimentos

[#] Ver Notas sobre Termodinâmica Básica, no Apêndice 1.

[88] LINDSAY, R. Bruce. *Energy: historical development of the concept*. Stroudsburg : Dowden, Hutchinson & Ross, [1977?].

[89] HAASE, R. Survey of fundamental laws. In: EYRING, Henry, HENDERSON, Douglas, JOST, Wilhelm. *Physical chemistry: an advanced treatise*. New York : Academic Press, 1971. v.1, p. 8.

[90] PREGNOTATTO, Yukimi. *A eletrostática: o conhecimento possível e o conhecimento aprendido*. Tese de doutoramento. São Paulo : FEUSP, 1994. p. 11-13.

discutidos nos blocos anteriores são empregados no estudo de vários tipos de problemas práticos simples.

A discussão fenomenológica foi iniciada pelo conceito de energia por ser central em termodinâmica. Realizamos a diferenciação progressiva da energia de acordo com as Notas do Apêndice 1. Então, passamos ao conceito de equilíbrio e à lei zero. Por contraposição introduzimos o conceito de processo e o diferenciamos. Em seguida discutimos a segunda lei da termodinâmica. A cada princípio da termodinâmica iniciamos pelo conceito primitivo e o diferenciamos progressivamente em seus conceitos derivados. As aulas expositivas foram baseadas nos mapas conceituais apresentados na seção anterior sobre os conteúdos da termodinâmica básica, embora não houvessem sido empregados em sala (ver discussão sobre avaliação, adiante).

No segundo bloco estabelecemos a energia interna (U), a entropia (S), a entalpia (H), a função de Gibbs (G) e a função de Helmholtz (F) como funções da temperatura, volume ou pressão e composição dos sistemas, variáveis facilmente mensuráveis e controláveis. Definidas as variáveis independentes e estabelecidas as equações diferenciais, o processo consiste em integrá-las. Para tanto é preciso explicitar expressões analíticas das derivadas parciais adequadas à integração, o que é feito através de sua identificação com grandezas derivadas da equação de estado e das capacidades caloríficas (capacidades térmicas).

No último bloco foram analisadas, qualitativa e quantitativamente, mudanças de temperatura e pressão de substâncias gasosas e condensadas, mudanças de estado de agregação e reações químicas. As formas gerais das equações foram especificadas de acordo com os tipos de sistemas, os tipos de processos e as equações de estado das substâncias.

Os blocos constituem uma hierarquia do geral ao específico. Ao discutir assuntos do formalismo retornamos às questões fenomenológicas para discutir a correspondência das linguagens. No estudo das aplicações procuramos localizar cada problema específico no âmbito de problemas mais gerais. Com esse procedimento buscamos manter o conhecimento termodinâmico unificado, realizando a reconciliação integradora. Dentro de cada bloco buscamos também essa unidade, partindo dos conceitos gerais aos específicos e retornando aos conceitos gerais.

3.4.2 AULAS DE DISCUSSÃO DE PROBLEMAS

As aulas práticas da disciplina ocorrem em períodos de três horas semanais. Há dois tipos: (a) experiências em laboratório; (b) aulas de resolução de problemas.

Nas aulas de laboratório, que são apenas duas no curso, não introduzimos modificações. Como as experiências objetivam medidas da pressão de vapor de líquidos e da energia de combustão de sólidos, as utilizamos como exemplos dos processos discutidos nas aulas teóricas, analisando os fenômenos e explicando o emprego da teoria na montagem dos experimentos. Desse modo, tornaram-se mais integradas ao curso.

Entretanto, as aulas de resolução de problemas foram bastante modificadas. Tradicionalmente consistiam em exposição das soluções de alguns dos problemas constantes de uma lista confeccionada pelos professores da disciplina. Os problemas não apresentados em sala deveriam ser resolvidos pelos alunos fora dos horários de aula. Concordamos com Gil-Pérez quando afirma que em aulas de resolução de problemas pelo professor “não se ensina a resolver problemas, porém a compre-

ender e memorizar soluções explicadas pelo professor como exercícios de aplicação da teoria” [91]. De fato, as respostas dos alunos indicavam a existência de aprendizagem mecânica, pois quando inquiridos a respeito da escolha das expressões matemáticas empregadas na resolução de algum problema, justificavam-nas a partir da correspondência com termos existentes nos enunciados. Por exemplo: se o processo fosse isobárico, o trabalho era calculado como $P\Delta V$; se fosse isotérmico, como $nRT \ln(V_f / V_i)$. Entretanto, não sabiam como partir da definição de trabalho e obter tais expressões.

A situação dos alunos era similar ao do aprendiz de regras (rule learner) descrito por Herron e Greenbowe [92]. Segundo esses pesquisadores a principal tarefa do aprendiz de regras é “memorizar regras e algoritmos. Então, deve praticar as regras até poder aplicá-las perfeitamente. Quando se defronta com um problema (...) busca no enunciado as chaves para identificar a regra que deve aplicar para resolvê-lo. Recorda então a regra, aplica-a e dá a resposta.”

O procedimento mais comum é a construção de associações entre palavras-chave do enunciado e expressões matemáticas. Esse comportamento pode ser induzido por exemplos de livros-textos [93] que utilizam expressões matemáticas como fórmulas, receitas que poderiam ser prescritas para resolver problemas. Os exemplos apenas ilustram o emprego de tal ou qual equação deduzida anteriormente sem retomar a discussão do raciocínio que a gerou, vindo da situação geral para a questão específica em foco.

Por outro lado, muitos professores reproduzem essa atitude em sala de aula. Coerentemente, aceitam respostas às questões propostas que não são mais que

[91] GIL-PÉREZ, Op. Cit. p. 31.

[92] HERRON, J. Dudley, GREENBOWE, Thomas J. What can we do about Sue: a case study of competence. *Journal of Chemical Education*, v.63(6), p. 528-531, 1986. p. 529.

[93] RESNICK, Robert, HALLIDAY, David. Física. 4ª ed. Rio de Janeiro : LTC, 1984. cap. 22. PILLA, Op. Cit. cap.5.

uma sucessão de expressões matemáticas resolvidas, sem explicação do raciocínio que conduziu à sua escolha para a resolução do problema, o que pode reforçar a busca da associação entre enunciado e fórmulas

Os mais claros exemplos do procedimento associacionista dos alunos são as respostas em que aparecem equações desnecessárias à resolução do problema proposto, porém em conexão com algum termo-chave do enunciado. Assim é que, podemos encontrar o cálculo do trabalho de expansão isotérmica de um gás em meio à resposta de um problema que não o requer, mas que envolve uma expansão isotérmica.

As solicitações de explicação das respostas aos problemas mostraram-se insuficientes: os alunos não sabiam como fazê-lo. De modo geral, além das dificuldades de expressão oral e escrita, pareciam supor que as equações eram suficientes como explicação, como se fossem auto-evidentes. Perguntados sobre os motivos para suas dificuldades, diziam do estranho que lhes era esse tipo de solicitação.

A aprendizagem mecânica de resoluções de problemas pode ser desenvolvida ao ponto da memorização de procedimentos inteiros que se tornam bastante resistentes à mudança como pudemos verificar num estudo de caso sobre o problema de determinação da temperatura de equilíbrio quando são postos em contato térmico dois corpos com temperaturas distintas. Propusemos a questão no teste de conhecimento prévio e obtivemos a resposta típica: expressões matemáticas e cálculos. Em meio ao curso o problema foi resolvido em aula, quando procuramos mostrar a necessidade da análise fenomenológica como justificativa para a escolha das expressões empregadas nos cálculos. No fim do curso, quando solicitados a resolver o problema mais uma vez, apenas um quarto dos alunos justificou adequadamente

suas respostas. A maioria reproduziu total ou parcialmente a resposta padronizada apresentada no início do semestre [⁹⁴].

Entretanto, os mapas conceituais confeccionados pelos alunos revelaram a existência de relações conceituais que, acreditamos, lhes permitiriam proceder à análise fenomenológica correta e resolver o problema de modo justificado. A discrepância entre o conhecimento revelado pelos mapas e o exposto nas respostas do problema nos levou a concluir pela necessidade de tornar mais explícitas as relações entre as descrições fenomenológica e formal.

Então, substituímos a exposição de resoluções de problemas pelo professor pela discussão das resoluções de problemas expostas pelos alunos, que eram criticadas pelos outros estudantes e pelo professor. Com essa modificação pretendemos viabilizar a congruência de significados entre professor e alunos, em relação aos materiais educativos do currículo. Para alcançá-la é necessário que os conceitos e as relações conceituais que estruturam o conhecimento termodinâmico sejam explicitados e aceitos por todos.

Os problemas que discutimos em sala foram de descrição de processos termodinâmicos, de interpretação de enunciados de problemas dos livros-textos da disciplina e de cálculos termodinâmicos. Estes últimos exigem a interpretação dos enunciados e o conhecimento dos procedimentos para a realização dos processos. Em qualquer dos casos foi requerido dos alunos que apresentassem as razões para a resposta dada.

A técnica utilizada e que foi eficaz em sala de aula começava por solicitar a um aluno que respondesse a dada questão. Em seguida, questionávamos aos demais se concordavam ou não com a resposta fornecida, dividindo-os em grupos, de

[⁹⁴] SILVA, José Luis P. B. Estrutura cognitiva e resolução de problemas. *Anais da 18ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*. [São Paulo] : SBQ, 1995. [Não paginado]

acordo com a similaridade de pensamento. O grupo que se encontrasse em minoria numérica apresentava primeiro os argumentos a favor das idéias que defendia. O(s) outro(s) grupo(s) expunham então, suas argumentações. Com isso, o conhecimento termodinâmico dos alunos era exposto e as discordâncias eram exploradas como meios de desenvolver a crítica construtiva, a colaboração e a objetividade [⁹⁵].

Algumas regras para discussão foram: justificar sempre as respostas; evitar respostas precipitadas; não dissimular: afirmar o desconhecimento, quando fosse o caso; ouvir com atenção as falas dos colegas; esperar sua vez de manifestar-se.

Encerrada a discussão de um problema, solicitávamos a outro aluno que respondesse ao seguinte, e assim por diante, para que todos pudessem vivenciar a situação de ser o iniciador do processo de discussão, expondo-se à crítica. No início das aulas os alunos mais tímidos apresentaram dificuldades de falar no grupo, porém, em geral, mudaram de atitude no decorrer do semestre, adquirindo segurança à medida que se familiarizavam com os colegas.

Foi freqüente que um grupo de alunos conseguisse apontar falhas nos argumentos dos colegas e convencê-los de seus raciocínios errados. Outras vezes fez-se necessária a intervenção do professor para clarear aspectos pouco percebidos da questão e apresentar argumentos e exemplos em favor de determinada interpretação. A primeira situação é mais desejável, porque o convencimento por um par não traz consigo a carga de autoridade que as argumentações do professor possuem. Também porque fortalece a interação dos alunos e põe em evidência sua capacidade de argumentação, possibilitando a percepção de seu desempenho.

As aulas de discussão de problemas constituíram-se em espaço privilegiado de intercâmbio e negociação dos significados dos conceitos termodinâmicos entre

[⁹⁵] CASTANHO, Maria Eugênia L. M. Da discussão e do debate nasce a rebeldia. In: VEIGA, I. P. A. *Técnicas de ensino: por que não?* Campinas, SP : Papyrus, 1993. p. 89-101.

alunos, professor e materiais educativos. Através delas buscamos a congruência dos significados e a consolidação do conhecimento termodinâmico dos alunos.

3.4.3 AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Se a aprendizagem consiste na aquisição de significados e no estabelecimento de relações conceituais significativas, a avaliação da aprendizagem deve buscar identificar quais relações conceituais foram construídas pelos alunos e quais significados incorporou à sua estrutura cognitiva.

Segundo Ausubel [⁹⁶] o modo mais adequado de avaliar a aprendizagem significativa é expondo os alunos a situações novas, um tanto diferentes daquelas discutidas em aula. Entretanto, a resolução de uma questão nova requer o emprego de processos heurísticos, de modo que, mesmo com conhecimento do assunto, pode ocorrer dos alunos não conseguirem resolvê-la. O tempo de aula necessário para identificar e trabalhar as dificuldades dos alunos com novos problemas inviabilizou esse tipo de avaliação. Optamos por empregar como instrumentos de avaliação mapas conceituais e provas de problemas similares aos ensinados.

Os alunos confeccionaram mapas conceituais nos primeiros dias de aula, como parte do teste de conhecimento prévio ao ensino. Após o ensino da primeira lei da termodinâmica foi solicitada a confecção de novo mapa sobre a termodinâmica, que incluísse os mesmos conceitos do teste de conhecimento prévio. Foi fran-

[96] AUSUBEL, Op. Cit. p. 122-123, p. 510.

queada a inclusão de quaisquer outros elementos que cada aluno julgasse adequados.

Na última semana de aulas realizamos entrevistas individuais onde discutimos vários aspectos do curso. Os mapas confeccionados foram examinados em conjunto para avaliarmos as mudanças ocorridas no conhecimento do aluno em relação à estrutura conceitual da termodinâmica, em geral, e da primeira lei em particular. Na ocasião, foi discutida e atribuída uma nota correspondente ao desenvolvimento de cada um. Esta nota, identificada como dos mapas conceituais, contribuía com dez por cento de peso para a média final.

As provas foram constituídas por problemas similares aos discutidos nas aulas, tendo sido franqueada a consulta a qualquer tipo de material escrito que o aluno levasse à sala. Com a livre consulta pretendemos desestimular a memorização mecânica de resoluções de problemas e atender à reclamação dos alunos de que haveria muitas fórmulas a memorizar.

As respostas que os alunos forneciam habitualmente continham apenas as expressões matemáticas empregadas e os cálculos. Caberia ao professor, durante a correção, supor o raciocínio seguido pelo aluno para resolver o problema. Grande parte da avaliação seria composta por essas suposições, o que lhe atribuía um caráter altamente subjetivo.

A introdução da consulta nas provas alterou os critérios de avaliação. Como as expressões matemáticas estavam disponíveis, a avaliação deveria considerar não apenas seu emprego, mas principalmente, as razões de sua escolha. Os critérios que utilizamos podem ser agrupados em dois blocos: desenvolvimento da análise fenomenológica e desenvolvimento do formalismo.

A análise fenomenológica da situação posta pelo enunciado de uma questão requer a caracterização do sistema e do processo que ocorreu ou pode ocorrer. Para

procedê-la o aluno lança mão dos conceitos termodinâmicos. Mas como nem todo o conhecimento que possui é necessário à resposta de um problema particular, a escolha dos conceitos a utilizar é uma evidência de seu entendimento do enunciado. Se é solicitado por exemplo, o cálculo do trabalho realizado pelo sistema, dificilmente será preciso determinar a quantidade de calor envolvida no mesmo processo para atender à solicitação. Logo, o conceito de trabalho é pertinente à questão e o conceito de calor não o é.

A utilização de conceitos não pertinentes à questão na resposta indica ou a falta de entendimento do enunciado ou que o aluno confunde significados, ou ambos. O conhecimento que possui não está claramente estruturado, com conceitos devidamente diferenciados. Portanto, a pertinência dos conceitos à questão é um critério de avaliação importante.

A correção das relações conceituais é outro critério de avaliação. Utilizamos como referência de correção a bibliografia recomendada na disciplina. O emprego desse critério requer alguns esclarecimentos de ordem epistemológica aos alunos. Um aspecto a esclarecer é que a verdade e a falsidade científicas são definidas pelas comunidades dos praticantes das ciências e que, em geral, essa definição se dá por consenso. Contudo, existem conceitos termodinâmicos em relação aos quais há consenso parcial por exemplo, o calor: alguns defendem o conceito de calor como movimento molecular outros, como um processo de transferência de energia, porém todos concordam com as expressões matemáticas a empregar nos cálculos. Há que ter flexibilidade em relação ao que é certo e errado.

Também é preciso explicar que a construção dos conceitos possui uma história e o mesmo fenômeno pode ser interpretado de maneiras diversas conforme a época. Por vezes, conceitos cientificamente ultrapassados fazem parte do senso comum e os alunos iniciam seus estudos com esse conhecimento. A história da ci-

ência revela como se deu a mudança conceitual, explicando porque os conceitos antigos passaram a ser considerados errados.

A análise fenomenológica da questão é apresentada pelos alunos como um discurso oral ou escrito, que para ser claro e convincente para quem o ouve ou lê, deve possuir unidade. A coerência entre as partes da argumentação mostra articulações existentes na estrutura cognitiva do aluno. Seu raciocínio expõe a estrutura conceitual construída durante a aprendizagem.

A clareza e a correção de uma argumentação dependem certamente, de uma linguagem correta, tanto do ponto de vista técnico quanto gramatical: não há como explicar termodinamicamente um fenômeno empregando termos técnicos de outra área em um português incompreensível. Por isso, a coerência da argumentação e a correção de linguagem constituem-se em critérios de avaliação.

As informações provenientes da análise fenomenológica determinam formas particulares das equações que serão empregadas nos cálculos. Por exemplo, a identificação das paredes do sistema como rígidas significa que não pode haver trabalho de variação de volume e que o volume não é variável nas equações de estado. Se, por outro lado, o processo é isotérmico, as funções termodinâmicas independem da temperatura.

Solicitamos aos alunos a justificativa da escolha das equações baseada na análise fenomenológica. Recomendamos tomar das expressões referentes aos sistemas e processos mais abrangentes e impor-lhes as restrições identificadas no enunciado do problema específico. Esse procedimento deverá conduzir ao emprego de equações corretas e adequadas que serão objeto de avaliação. Isso também pode evitar que o aluno busque memorizar mecanicamente um número excessivo de expressões, confunda-se e cometa erros por exemplo, misturando termos de equações semelhantes, o que é comum.

Os outros aspectos a avaliar são a correção das unidades das grandezas físicas e a correção dos cálculos. As unidades identificam as grandezas e as dimensionam, enquanto os cálculos fornecem suas quantidades, sendo indispensáveis às respostas da maioria dos problemas discutidos na disciplina.

Consideramos respostas numéricas aos problemas como insuficientes para evidenciar a aprendizagem significativa da termodinâmica pelos alunos. Há todo um raciocínio a guiar a escolha das expressões que conduzem aos números. Esse raciocínio está intimamente vinculado à estrutura cognitiva possuída por quem dá a resposta e que é o resultado de sua aprendizagem. Em resumo, a avaliação de aprendizagem significativa deve buscar a explicitação das relações conceituais construídas pelos alunos empregando os seguintes critérios:

1. Relativos ao desenvolvimento da análise fenomenológica.

- 1.1. Pertinência dos conceitos utilizados na resposta.

- 1.2. Correção das relações conceituais.

- 1.3. Coerência da argumentação.

- 1.4. Correção da linguagem, técnica e gramaticalmente.

2. Relativos ao desenvolvimento do formalismo.

- 2.1. Adequação das equações.

- 2.2. Correção das equações.

- 2.3. Correção das unidades das grandezas físicas.

- 2.4. Correção dos cálculos.

No capítulo seguinte apresentaremos e discutiremos os resultados da implementação de nossa proposta de ensino em situações reais de sala de aula, procurando demonstrar sua eficácia como facilitadora da aprendizagem significativa.

Capítulo 4

RESULTADOS

