

Universidade de São Paulo
Instituto de Física
Faculdade de Educação

**“Formação Continuada de Professores e Mudanças
nas Formas de Estruturar a Mecânica Clássica”**

Rebeca Vilas Boas Cardoso de Oliveira

Dissertação apresentada como exigência
parcial à obtenção do Título de Mestre em
Ensino de Ciências Modalidade Física.

Orientadora: Prof. Dra. Yassuko Hosoume

São Paulo
1999

Aos professores de física

Agradecimentos

Quero agradecer à Prof. Dra. Yassuko Hosoume, pela orientação paciente neste trabalho, por seu olhar crítico e pela confiança em minhas idéias e, também agradecer à Yá, pelo carinho e amizade nesta longa trajetória.

Agradeço ao Paulo, pela presença constante e companheira, dividindo devaneios e incertezas, responsável por risos entre lágrimas, me dando forças para caminhar.

Quero agradecer ao Prof. Dr. Manoel R. Robilotta, membro da banca do Exame de Qualificação, por suas críticas pertinentes e sugestões mais pertinentes ainda, que muito acrescentaram a este trabalho.

Quero agradecer à Prof. Dra. Maria Regina Kawamura e à Prof. Dra. Marília Teixeira da Cruz, por suas cartas de recomendação à época da admissão na Pós-Graduação e às instituições responsáveis por bolsas de estudo.

Quero agradecer a todos os colegas que dividiram sala comigo e a todos os colegas que passaram pelo “nosso corredor do ensino”; foram muitas idéias trocadas, seja nas reuniões de grupo ou no banco do jornal, seja nos seminários ou no café, ou ainda no próprio corredor. Agradeço, também, à Beth, secretária, sempre solícita e “quebrando galhos”.

Agradeço a meus pais e a amigos que estão fora do Instituto de Física, que, de certa maneira, sempre estiveram presentes e, por isso, são muito importantes.

Agradeço à CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, que me concedeu bolsa pelo período de 30 meses.

Há muito que agradecer e há tantos a quem agradecer, que corro o risco de deixar de mencionar alguém. De qualquer forma, fica aqui o meu muito obrigada,

RESUMO

Este trabalho mostra que diferentes proposições de ensino de uma mesma teoria da física, traduzem diferentes objetivos com este ensino e também implicam em diferentes visões deste conhecimento. A escolha dos elementos que irão compor a teoria e as relações estabelecidas entre eles, configuram diferentes maneiras de se estruturar um mesmo conhecimento, o que mostra a análise de duas propostas de mecânica clássica para o ensino médio, a tradicional, representada pelos livros didáticos em geral, e a do GREF – Grupo de Reelaboração para o Ensino de Física.

Para caracterizarmos a estrutura da mecânica clássica, levantamos elementos que julgamos importantes para a composição desta teoria e articulamos estes elementos, estruturando-os num possível mapa conceitual para esta teoria. Com este mapa, analisamos as duas propostas de mecânica, o que resultou em dois outros mapas conceituais, que apontaram diferenças consideráveis entre elas.

Com entrevistas a dois grupos de professores que utilizam as respectivas propostas de ensino, a nossa análise indica que as diferenças entre as proposições são constatadas também nos professores, que formam dois grupos distintos. Os professores da proposta tradicional estruturam a teoria da mecânica apenas com elementos de translação, articulando-os de forma linear, como fazem os livros didáticos, compondo um todo fragmentado. Os que aplicam o GREF apresentam elementos de translação e de rotação, destacam a importância das leis de conservação para a teoria, e a articulação dos conteúdos é mais global, compondo um todo mais harmônico.

Nossa pesquisa aponta a fragilidade da formação dos professores de física, que, na maioria das vezes, estão presos aos livros didáticos, tornando suas aulas uma mera reprodução destes. Por outro lado, aponta a importância do trabalho de formação continuada do GREF, por promover uma reelaboração do conhecimento de física do professor, que, esperamos, seja refletida em sua prática de sala de aula, propiciando um ensino mais significativo.

ABSTRACT

This thesis shows that different teaching propositions for the same theory translate different subjects for its teaching and also imply different views of this knowledge. The analysis of two high school teaching propositions, the traditional one, represented by text books, and the GREF's – Physics Teaching Re-elaboration Group, suggests that the choice of the composing elements of the theory and their links, reveal different ways to structure the same knowledge.

In order to characterize the classical mechanic's structure, we searched for the elements that we believe are important to this theory, building an eventual conceptual map for it. From this map, we analyzed the two mechanic's propositions, suggesting two others conceptual maps, with relevant differences between them.

Interviewing two groups of teachers, the ones who work upon the traditional proposal, and the others, who work upon the GREF's, we find out that they are divided in two different groups of knowledge. The traditional ones, present a mechanic's theory using only translation elements, articulating them in a linear way, resulting in a fragmented theory, just as the text books do. The GREF ones, present a mechanic's theory using translation and rotation elements, detaching the importance of the Laws of Conservation, articulating them in a global and smooth way.

This study shows the weakness of the graduation of the Physics teachers, whose, mainly, just reproduce the text books in their classes. On the other hand, it indicates the importance of the GREF's continuing teaching, for promoting a re-elaboration of the teacher's knowledge of Physics which, we hope, could be used in their classes, leading to a richer teaching.

ÍNDICE

Introdução	07
Capítulo I – O GREF e a Formação Continuada	
O GREF	17
O trabalho de formação continuada do GREF	24
Uma reelaboração constante	26
Capítulo II – A mecânica clássica e seu ensino: diferentes visões?	
O conteúdo de física e o ensino médio	30
Diferentes visões de uma mesma teoria	35
Os mapas da mecânica clássica	40
A mecânica da proposta tradicional	52
A mecânica da proposta GREF	55
Diferentes visões, diferentes propostas	57
Capítulo III – A mecânica dos professores de física	60
A tomada de dados	61
Os mapas dos professores do grupo R	64
Os mapas dos professores do grupo G	70
Diferentes propostas, diferentes visões	78
Considerações finais	81
Bibliografia	84
Anexo I	87
Anexo II	89
Anexo III	97

Introdução

"Cada olhar envolve uma observação, cada observação uma reflexão, cada reflexão uma síntese: ao olharmos atentamente para o mundo já estamos teorizando"¹.

J. W. Goethe

Num tom bastante poético, Goethe considera que o natural do ser humano é teorizar, ou seja, buscar uma interpretação para aquilo que vê, sente, observa. Se não chega a teorizar, no mínimo, o ser humano levanta hipóteses sobre as coisas, acredito. Recém formada no curso de bacharelado em física, sem perspectiva de trabalho fora a carreira acadêmica, matriculei-me no curso de licenciatura em física e fui contratada como professora do segundo grau numa escola particular. Primeiro como professora de um plantão de dúvidas, um "apoio" aos alunos, parecido com aula particular. Como professora eu deveria "eliminar" as dúvidas quanto aos exercícios de física. Eu, então, resolvia os exercícios à minha maneira, com a minha lógica, e repetia o mesmo procedimento até o aluno "entender" (entenda-se "decorar") o que fazer. Depois, como professora de "sala de aula", lecionava para as 1.^{as} e 2.^{as} séries do, hoje chamado, ensino médio. Não era eu quem preparava as aulas, também não era eu quem preparava as provas, assim como também não era eu quem as corrigia. O curso era apostilado e qualquer material ou atividade para o aluno estava preparado/pronto já nos primeiros dias do ano letivo: o conteúdo a ser ensinado, as aulas a serem ministradas, as avaliações etc., e ao professor cabia entrar em sala de aula e resolver exercícios, mais uma vez, com a sua lógica. Frente a uma sala com quarenta alunos, todos com muita energia e muita conversa, eu levava para as minhas aulas notícias da mídia impressa e falada, conhecimentos adquiridos na faculdade etc e percebia que, nesses

¹ Goethe, J. W., *A Doutrina das Cores*, pp 37.

momentos da aula, a atenção estava voltada para o conhecimento apresentado, sem que fosse necessário pedir silêncio ou chamar a atenção para o professor. Nesse meio tempo, o curso da Licenciatura provocava em mim insatisfação com minhas aulas, com a postura do colégio e com o próprio conteúdo de física a ser ensinado: a física do livro didático era muito “chata” mas a física que falava sobre os cometas, sobre os caças F-5 americanos etc era interessante. Como era possível que o mesmo conhecimento causasse indiferença e fascínio? Foram essas inquietações que me levaram ao curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Modalidade Física. Não tinha (e nem tenho) a pretensão de responder a todas as questões, mas talvez deixar alguma contribuição.

Conheci o GREF – Grupo de Reelaboração para o Ensino de Física – em 1993, por indicação de uma colega, também professora de física do ensino médio. O GREF está sediado no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, foi institucionalizado em 1984, e desenvolve uma proposta metodológica e de conteúdo bastante diferente da proposta tradicional². Àquela época, o projeto já havia publicado, pela Editora da Universidade de São Paulo - EDUSP, sua coleção de três livros destinada ao professor: *Física 1 – Mecânica* (1990), *Física 2 – Física Térmica e Óptica* (1991) e *Física 3 – Eletromagnetismo* (1993). Achei diferente a idéia: os livros foram publicados para o *professor* e não eram simplesmente livros com exercícios gabaritados “em anexo”. Percebi uma grande diferença entre a proposta do GREF e a maioria dos livros (ou apostilas) didáticos já publicados, quando vi a seqüência de conteúdo apresentada em seu índice: o conteúdo que eu trabalhava nas aulas estava lá, mas com uma abordagem diferente. Ou seja, o conteúdo era o mesmo se fizéssemos uma relação, mas como as articulações eram feitas de maneira mais clara, mais coerente, ele parecia “tornar-se outro”. A abordagem cotidiano/vivencial, proposta pelo projeto, parecia ir de encontro ao fascínio dos alunos em desvendarem *alguma coisa* dos caças F5 americanos, dos cometas, do arco-íris... A proposta do projeto é que o professor inicie seu curso com a participação efetiva sua e de seus

² Chamamos de tradicional o conteúdo proposto ao ensino médio pela maioria absoluta dos livros didáticos, que apresenta uma seqüência de conteúdo sempre seguida pelo professor.

alunos, fazendo um levantamento ainda na primeira aula, incentivados pela pergunta “que coisas estão/podem ser relacionadas ao conteúdo que queremos estudar?” Abordar a física a partir de situações presentes no contexto social do aluno e do professor exige uma constante reelaboração deste conteúdo, uma constante reestruturação desse conhecimento, que possibilite, tanto ao aluno quanto ao professor, o fascínio pelo saber, pelo aprender, diminuindo a indiferença, a postura apática que tanto um quanto outro vêm apresentando.

À medida que eu reestruturava meu conhecimento, outras questões me foram sendo propostas: o que é física? Por que é importante ensiná-la? Por que você quer ser professora de física?... É claro que não existe uma resposta definitiva para tais questões pois, à medida que se adquire novas idéias, ou mesmo com o amadurecimento, podemos mudar nosso “olhar” sobre o assunto. E responder àquelas questões implicam num pensar e repensar constantes nos objetivos da educação.

Pelo projeto de Lei de Diretrizes e Bases, LDB 9394 de 20/12/1996, em seu Título II, Dos Princípios e Fins da Educação Nacional, Art. 2.º, a educação “tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho.”³ Portanto, a nova lei visa a realização pessoal, a qualificação para o trabalho e o preparo para o exercício consciente da cidadania. Para mim, os três itens estão inter-relacionados, ou seja, a qualificação para o trabalho e o exercício da cidadania possibilitam a auto realização pessoal, enquanto a auto realização pessoal busca a cidadania e a qualificação para o trabalho. A educação se dá, acredito, com a cultura. Tomamos emprestado de José Paulo Paes⁴ a nossa concepção de cultura: “cultura não é aquilo que entra pelos olhos, mas o que modifica o olhar”. Isto é, educar não é apenas transmitir uma gama considerável de conteúdos, mas conseguir que esse conteúdo possibilite uma leitura do mundo em que se vive e, portanto, uma realização pessoal e uma prática da cidadania: o indivíduo como produtor e consumidor do saber. Recorrendo a Álvaro Vieira Pinto, “os dois conceitos

³ Saviani, D., *A Nova Lei da Educação*, pp 163.

implicam-se reciprocamente, mas se distinguem pelo critério existencial: tudo aquilo que resulta da ação do homem sobre o mundo é por essência um bem de produção, no sentido em que permite aumentar e aprofundar essa ação; mas, para que isso se dê é preciso que previamente tal coisa ou idéia seja apropriada pelo homem, que dela se vai ser para nova ação, ou seja, que se torne consumida, passe à categoria de bem de consumo”⁵.

A física, enquanto conteúdo a ser ensinado nas escolas, deve contribuir para que os objetivos propostos na LDB sejam alcançados. Mas, por que ensinar física se sobrevive-se com o conhecimento do senso comum? Aliás, sobrevive-se sem qualquer conhecimento escolar! Segundo Vieira Pinto, o ser humano “adapta-se ao mundo porque o adapta a si, ao descobrir as razões lógicas das coisas e dos acontecimentos, e ao modificá-las de tal maneira que sirvam ao propósito de assegurar sua subsistência”⁶. Embora seja possível sobreviver com o conhecimento do senso comum, este não é capaz de criar um senso crítico, de modificar o olhar: o indivíduo não é produtor nem consumidor. O indivíduo não se constitui um cidadão sem os conhecimentos escolares, não consegue uma auto realização pessoal, não se qualifica para o trabalho. Mas aprender não é nada fácil, ainda mais se o conteúdo nos parece muito distante da realidade. Encontramos na Escola de Frankfurt alguma explicação para esta dificuldade: “entre o conhecimento e o mundo a conhecer há tanta diferença quanto entre o conhecimento e a natureza humana: há uma natureza humana, há o mundo e, entre eles, algo que se denomina conhecimento, não havendo entre eles afinidade ou semelhança, tampouco elos de natureza”⁷. Qualquer disciplina se defende sozinha se consegue promover de alguma forma os alunos, isto é, se consegue modificar o olhar dele sobre as coisas. E aqui temos algumas inquietações: com o objetivo de propiciar uma mudança conceitual, que física ensinar no ensino médio? Ou seja, de que maneira este conhecimento será importante para o aluno?

Considero que uma abordagem vivencial, isto é, que tenha um olhar voltado para o contexto social do aluno, como propõe o GREF, é capaz de promover esse aluno porque, a partir do momento em que ele interpreta

⁴ Citado pela Prof. Dra. Maria Cecilia Sanchez Teixeira, durante o curso Sócio-Antropologia do Cotidiano e Educação, na FEUSP, 1995.

⁵ Pinto, A. P., *Ciência e Existência*, pp 86.

⁶ Idem, pp. 83.

algo, lançando mão de um conhecimento científico, ele tornar-se capaz de transcender este algo, visualizando outras situações, passando da categoria de consumidor, à medida que usa este conhecimento, para a categoria de produtor, à medida que procura interpretar outras situações. Mas não é nada simples esta aprendizagem, ao contrário, mesmo com uma articulação entre o universo da física e o nosso dia-a-dia, aprender esta ciência é difícil.

É natural do ser humano uma interpretação particular da natureza: ao olhar atentamente para o mundo o homem já está teorizando, parafraseando Goethe. Ou seja, o senso comum já possui uma interpretação primeira da natureza, isto é, já existe um “olhar”, uma “certeza muito particular” de como o mundo funciona. Por outro lado, a física é o conhecimento da natureza e também é um conhecimento totalmente construído pelo ser humano: com um *outro* olhar para a natureza, o homem a re-interpreta, construindo suas teorias⁷. As teorias físicas são, assim, uma re-construção que o ser humano faz de seu universo e têm uma linguagem e um rigor muito específicos⁸. A educação parece ser uma ponte que leva o estudante do senso comum ao conhecimento científico; mas cruzar essa ponte é muito penoso. Essa certeza muito particular (ou modelo ou teoria) que se tem na interpretação de um fenômeno, por exemplo, representa um conhecimento muito bem estruturado, que responde às necessidades do observador, mesmo não tendo nada de científico. Quando se inicia um processo de aprendizagem, esta estrutura sofre abalos quando este conhecimento “bate de frente” com o conhecimento científico. A aprendizagem está vinculada, então, a uma reestruturação desse modelo de interpretação/tradução do observador. É muito difícil abandonar um modelo que já está bem estruturado, e existe uma resistência a que isto ocorra, mas, se esta reestruturação não acontece, não podemos falar que houve uma aprendizagem efetiva, uma evolução¹⁰. Por exemplo, o conceito de força que a mecânica clássica apresenta não está ligado à nossa sensação

⁷ Matos, O. C. F., *A Escola de Frankfurt*, pp 30.

⁸ Kneller, G. F., *A Ciência como atividade humana*.

⁹ Alves, R., *Filosofia da Ciência*.

¹⁰ Taille, Y. L., *A construção do conhecimento*.

de força física. Os estudantes já possuem um modelo¹¹, um conceito de força, que não é científico, pois não é o mesmo conceito para a física. O choque entre os dois modelos é inevitável: o aluno não concebe um novo modelo sem mexer na estrutura de seu modelo primeiro, isto é, enquanto o conceito físico de força não responder tão bem quanto o seu modelo respondia às suas indagações, ele não é reestruturado, ele não é "digerido", não ocorre a aprendizagem.

O conteúdo da física previsto para o ensino médio é muito extenso, com a pretensão de se ensinar praticamente toda a física clássica. Essas teorias são bastante complexas, exigindo um certo grau de abstração do estudante. Além disso, o ensino hoje apresenta-se muito fragmentado: "as matérias são freqüentemente ensinadas como se constituíssem campos isolados de conhecimento, sem relação uns com os outros, acarretando forte compartimentalização na mente do estudante"¹². Durante o curso do ensino médio, as partes da física também parecem não se "juntar": mecânica é mecânica, óptica é óptica etc, isto é, não se fornece ao aluno meios de compor um todo, é como se ele tivesse acesso apenas a algumas peças de um quebra-cabeça, não podendo concluí-lo, não obtendo um quadro. Pior ainda, dentro da própria mecânica (ou óptica ou ...) os conceitos parecem pertencer a blocos estanques. Se consideramos a teoria como sendo uma estrutura de conhecimento, pressupomos que seus conceitos se articulam para compor um todo. Se a preocupação é que o aluno aprenda, por exemplo, cinemática no primeiro semestre, dinâmica no terceiro bimestre e energia no quarto bimestre para "cumprir o currículo", e se esses conceitos são apresentados em blocos estanques, então a aceleração ou velocidade do primeiro semestre não é identificada em dinâmica. Aí a pergunta: " - Professor, é exercício de movimento ou de leis de Newton?" Se a preocupação está no significado do conceito de aceleração, por exemplo, então esses tópicos de estudo fornecem ao aluno interpretações em diferentes situações, propiciando a elaboração de um modelo onde o conceito se insere numa teoria, se articulando com outros conceitos. Esta articulação dos conceitos

¹¹ Existem muitos trabalhos em concepções espontâneas, desenvolvidos por vários grupos de pesquisa em ensino de física.

dentro de uma teoria é quem fortalece a estrutura conceitual, o modelo teórico elaborado.

Além da fragmentação do conteúdo, hoje existe o formulismo¹³ em detrimento ao formalismo no ensino de física: ensinar é resolver exercícios, aprender é ser capaz de resolvê-los. As aulas de física acabam por ser aulas de matemática, onde o aluno está mais preocupado com o resultado, do que com a interpretação física do problema. Cada disciplina escolar tenta trabalhar um tipo de conhecimento, particular em suas especificidades, em sua lógica interna: uma aula de física pode parecer uma aula de matemática, mas nunca o será em sua essência. A matemática, linguagem da física, pode ser ou não um problema. Numa educação fragmentada, ela é um entrave mesmo para aqueles estudantes que não têm dificuldades com a sua lógica: é como se o conteúdo das aulas de matemática se tornasse outro nas aulas de física. Para o estudante que já apresenta dificuldades com a lógica matemática, o problema é maior, pois a linguagem é fundamental num relacionamento saudável. No entanto, se a matemática não é considerada um pré-requisito para ensinar física, mas sim uma linguagem desta ciência, o processo pode se tornar mais ameno: voltar o olhar para o formalismo dessa ciência, isto é, não definindo um conceito com a apresentação da fórmula, mas que o conceito seja concretizado numa equação que carrega consigo os elementos necessário para a conceituação desejada. Na proposta do GREF, o conteúdo é desenvolvido partindo de uma "análise física de fenômenos e aparelhos cotidianos para depois proceder a formulação de teorias, modelos, leis e definições"¹⁴.

Olhando apenas para o conteúdo de física do ensino médio, além de fragmentado, este ensino tem apresentado problemas com abordagem, com a linguagem, problemas metodológicos, e, muitas vezes, sem um objetivo real mesmo para o professor. Levantamentos mais recentes vêm mostrando que mais de 90% dos professores de física não são licenciados em física, tendo uma outra formação acadêmica. Eles, em geral, são licenciados em outra área e nem são habilitados em física. Alguns ainda são

¹² Salém, S., *Estruturas Conceituais no Ensino de Física*, pp 9.

¹³ Zanetic, J., *Física também é cultura*.

estudantes universitários. Como estes professores não possuem formação adequada, eles "seguem o livro texto", o que demonstra a fragilidade de seu conhecimento na área. Assim, o trabalho de formação continuada com professores torna-se muito importante, até mesmo essencial, já que para a maioria, funcionam como um curso de formação mesmo. Estes cursos para os professores oferecem espaços para muitas discussões, com novas alternativas para a sua prática em sala de aula.

Existem diferentes perspectivas nos cursos de formação continuada para professores do ensino médio quanto à natureza dos trabalhos¹⁵: mudança conceitual, experimentação, cotidiano e história e filosofia da ciência. De acordo com Braúna e outros¹⁶, quando a natureza dos trabalhos em formação continuada é o cotidiano, "a grande referência para a seleção dos conteúdos e estratégias a serem trabalhados são fatos, processos e fenômenos do cotidiano dos professores e estudantes, com os quais estes têm um relativo grau de familiaridade, colocando-os no centro do processo de elaboração do conhecimento, extrapolando a mera evocação de vivências para exemplificação ou ilustração".

O programa de formação continuada do GREF, que parte do cotidiano, realiza cursos de 30 horas, sempre no início do ano, ainda durante as férias escolares, onde o professor tem um primeiro contato com o projeto, com sua proposta metodológica e de conteúdo. Durante o ano, os elaboradores do projeto realizam encontros mensais (às vezes, quinzenais) com duração de 4-6 horas, aproximadamente, com professores, na sua maioria, da rede pública de ensino. Os trabalhos, em geral, acontecem no Estado de São Paulo, capital e interior, em locais cedidos por escolas estaduais ou delegacias regionais de ensino, ou mesmo no Instituto de Física da USP. Nesses encontros, o projeto desenvolve sua proposta, trabalhando com os três livros para o professor, de sua autoria, e com material preparado para aluno. Discute-se o levantamento, a classificação, conceitos, experimentos, exemplificações, exercícios e mais aquilo que o professor propuser, sempre com a abordagem do cotidiano. Esses

¹⁴ Piassi, L. P. C., *Que física ensinar no 2.º grau?*, pp 80.

¹⁵ Braúna, R. C. A., Silva, I. S., Bisch, S. M., Hosoume, Y., *Projetos de Formação Continuada e suas Perspectivas de Mudanças*.

¹⁶ Idem, pp 634.

professores são considerados os aplicadores do projeto e são importantes dentro da estrutura da proposta porque são eles que chegam na sala de aula do ensino médio, que aplicam o material, as idéias, e, com os resultados e observações trazidos por eles, o material está sempre sendo reelaborado.

Colocamos o GREF como uma proposta nova, tanto metodológica, com abordagem e linguagem novas, quanto de conteúdos, contextualizados e com novas articulações, que difere da tradicionalmente desenvolvida pelos livros didáticos e levada para a sala de aula pela maioria dos professores. Neste trabalho, optamos por analisar de que forma a mecânica proposta pelo GREF está estruturada, levantando que elementos desta teoria são abordados, que relações são estabelecidas entre eles, e como estes conteúdos são levados para a sala de aula.

No capítulo I, caracterizamos a proposta de ensino de física do projeto, apontando seus objetivos com este ensino, a forma como o conteúdo é desenvolvido - o levantamento, a classificação, as atividades experimentais, a linguagem matemática, os exercícios - a seqüência de apresentação, a abordagem cotidiano/vivencial e a contextualização do conteúdo. Também caracterizamos seu trabalho de formação continuada com os professores, necessário na viabilização desta nova proposta em sala de aula.

No capítulo II, trabalhando com a idéia de estrutura conceitual e toda a sua dialeticidade entre parte-todo, local-global, espaço-tempo etc, levantamos o conjunto de elementos que compõem a teoria da mecânica clássica, e buscamos uma estrutura para esta teoria, representada por seu mapa conceitual. Com este mapa, analisamos duas propostas para seu ensino, a tradicional, representada pela maioria dos livros didáticos, em particular, pelo livro "*Os Fundamentos da Física 1*"¹⁷, de F. Ramalho Junior, N. G. Ferraro e P. A. T. Soares, e a segunda proposta representada pelo livro "*Física 1 - Mecânica*"¹⁸, do GREF, construindo também um mapa conceitual para cada uma destas proposições. A comparação entre estes

¹⁷ 6.ª edição, Editora Moderna, São Paulo, 1993.

¹⁸ 3.ª edição, Edusp, São Paulo, 1993.

dois mapas nos leva a afirmar que as propostas realmente estruturam a mecânica clássica de maneira diferente, resultando diferentes visões da mesma teoria.

No capítulo III, buscamos identificar uma estrutura conceitual da mecânica do professor, seja ela consciente ou não, realizando uma pesquisa qualitativa com dois grupos de professores, aqueles que participam do programa de formação continuada do GREF e aqueles que não conhecem a proposta. A análise dos mapas dos professores indica uma tendência de que eles apresentem elementos e articulações semelhantes às respectivas propostas. Como era esperado, estes professores possuem diferenças em sua maneira de conceber e apresentar o conhecimento físico.

Em *Considerações Finais*, este trabalho é concluído retomando a questão sobre a influência da visão da teoria da mecânica clássica no seu ensino. A maneira como os elementos da teoria estão estruturados é muito importante em seu ensino, o que aponta a análise das duas propostas de mecânica para o ensino médio. A estrutura linear dos livros didáticos, que vem sendo reproduzida pelos professores em suas aulas, configura um ensino fragmentado e compromete uma visão mais global, mais articulada dos elementos da teoria. Qualquer que seja o conteúdo a ser levado para a sala de aula, é necessário clareza nos objetivos de apresentá-los aos alunos, e daí a importância, cada vez maior, dos cursos de formação continuada para os professores de física. Nossa análise indica que os cursos de formação continuada promovidos pelo GREF têm fornecido elementos que permitem ao professor uma outra visão da teoria, que acaba por se refletir na sua prática em sala de aula. Os cursos do GREF, portanto, possibilitam uma reelaboração do professor.

Capítulo I

O GREF e a Formação Continuada

"É uma impossibilidade uma realidade completamente independente do espírito que a concebe, vê ou sente. Um mundo assim tão exterior, se acaso existisse, ser-nos-ia para sempre inacessível"¹.

H. Poincaré

O GREF

O Grupo de Reelaboração do Ensino de Física – GREF – se constituiu do encontro de professores de física da rede pública de ensino médio e universitário, preocupados com um ensino de física mais significativo, questionando não apenas o que ensinar, mas também como apresentar este conhecimento a seus alunos. Professores universitários apresentaram uma nova proposta para o ensino de física, e o curso de formação continuada para os professores da rede pública de ensino, portanto, é uma conseqüência natural do projeto. O GREF desenvolve uma nova proposta metodológica e de conteúdo de física para o ensino médio, tendo sempre situações cotidianas/vivenciais, tanto do professor quanto do aluno, como "ponto de partida".

A publicação de três livros de Física para o professor do ensino médio, *Física 1 – Mecânica*, 1991, *Física 2 - Física Térmica e Óptica*, 1992, e *Física 3 – Eletromagnetismo*, 1993, pela Edusp, traduziu a proposta, refletindo um novo objetivo para o ensino de Física, com abordagem e conteúdo diferentes do tradicional. Embora os livros do GREF sejam destinados a professores, algumas escolas adotam este material, pois o fato do livro não ter sido escrito para o aluno, não impede sua leitura por um

¹ Poincaré, H., *O Valor da Ciência*, pp 9.

estudante mais atento. Hoje, em fase de elaboração, existe também um novo material desenvolvido para o aluno, resultado do trabalho de formação continuada. A proposta é desenvolvida por uma equipe de professores do ensino médio, afastados da sala de aula pela SEESP² para a CENP³ para trabalhar no projeto e por técnicos de ensino do IFUSP, e é coordenado por professores do IFUSP. Alunos de graduação, que cursam a licenciatura em física, também podem, eventualmente, participar como estagiários.

A preocupação do projeto com o ensino de física é explicitada ainda na *Apresentação Geral da Proposta*:

“As metas eram e ainda são, por um lado, tornar significativo esse aprendizado científico mesmo para alunos cujo futuro profissional não dependa diretamente da Física; por outro lado, dar a todos os alunos condições de acesso a uma compreensão conceitual e formal consistente, essencial para sua cultura e para uma possível carreira universitária⁴”.

Para a equipe do GREF está claro que o vestibular é apenas um dos objetivos do ensino de Física e, à medida que existem novos objetivos a serem atingidos, é inevitável que haja diferenças em seu ensino.

Com uma proposta de educação dialógica, bastante influenciada pelas idéias de Paulo Freire, o projeto tenta “ressaltar o caráter prático-transformador e teórico-universalista desta Ciência⁵”, propondo a utilização da física para interpretar e intervir em algumas situações de seu dia-a-dia, como destaca Piassi em sua dissertação de mestrado: “a Física para o GREF é, antes de tudo, um instrumento⁶”. Com a idéia de trabalhar “a física das coisas e não as coisas da física”, o projeto sempre inicia um conteúdo com a contextualização deste em alguma situação familiar ao aluno, o que significa propor-lhe um problema, e esta ciência será usada como um instrumento para solucioná-lo. Ao usar a teoria para olhar o mundo, ou seja, “a teoria na prática”, o caráter transformador deste conhecimento é fortemente favorecido. À medida que a teoria também explica outras situações onde o mesmo problema é identificado, o caráter universal deste conhecimento também é contemplado. Em contra partida, “as coisas da física” pressupõe

² Secretaria de Estado da Educação de São Paulo.

³ Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas da SEESP.

⁴ GREF, *Física 1 - Mecânica*, pp 15.

⁵ Idem, pp 15.

um ensino onde o conteúdo físico é apresentado e, posteriormente, busca-se uma contextualização com situações ilustrativas, onde a teoria poderia ser verificada.

A abordagem do GREF parte de situações cotidianas e vivenciais, tanto do professor quanto de seu aluno, propondo questões geradoras/motivadoras, seguida de levantamento e classificação de "coisas" relacionadas ao conteúdo a ser abordado.

O levantamento inicial colocado pelo GREF é importante porque, antes de tudo, organiza o professor, isto é, ele deve ter claro para si qual é o conteúdo que pretende desenvolver com seus alunos, aí a pergunta-chave ganha sentido: "que coisas vocês relacionam ao tema mecânica?", por exemplo. Sutilmente, os alunos são intimados a participar da aula: eles devem relacionar "coisas com mecânica", isto é, ele "sabe alguma coisa", ele "tem alguma idéia e gostaria de saber mais"; o aluno cria expectativas em relação ao conteúdo. E não é apenas o aluno quem participa do levantamento, o professor também pode complementar, e deve fazer isso, pois ele tem um objetivo, ele conhece o conteúdo que pretende ensinar, e, portanto, ele só tem a contribuir. Ele também deve estar preparado para lidar com itens que não possuem relação com o conteúdo, de maneira que o aluno não se sinta fora da atividade.

O levantamento é o momento mais importante do curso porque ele acontece logo na primeira aula. Em geral, é na primeira aula de um curso que o professor tenta dar ao aluno um panorama sobre o conteúdo que será desenvolvido ao longo do ano, e se não existe uma clareza do objetivo deste aprendizado, corremos o risco de "perder" o aluno ainda na apresentação do curso. A clareza do objetivo do curso permite, tanto ao professor quanto ao aluno, a motivação pelo objeto de estudo. Pela proposta do GREF, é do diálogo entre o professor e o aluno, mediado neste momento pelo conteúdo do levantamento, que se inicia o curso, traçando um panorama geral do objeto de estudo. Mais que isso, o levantamento traça para o professor um perfil bem definido de sua sala de aula, através de elementos apresentados por seus próprios alunos, mesmo que inconscientemente: o levantamento explicita o que o aluno sabe, o que ele gostaria de saber, aquilo que não lhe

⁶ Piassi, L. P. C., *Que física ensinar no 2.º grau?*, pp 67.

interessa saber, expectativas de vida etc. Também traça ao aluno um perfil de seu curso, contextualizando que elementos ou situações a mecânica, no nosso exemplo, se propõe a estudar. Esse diálogo inicial evita situações onde o professor coloca a física com uma ciência que explica muita coisa interessante, como a origem do universo ou mesmo o seu aparelho *disc man*, o que seduz o aluno neste primeiro encontro mas acaba por causar-lhe indiferença quando diante das “equações horárias do movimento”: por que causar expectativas em relação a algo inatingível no curso em questão?

Feito o levantamento, a classificação é o momento de se estruturar esta lista de coisas relacionadas à mecânica⁷. A classificação estrutura esta lista, isto é, o professor deve fazê-la de acordo com critérios convenientes ao desenvolvimento de seu curso. Em sua proposta, explicitada sempre no início de seus três livros, em *Abertura e Plano de Curso*, os autores sugerem uma classificação conveniente, embora não única. No caso de mecânica, uma classificação pertinente seria:

- a) coisas que estejam associadas essencialmente ao movimento de translação;
- b) coisas que estejam associadas essencialmente ao movimento de rotação;
- c) coisas onde o movimento pode ocorrer, mas em que o essencial seja o equilíbrio;
- d) coisas concebidas para ampliar a força aplicada;
- e) conceitos físicos ou “coisas” não enquadráveis por critérios simples.⁸

O objetivo do professor acaba por se refletir também nesta classificação. Na estruturação do conteúdo de mecânica do GREF, a proposta é trabalhar as leis de conservação do momento linear (translação), do momento angular (rotação) e energia, e a partir delas trabalhar outros elementos de conteúdo envolvidos. Claramente o projeto privilegia as três grandes leis de conservação, admitindo um caminho de ida e também de volta entre elas e os demais elementos da teoria. Se são leis fundamentais, podemos buscá-las em quaisquer situações, reforçando o caráter universal da ciência.

Num ensino dialógico, o panorama traçado pelo levantamento e pela classificação, podem realmente evidenciar salas de aula totalmente diferentes, tornando evidente a frase: “cada sala é uma sala; cada curso é

⁷ Por conveniência deste trabalho, nossos exemplos tratarão da mecânica clássica.

⁸ GREF, *Física 1 - Mecânica*, pp 21.

um curso". É interessante que o professor, nesta proposta, tem a liberdade de começar seu curso por onde lhe parecer mais adequado. Por que não iniciar pela invariância no giro? Muitas vezes, a cinemática pode não ser um início conveniente ao curso. Portanto, o professor deve ter bastante claro para si o que ensinar, como ensinar, e mais importante, porque ensinar.

O fato é que o curso tem realmente que refletir o objetivo do trabalho de levantamento e de classificação, ou seja, sempre que possível deve-se retomar à primeira aula, favorecendo a participação do aluno e dando mais significado ao conteúdo já desenvolvido e também àquele que ainda será apresentado, estabelecendo uma relação dinâmica entre os elementos da teoria. Na verdade, o levantamento e a classificação funcionam como ponto de partida: você tem em mãos uma relação de "coisas", que já foram submetidas a uma organização, e, a partir desses dados, o aluno e o professor vão "colocar os óculos da física e interpretar a situação". Isto é, o levantamento e a classificação indicam uma maneira de se encaminhar o conteúdo, a princípio com clareza para o professor, com o objetivo de tornar claro também para seu aluno. Ainda em seu *Plano de Curso*⁹, o projeto propõe uma maneira de encaminhar o conteúdo, por exemplo:

Parte 1 – Movimento: Conservação e Variação

COISAS	CONCEITOS
Jogo de bilhar, avião e foguete, tiro de canhão e colisão de veículos, ...	Conservação da quantidade de movimento linear no sistema.
Veículo partindo, freando e fazendo curva.	Variação da quantidade de movimento linear de um objeto do sistema. Força (Leis de Newton).
Carrossel, furadeira, helicóptero, ...	Conservação da quantidade de movimento angular no sistema.
Roda livre, pião, ...	Variação da quantidade de movimento angular de um objeto do sistema. Torque.
Hidroelétrica, combustível, brinquedo de corda, ...	Conservação da energia no sistema.

⁹ GREF, *Física 1 – Mecânica*, pp 24. O plano de curso é apresentado por inteiro em anexo I.

Arrancada e freada de um veículo.	Variação da energia de parte do sistema. Trabalho de uma força.
Motor	Potência.
Bate estaca, ...	Energia mecânica
Esmeril, furadeira, ...	Variação da energia cinética de Rotação de parte do sistema.

Numa abordagem que parte de situações do cotidiano, vivenciais, o conteúdo aparece de forma contextualizada, tanto para o professor quanto para o aluno, e, à medida que este ensino ganha significado, a aprendizagem é facilitada. Vamos tomar como exemplo o jogo de bilhar e a conservação do momento linear (ou quantidade de movimento). Tradicionalmente, discute-se o conceito quantidade de movimento após exaustivos exercícios de cálculos de velocidade, depois, também das três leis de Newton terem sido enunciadas e "constatadas" também em exaustivos exercícios. Então, $|Q| = m \cdot |v|$. Em seguida, postula-se o princípio de conservação da quantidade de movimento e o jogo de bilhar aparece como "um exemplo onde esta lei pode ser constatada, inclusive vetorialmente". A universalidade deste princípio de conservação fica comprometida, pois a constatação não acontece de fato, é apenas uma manipulação da fórmula matemática, prejudicando até mesmo uma compreensão mais localizada, como no jogo de bilhar.

Na proposta do GREF, é da observação e análise de diversas situações de movimento que o caráter teórico-universalista desta ciência deve ser constatado: existe uma lei que estabelece "padrões de comportamento" e, que por ser estendida a várias situações, é uma lei geral, universal. Investigando como os movimentos são iniciados, aparece a necessidade do outro objeto, a "interação". Com o jogo de bilhar, por exemplo, percebemos que podemos *prever* o que acontecerá no choque entre as bolinhas, dependendo do ângulo ou da velocidade com que elas se chocam: o problema está contextualizado e podemos procurar "algo que se conserva nos movimentos". E como fica a "previsão" para o choque entre bolinhas de diferentes massas? Este "algo" que se conserva nos movimentos também é procurado em outras colisões, ou quando um

nadador movimentar seus braços ao nadar, ou num tiro de canhão, ou ainda no vôo do avião, da pipa etc... Se o conteúdo ganha um sentido maior, fica mais fácil compreender a lei e, neste caso, sua universalização.

Maior que a preocupação com o encaminhamento do conteúdo é o porquê de se querer ensinar o princípio da conservação da quantidade de movimento, isto é, você quer que seu aluno aprenda porque "cai no vestibular" ou porque é um princípio importante, uma das grandes leis da mecânica clássica? Independentemente do que se queira, conseguir que o aluno transforme seu olhar sobre a realidade física de seu dia-a-dia faz mais sentido que resolver problemas de aplicação de fórmula, e os resultados são mais significativos.

A contextualização do problema aparece na proposta investigando sempre situações vivenciais. Os exercícios sugeridos no livro do professor trabalham muito o problema conceitualmente para, posteriormente, formalizar com a matemática. A matemática aparece como uma linguagem para descrever o fenômeno. O caminho sugerido pelo projeto é inverso ao percorrido pela proposta tradicionalmente desenvolvida: existe a fórmula e sua aplicação é efetuada em algumas situações ilustrativas.

O projeto propõe ainda a realização de atividades que podem também ser o palco para a contextualização do problema, reforçando o caráter prático-transformador desta ciência: o homem produtor e consumidor deste conhecimento. Uma das atividades propostas é a realização de entrevistas a profissionais que estejam envolvidos diretamente com o que se pretende estudar. Assim, em mecânica, sugere-se que um mecânico seja o entrevistado; ou um eletricista, quando se estuda eletricidade. Estas entrevistas, além de reforçarem o lado técnico/prático do conhecimento, trazem à tona também questões sociais, como o conhecimento a partir da prática, sem escolaridade, que, na maioria das vezes, é limitado. São sugeridas atividades experimentais com a montagem de aparatos simples e de baixo custo, que facilitem a contextualização e compreensão do problema. Também é proposto ao professor que trabalhe os objetos (ou aparatos) tecnológicos, isto é, os aparelhos eletro-eletrônicos que ele e os alunos conhecem. Desta forma, ao manipular este objeto e tentar compreendê-lo, o aluno é capaz de "ver" nele o conhecimento físico, com

significado real. Além do conhecimento da disciplina, novamente há espaço para questões sociais, ligadas à produção e consumo deste aparelhos.

Assim, o GREF surgiu como uma proposta nova tanto de conteúdo quanto metodológica. E o desenvolvimento desta proposta em sala de aula exige uma reflexão do próprio professor sobre seu conhecimento, sobre seu curso, desde seus objetivos até a sua avaliação. Exige que o professor primeiro reelabore seu conhecimento, sua teoria, pois, ao fazer isso, ele será capaz de eleger conteúdos, isto é, priorizar aqueles elementos que caracterizam melhor a teoria em questão. Com isso, seus objetivos em levar este conhecimento para a sala de aula começam a ser melhor definidos, assim como seu curso. É essa "provocação" aos professores, quanto a reestruturar-se, isto é, olhar para a teoria de uma nova maneira, com outros objetivos, o projeto faz em seus cursos de formação continuada.

Nos seus cursos de formação continuada, a equipe de professores e elaboradores do projeto trabalha sua proposta, sua metodologia, seu conteúdo e, mais que isso, o professor, chamado aplicador, à medida que aplica seu material, contribui com suas observações e dúvidas para a reelaboração de novos textos. A produção do material é, assim, resultado de um processo longo, onde a participação de professores do ensino médio é de fundamental importância. Ao considerar a opinião destes professores e, indiretamente, de seus alunos, a proposta torna-se mais coerente com a atual realidade da sala de aula e seus problemas.

O trabalho de formação continuada do GREF

O GREF realiza a formação continuada com professores da rede pública de ensino. Estes professores são reunidos por regiões próximas, em geral, pelas próprias Delegacias de Ensino Regionais, que divulgam cursos e oficinas. A estratégia mais comum do GREF¹⁰ é realização de cursos para professores de física do ensino médio, com quatro grandes temas: mecânica clássica, física térmica, óptica e eletromagnetismo, e o professor opta por

um desses conteúdos. Estes cursos têm duração de aproximadamente trinta horas e esse primeiro contato entre os professores e a equipe do GREF é importante porque é uma tentativa de traçar ao professor um panorama global do projeto, seus objetivos ao propor determinado conteúdo para o ensino médio, assim como seu enfoque e sua ênfase. Com objetivos claros, as atividades e exercícios propostos apresentam linguagem, ênfase e função diferentes daquelas encontradas em outros materiais¹¹, e acaba por exigir do professor uma reelaboração de seu conteúdo e um domínio consciente de seu conhecimento físico. No curso o professor é um educando na concepção freiriana, que usa o conhecimento elaborado para dialogar com o mundo, postura que pretende-se que o aluno do ensino médio adquira.

A dialogicidade da proposta é clara quando suas proposições colocam o aluno na posição de produtor de seu conhecimento e não apenas de consumidor, o que, mais uma vez, exige do professor clareza em seus objetivos e no próprio conteúdo. Da mesma forma, o professor também assume o papel de produtor-consumidor de seu conhecimento, já que prepara sua aula, reelabora seu saber. Destes cursos, grupos para um trabalho mais sistemático são formados e as atividades são desenvolvidas ao longo do ano letivo.

Com aqueles que se dispõem a levar a proposta para a sala de aula, a continuidade da discussão acontece em encontros mensais, com duração média de quatro horas. Os professores recebem o material do projeto, que é detalhado pela equipe, tanto em seu conteúdo teórico, quanto em sua estratégia metodológica, que envolve a abordagem a partir do cotidiano do aluno e do professor. Cabe a estes aplicadores, levarem o GREF para a sala de aula, desenvolvendo o material com seus alunos e fornecendo, em reuniões seguintes, dados extremamente relevantes para a adequação e viabilização da proposta em sala de aula.

O material apresentado ao professor é composto pelos três livros já publicados mais o material produzido para o aluno, que é uma publicação do próprio GREF, em forma de "fascículos". Esse subsídio para o aluno é

¹⁰ Hosoume, Y., Menezes, L. C., *Formação em Serviço de Professores de Física do 2.º Grau e Hosoume, Y., Proyecto disciplinar de formación continuada de profesores de Física "Grupo de reelaboración de la enseñanza de Física (GREF)".*

¹¹ Piassi, L. P. C., *Que física ensinar no 2.º grau?*

resultado da interação entre elaboradores e aplicadores da proposta, que acontece há aproximadamente 15 anos. Sempre com referência ao livro do professor, o trabalho de formação continuada detalha também o material do aluno para o aplicador, discutindo o conhecimento físico e as estratégias de ensino contidos ali.

Uma reelaboração constante

Há tempos a formação continuada é fundamental na vida de um profissional, seja qual for o seu campo de atuação. A necessidade de estar sempre atualizado, o que, em tese, lhe garante uma posição profissional melhor, num mundo onde as transformações tecnológicas, sociais e econômicas têm ritmo acelerado, exigiu a criação de cursos que garantissem ao trabalhador acompanhar uma pouco mais de perto tais mudanças. Em educação, os cursos de formação continuada de professores são essenciais para a sua prática profissional. As diferentes denominação adotadas ao longo das décadas dizem respeito à visão que se tinha/tem das relações professor-escola e ensino-aprendizagem. Segundo Pérez Gómez¹²,

“a partir da definição de cada um destes conceitos desenvolvem-se imagens e metáforas que pretendem definir a função do docente como profissional na escola e na aula. São familiares as metáforas do professor como modelo de comportamento, como transmissor de conhecimentos, como técnico, como executor de rotinas, como planejador, como sujeito que toma decisões ou resolve problemas etc. Cada uma destas imagens ou metáforas tem subjacente: uma determinada concepção da escola e do ensino; uma teoria do conhecimento e da sua transmissão e aprendizagem, uma concepção própria das relações entre a teoria e a prática, entre a investigação e a ação”.

Hoje, final da década de 90, com a globalização da economia, tentando promover também uma globalização da sociedade, os cursos de formação continuada ganham força considerável, com altos investimentos de agências financiadoras de pesquisa, e se propõem a subsidiar o trabalho do

¹² Gómez, A. P., *O pensamento prático do professor: a formação do professor como profissional reflexivo*, pp 95.

professor, tentando mudar o panorama atual do ensino a partir de uma mudança do próprio professor. Segundo Nóvoa¹³,

“a teoria fornece-nos indicadores e grades de leituras, mas o que o adulto retém como saber de referência está ligado à sua experiência e à sua identidade. Sua formação não se constrói por acumulação (de cursos, de conhecimentos ou de técnicas), mas sim através de um trabalho de reflexividade crítica sobre as práticas e da reconstrução permanente de uma identidade pessoal. Por isso é tão importante investir na pessoa e dar um estatuto ao saber da experiência”.

Ou seja, dentro desta concepção, a formação do professor não se completa apenas com sua graduação, ou com sua prática, ou ainda em cursos de formação continuada, mas é resultado de uma construção histórica deste profissional que está sempre reelaborando este conhecimento. Os programas de formação continuada trabalham o professor em serviço e acreditamos que por isso apresentam sempre resultados positivos, pois exigem uma avaliação crítica do professor quanto à sua prática, facilitando uma reconstrução de conteúdo e também pedagógica. De acordo com Nóvoa, o termo formação continuada, reflete hoje uma preocupação não somente com a ação, mas também com a reflexão que o profissional faz sobre sua prática, sobre seu conhecimento, sobre os seus objetivos e também sobre os objetivos da educação.

Existem algumas linhas de trabalho em formação continuada com os professores de física. Em trabalho apresentado no XII Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), 1997, Braúna e outros¹⁴, analisam 45 trabalhos, correspondentes a 23 projetos de formação continuada de professores de Física, em relação à linha de abordagem, conteúdo e metodologia. Os autores utilizam quatro categorias de análise: revisão de conteúdo, inovação de conteúdo, atualização pedagógica e reestruturação do conteúdo.

A *revisão* de conteúdo envolve discussões do próprio conteúdo em questão, isto é, retoma o conhecimento adquirido nos cursos de graduação (formação). Esta retomada é importante pois oferece ao professor a oportunidade de rever a teoria, e uma revisão sempre acontece num estágio de maior compreensão, fortalecendo o saber adquirido. A categoria *inovação*

¹³ Nóvoa, A., *A Formação de Professores e Profissão Docente*, pp 23/24.

de conteúdo propõe novos elementos ao ensino de determinada teoria ou ainda novos conteúdos a serem ensinados. A *atualização pedagógica* é um objetivo de todos os projetos em formação continuada de professores, pretendendo que aconteça em relação à metodologia em sala de aula. Quanto à *reestruturação do conteúdo*, ela é contemplada quando os elementos de uma dada teoria ganham novos significados dentro desta mesma teoria, através de novas articulações internas. Levando em conta estas quatro categorias de análise, claramente um projeto pode contemplar todas elas ou apenas parte delas. No trabalho apresentado, os autores constatam que:

“... em relação às mudanças pretendidas, todos os projetos preocupam-se com a atualização pedagógica, ou seja, com uma mudança na forma de ensinar. Observa-se também que todos eles pretendem realizar uma revisão dos conteúdos tradicionais, à exceção dos que foram classificados na abordagem cotidiano/vivência. Quanto à preocupação com a inovação de conteúdo, constata-se que está presente em alguns dos projetos das linhas da experimentação, lúdica e história e filosofia da ciência e é plenamente incorporada pelos da linha do cotidiano-vivência. Por sua vez, a reestruturação de conteúdo é parcialmente contemplada pela abordagem lúdica e integralmente pela do cotidiano-vivência”¹⁵.

De acordo com as categorias analisadas, a abordagem cotidiano-vivência propõe além da inovação e reestruturação de conteúdo, a atualização pedagógica do docente, não pretendendo realizar uma revisão de conteúdos. Não é um objetivo explícito desta abordagem rever os conteúdos, mas à medida que se está promovendo uma reestruturação do conteúdo, também se está promovendo uma revisão destes, mesmo que não se diga isto claramente.

Uma reestruturação de conteúdo não significa uma mudança total deste, como, por exemplo, extinguir a mecânica clássica do ensino médio. A questão é maior: por que ensinar mecânica clássica no ensino médio? Uma inovação de conteúdo não necessariamente envolve a extinção daqueles até aqui propostos e a inserção de novos temas, mas pode ser traduzida numa

¹⁴ Braúna, R. C. A., Silva, I. S., Bisch, S. M., Hosoume, Y., *Projetos de Formação Continuada e suas Perspectivas de Mudanças*.

reestruturação deste mesmo conteúdo, onde os novos objetivos traçarão uma “outra teoria”, com mais significado para o professor e, conseqüentemente, para seu aluno. À medida que o professor reestrutura seu conhecimento, seus objetivos também são reconstruídos e, inevitavelmente, a sua prática também passa por transformações.

Na linha cotidiano-vivência, em seu trabalho de formação continuada, visando a atualização pedagógica, o projeto GREF apresenta os conceitos de uma teoria de maneira diferente da proposta tradicional, tanto quanto à sua seqüência, como quanto às relações entre eles, promovendo, ao mesmo tempo, uma revisão de conteúdo. Mais especificamente falando em mecânica clássica, o GREF insere novos elementos, mais facilmente verificados quando a proposta trabalha os movimentos de giro, embora a inovação também aconteça com a reestruturação do conteúdo na translação. Acreditamos que esta nova articulação dos elementos da teoria são reflexos de novos objetivos para seu ensino, promovendo não apenas a inovação e reestruturação do conteúdo, mas promovendo, principalmente, uma mudança na reflexão e na ação do professor.

¹⁵ Idem, pp 636.

Capítulo II

A mecânica clássica e seu ensino: diferentes visões?

“The substance of which is that a thing is symmetrical if there is something we can do to it so that after we have done it, it looks the same as it did before. The question we wish to consider here is what we can do to physical phenomena, or to a physical situation or an experiment, and yet leave the result the same”¹.

R. P. Feynman

O conteúdo de física e o ensino médio

O ensino hoje, qualquer que seja a disciplina, está centrado nos livros didáticos. Isto é bastante preocupante porque o livro adotado, na maioria das vezes, assume o papel do professor quando seleciona por ele o conteúdo a ser ensinado, assim como a sua seqüência, trazendo implicitamente a forma de apresentá-lo ao aluno. Ou seja, o professor adota determinado livro que apresenta tanto a ele próprio quanto aos seus alunos, sem nenhuma diferenciação, o conteúdo proposto, sua seqüência e maneira pela qual será desenvolvido. Assim, o planejamento anual é feito, em geral, de acordo com o conteúdo programático do livro texto adotado, sendo, muitas vezes, fiel ao índice.

Esta prática do professor, compartilhada, em geral, pela direção, orientação e coordenação da escola, é bastante perigosa pois o livro didático traz, muitas vezes, um conteúdo muito extenso, abstrato e matemático, e não leva em conta o tempo hábil que professor e alunos terão para estarem

¹ “A essência da simetria está naquilo que podemos fazer ao sistema sem que algo se altere. A questão que gostaríamos de analisar é o que nós podemos fazer a um fenômeno físico, ou a uma experiência física, e ainda obter o mesmo resultado”. Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M., *The Lectures on Physics – Volume I*, pp 52-1.

juntos trabalhando a teoria. Falando da disciplina física, há escolas estaduais hoje que optam por apenas uma aula semanal, enquanto algumas particulares montam seu quadro horário com cinco aulas por semana. Apenas pelo tempo hábil de cada professor, o planejamento já deveria ser diferente, sem a preocupação de "chegar ao fim do livro". Sem essa preocupação, o ensino de física tem sido feito por tópicos cumpridos ou atingidos, pretensamente ensinados, caracterizando um ensino fragmentado.

Esta importância dada ao livro didático acaba por caracterizar um novo perfil do professor, que prepara seu curso sem acrescentar ou extrair algo ao livro adotado. Por outro lado, o aluno da escola particular acredita que tudo que ele necessita é comprar o livro pois ali se encontra o conhecimento que ele precisa: o livro parece esgotar o assunto que se pretende estudar, idéia que o próprio professor acaba reforçando com seu curso. O aluno da rede pública não compra o livro texto, e a importância dada ao professor é um pouco maior, já que é ele quem traz o conhecimento. No entanto, seja na rede pública ou privada, professor e aluno configuram a educação bancária de Paulo Freire, onde "a educação se torna um ato de depositar, em que os educandos são os depositários e o educador o depositante"²: o professor, acrítico, desenvolve o conteúdo tradicionalmente apresentado pelos livros didáticos, mantendo até mesmo a seqüência e a forma, enquanto o aluno, passivo, aceita este conhecimento, que não lhe é significativo, sem a preocupação de compreendê-lo.

Os livros didáticos de física, destinados ao ensino médio, são publicados em três volumes, um para cada série. Na sua grande maioria, o conteúdo programático proposto por diversos autores é o mesmo, isto é, o volume 1, escrito para a primeira série, traz o conteúdo de mecânica clássica; a segunda série estuda a termologia e a óptica, desenvolvida no volume 2; e o volume 3, apresenta eletricidade e magnetismo para a terceira série. Qualquer que seja a série do ensino médio, a seqüência e a forma de apresentar os conteúdos são as mesmas, e bastante centradas nos exercícios, sem discussões mais profundas, significativas e sem contextualização. Além disso, o livro claramente apresenta a teoria linearmente, passo a passo, conteúdo por conteúdo, sem, no entanto,

relacioná-los. A mecânica clássica, por exemplo, é sempre tratada da mesma maneira, começando com a cinemática (descrição dos movimentos), para depois desenvolver a dinâmica (causas dos movimentos) e trabalhando a energia por último. O conceito é apresentado sem qualquer articulação com aqueles que o precedeu. A forma de apresentar a teoria também é descontextualizada, ilustrada com algumas situações, muitas vezes sem significado para o aluno, com preocupação excessiva com o desenvolvimento de fórmulas e exercícios. Chamaremos esta maneira de apresentar a mecânica clássica para o ensino médio, presente na maioria dos livros textos do mercado editorial, de "proposta tradicional".

Nesta proposição, embora não seja este o único discurso dos autores e também dos professores, aparece muito forte a preocupação com o vestibular, e os temas que mais são requisitados nos exames vestibulares são privilegiados com um espaço maior dentro da publicação e, conseqüentemente, dentro da própria sala de aula. Além disso, os livros trazem uma estrutura linear do conteúdo, defendendo a necessidade de pré-requisitos, também defendida por muitos professores. No entanto, os pré-requisitos perdem sentido quando, após um semestre inteiro de estudos da cinemática, com todos os conceitos, equações horárias e gráficos do MRUV³, o aluno não consegue entender a aceleração da 2.^a lei de Newton, ou seja, a aceleração presente na cinemática não é reconhecida na dinâmica; e isto acontece com vários elementos de uma mesma teoria. Estes livros também são recheados de exercícios e mais exercícios, já que esta é a forma pela qual os exames avaliam seus candidatos.

Para representar a proposta tradicional de mecânica clássica, escolhemos o livro "*Fundamentos da Física 1*", de Francisco Ramalho Júnior, Nicolau Gilberto Ferraro e Paulo Antônio de Toledo Soares, que teve sua primeira edição em 1978, o qual trataremos por Ramalho, como é conhecido entre professores e alunos. O livro do Ramalho talvez seja o mais vendido entre os livros destinados aos cursos de física do ensino médio. Com a proposta clara de preparar o aluno para o vestibular, os inúmeros

² Freire, P., *Pedagogia do Oprimido*, pp 58.

³ Movimento retilíneo uniformemente variado.

exercícios, em quantidade e qualidade, são o principal chamariz para o autor.

A proposta de ensino de mecânica do GREF para o ensino médio, entrou no mercado editorial com o livro "*Física 1 – Mecânica*", com sua primeira edição publicada em 1991, escrito para professores de física e não para o aluno. É uma proposta diferente da tradicional, principalmente quanto à abordagem cotidiana/vivencial, buscando contextualizar o objeto de estudo. O vestibular também é uma preocupação do GREF, mas não é a única, o que lhe define um novo perfil dentro do mercado de livros didáticos. A meta é a formação cultural em física do aluno, e, preocupados com um ensino significativo, sua proposta aparece com um conteúdo contextualizado. A preocupação dos autores não se restringe apenas à resolução de problemas quantitativamente, ao contrário, há um cuidado especial com os exercícios qualitativos, que discutem conteúdos relevantes na composição da teoria. As atividades experimentais também estão presentes para promover discussões significativas sobre o conteúdo, funcionando também como exercício qualitativo.

Numa comparação entre a mecânica clássica proposta pelo Ramalho e a proposta pelo GREF, nos chama atenção uma seqüência de apresentação diferente das partes desta teoria: talvez a mais marcante seja a presença da cinemática no início da proposta do Ramalho e no final da proposta do GREF. A forma como os elementos da teoria são abordados também é diferente. Por exemplo, enquanto o livro do Ramalho apresenta seus tópicos por nomes que o identificam de imediato, tais como, "*o princípio da conservação da quantidade de movimento*", o livro do GREF traz, por exemplo, a seguinte apresentação: "*'algo' que se conserva constante nos movimentos*". Assim, embora aparentemente o conteúdo apresentado pelas duas propostas seja o mesmo, a forma como ele é contextualizado e desenvolvido o torna distinto em cada uma das proposições.

A alteração na seqüência e na forma tradicionalmente desenvolvida pelos livros didáticos, reflete intenções diferentes com o mesmo conteúdo. Em sua dissertação de mestrado, Piassi, 1995, faz uma análise muito consistente confrontando o conteúdo proposto por cada um deles e os objetivos destas proposições, com diferentes articulações:

“Ocorre que o fato de um texto *apresentar* uma equação, uma definição ou um determinado tipo de problema, não significa uma abordagem mais profunda do que outro que eventualmente não apresente algumas dessas coisas.

(...) Uma observação cautelosa do texto mostra que apesar do Ramalho apresentar todo tipo de fórmulas e definições, muitas delas não são exploradas posteriormente nos exercícios, que são o ponto central da obra. É de se esperar realmente que um livro que é vendido como um livro “forte”, que “prepara para o vestibular”, tivesse a preocupação em possuir um número realmente grande de tópicos, e realmente, parece ser essa a explicação para a grande gama de assuntos abordados. O critério para a escolha dos conteúdos nesse caso, seria mais uma estratégia de *marketing* do que propriamente uma seleção dos conteúdos que se acredita serem importantes na formação de um aluno de 2.º grau”⁴.

A proposta do GREF também é bastante extensa. Além da translação, presente também no Ramalho, o projeto propõe que se trabalhe a dinâmica de rotações. Com a preocupação de um ensino significativo, onde professor e aluno percebam a física no seu universo vivencial, os tópicos escolhidos são aqueles que possibilitam essa compreensão, ou seja, “as leis físicas mais gerais e os conhecimentos da física que possuem forte presença nos objetos tecnológicos”⁵.

Piassi ainda faz uma comparação entre cada parte dos livros em questão: texto, exercícios, experiências e leituras, constatando diferenças também quanto à ênfase e função entre eles⁶. Assim, enquanto no Ramalho a função de texto é apresentar informações básicas, com ênfase em definições, gráficos, fórmulas e diagramas, no GREF, a função do texto é desenvolver o conteúdo, com ênfase na análise física de fenômenos e aparelhos do cotidiano e formulação de modelos, reforçando o caráter universal da ciência física. Quanto aos exercícios, para o Ramalho a função é desenvolver modelos de resolução, com treino extensivo de resolução de problemas e testes de vestibular, com ênfase em problemas quantitativos padronizados, testes de múltipla escolha e situações abstratas. Para o

⁴ Piassi, L. P. C., *Que física ensinar no 2.º grau?*, pp 72.

⁵ Idem, pp 76.

GRAF, os exercícios têm a função de discutir aspectos complementares ao texto, com problemas qualitativos e quantitativos não padronizados, enfatizando análise física de sistemas e técnicas. Para o GRAF, as experiências podem ser ponto de partida para a análise de produtos tecnológicos ou discussão de conceitos a partir de observação de fenômenos. Não há atividades experimentais na proposta do Ramalho. As leituras no GRAF aparecem com informações complementares, detalhando tecnicamente os equipamentos ou deduções de expressões. No Ramalho, a função das leituras é adaptação da obra à tendência do mercado editorial, com ênfase na descrição superficial de feitos de cientistas e detalhes pedidos em vestibulares.

Podemos perceber que, em todos os momentos, as duas propostas de ensino de mecânica clássica para o ensino médio são diferentes, tanto quanto aos objetivos da proposição de determinado conteúdo como quanto à sua ênfase. Acreditamos que a consequência disto é a configuração de "diferentes" teorias físicas, onde as relações entre os conceitos são feitas de maneira diferente, compondo diferentes visões de mundo.

A visão que se tem de uma teoria, isto é, a maneira como você a concebe, vê ou sente, pode definir objetivos diferentes quanto ao seu ensino. Isto é, embora os elementos de uma teoria sejam os mesmos para os dois autores, as diferentes formas pelas quais as relações são estabelecidas podem configurar visões diferentes de uma mesma teoria.

Diferentes visões de uma mesma teoria

A física é uma ciência natural, construída pelos seres humanos, que busca compreender a natureza de forma cada vez mais ampla e completa. E, ao mesmo tempo, é artificial justamente por "incorporar as intenções do ser humano"⁶. Segundo Pereira, 1995, "o conhecimento é um processo movido pela participação humana, é um conhecimento determinado por visões de mundo e suas crenças;

⁶ Idem, pp 90.

⁷ Robilotta, M. R., *Construção e Realidade no Ensino de Física*, aula 6, pp 1.

influenciável por pressões sociais e econômicas do meio em que se vive”⁸. Uma teoria física é resultado desse processo, é o “produto, apresentado de modo organizado e acabado”⁹. A física é, então, processo e produto ao mesmo tempo, “enquanto processo de construção de conhecimento, a física tem uma história, que envolve embates entre idéias contrastantes desenvolvida ao longo do tempo. Enquanto produto ela é organizada em complexas estruturas que constituem as teorias.”¹⁰ Os conceitos, as leis, os princípios, ou seja, as *partes* que compõem uma teoria da física são articuladas por equações lógico-matemáticas e, por isso, podemos falar que uma teoria física é passível de uma estruturação lógica, ou seja, ela possui uma *estrutura interna*¹¹. O processo de construção de uma teoria é diacrônico, isto é, ele acontece ao longo de um intervalo de tempo. A teoria, no entanto, reflete uma “fotografia datada”: é como a comunidade científica vê o mundo naquele momento, e, portanto, é sincrônica. A estrutura conceitual é identificada como a teoria elaborada. Sua construção também é um processo diacrônico, pois para construí-la, conhecemos a teoria, e a escolha dos elementos que a compõem é muito importante, assim como as articulações que eles estabelecem entre si.

As *partes* dessa estrutura conceitual são conhecimentos *localizados*, ocupando um lugar bem definido nas relações internas da estrutura. Dizemos que as partes da teoria, justamente por serem localizadas, são conhecimentos do tipo *tempo*, isto é, são conhecimentos *profundos*: a profundidade requer a apropriação do saber, é ter consciência da parte, é um conhecimento *sensorial*, que aproxima, que abstrai, imagina; é um saber-sentir: você sente que sabe¹².

As articulações entre as partes de uma teoria compõem um *todo*, um conhecimento *global*. O conhecimento local, quando articulado, precisa de mais de uma dimensão, tornando-se um conhecimento *tipo espaço*, que permite uma *extensão* do conhecimento: o saber em extensão significa ter a estrutura formada, *racionalizada*, já que as articulações são feitas por relações matemáticas, exatas. É necessário um jogo entre sentimento e

⁸ Pereira, J. A., *Uma Reelaboração de Conteúdo de Física do Segundo Grau*, pp 37.

⁹ Idem, pp 37.

¹⁰ Pregolato, Y. H., *A Eletrostática: O Conhecimento Possível e O Conhecimento Aprendido*, pp 2.

¹¹ Robilotto, M. R., *Construção e Realidade no Ensino de Física*, aula 3.

¹² Idem, aula 4.

pensamento, entre a razão e a intuição. Vieira Pinto descreve muito bem essa idéia:

“Imaginação, ou seja, a capacidade de destacar a imagem concreta, imediata e presente do objeto ou do ato, e fazê-la existir à parte, por si, enquanto imagem apenas, no âmbito do pensamento. Quando isso se dá, a imagem, criada a princípio pela percepção sensível de um objeto ou de um fato definido, com o qual o indivíduo se defronta, se despoja das notas acidentais, particularizadas, inessenciais do objeto ou do fenômeno, para representá-lo em caráter essencial, generalizado, abstrato, universal, na condição de verdadeira idéia. (...) A imaginação, valendo-se agora de idéias abstratas, universais, dispensa a presença sensível da realidade, e se torna capaz de explorá-la, indiretamente, na esfera da representação subjetiva”¹³.

Essa idéia fica clara na tese de doutoramento de Ota¹⁴, quando a figura a seguir, apresentada a bacharéis em física, na esfera da representação subjetiva, pode tanto representar um elefante de perfil, como também pode representar o espalhamento entre duas partículas carregadas eletricamente.

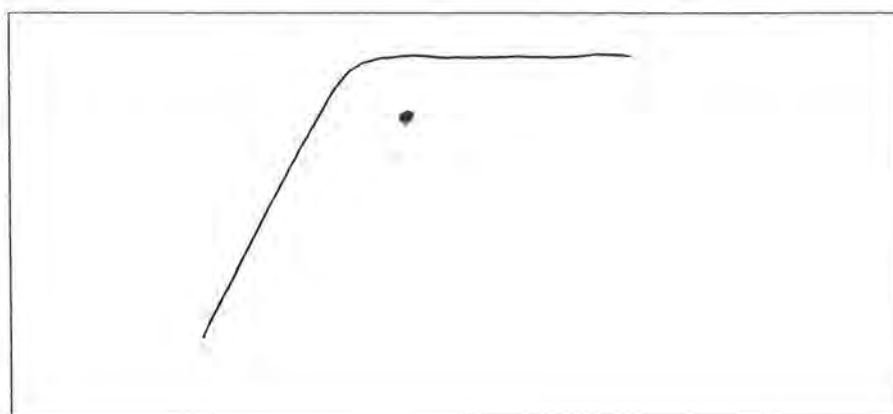


Figura II-1 - Um elefante de perfil ou um espalhamento de duas partículas carregadas eletricamente?

Esse jogo dialético entre parte-local e todo-global é uma característica da estrutura de uma teoria física: ao mesmo tempo que as partes (conhecimento local) compõem e dão sustentação ao todo

¹³ Pinto, A. V., *Ciência e Existência*, pp 101.

¹⁴ Ota, M. I. N., *Os modelos de interação da Física e dos estudantes*, pp 105.

(conhecimento global), o todo articulado dá significado às suas partes: a teoria é auto-contida¹⁵.

A teoria física carrega todas essas dualidades, ou seja, os "dois lados da moeda" coexistem, mas não os vemos simultaneamente: o conhecimento se manifesta sempre numa dialética entre parte-todo, local-global, tempo-espaço, profundidade-extensão, razão-intuição, pensamento-sentimento.

A teoria física é, então, formada por uma estrutura complexa e lógica. Uma estrutura é um conhecimento espacializado, onde os conceitos são ligados por leis matemáticas, lógicas: "é através de uma lei que informações a respeito da natureza fecundam as estruturas lógicas da teoria"¹⁶. A estrutura conceitual é única, embora cada um possa compor uma estrutura sua da teoria, e essa construção é resultado do processo de amadurecimento do conhecimento que se adquire, pois a maneira como a teoria é estruturada reflete aquilo que você pensa sobre o assunto, a sua consciência¹⁷.

A identificação dessa estrutura conceitual pode resultar naquilo que chamamos de mapa conceitual. Um mapa conceitual é a estrutura "coisificada", "reificada". Um mapa é a representação do objeto, no caso, a teoria. Mapear um conhecimento exige a realização da idéia, exige fé naquele conhecimento adquirido. Um mapa geográfico permite ao turista percorrer uma cidade. No entanto, para conhecê-la, em toda sua complexidade, com seus problemas sócio-econômicos, com sua cultura etc, só é possível vivenciando seu cotidiano. Essa vivência/conhecimento permite a construção de um mapa individual dessa mesma cidade, que pode ser diferente do primeiro mapa observado. É um mapa muito particular, que diz muito para quem o construiu. Por exemplo, sempre residi na Zona Oeste na cidade de São Paulo. Se me propõem fazer um mapa dessa cidade, apesar da Zona Oeste ser a menor região, no meu mapa ela ocupa maior espaço, pois ela eu conheço, nela eu vivo, eu sei ir e vir, conheço o comércio, suas ruas, suas valetas, seus cinemas etc. Já as demais regiões aparecem representadas por uma ou duas ruas, por poucos pontos de referência. Já um morador da Zona Leste...

¹⁵ Salém, S., *Estruturas Conceituais no Ensino de Física*.

¹⁶ Robilotta, M. R., *Construção e Realidade no Ensino de Física*, aula 3, pp 1.

Um mapa conceitual é, portanto, individual apesar de representar uma teoria. Ele é ao mesmo tempo objetivo e subjetivo: ele representa subjetivamente um conhecimento científico, que é objetivo. Além disso, vamos encontrar no mapa todas as características dialéticas, uma vez que ele representa uma estrutura. Então, nele encontramos os jogos local-global, parte-todo, espaço-tempo, profundidade-extensão, pensamento-sentimento, razão-intuição.

Construir um mapa é tarefa difícil pois exige uma aproximação-distanciada e um distanciamento-aproximado¹⁸, isto é, você se aproxima do conhecimento, chega tão perto que é capaz de "tocá-lo", é capaz de criar a *imagem concreta*, mas com distanciamento. Ou seja, você sabe quais elementos compõem a teoria, você sabe alocá-los num mapa, e cada um tem seu lugar próprio. No entanto, ao mesmo tempo, você se distancia do objeto quando articula este conhecimento, quando o espacializa, quando o estrutura num mapa. A figura II-2 representa um mapa conceitual da eletrostática¹⁹.

O mapa permite um ir e vir eternos entre os elementos da teoria, que são ligados por linhas lógicas. As linhas lógicas são sempre fechadas, ou seja, uma linha não se "perde" no mapa. Assim, podemos perceber que existem vários caminhos de se chegar a um conceito. O conceito é, então, uma esquina²⁰, um vértice, uma intersecção de caminhos. O mapa nos possibilita melhor manipular a teoria. Nele os elementos aparecem unidos por uma linha, representando as relações matemáticas que existem entre as partes da teoria; não possuem setas indicativas, e a ausência do sentido indica que o caminho a ser percorrido dentro da teoria também não é único, está sujeito ao conhecimento/visão que cada um tem do assunto. A leitura do mapa está ligada ao conhecimento que cada um tem para si sobre o assunto: você sabe (objetivamente) e também sente (subjetivamente); parafraseando M. R. Robilotta: "o verbo é bom para o lado sabe e não para o lado sente". Portanto, como se "caminha" pela teoria é muito subjetivo pois, como já dito, a teoria é mais que a soma de suas partes.

¹⁷ Idem, aula 7.

¹⁸ Idem, aula 6.

¹⁹ Salém, S., *Estruturas Conceituais no Ensino de Física*, pp 66.

²⁰ Robilotta, M. R., *Construção e Realidade no Ensino de Física*, aula 12.

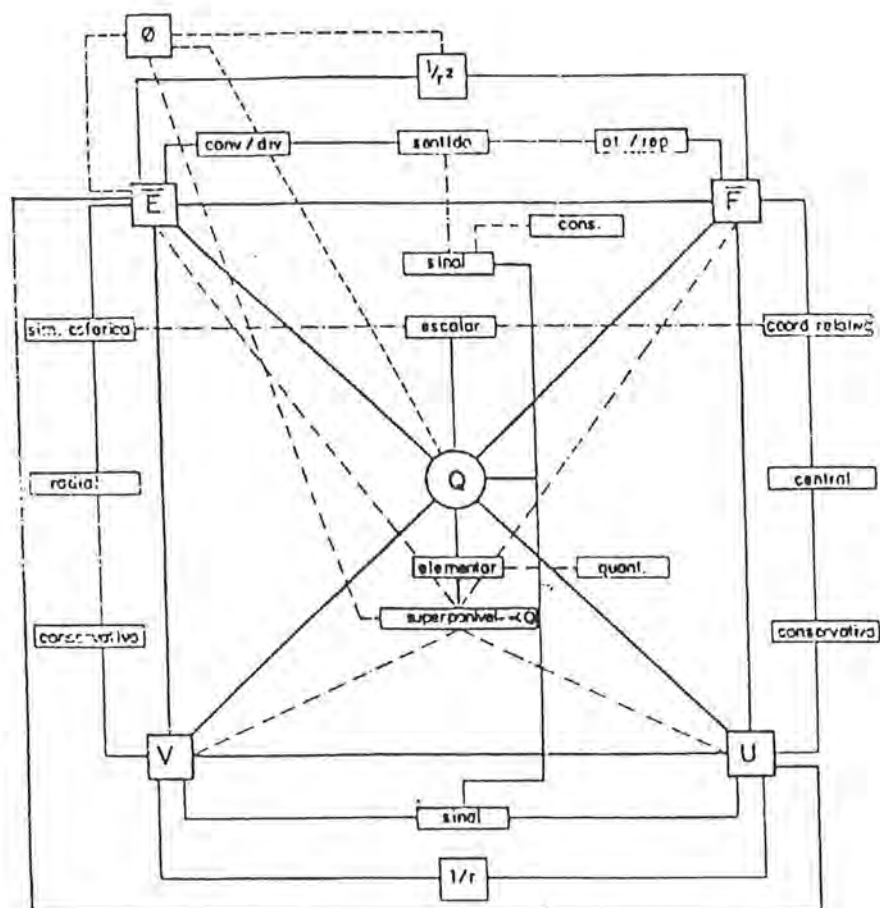


Figura II-2 - Um mapa conceitual da eletrostática.

Os mapas da mecânica clássica

Embora a teoria seja única, o mapa conceitual não é único, ele diz muito para quem o confecciona e talvez muito pouco para um outro observador. O mapa traz implicitamente a maneira como a teoria é estruturada. Então, para construir um mapa da mecânica clássica, é preciso não apenas conhecer os elementos que compõem a teoria, é necessário saber qual é o seu lugar nessa estrutura de conhecimento, isto é, saber relacioná-los internamente, articulá-los para compor um todo coerente, harmônico.

Um possível mapa para esta teoria, foi apresentado por Ota²¹, 1991, no IX SNEF²², conforme figura II-3. Segundo Ota, "os conceitos espaço, tempo e massa, são as três grandezas fundamentais da mecânica clássica, e estão unidos, no mapa conceitual, à 1.ª lei e, conforme o próprio mapa indica, os quatro conceitos são hierarquicamente equivalentes". Ainda de acordo com Ota, a hierarquização do mapa é dada pelo formalismo de Lagrange e mediada pela 2.ª lei de Newton, com as propriedades do espaço colocada na região superior a ela e com a homogeneidade do tempo na região inferior.

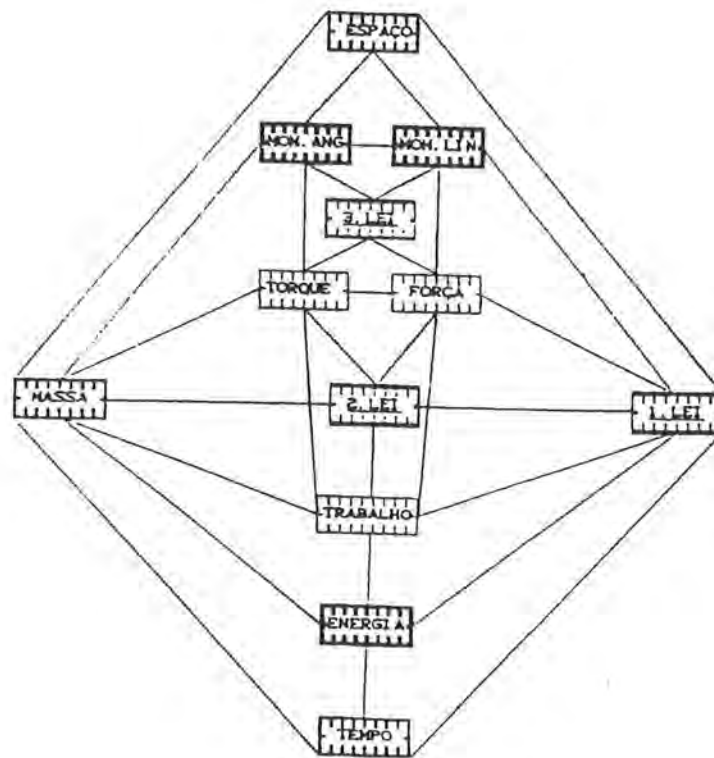


Figura II-3 - Exemplo de um mapa conceitual da mecânica clássica.

Embora seja perfeitamente possível identificarmos a mecânica clássica neste mapa da figura II-3, ele não serve ao nosso propósito, pois ele é muito sucinto, não apresentando todos os elementos que consideramos importantes para a análise do conteúdo de mecânica proposto para o ensino médio. Nossa preocupação é ter um mapa cuja leitura nos permita identificar as propostas de ensino de mecânica, a tradicional e a do GREF.

²¹ Ota, M. I. N., *Estrutura Conceitual da Mecânica Clássica*, pp 458.

Para construir este mapa, usamos o livro de H. M. Nussenzveig, “Curso de Física Básica – 1-Mecânica”²³, que foi escrito para a disciplina Física I da graduação em ciências exatas, portanto, escrito para cursos de formação básica, o que inclui a formação de professores em física. O autor, físico bastante conhecido no meio acadêmico, preocupado com o ensino da física, contribuiu também para a nossa escolha. Não é um livro que foi traduzido de outra língua, como ocorre com a maioria dos livros disponíveis ao ciclo básico dos cursos em ciências exatas. Também nos chamou a atenção a preocupação do autor com o processo de construção de uma teoria, por exemplo, apresentando trechos de “Diálogos entre duas novas ciências”, de Galileu Galilei. Nussenzveig aborda a teoria da mecânica de forma bastante profunda, dispensando atenção especial a detalhes nada sutis que integram a teoria, mas que passam despercebido por alguns autores, como as leis de simetria e as relações com as leis de conservação e leis de Newton. Este livro não trata da mecânica analítica²⁴, o que também não é nosso objetivo, pois não estamos preocupados com este nível do formalismo, mas com aquele possível de ser abordado em salas de aula do ensino médio.

O nosso mapa foi construído aos poucos e mudou de “cara” algumas vezes. De muito sintético, ele se tornou muito detalhista, até admitirmos uma versão final. A nossa preocupação era primeiro entender que elementos fariam parte desta estrutura da mecânica. Aos poucos, as articulações entre eles eram estabelecidas.

A mecânica clássica pode ser vista sob diferentes ângulos: um, newtoniano, centrando nossa atenção às três leis de Newton, portanto, ao conceito de força, e outro, lagrangeano, com atenção às leis de conservação. No entanto, por trás desses dois olhares diferentes, encontram-se as leis de simetria, impondo algumas propriedades do espaço e do tempo, que consolidam a teoria. Segundo Henri Poincaré²⁵, “os espaços da matemática apenas têm realidade quando inseridos numa teoria Física.” Na mecânica clássica, o espaço deve ser euclidiano, “absoluto”, que não se contrai. O

²² Janeiro/91, São Carlos – SP.

²³ 1.ª reimpressão, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1985.

²⁴ Landau, L., Lifchitz, E., *Mecânica*, e Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sandas, M., *The Feynman Lectures on Physics*.

espaço é homogêneo, implicando numa simetria de translação; o espaço é isotrópico preservando a simetria de rotação. A uniformidade no tempo, o tempo absoluto, garante uma simetria no próprio tempo. Seguindo as idéias de Feynman: com uma propriedade de simetria, que fenômeno físico se constata? Nussenzveig nos diz que "as leis de conservação estão ligadas a propriedades de simetria de sistemas físicos. Um sistema tem uma propriedade de simetria quando não se altera ao efetuarmos nele uma operação correspondente a essa simetria"²⁶. Assim, com a simetria na translação ou homogeneidade do espaço, temos a lei da conservação do momento linear (ou quantidade de movimento); com a simetria nas rotações ou espaço isotrópico, temos a conservação do momento angular; e com a uniformidade do tempo temos a conservação de energia. Essa maneira de olhar a mecânica clássica é mais "recente", e não contradiz as leis de Newton.

Se consideramos o espaço e o tempo absolutos de Newton, temos as suas três leis: a lei da inércia, a lei fundamental e a lei da ação e reação. As leis de Newton "não existem" separadamente, uma implica na outra. A mecânica newtoniana vale para referenciais inerciais, tem domínio não-relativístico e macroscópico, ou seja, ela se configura no espaço euclidiano, que abriga as leis de simetria.

A 1.^a lei ou lei da inércia pode ser assim postulada: "Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a modificar esse estado pela ação de forças impressas sobre ele"²⁷. Essa lei exige um referencial inercial pois observador e objeto devem estar em repouso, ou em movimento retilíneo uniforme, um em relação ao outro. O movimento retilíneo implica no espaço euclidiano, aquele que não se deforma.

A formulação de Newton para a 2.^a lei ou lei fundamental é: "A variação do momento é proporcional à força impressa, e tem a direção da força"²⁸.
Matematicamente,

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

²⁵ Poincaré, H., *O valor da ciência*, pp 7.

²⁶ Nussenzveig, H. M., *Curso de Física Básica - 1-Mecânica*, pp 391.

²⁷ Idem, pp 110.

²⁸ Idem, pp 119.

onde $|\vec{F}|$ é o módulo da força, $|\vec{p}|$ é o momento linear ou quantidade de movimento que, nas palavras de Newton, "é a medida do movimento, que se origina conjuntamente da velocidade e da massa"²⁹, $\vec{p} = m\vec{v}$. A 2.^a lei é mais conhecida por $\vec{F} = m\vec{a}$, onde $|\vec{a}|$ é a aceleração do corpo de massa m . Note que esta maneira de apresentar a lei fundamental é mais simplista pois considera-se que a massa é invariante no tempo:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot \vec{v} + m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = 0 + m\vec{a}$$

Essa "segunda versão" da 2.^a lei acaba por reduzi-la, pois a sua formulação original é mais abrangente. Desta forma, não podemos considerar a lei fundamental como uma definição de massa, $m = F/a$, pois, neste caso, estamos considerando apenas a variação da velocidade, e impondo a constância da massa no tempo. Assim como também não podemos considerá-la uma definição de força, pois, pelo princípio de superposição de forças, estas podem ser somadas vetorialmente, não importando a sua origem física. Aí encontramos seu caráter de lei fundamental: a soma vetorial de todas as forças que agem sobre o corpo, independente de sua origem, é igual à variação de seu momento linear. De acordo com Nussenzveig, "de fato a 2.^a lei define uma espécie de programa para a física clássica: encontrar as leis de forças correspondentes a todas as interações possíveis"³⁰.

Sua 3.^a lei, Newton formulou da seguinte forma: "A toda ação corresponde uma reação igual e contrária, ou seja, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos"³¹. O par ação-reação aparece sempre junto mas em corpos separados, caso contrário, uma anularia a outra, e a lei não teria sentido. Por exemplo, suponha dois corpos se colidindo na mesma direção e em sentidos opostos, e que a resultante das forças externas que agem sobre os corpos seja nula, então:

²⁹ Idem, pp 119.

³⁰ Idem, pp 116.

$$\vec{F}_{1(2)} = -\vec{F}_{2(1)} \Rightarrow \frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt} \Rightarrow \frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0$$

onde $\vec{F}_{1(2)}$ é a força que o corpo 1 aplica em 2 e $-\vec{F}_{2(1)}$ é a força que 2 aplica em 1. Ou seja, a terceira lei de Newton nos leva ao princípio da conservação da quantidade de movimento, desde que não haja forças externas sobre os corpos que interagem ou que a resultante dessas forças seja nula: o momento linear total do sistema se conserva a cada instante, inclusive durante a colisão. E também são conservados sua direção e sentido.

Quando estamos interessados no estudo de objetos que giram é preciso fixar alguns parâmetros, ou graus de liberdade, para especificar a sua posição no sistema. Se considerarmos o movimento de rotação de um corpo rígido em torno de um eixo fixo, temos apenas um grau de liberdade, dado pelo ângulo de rotação θ em torno do eixo, e podemos estabelecer uma analogia entre este movimento e o movimento de translação unidimensional, e a seguinte correspondência entre as grandezas que descrevem o movimento:

$$\begin{aligned} x \leftrightarrow \theta & & d\vec{s} = d\vec{\theta} \times \vec{r} & & \vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \\ v = \frac{dx}{dt} \leftrightarrow \omega = \frac{d\theta}{dt} & & & & \\ a = \frac{dv}{dt} \leftrightarrow \alpha = \frac{d\omega}{dt} & & & & \end{aligned}$$

"O análogo de \vec{F} para a rotação seria então uma grandeza $\vec{\tau}$ tal que

$$\Delta W = \tau \cdot \Delta\theta \leftrightarrow \Delta W = F \cdot \Delta x$$

corresponda ao trabalho realizado numa rotação infinitesimal $\Delta\theta$ ³². Assim, o torque que corresponde ao momento de uma força na rotação é, por analogia,

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{r} \times \vec{p}) - \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} = \frac{d}{dt}(\vec{r} \times \vec{p}) - \vec{v} \times \vec{p}$$

³¹ Idem, pp 127.

$$\vec{\tau} = \frac{d}{dt}(\vec{r} \times \vec{p}) = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

pois o produto vetorial de dois vetores paralelos é nulo:

$$\vec{v} \times \vec{p} = \vec{v} \times m\vec{v} = 0$$

A correspondência entre o momento angular e o momento linear ocorre assim como com as demais grandezas,

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \rightarrow L = mrv = mr^2\omega = I\omega$$

considerando o raio perpendicular ao momento ($\text{sen}\theta = 1$), ou seja, forças centrais, sendo I o momento de inércia, que mede a distribuição de massa, numa analogia à massa do momento linear. Esta correspondência é muito “forte” pois a relação entre torque e momento angular desempenha um papel análogo ao da 2.^a lei de Newton, ou seja, pode ser considerado como lei fundamental da dinâmica de rotações: “a taxa de variação com o tempo do momento angular de uma partícula em relação a um ponto O é igual ao torque em relação ao ponto O que atua sobre essa partícula”³³.

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

“Se a resultante dos torques externos em relação a um dado ponto se anula, o momento angular do sistema em relação a esse ponto se conserva”³⁴, esta afirmação vale para sistemas isolados, ou seja, quando uma partícula está sujeita apenas a forças centrais, o momento angular desta partícula se conserva. Neste caso, a resultante dos torques internos do sistema é nula, e

$$\vec{\tau} = \vec{0} \leftrightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0} \leftrightarrow \vec{L} = \text{CONSTANTE}$$

³² Idem, pp 371.

³³ Idem, pp 376.

³⁴ Idem, pp 389.

Quando falamos em momento angular, nos referimos a uma grandeza vetorial, sendo assim, quando falamos em sua conservação estamos preservando não só sua magnitude, mas sua direção e sentido, assim como no caso do momento linear.

Se a força que atua numa partícula depende apenas da posição desta, dizemos que a partícula está sujeita à força conservativa, e que sua energia mecânica se conserva. A energia mecânica E é dada pela soma da energia potencial (U), que depende da posição do objeto em estudo, e da energia cinética (T), que depende da velocidade do objeto. Sob a ação de forças conservativas, a energia mecânica total do sistema se conserva durante o movimento. Se energia é a capacidade de se realizar trabalho, neste caso, o trabalho realizado pela força conservativa só depende dos pontos iniciais e finais do movimento:

$$W_{x_0 \rightarrow x_1} = \int_{x_0}^{x_1} F(x) dx = \int_{x_0}^{x_1} m \frac{dv}{dt} dx = \int_{t_0}^{t_1} m \frac{dv}{dt} \frac{dx}{dt} dt = \int_{t_0}^{t_1} mv \frac{dv}{dt} dt = \int_{v_0}^{v_1} mv dv$$

assim,

$$W_{x_0 \rightarrow x_1} = \frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_0^2 = T_1 - T_0 = \Delta T$$

isto é, o trabalho realizado pelo corpo em movimento depende apenas de sua velocidade inicial e final. Ainda, considerando que o corpo está em queda livre, tendo apenas a força peso atuando sobre ele,

$$W_{x_0 \rightarrow x_1} = \int_{x_0}^{x_1} \vec{F}(x) dx = -mg \int_{x_0}^{x_1} dx = -mg(x_1 - x_0) = -(U_1 - U_0) = -\Delta U$$

então, se

$$E = T + U \Rightarrow \Delta E = \Delta T + \Delta U = 0$$

ou seja, a energia mecânica total se conserva. A lei de conservação da energia pode ser assim enunciada: "forças sob a ação das quais existe uma função

energia mecânica que se conserva durante o movimento da partícula, chamam-se forças conservativas.”³⁵

As leis de conservação estão ligadas às leis de simetrias de um sistema físico. São leis gerais, que valem tanto para sistemas macro quanto para sistemas micro. Seguindo o exemplo dado por Nussenzveig³⁶, consideremos um sistema de partículas ao qual se associa uma energia potencial U , que depende das posições das partículas e explicitamente do tempo:

$$\begin{aligned}
 U &= U(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n; t) \\
 \Delta U &= U(\vec{r}_1 + \Delta\vec{r}_1, \vec{r}_2 + \Delta\vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n + \Delta\vec{r}_n; t + \Delta t) - U(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n; t) \\
 \Delta U &= -\sum_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot \Delta\vec{r}_i + \frac{dU}{dt} \Delta t
 \end{aligned}$$

Se consideramos uma uniformidade temporal, ou seja, que o sistema será o mesmo (simétrico) se repetirmos a experiência em outro horário, preservando as condições iniciais, então,

$$\frac{\partial U}{\partial t} = 0$$

e,

$$\frac{dU}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta U}{\Delta t} \right) = -\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\sum_{i=1}^N \vec{F}_i \cdot \frac{\Delta\vec{r}_i}{\Delta t} \right] = -\sum_{i=1}^N \vec{F}_i \cdot \vec{v}_i$$

No entanto,

$$\vec{F}_i \cdot \vec{v}_i = m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} \cdot \vec{v}_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m_i \vec{v}_i^2 \right) = \frac{d}{dt} T_i \Rightarrow \frac{dU}{dt} = -\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N T_i = -\frac{dT}{dt}$$

ou seja, temos a conservação da energia mecânica total do sistema:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} (T + U) = 0$$

³⁵ Idem, pp 185.

³⁶ Idem, pp 393.

Olhando para a homogeneidade espacial, podemos supor que o sistema não sofrerá alteração se transladado como um todo. Então, voltando à função energia potencial, que depende apenas da posição:

$$\Delta U = U(\vec{r}_1 + \Delta\vec{R}, \dots, \vec{r}_N + \Delta\vec{R}_N) - U(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N) = -\Delta\vec{R} \cdot \left(\sum_{i=1}^N \vec{F}_i \right) = 0$$

ou seja,

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i = \sum_{i=1}^N \frac{d\vec{p}_i}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$$

que é a lei de conservação do momento linear.

Outra simetria que consideramos é a isotropia espacial, ou seja, o sistema não muda se for girado como um todo. Neste caso, vamos considerar,

$$\Delta\vec{r}_i = \Delta\vec{\theta} \times \vec{r}_i$$

e, então, a função energia potencial fica:

$$\Delta U = U(\vec{r}_1 + \Delta\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N + \Delta\vec{r}_N) - U(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N) = -\sum_{i=1}^N \vec{F}_i \cdot \Delta\vec{r}_i = -\sum_{i=1}^N \vec{F}_i \cdot (\Delta\vec{\theta} \times \vec{r}_i) = 0$$

que pode ainda ser reescrita da seguinte forma:

$$\Delta U = -\Delta\vec{\theta} \cdot \left(\sum_{i=1}^N \vec{r}_i \times \vec{F}_i \right) = -\Delta\vec{\theta} \cdot \sum_{i=1}^N \vec{\tau}_i = -\Delta\vec{\theta} \cdot \vec{\tau} = 0$$

Como no caso linear,

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} = 0$$

que é a lei da conservação do momento angular.

Ou seja, da uniformidade do tempo e homogeneidade e isotropia do espaço, isto é, das leis de simetria, obtemos as leis de conservação. Das leis de Newton também chegamos às leis de conservação, porém com a imposição de que apenas forças internas estejam atuando sobre o sistema, no caso da conservação do momento linear; que as forças internas de interação entre os corpos sejam forças centrais, para a conservação do momento angular; e que as forças sejam conservativas, para a conservação da energia. Assim, conseguimos "ir" da visão lagrangeana à visão newtoniana e, com alguns cuidados, "vir" da visão newtoniana à visão lagrangeana, sempre articulando os conceitos da teoria.

Voltando às duas possibilidades de se "olhar" para a mecânica clássica, ambas trazem implicitamente as leis de simetria e, portanto, as leis de conservação. Existe um modo de, a partir das leis de Newton, chegarmos aos princípios de conservação do momento linear, do momento angular e da energia. Do mesmo modo, existe o caminho inverso: partir das leis de conservação para comprovarmos as leis de Newton. No entanto, as leis de conservação, como são leis mais gerais na própria física, nos possibilitam uma visão mais global da teoria.

No nosso mapa, a mecânica clássica tem esses elementos, leis de Newton e leis de conservação, como coisas centrais (ou fundamentais) da teoria. São desses conceitos que "partem", e também "chegam", os outros elementos (conceitos) da teoria. É a harmonia entre eles, a articulação desses elementos que sustentam a teoria. A nossa visão/leitura da teoria é apresentada pelo mapa conceitual da mecânica clássica, mapa 1, figura II-4.

Neste mapa, caracterizamos o espaço matemático euclidiano, com a homogeneidade (invariância nas translações) e a isotropia (invariância no giro) espaciais, mais o tempo uniforme/absoluto. Essas simetrias, que configuram o espaço, sustentam as leis de conservação e as leis de Newton. O elemento *tempo uniforme* aparece no alto e centro do mapa, articulando-se com a translação e a rotação, dividindo o mapa e colocando seus respectivos elementos em lados distintos, ligados respectivamente por *conservação do momento linear* e *conservação do momento angular*.

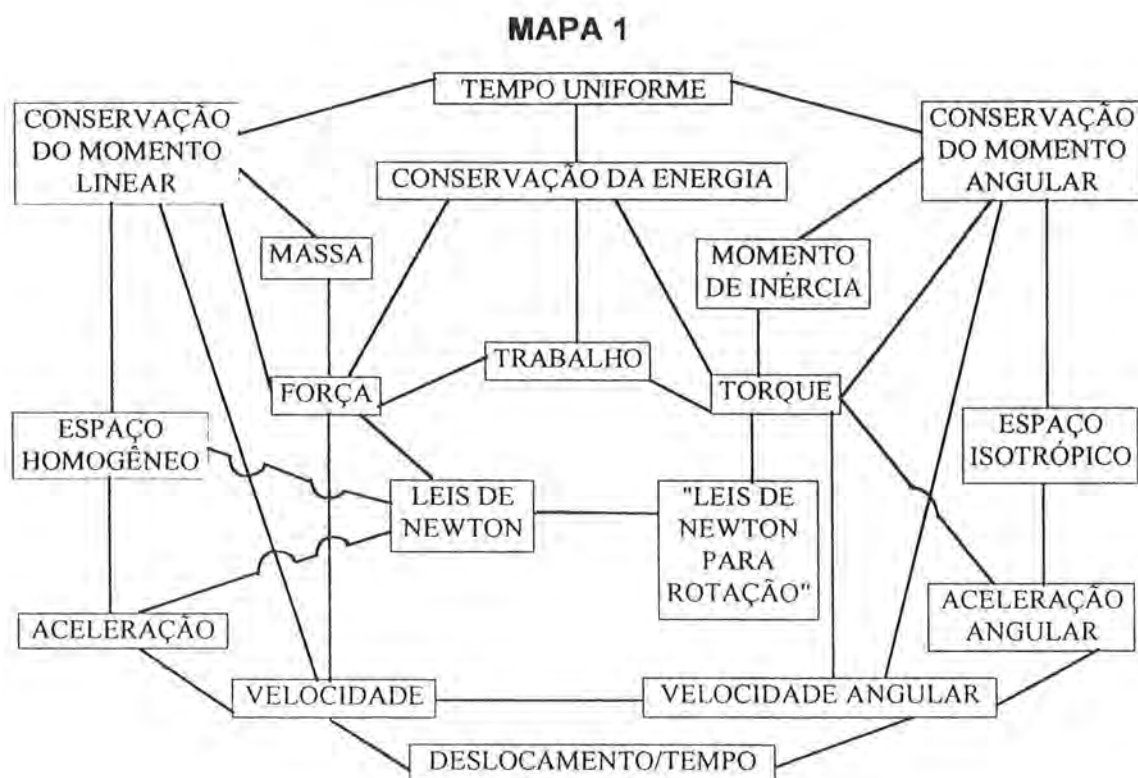


Figura II-4 - Um mapa conceitual para a mecânica clássica.

Além de representar a translação e a rotação em lados distintos, queríamos que o nosso mapa tivesse simetria na representação de seus conteúdos. A *massa*, inercial, invariante, é um elemento importante no mapa, já que, articulada com espaço e tempo, dá sustentação à teoria. Colocamos os elementos com os nomes *momento de inércia* e "*Leis de Newton para rotação*", associando-os ao *torque*, que aparecem não apenas para garantir a simetria do mapa, mas pela conservação do momento angular e da energia nas rotações. Além disso, sempre faz-se uma analogia entre a rotação e a translação. Na parte inferior e ao centro do mapa, colocamos o elemento *deslocamento/tempo*, e, a partir dele, alocamos os conceitos que descrevem os movimentos linear e angular. Decidimos por representar a cinemática escalar (linear) e a vetorial (angular) uma vez que são conteúdos muito presentes no ensino médio, e que nos auxiliariam no entendimento da estruturação das duas propostas que pretendemos analisar.

Não existem setas que indiquem caminhos ou seqüências de desenvolvimento da teoria, pois se trata de um mapa para a teoria, cabendo,

portanto, a cada um escolher o caminho a ser percorrido, que exponha ou componha o seu conhecimento. Sendo assim, qualquer caminho pode ser traçado, seja para aprender, seja para estudar, seja para ensinar a teoria. Mais importante que conhecer os elementos que fazem parte deste mapa, é conhecer as relações que estes elementos estabelecem entre si, ou melhor, é conseguir articular os elementos, porque são essas articulações que permitem espacializar o conhecimento, que eliminam as setas indicativas de caminhos. Quando se caminha "livremente" pela teoria, quando se percebe que ir e vir não oferecem obstáculos, então, se conhece a teoria.

A mecânica da proposta tradicional

A mecânica apresentada pelos livros tradicionais começa com Galileu Galilei, com o estudo dos movimentos de translação, a cinemática escalar. A dinâmica vem em seguida, com Newton. Na seqüência, a idéia de conservação de energia e de conservação da quantidade de movimento linear. A parte dedicada à história e/ou desenvolvimento desta ciência aparece de forma ilustrativa, em geral, com textos bibliográficos sobre os físicos que mais se destacaram no desenvolvimento de determinado conceito. Esta é a leitura, o recorte da física apresentada aos estudantes, e é também a mecânica apresentada pelos livros didáticos. Existe uma seqüência pré-estabelecida que tenta construir o conhecimento eliminando os pré-requisitos: espaço → velocidade → aceleração → força → etc, ou seja, para aprender o conceito de aceleração, o aluno precisa aprender o conceito de velocidade, então, velocidade é um pré-requisito para o conceito aceleração.

O curso começa com a cinemática, a "grande vedete", que ocupa, em geral, mais de um terço do livro didático. São apresentados e propostos inúmeros exercícios, com o intuito de abordar todos os possíveis enunciados que possam descrever o movimento dos corpos, seja MRU, MRUV, MCU ou MCUV³⁷. Quando chega a vez da dinâmica, o sistema de pré-requisitos

³⁷ Movimento retilíneo uniforme, movimento retilíneo uniformemente variado, movimento curvilíneo uniforme e movimento curvilíneo uniformemente variado.

estabelecido parece falhar, pois, muitas vezes, os elementos já discutidos até então não são identificados como compondo esta "parte da teoria". Após a conservação da energia e da quantidade de movimento, um pouco de gravitação universal e hidrostática. Toda a dinâmica rotacional não é tratada, embora tenha sido gasto tempo com a cinemática vetorial e seus inúmeros exercícios propostos.

Os livros sobre este assunto não apresentam grandes diferenças aparentemente, pois abordam sempre os mesmos tópicos e, quase sempre, na mesma sequência. O livro, *Os Fundamentos da Física 1*, ou "Ramalho", escolhido para análise como um representante do currículo tradicional, é um livro que serve tanto aos professores quanto aos seus alunos, isto é, a única diferença entre o livro do aluno e o livro do professor é que este último traz os exercícios gabaritados.

Este livro dedica dez capítulos à cinemática e outros dez capítulos ao restante do conteúdo, sendo três destinados às leis de Newton, outros três a trabalho, energia, impulso e quantidade de movimento, um para gravitação, dois para estática, e o último para hidrostática. A dinâmica aparece com o conceito de força e com as leis de Newton. Em seguida, aparecem os conceitos de trabalho e energia. As leis de conservação da quantidade de movimento e de energia aparecem por último e não se articulam com as leis de Newton, apenas com o conceito de força. O mapa 2, figura II-5, apresenta a estrutura da proposta tradicional de mecânica.

Agora, as linhas têm setas, indicando o caminho escolhido pelo autor, que apresenta três "pontos de partida" (elementos hachureados). As linhas também estão diferenciadas: primeiro são contínuas, depois tracejadas e, por último, pontilhadas. O curso inicia-se com a descrição matemática dos movimentos, portanto, o elemento *deslocamento/tempo* pode ser considerado um ponto de partida para o desenvolvimento da cinemática escalar e vetorial.

Para passar ao estudo das "causas" do movimento, ou *força*, os autores recorrem aos conceitos de *aceleração* e *massa*. O primeiro, aceleração, já foi tratado exaustivamente com a cinemática, e a massa é apresentada ao leitor da seguinte forma: "Massa é uma grandeza que atribuímos a cada corpo obtida pela comparação do corpo com um padrão, usando-se o princípio da

balança de braços iguais. O corpo padrão pode ser o quilograma padrão"³⁸. De força para leis de *Newton*, a massa volta a ser considerada, mas como "a medida da inércia de um corpo"³⁹. Embora exista um tópico "O peso é uma força"⁴⁰, não se discute a diferença entre as massas inercial e gravitacional.

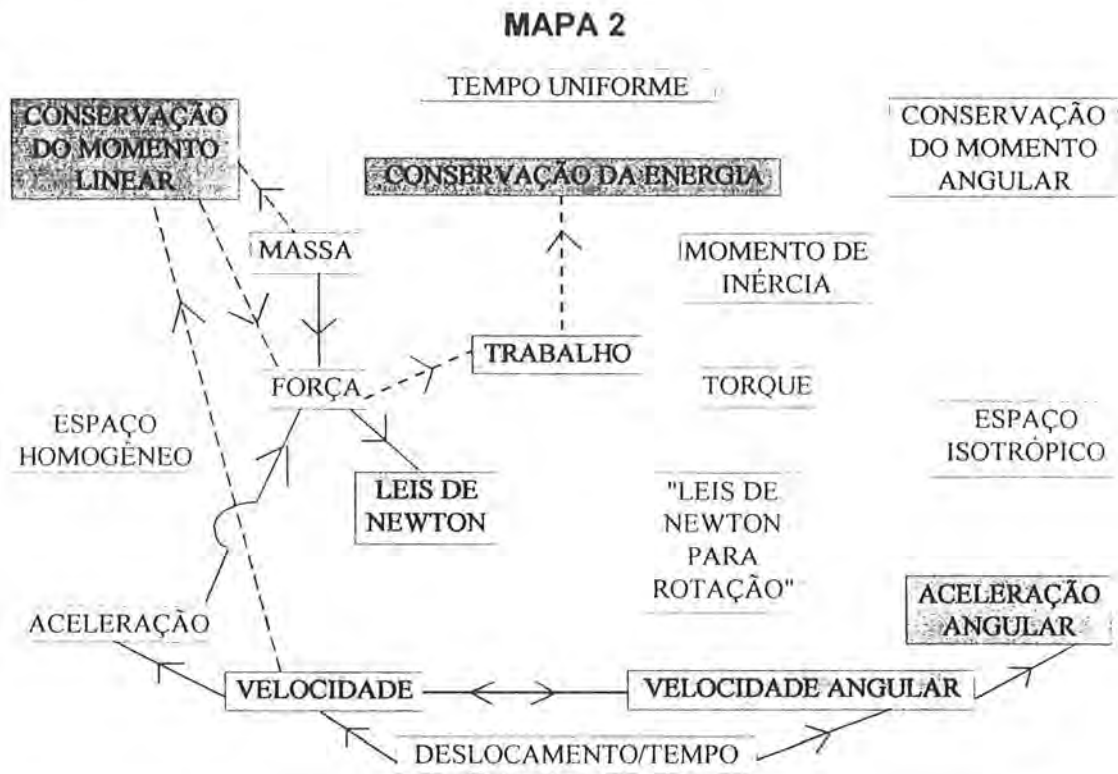


Figura II-5 - Um "mapa conceitual" para a mecânica clássica proposta pelo Ramalho.

Após as leis de Newton, a partir do conceito de *força* desenvolve-se todos os outros conceitos que pretende-se ensinar; o primeiro é *trabalho*, e deste, desenvolve-se energia (*conservação da energia*). O conceito *força* é um ponto de partida para o estudo da quantidade de movimento e sua conservação (*conservação do momento linear*). A gravitação, a estática e a hidrostática também são desenvolvidas a partir do conceito *força*. Também no livro são definidas as forças elástica, peso, normal, centrípeta, atrito. Assim, percebemos que na proposta tradicional o conceito *força* tem muita importância, e isso se reflete claramente no mapa 2, onde a quantidade de linhas que saem deste elemento é muito grande, e ele ganha *status* de

³⁸ Ramalho Junior, F., Ferraro, N. G., Soares, P. A. T., *Os Fundamentos da Física 1*, pp 199.

³⁹ Idem, pp 204.

⁴⁰ Idem, pp 204.

elemento central da teoria. A dinâmica de rotações não é desenvolvida, por isso a ausência total de linhas neste lado do mapa.

É interessante notar que todos os elementos do mapa 1 continuam como "pano de fundo" para o curso proposto pelos autores Ramalho, Ferraro e Soares, pois o mapa é auto-contido, isto é, os elementos ali alocados sustentam a teoria e ganham significado dentro dela. Além disso, propositadamente o mapa 2 foi construído sobre o mapa 1, pois, uma vez identificado um possível mapa para a teoria, queríamos compreender de que forma a proposta tradicional apresentava a sua leitura deste mesmo conteúdo.

A mecânica da proposta GREF

Escrito para o professor, a proposta para o ensino da mecânica do GREF parte do cotidiano; não ilustra exercícios com situações do dia-a-dia, mas coloca a física no cotidiano. Não é apenas a contextualização do conteúdo que torna a proposta diferente; também são diferentes a sequência e a maneira de se tratar os elementos da teoria. O mapa 3, figura II-6, apresenta a proposta GREF.

Este mapa segue a mesma formatação do mapa 2; percebemos que os pontos de partida (hachureados) são diferentes: conservação do momento linear, conservação do momento angular e deslocamento/tempo. As linhas também têm setas, indicando escolhas de "caminhos", distinguidos pelo traço da linha, iniciando contínuo, seguindo tracejado e, finalmente, pontilhado. Também o mapa 3 foi construído sobre o mapa 1, pois tínhamos interesse em compreender como o GREF apresentava a sua leitura da mecânica clássica.

O projeto apresenta uma leitura da mecânica centrada nas leis de conservação; inicia o curso com a *conservação do momento linear*, investigando também sua variação, ou seja, a *força*. A quantidade de movimento é desenvolvida a partir dos conceitos *massa* e *velocidade* que não são definidos, mas reconhecidos como as variáveis envolvidas nos

movimentos de translação. Após estes tópicos, as *leis de Newton* são apresentadas, articulando a variação e a conservação do movimento linear.

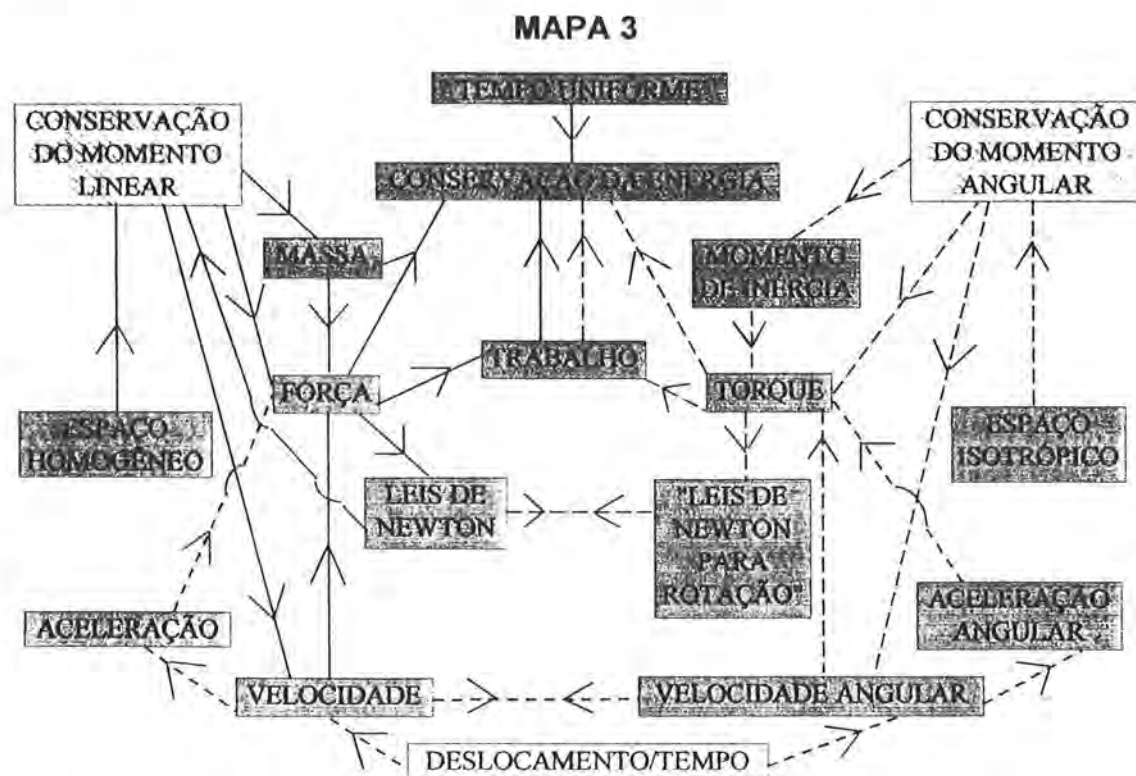


Figura II-6 - Um "mapa conceitual" para a mecânica clássica proposta pelo GREF.

A parte angular é tratada de maneira análoga, primeiro a *conservação do momento angular* e, logo depois, a sua variação, isto é, o *torque*, usando o conceito da distribuição de massa, ou *momento de inércia*. Para articular a conservação e a variação no giro, aparece o elemento "*leis de Newton para a rotação*". Logo em seguida, propõe-se o estudo da *conservação da energia*, tanto da parte linear quanto da parte angular, articulando, também, os elementos *força* e *torque*. Os tipos de força são trabalhados em condições de equilíbrio⁴¹; nesta secção também se diferencia a massa inercial e a massa gravitacional, discutindo o campo gravitacional. Em seguida, desenvolve-se o conceito trabalho, tanto na translação quanto no giro.

⁴¹ GREF, *Física 1 – Mecânica*, pp 147.

Por último, o GREF propõe a cinemática escalar. Antes dela, são apresentados os conceitos de posição, deslocamento, velocidade e aceleração, trabalhados também na rotação.

Embora a leitura desta proposta também tenha sido feita sobre o mapa 1, percebemos que todos os elementos deste mapa participam efetivamente da composição da teoria. Além disso, existe uma distribuição uniforme das linhas que articulam os conceitos envolvidos.

Diferentes visões, diferentes propostas

A mecânica clássica talvez seja a teoria da física mais conhecida pelos professores de física do ensino médio. Não pretendemos aqui entrar no mérito de quão profundo e/ou coerente é este seu conhecimento. O fato é que qualquer professor sente-se à vontade quando o assunto é cinemática, plano inclinado, força de atrito etc, assim como também é o conteúdo que, após anos distante da sala de aula⁴², o indivíduo reconhece como sendo "matéria de física". Embora no ensino fundamental alguns professores se preocupem em passar alguns conceitos da física aos estudantes, a introdução destes no universo da física acontece, em geral, pela mecânica clássica, já no ensino médio. Preocupados com "o quanto esta teoria é difícil", algumas escolas optam por deixar mecânica para a segunda série, quando "os estudantes já estarão familiarizados com a linguagem desta ciência". A análise das duas proposições para o ensino de mecânica aponta divergências entre elas. As visões da teoria e de seu ensino que estão por trás de cada proposta são diferentes; conseqüentemente, colocados lado a lado, os mapas 2 e 3 são muito diferentes, confirmando nossa hipótese.

Deixando de trabalhar a dinâmica de rotações, a proposta tradicional se configura com um número muito pequeno de elementos, apenas aqueles presentes na translação, conforme mapa 2. Além disso, os conteúdos são definidos, o que acaba por empobrecê-los⁴³, dificultando a articulação entre eles, que, mesmo na parte de translação, são muito poucas e centradas no

⁴² Salém, S., *Estruturas Conceituais no Ensino de Física*.

⁴³ Robilotta, M. R., *Construção e Realidade no Ensino de Física*, aula 12.

elemento *força*. No entanto, é para a cinemática que se guarda a maior parte da publicação.

A estrutura do livro do Ramalho se caracteriza pela imposição de pré-requisitos: na primeira metade do texto, exercita-se numericamente, de maneira exaustiva, deslocamento, velocidade e aceleração. Na segunda metade, definindo massa e, logo em seguida, força, desenvolve-se os demais elementos, caracterizando o conceito força como um pré-requisito. Uma vez que o livro propõe um ensino centrado em exercícios, esta estrutura de pré-requisitos também está muito presente na resolução, e como não ocorrem discussões mais profundas, *talvez* o professor consiga trabalhar numa seqüência diferente daquela proposta. Dessa forma, o texto "amarra" o professor, não lhe dando liberdade para alterar a seqüência de apresentação e desenvolvimento da teoria.

O número excessivo de exercícios também não facilita discussões qualitativas, servindo apenas para reforçar a fórmula e a habilidade do aluno em resolvê-los numericamente. O excesso de exercícios e a falta de discussão teórica que desenvolva o conceito, tornam os dados do enunciado números, que colocados de forma correta na fórmula, resultam (também) um número correto. Ou seja, também a fórmula matemática, que é a linha lógica que articula os conceitos, nada significa, reforçando o formulismo presente no ensino de física.

Não existindo uma articulação entre os elementos, ou seja, se as partes da teoria não se relacionam, o todo fica comprometido e o domínio de parte da teoria pode acontecer de forma equivocada ou talvez numa "mão única".

O mapa 3, que representa a proposta GREF, é muito semelhante ao mapa 1; todos os elementos presente em 1 também estão presentes em 3. A presença de elementos de dinâmica de rotações era esperado pois, se a abordagem é cotidiana/vivencial, não tem como estes elementos não participarem da proposta. Também na translação o número de conteúdos presentes é maior, e mesmo comparando os elementos que se repetem nas duas propostas, o mapa 3 os apresenta bem articulados entre si, em oposição à proposta tradicional. Isto é, na proposta do GREF, as partes da teoria não apenas são explicitadas no mapa, mas também se articulam; a

distribuição homogênea de linhas que fazem a relação entre os elementos permite visualizar isto.

À medida que não se trabalha com definições, mas com significados de conteúdo, é possível que ocorra uma boa articulação entre os conteúdos, permitindo a quebra com os pré-requisitos. A não necessidade destes pré-conceitos também pode ser evidenciada pela possibilidade de acontecerem diferentes "inícios" no curso, dando liberdade de opção ao professor, que pode caminhar livremente pela estrutura.

Apesar do número reduzido de exercícios no livro do GREF (se comparado a outras publicações), como há contextualização do conteúdo, é possível que o aluno tenha habilidade para resolvê-los, manipulando a fórmula de maneira correta. A forte articulação entre os conteúdos permite uma visão global da teoria, facilitando a compreensão da parte.

As diferentes visões da teoria acabam por se refletir em seu ensino, configurando para o aluno diferentes teorias. A proposta tradicional não se preocupa com a contextualização, e aprender física parece pouco diferente de aprender matemática. Assim, sem um ensino significativo e, conseqüentemente, sem uma aprendizagem significativa, a definição de educação bancária de Paulo Freire parece ser adequada.

A abordagem cotidiana/vivencial do GREF, que permeia todos os elementos do mapa 3, não apenas permite a contextualização dos elementos da teoria, mas propicia a inter-relação entre eles, permitindo uma aprendizagem com mais significado.

Se não houvessem os mapas como referencial talvez não ficasse claro que as duas propostas de ensino tratam a mesma teoria. Como resultado, as partes apresentadas nas duas propostas compõem um todo diferente, que poderá ser refletida na prática do professor.

Capítulo III

A mecânica dos professores de física

"A compreensão de um conceito científico não depende da linguagem em que é exposto, mas do uso que dele é feito, do papel que desempenha na representação do processo da realidade"¹.

Álvaro Vieira Pinto

Embora não seja um questionamento para essa dissertação, acreditamos que o professor de física deveria ter licenciatura plena em física. Sabemos que qualquer profissional com graduação em ciências exatas e até mesmo alunos desse cursos, são admitidos como professores de física do ensino médio, seja em escolas da rede pública de ensino seja na rede particular. Esse fato torna cada vez mais necessária a existência de cursos de formação continuada, que, destinados aos professores em geral, sem qualquer distinção em sua formação universitária, tenta tornar o seu trabalho em sala de aula mais atraente tanto para seus alunos quanto para si próprio. Esses cursos de capacitação podem ser oferecidos pelas universidades, através de seus projetos, em parceria com os órgãos ligados à educação pública (e outras iniciativas). O GREF é um desses projetos que oferece aos professores cursos de curta e longa duração, como proposta de formação continuada. O projeto também fornece material de apoio e suporte para seus cursos.

Existem diferenças entre a proposta de mecânica do GREF e a proposta dos livros didáticos em geral, como nos mostrou a análise de seus respectivos mapas da teoria, mapas 2 e 3. Neste capítulo, buscamos evidências que apontem de que forma os professores que fazem o curso de formação continuada do GREF, e levam a proposta para a sala de aula,

estão reelaborando seu conteúdo de mecânica clássica. Isto é, como a proposição do projeto para o ensino médio é bastante diferente da tradicional, seja na abordagem, na forma ou no conteúdo, procuramos elementos que indiquem uma possível mudança no professor, tanto em relação à sua visão da teoria, quanto em relação à sua prática de sala de aula. Assim, nos interessa investigar de que forma o professor está reestruturando a teoria, e como ela tem se refletido em seu curso.

Assim, temos dois grupos de professores que utilizam as respectivas proposições; o *grupo R* é composto por professores de física que não conhecem o projeto, tendo ou não freqüentado algum outro curso de formação continuada; o *grupo G* é formado por professores que fizeram ou fazem a formação continuada do GREF, que aplicam ou não a proposta em sala de aula. A próxima etapa seria elaborar um instrumento que nos apontasse estas diferenças.

A tomada de dados

Queríamos verificar se os diferentes elementos e as diferentes articulações estabelecidas entre estes, influenciavam na visão da própria teoria e na visão de mundo do professor, o que acreditamos também é refletido em sua prática. Para tanto, seria conveniente analisar possíveis mapas conceituais dos professores, onde tanto a "sua" teoria quanto a sua prática seriam expostas.

Após várias tentativas, inclusive tentando reproduzir as matrizes utilizadas por Salém² na tomada de dados, o procedimento mais adequado foi a realização de entrevistas individuais, onde o próprio professor apresentava os elementos que considerava importantes na teoria da mecânica clássica, e mais que isso, estabelecia as relações entre eles, confeccionando seu mapa conceitual.

¹ Pinto, A. V. *Ciência e Existência*, pp 81.

² Salém, S. *Estrutura Conceituais no Ensino de Física*.

Na primeira parte da entrevista, era solicitado ao professor que desenhasse no papel a sua cidade ou um bairro da cidade no qual ele se sentisse bastante à vontade, mapa que chamamos geográfico. Para isso, colocávamos à sua disposição folhas de papel A4 e ele poderia unir quantas folhas fossem necessárias para seu desenho, e da maneira como lhe fosse mais conveniente. Com o mapa de sua cidade ou região em mãos, o entrevistador questionava o entrevistado sobre os principais pontos de referência da região, sobre o comércio local, sobre a importância da(s) Igreja(s), das escolas, do cemitério; sobre as ruas e avenidas mais movimentadas, sobre os possíveis caminhos para se cruzar a região indo de um lugar a outro etc.

Então, tentava-se criar uma analogia entre o mapa regional e um possível mapa conceitual da mecânica clássica, aquele que, como o geográfico, teria pontos de referências (conceitos, leis, princípios, hipóteses) e caminhos pelos quais poder-se-ia "cruzar" a teoria, as equações matemáticas. O entrevistado teria que tentar colocar no papel, cujo tamanho também ficava a seu critério, aquele conjunto de conhecimento que ele entende como fazendo parte e compondo a mecânica clássica, além de relacioná-los. Tentávamos desvincular seu conhecimento teórico de sua prática, o que muitas vezes lhe parecia complicado. Assim, o próprio professor confeccionava seu mapa. Para facilitar seu trabalho, ele poderia utilizar o *post-it*, que sendo autocolante facilitava alocar e realocar cada elemento no mapa. Feito o mapa, conversávamos sobre os elementos e suas relações, a importância dada a cada conteúdo e os possíveis caminhos que poderiam ser seguidos.

Na última parte da entrevista a prática do professor era solicitada com apenas uma pergunta: "Você identifica seu curso de mecânica no seu mapa?" Ao professor do grupo G perguntávamos se o GREF influenciou seu conhecimento e/ou sua prática.

O instrumento foi aplicado para professores do ensino médio, não distinguindo entre ensino público e particular. Da amostragem de 7 (sete) professores, 4 (quatro) participaram das atividades de formação continuada

oferecidas pelo GREF (*grupo G*), e os demais fizeram outros cursos (*grupo R*).

Na primeira parte da entrevista, a construção do mapa regional surpreendeu alguns entrevistados durante o questionamento do mesmo, pois alguns pontos de referência considerados por eles importantes haviam ficado de fora, assim como algumas avenidas muito movimentadas, importantes principalmente para o transporte coletivo. Enquanto alguns mapas representavam cidades ou bairros, outros acabavam por mostrar apenas quatro ou cinco quadras nas imediações da própria residência; um dos mapas apareceu todo decorado com árvores. Esta primeira parte da entrevista serviu como um momento de descontração, uma aproximação informal entre entrevistado e entrevistador, criando uma situação de empatia. Também facilitou, e muito, a compreensão do mapa conceitual, pois a transição do mapa regional para o mapa conceitual foi encarada de forma razoavelmente tranqüila pelos entrevistados, isto é, conseguimos estabelecer uma boa analogia.

Este instrumento apresentou-se bastante satisfatório para a identificação de uma possível estrutura conceitual, que o professor acabou por desenhar. A não familiaridade com as idéias de estrutura e mapa conceituais não colocou empecilhos no desenvolvimento da entrevista, e também não houve constrangimento com a possibilidade de "não se saber" a teoria da mecânica clássica. Além disso, as entrevistas foram curtas e não foi necessário filmá-las ou gravá-las. A simplicidade deste instrumento, comparado com a outra tentativa, também contribuiu para uma maior predisposição do entrevistado.

O entrevistado 1 do grupo R, será identificado por R1 e seus mapas por R1-GEO (o mapa regional) e R1-MEC (o mapa da mecânica clássica). O entrevistado do grupo G, será G1 e seus mapas serão, respectivamente, G1-GEO e G1-MEC.

A nossa amostra é composta por um número pequeno de professores, o que nos permite apenas *apontar tendências* em relação a estes dois grupos, embora eles sejam bem definidos em seu discurso.

Os mapas dos professores do grupo R

Com o instrumento definido, entrevistamos três professores, todos licenciados em física, e que estão lecionando mecânica para o primeira série do ensino médio. Estas pessoas não fizeram o curso de formação continuada do GREF, embora já tenham ouvido falar. Eventualmente, já fizeram algum outro curso, o que não descaracteriza o seu perfil. Os entrevistados não são identificados por nome ou sobrenome.

1. Entrevistado R1

O entrevistado *R1*, bacharel e licenciado em física, é professor há aproximadamente seis anos, lecionando física em escolas públicas e particulares, para as três séries do ensino médio. Ele começou a desenhar seu mapa delimitando o bairro da Lapa, da cidade de São Paulo, onde sempre viveu, por ruas e avenidas, tentando primeiramente encontrar os limites de sua região. Em seguida, começou a traçar as ruas próximas de sua casa e, depois, tentou nomear as ruas mais conhecidas, de maior movimento. O seu mapa não tinha nenhum ponto de referência como supermercado, escola, hospital etc. Quando indagado sobre esses pontos de referência, isto é, qual a importância deles para quem vive na Lapa, ele passou a localizá-los entre suas ruas e avenidas. Ao fazer isso ele percebeu que seu mapa não era fiel ao bairro, faltavam algumas ruas, outras eram mais longas, outras mais curtas, percebeu também que para utilizarmos seu mapa precisaríamos enrolar a folha, formando um cilindro, pois seu mapa não estava no plano do papel. A orientação de uma rua para o lado contrário resultou num outro mapa, que não foi identificado como o mapa de seu bairro (figura R1-GEO, em anexo II). Discutimos que um bom mapa precisaria ter elementos que o caracterizassem, isto é, na Lapa existem pontos de referência como o Mercado Municipal, a Igreja de Nossa Senhora da Lapa, a Estação Ciência, o Cemitério, algumas escolas, o comércio local etc, importantes para quem mora lá e também para quem vai

até lá, seja qual for o motivo. Além disso, existem várias maneiras de se chegar a estes pontos, isto é, os caminhos escolhidos podem ser diferentes: ele, como morador, saberia fugir de imprevistos no trânsito, já que até mesmo a sinalização de tráfego ele conhece. Conversamos sobre estes detalhes, sempre na tentativa de criar uma analogia entre o mapa regional e um possível mapa conceitual para uma teoria.

Feita a analogia do mapa geográfico com um possível mapa da teoria, o entrevistado *R1*, começou a elencar os elementos que considera importantes dentro da mecânica clássica. Ele nos apresentou o mapa da figura III-1.

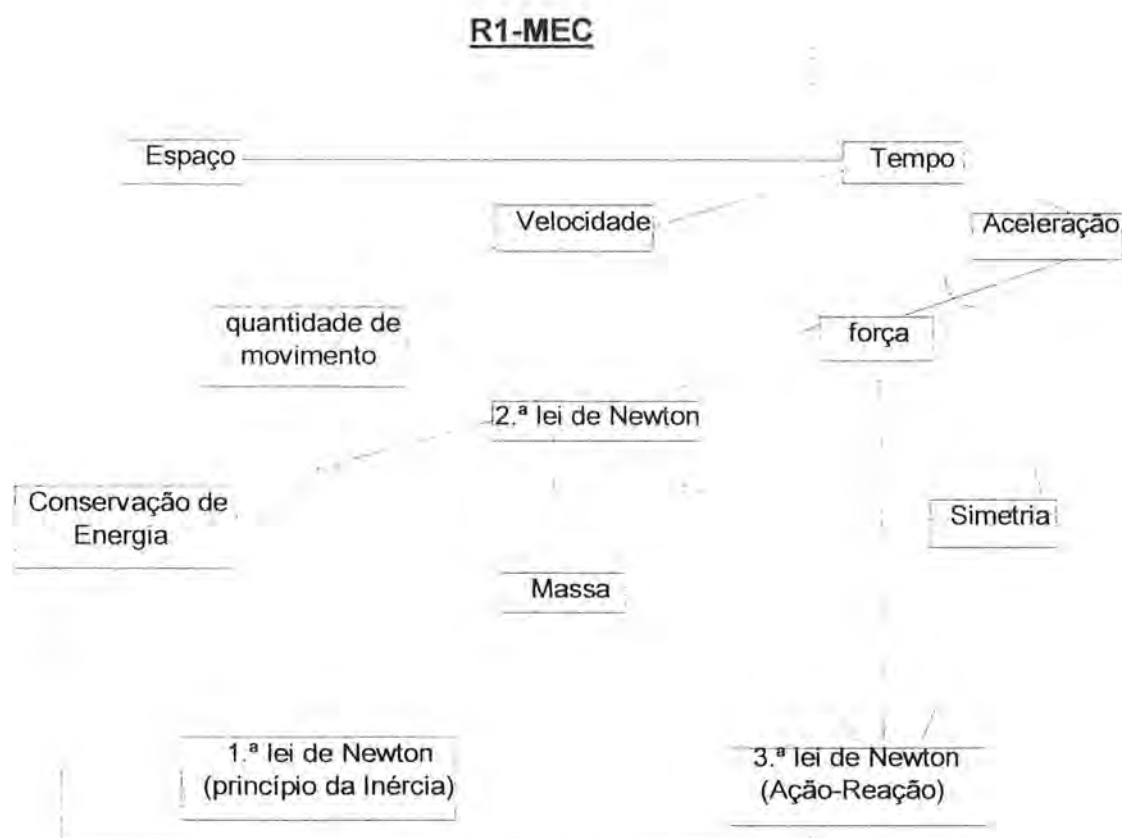


Figura III-1 - Mapa de conhecimento da mecânica clássica feito pelo entrevistado R1.

Pelo mapa, percebemos que toda a parte de rotação não aparece, e que apenas conteúdos ligados a parte de translação foram abordados, ou seja, em sua teoria estão presentes apenas aqueles elementos abordados pela maioria dos livros didáticos. Também podemos perceber que houve

uma preocupação com a articulação entre os conceitos ali alocados, uma vez que todas as linhas traçadas começam e terminam num dos elementos do mapa.

Claramente, a ênfase está na cinemática escalar e na dinâmica de translação, conteúdos onde o entrevistado se "sente bem". Em seu discurso, percebemos que seu conhecimento está centrado nas leis de Newton, embora exista a preocupação com a conservação de energia. O conceito de simetria aparece no mapa, entre 3.^a lei de Newton e tempo, mas ao falar sobre os elementos abordados, a simetria não foi mencionada, não ficando claro a sua presença ali. Aparecem os termos conservação de energia e quantidade de movimento (não a sua conservação), que, no seu desenho, também fazem articulação com as leis de Newton, embora não fique claro em seu discurso.

Preferiu utilizar o *post-it*, já que houve momentos de hesitação sobre a posição de determinados conteúdos no mapa. Esta necessidade do *post-it* para a alocação dos elementos também é significativa, pois demonstra dificuldade na hora de articulá-los.

Quando questionado se era possível reconhecer a sua prática no mapa acima, o entrevistado ficou bastante satisfeito em constatar que seu curso ali estava muito bem alocado, sendo possível até reconstruí-lo numa sequência linear. Ficou claro que todo o conhecimento do professor sobre a teoria da mecânica clássica era levado para sala de aula, não tendo como seu curso ser diferente da proposta tradicional.

2. Entrevistado R2

O entrevistado R2, licenciado em física, leciona física há um ano, para a 1.^a e 2.^a séries do ensino médio do Cefam – Centro de Formação e Aperfeiçoamento do Magistério, e escolheu a sua cidade natal para ser representada num mapa geográfico. Ele foi bastante metucioso com os pontos de referência e com as ruas principais (figura R2-GEO, em anexo II). Discutimos, então, sobre a existência de vários caminhos que possibilitam o

"ir e vir". A idéia de um possível mapa para mecânica clássica, fazendo analogia com o mapa geográfico, foi aceita com certa resistência: "vou tentar"; e ele nos apresentou o mapa da figura III-2.

Olhando para seu mapa podemos perceber a importância que R2 dá ao conceito força. Nas suas palavras: "Para mim o mais importante são os conceitos de conservação de energia e de força; é como se tudo partisse da força". Parece que realmente muita "coisa" parte de força, no entanto, as linhas não chegam em lugar algum, elas "morrem" no vazio. A cinemática aparece representada no quadrilátero aceleração-velocidade-espço-tempo. A força faz a ligação entre a cinemática e a dinâmica de translação, representada por estado de movimento. A conservação de energia que ele também destacou em seu discurso, está "solta no ar", não se une a nenhum conceito, assim como quantidade de movimento e atração gravitacional. A parte de rotação não aparece no mapa.

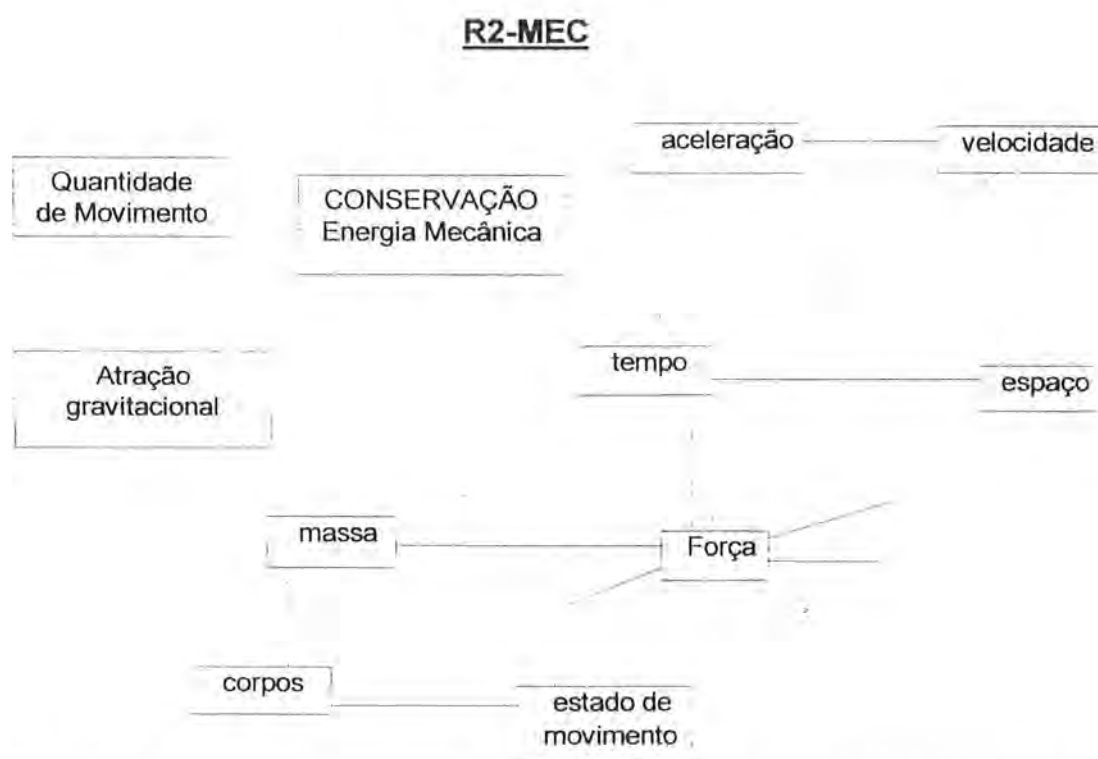


Figura III-2 - Mapa de conhecimento da mecânica clássica feito pelo entrevistado R2.

Mais uma vez, estão presentes no mapa do professor apenas os elementos que são abordados na proposta tradicional. Este mapa reflete

bem um ensino de mecânica que considera a cinemática importante, onde também há articulação de seus elementos, e onde a força é o elemento central. Particularmente, este mapa é muito parecido com o mapa 2 (figura II-4), pois a densidade de linhas presentes em torno do elemento força é muito grande.

Quando questionado sobre sua prática, o entrevistado afirmou que seu curso estava no mapa, embora fora de sequência: "Gosto de começar por dinâmica, mas passo pela cinemática para chegar na conservação de energia". Embora não ache essencial que o aluno saiba cinemática, *R2* passa por ela para atingir quantidade de movimento e conservação de energia, caracterizando a necessidade de pré-requisitos neste ensino. Mais uma vez, todo o conhecimento que o professor tem sobre o assunto é levado à sala de aula, o que configura um curso dentro do proposta tradicional, com aulas centradas no livro texto.

3. O Entrevistado R3

R3 é bacharel e licenciado em física, leciona há aproximadamente quatro anos, sendo que nos primeiros anos foi professor da rede pública, e tem trabalhado na rede particular, inclusive com o laboratório, há dois anos. "Vou mapear a cidade de meus pais, onde eu passava as férias", assim, *R3* passou a desenhar seu mapa, destacando duas ruas principais onde o centro comercial se estabelece (*R3-GEO*, em anexo II). Também a fiação de seda, importante fonte de renda local, onde as pessoas trabalham, mereceu destaque. Em seu mapa também aparecem escola, hospital, museu, igreja, cemitério e área residencial. Ele não se preocupou em dar nomes às ruas da cidade nem às vias de acesso a ela. Após a apresentação de sua cidade, com suas referências e ruas, conversamos sobre a possibilidade de se estabelecer uma analogia entre este mapa e um possível mapa conceitual. Acreditando ser possível, *R3* nos forneceu o seu mapa da mecânica, figura III-3.

A conservação da energia aparece no centro do mapa e, segundo *R3*, "é o mais importante da mecânica". Existe ainda uma via de mão dupla entre choques/colisão e a conservação de energia e, nas palavras de *R3*, "ainda não sei quem vem primeiro se colisões ou energia". O estudo das colisões, em geral, acontece com a apresentação do princípio de conservação do momento linear, outra lei fundamental da mecânica, embora não tenha sido este o elemento abordado pelo professor. Em seu mapa, a quantidade de movimento nos leva tanto às leis de Newton quanto à lei de conservação de energia. A gravitação surge no mapa, representada por gravidade, sem estabelecer vínculos com os demais elementos, pairando como em elemento importante, já que foi mencionado, mas ainda sem consistência. A cinemática é lembrada com o termo aceleração/velocidade, embora, aparentemente, *R3* esteja se referindo à parte de translação, uma vez que nenhum elemento de rotação é mencionado. Notamos que o professor não conseguiu fazer o mapa descolado de sua prática: "o que eu sei é o meu curso e está nesse mapa", e ele acaba por reforçar esta idéia quando colocou setas em seu mapa, isto é, optou por caminhos mesmo na confecção do mapa da teoria, não desvinculando a sua prática.

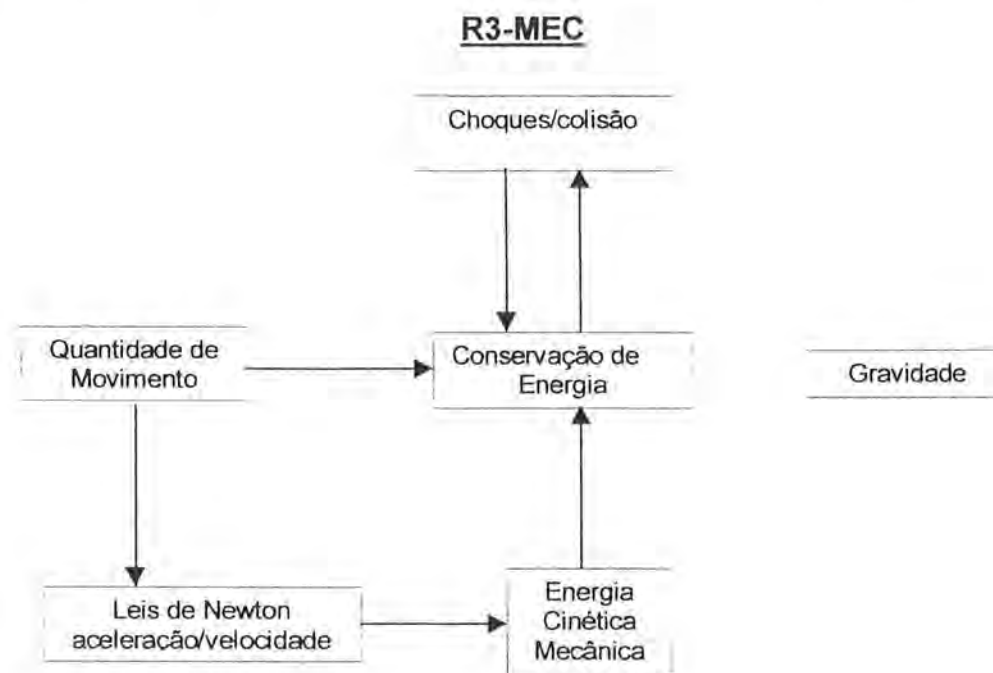


Figura III-3 - Mapa de conhecimento da mecânica clássica feito pelo entrevistado *R3*.

O entrevistado não utilizou o *post-it*, e ele tentou articular as partes da teoria. No entanto, seu mapa carrega características da proposta tradicional, reforçada pela necessidade de pré-requisitos.

Os mapas da mecânica originais, confeccionados pelos professores de física do grupo R, encontram-se em anexo III.

Os mapas dos professores do grupo G

Com o mesmo instrumento, entrevistamos quatro professores de física que fizeram curso de formação continuada pelo GREF. Os professores não são necessariamente licenciados em física, mas lecionam a disciplina. Os resultados são apresentados a seguir.

1. O entrevistado G1

O entrevistado *G1* é aluno do quarto ano de licenciatura em física, e leciona há aproximadamente dois anos e meio, e conhece o GREF há dois anos, tempo que o aplica em sala de aula. Começando pelo mapa geográfico, *G1* escolheu sua cidade natal, para representar num mapa. Destacou que sua cidade possui uma grande avenida que é a principal e o melhor ponto de referência. Destacou a existência de um museu e da Universidade Federal, um "ícone cultural da região". Também nos falou sobre as principais rodovias de acesso à sua cidade, que a ligava com o "mundo". Quando questionado sobre outros pontos de referência como escola, rodoviária, sua própria casa, o mapa foi ficando um pouco mais rico (*G1-GEO*, em anexo II). Após a conversa, partimos para a analogia entre os dois mapas, que ele julgou ser possível. Ele desenhou seu mapa da mecânica, representado na figura III-4.

O entrevistado *G1* nos apresenta seu mapa da mecânica com linhas fechadas, isto é, todos os conceitos de mecânica são interligados. Desta forma, pode-se escolher qualquer caminho para ir de um conceito a outro: sua linhas não possuem setas. Existe uma grande densidade de linhas em seu mapa, no entanto, elas estão uniformemente distribuídas. Ele se preocupou em manter uma certa simetria entre translação e rotação em seu mapa. Em suas palavras: "As leis de Newton e as leis de conservação são os dois pilares da mecânica clássica, tudo parte de um ou de outro, tanto faz. Tudo que se desenvolve na translação, também se desenvolve na rotação. Hidrostática, cinemática, astronomia e máquinas simples são a periferia do mapa. Chamo de periferia porque os utilizamos para aprender e/ou ensinar mecânica, eles se *agregam* ao mapa".

G1-MEC

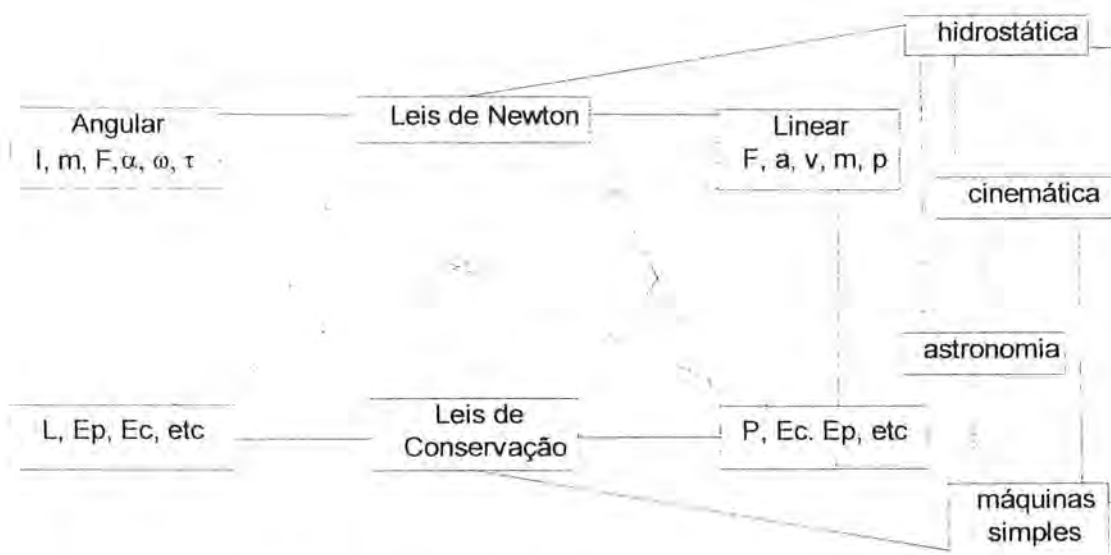


Figura III-4 - Mapa de conhecimento da mecânica clássica feito pelo entrevistado *G1*.

O professor *G1* parecia caminhar bem pela teoria, inclusive sabia onde colocar seus elementos, dispensando o uso do *post-it*. É interessante também notarmos que a importância dada às leis da mecânica, e como ele inverte a seqüência: a cinemática, por exemplo, não é onde se estuda

espaço, velocidade e aceleração, mas a descrição dos movimentos propicia uma maneira para se compreender tais conceitos.

Quando questionado sobre sua prática, G1 disse que "tenta passar conceitos de translação e de rotação, buscando analogias entre eles, mas nem sempre dá tempo". Ou seja, o seu curso está no mapa, mas nem tudo que está no mapa está em seu curso.

Sobre a influência do GREF em seu conhecimento de mecânica e em sua prática: "Tem muita influência do GREF sim, principalmente o olhar para as leis de conservação. Meu curso, em geral, se restringia ao conteúdo abordado pelo livro texto".

2. O entrevistado G2

G2 é licenciado em física e é professor há mais de dez anos. Ele conhece o GREF há dois anos e meio, e leciona na rede pública e particular de ensino. Mais uma vez, a região escolhida foi a da própria casa. G2, em particular, restringiu sua região a apenas a quadra de sua casa (G2-GEO, em anexo II): "É uma região residencial, mas tem uma venda, uma igreja e uma escola bem perto". As ruas receberam nomes. O professor percebeu que, embora ele tentasse situar sua casa na cidade ou mesmo num bairro, as informações ali contidas eram insuficientes, e ele não conseguiu nos descrever o lugar, já que este possuía características comuns à qualquer quadra residencial. Apesar disso, a analogia foi tranqüila, e G2 passou a nos expor a sua mecânica, conforme a figura III-5.

A energia parece ser seu elemento central da teoria, pois está alocada no centro do mapa, com conservação, transformação e transferência, e estabelece mão dupla com quantidade de movimento (linear/angular, conservação, vetores); os demais elementos do mapa *chegam* à energia, seu mapa possui setas. No entanto, ao falar de sua prática, o professor afirma que "o curso é do centro para a periferia", querendo dizer que parte da energia para chegar a outros conceitos.

G2-MEC

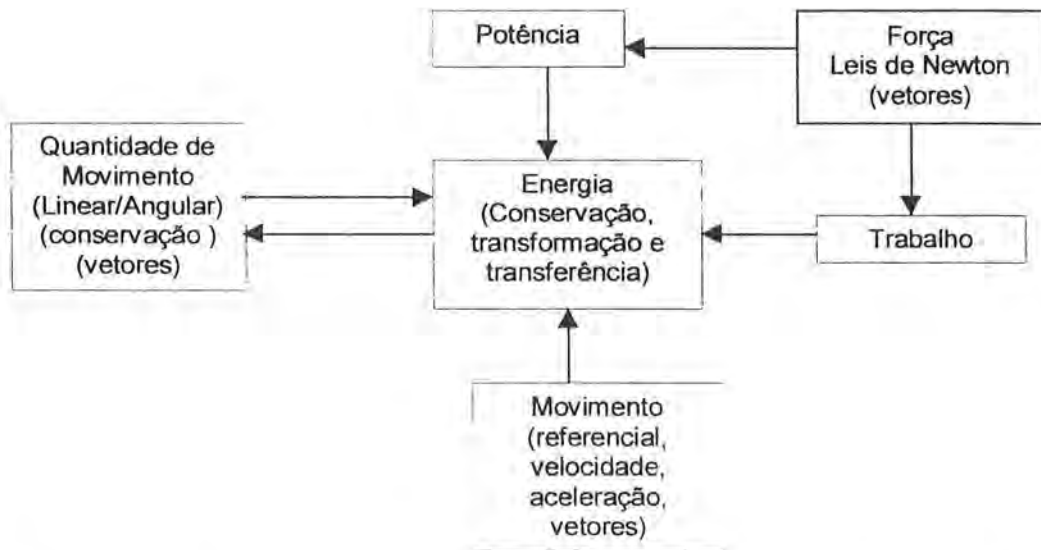


Figura III-5 - Mapa de conhecimento da mecânica clássica feito pelo entrevistado G2.

Embora a rotação seja abordada, ou melhor, embora alguns dos elementos e articulações, presentes em "sua teoria", sejam apenas encontrados na proposta do GREF, com seu mapa o professor demonstra transitar melhor pela translação, talvez pelo tempo que utilizou a proposta tradicional em sala de aula.

Assim, notamos que a translação é melhor articulada com o todo, principalmente quando fala de sua prática: "se falta tempo, priorizo a translação". No mapa, os elementos trabalho, força (leis de Newton) e potência lembram a sequência dos livros didáticos mais conhecidos, reforçando nossa análise.

Embora apresente características da proposta tradicional, o professor parece estar reelaborando sua teoria e mesmo sua prática. Ele também não utilizou os *post-it*, pois não julgou necessário. Quanto à influência do GREF: "Sem dúvida o GREF me ajudou compreender melhor a mecânica".

3. O entrevistado G3

A região escolhida por G3 foi os arredores de sua casa: "Minha cidade é muito grande para ser mapeada aqui. Talvez eu não consiga". Ele se preocupou em colocar no mapa sua casa, a escola onde estudou e a escola onde atualmente leciona: "Moro numa região mais simples; e leciono numa região mais rica" (G3-GEO, em anexo II). Conversamos sobre os diferentes caminhos para nossa locomoção, pontos de referência etc, e partimos para a analogia entre o mapa geográfico e o mapa da teoria da mecânica clássica, que foi encarada sem problemas.

O professor G3, bacharel e licenciado em física, é professor há quatro anos, e há dois anos aplica a proposta do GREF na rede particular de ensino. Ele, então, começou a compor seu mapa, figura III-6, utilizando o *post-it*, mas o abandonou, considerando ser mais trabalhoso.

À medida que desenhava seu mapa, G3 se manifestava: "Eu acho que o mais bonito da mecânica clássica são suas leis de conservação, principalmente, a conservação de energia, por isso, vou colocá-la no topo. A conservação dos momentos linear e angular completam essa ordem. A teoria estabelece uma ordem na natureza. Tudo que se estuda na translação se estuda na rotação, seja na cinemática ou na dinâmica".

Sua idéia se reflete com o cuidado em manter uma certa simetria entre a rotação e a translação em seu mapa. Juntamente com o conceito, G3 expressou aquilo que evocava tal conceito, usando para isso as palavras-chaves e as idéias centrais.

Embora tenha estabelecido uma hierarquia em seu mapa, orientando suas linhas no mapa, G3 se permite liberdade de opção para articular seus conteúdos: "Também podemos pensar ao contrário, que é o mais comum".

Quando questionado sobre a sua prática, G3 deu risada: "O meu curso está no mapa, mas não é o mapa como um todo, embora eu gostaria que fosse". Ele conseguiu separar bem o seu conhecimento de sua prática, e colocou o fator tempo como um obstáculo para se ensinar a teoria.

G3-MEC

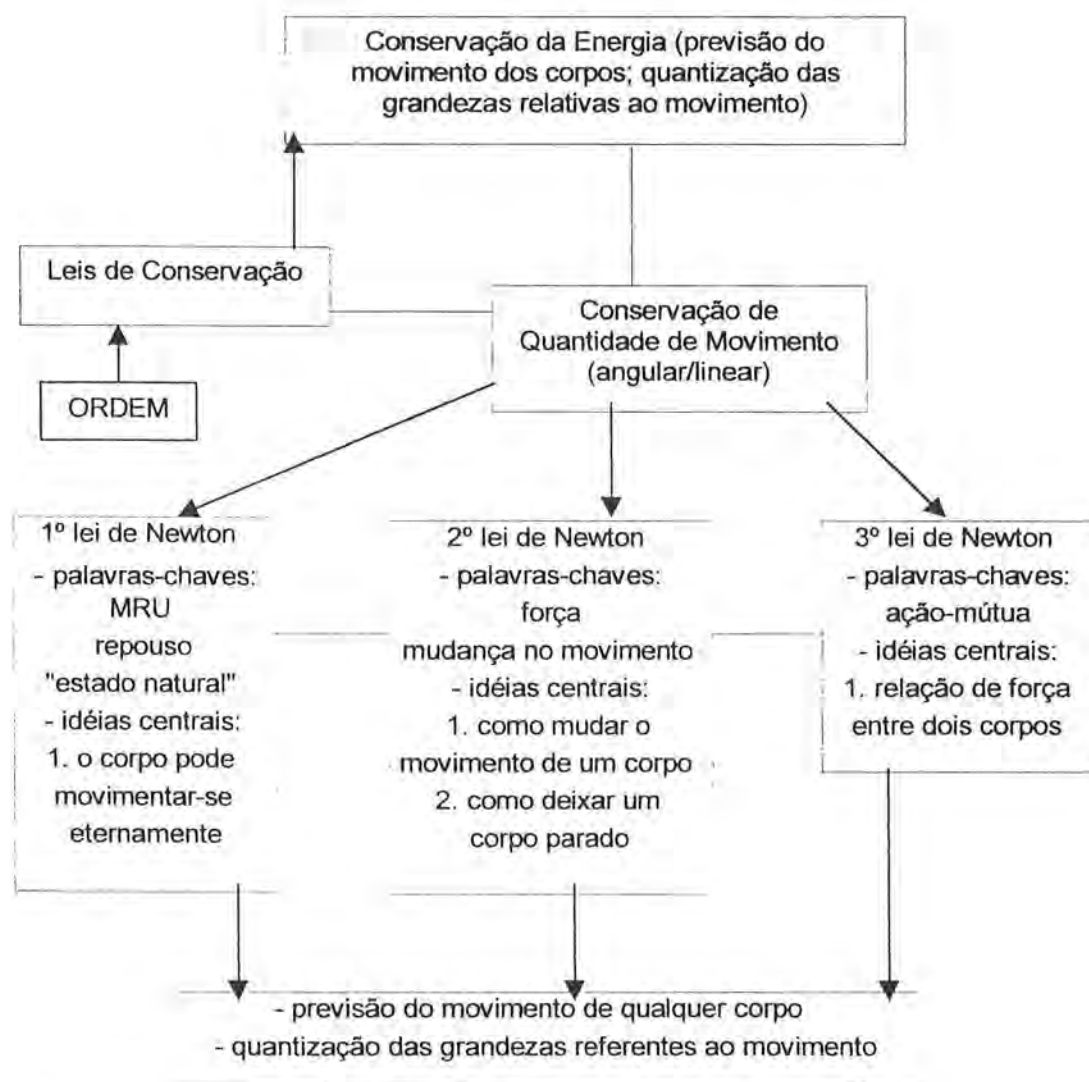


Figura III-6 - Mapa de conhecimento da mecânica clássica feito pelo entrevistado G3.

Quando questionado sobre o papel do GREF na sua estrutura de conhecimento e na sua prática, G3 afirmou que o projeto ajudou a organizar aquilo que aprendeu na graduação, e mudou totalmente o seu curso, trazendo a física para mais perto do aluno, tornando-a menos complicada. Se referindo à abordagem cotidiana/vivencial da proposta, ele relatou: “tenho menos notas baixas, e acho que é porque o que a gente tenta ensinar tem mais sentido”.

4. O entrevistado G4

O entrevistado G4 foi o mais receoso com a entrevista: "Sou formado em química e conheço o GREF há pouco tempo". G4 é licenciado em química e habilitado em física, é professor de química da rede estadual de ensino há quatro anos, e de física há apenas dois anos. Ele conhece o GREF há um ano, tempo que aplica o projeto em sala de aula. Foi a entrevista em que o mapa regional mais ajudou na aproximação entre entrevistado e entrevistador. A região escolhida também foi a de sua residência (G4-GEO, em anexo II). O mapa contém apenas alguns pontos de referência e apenas as ruas mais movimentadas, indicadas pelo número de carrinhos desenhados. O entrevistado caracterizou a área mais rica com mais árvores e menos casas, tornando-se escassas as árvores quando a área se tornava menos nobre e mais populosa, aparecendo os prédios. Conversamos sobre o mapa regional, sobre sua utilização para se conhecer um local e buscamos uma analogia para um mapa conceitual da mecânica clássica.

Preocupado com o mapa que apresentaria, G4 nos preveniu que há apenas dois anos lecionava física, e que conhecer o GREF foi muito bom porque passou a entender melhor os conceitos, pois "a física é muito abstrata e com o cotidiano fica mais fácil". A figura III-7 representa seu mapa.

O mapa conceitual também recebeu ilustrações, principalmente quando ele quis evidenciar a idéia de conservação na natureza, representada pelo elemento meio ambiente. Este elemento indica influência do GREF, pois G4 parece ter a preocupação de estar sempre olhando para a natureza para explicar ou entender um fenômeno. As leis de conservação se unem num caminho de ida e volta com a energia e com as leis de Newton. Os outros elementos que aparecem lembram a sequência já conhecida: cinemática, dinâmica e estática. A parte de rotações não aparece neste mapa.

G4-MEC

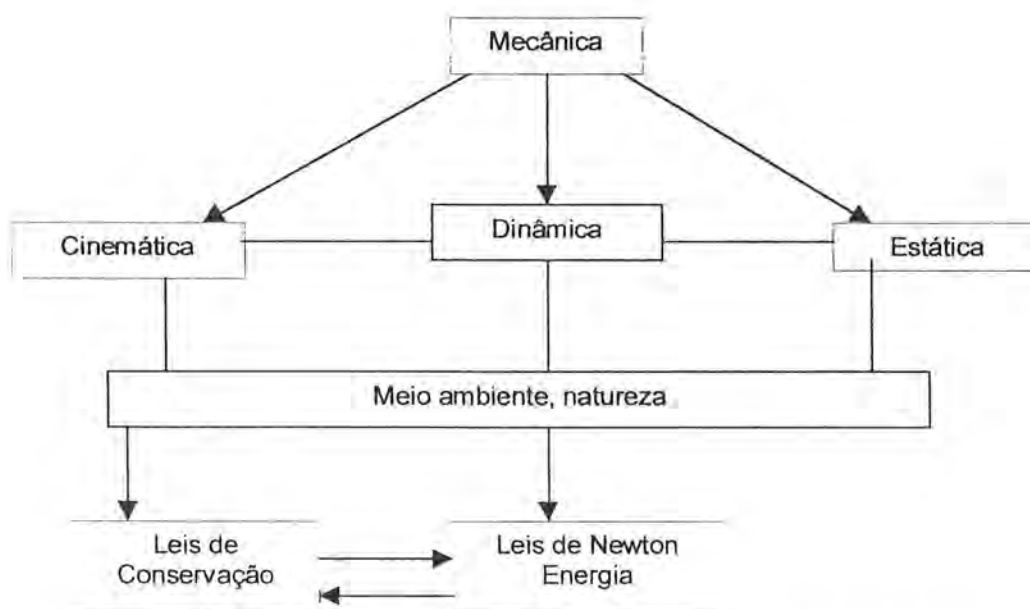


Figura III-7 - Mapa de conhecimento da mecânica clássica feito pelo entrevistado G4.

Quando questionada se seu curso estava no mapa, ele afirmou que estava, "prejudicado sempre pelo tempo". G4 estava preocupado em ser avaliado, pois sempre voltava à sua formação, à qual ele atribuía dificuldades em promover cursos diferentes.

Sobre a influência do GREF: "Sei mais física, me sinto mais segura, não reproduzo mais o livro adotado. Além disso, percebi que não há a necessidade de uma sequência, como ensinar velocidade e aceleração para depois ensinar força. Se ensino dinâmica, a cinemática já aparece ao mesmo tempo, e os alunos se saem melhor. Fico menos angustiada".

Os mapas da mecânica originais, confeccionados pelos professores de física do grupo G, também encontram-se em anexo III.

Diferentes propostas, diferentes visões

Devido ao número de professores entrevistados, neste trabalho apenas apontamos algumas tendências na análise dos mapas e também no discurso do professor.

Após identificarmos os elementos que faziam parte da teoria da mecânica das duas propostas deste ensino, a tradicional e a do GREF, e também articulá-los, obtendo seus respectivos mapas, constatamos que as duas propostas realmente são distintas e acabam por apresentar diferentes teorias. Tínhamos a hipótese de que como o professor opta por uma ou outra proposta, sua visão da teoria estaria, de certa forma, vinculada a proposição adotada. Com as entrevistas foi possível constatar algumas diferenças entre os dois grupos da amostragem, sendo possível caracterizar cada grupo.

A primeira diferença apresentou-se na tomada de dados: os professores do grupo G não utilizaram o *post-it* para compor o mapa da mecânica, enquanto os demais usaram-no. Este é um dado interessante porque o *post-it* foi utilizado justamente devido a dificuldade em posicionar o elemento no mapa. Essa visão mais global possibilitou a sistematização do mapa conceitual num tempo menor e com mais "clareza" pelo grupo G; percebe-se, então, uma melhor articulação entre os elementos da teoria entre esses professores.

A teoria da mecânica possui um número menor de elementos para os professores do grupo R. A força parece ser o elemento central para estes professores, que sempre retornam a ela para iniciarem qualquer discussão. Até mesmo a cinemática é ensinada em função da força, já que a aceleração é necessária para calculá-la. O grupo R parece reforçar a estrutura de pré-requisitos identificada na proposta tradicional, e os mapas possuem bastante semelhança com o mapa do Ramalho (mapa 2).

Mais significativo que a quantidade de elementos presentes no mapa são as relações que se estabelecem entre eles, pois são estas que dão consistência à teoria. Por exemplo, embora as leis de Newton estejam ancoradas nas leis de conservação (simetrias) da mecânica, não é sempre

que se estabelece um caminho de ida e volta da primeira para a segunda. No mapa R1-MEC, figura III-1, existe o elemento simetria embora não seja mencionada a conservação do momento angular. No mapa R2-MEC, figura III-2, fica claro a ausência de relações a serem estabelecidas entre os elementos do mapa. Existem vários quadros cujos elementos não são ligados a nenhum outro conceito, ou seja, fazem parte da teoria, mas não é possível constatar qual a sua importância. Do conceito força partem várias linhas que se perdem no mapa, sem estabelecer relação alguma.

Os professores do grupo G apresentaram a teoria da mecânica clássica com mais elementos; elementos estes importantes na estruturação desta teoria. As leis de conservação aparecem com um papel significativo no conteúdo a ser ensinado. Os elementos de rotação são destacados, aparecendo muitas vezes lado a lado dos elementos de translação no mapa. As leis de conservação estão sempre presentes e se articulam com os demais elementos da teoria. Nos chama atenção também o fato dos elementos espaço, massa e tempo não receberem destaque especial, mas eles aparecem embutidos nas leis mais gerais, talvez quebrando a necessidade dos pré-requisitos. Existe uma melhor articulação das partes no todo, implicando uma visão menos fragmentada da teoria.

Quando questionados se o seu curso estava no mapa, muitos ficaram felizes por encontrá-lo muito bem alocado no seu mapa. Embora os elementos sejam alocados e articulados de diferentes maneiras no mapa (cada professor tem o seu mapa), quando questionados sobre a sua prática, os elementos "saltam do mapa" na sequência linear dos livros didáticos mais conhecidos para os professores do grupo R. Enquanto este grupo estabelece uma sequência geralmente padronizada pelos livros didáticos, o grupo G aceita a idéia de que não existe uma sequência pré-estabelecida, cabendo ao professor, e de acordo com seus alunos, criá-la.

Além disso, a maneira como os dois grupos lidam com o conhecimento é diferente. O grupo R não mencionou o tempo hábil que o professor tem para seu curso, e preocupa-se em transmitir a "sua" teoria por inteiro, e leva para a sala de aula tudo aquilo que ele sabe sobre a teoria. Já o grupo G, parece perceber a inviabilidade de apresentar ao aluno

toda a teoria, estabelecendo prioridades e cortes que considera necessários.

Os dois grupos de professores de física são distintos e tudo indica que seus cursos também são diferentes, refletindo visões diferentes da mesma teoria.

Considerações finais

"Sua formação não se constrói por acumulação, mas sim através de um trabalho de reflexividade crítica sobre as práticas e da reconstrução permanente de uma identidade pessoal. Por isso é tão importante investir na pessoa e dar um estatuto ao saber da experiência"

A. Nóvoa

Algumas considerações sobre o perfil atual dos professores de física são necessárias. Cerca de 90% dos professores de física hoje, não possuem licenciatura plena em física, mas são formados em outras licenciaturas, e, na maioria das vezes, nem são habilitados em física. Ou seja, a formação deste profissional é bastante comprometida, denotando sua fragilidade com o conteúdo. Portanto, é esperado que o professor se agarre ao livro texto, deixando-se por ele amarrado, assim como seu curso. Mesmo os professores do grupo R da nossa amostra, que são licenciados em física, têm uma estrutura muito semelhante a do livro texto. A necessidade dos cursos de formação continuada é muito evidente, pois é neste momento que o professor vai realmente ser formado, aprofundando seu conhecimento.

As agências financiadoras dos programas de formação continuada vêm mudando sua política em relação a estes cursos, não favorecendo o professor com subsídios financeiros em curso de longa duração. Assim, os professores que durante um semestre participaram do grupo de aplicadores do GREF, no semestre seguinte não têm garantia da continuidade na sua formação, ironicamente chamada continuada. Além disso, nem sempre a atribuição de aulas acontece na mesma escola, muitas vezes, nem na mesma delegacia de ensino, prejudicando a continuidade do trabalho.

Embora nossa amostragem na pesquisa tenha sido reduzida, podemos apontar tendências consideráveis em relação ao trabalho do GREF

com seus professores aplicadores, e também em relação aos professores que utilizam a proposta tradicional.

A proposta de ensino do GREF, que pertence à categoria cotidiano/vivencial, se apresenta como uma proposição nova, tanto em relação ao conteúdo proposto quanto à abordagem. Trazendo para a sala de aula, temas ou mesmo itens do dia-a-dia do professor e do aluno, o conteúdo já se apresenta diferenciado, numa tentativa de transcender o conteúdo formal. Ao relacionar "*coisas conhecidas*" ao conteúdo formal, já se faz uma primeira aproximação e inovação de conteúdo: por exemplo, o automóvel pode estar em "*coisas que giram*", "*coisas que transladam*", em mecânica; em processos termodinâmicos, em física térmica; e com sua parte elétrica, em eletromagnetismo. Aparentemente, no ensino de física o carro não era colocado fora da cinemática, que também é importante, mas não essencial.

O GREF surge com novos objetivos para o ensino da física, que, juntamente com a forma e o conteúdo, compõem um nova proposta, que é diferente da tradicional, que também tem seus objetivos, um forma de ensinar e um conteúdo proposto. Assim, objetivo, forma e conteúdo, juntos compõem um todo diferente, confirmando nossa hipótese de que visões de mundo diferentes implicam em proposições diferentes, isto é, a teoria apresentada é outra.

Depois de apresentarmos nossa leitura da mecânica clássica, representada pelo mapa 1, analisamos as duas propostas de seu ensino, tendo o nosso mapa como pano de fundo. Claramente, as teorias propostas são diferentes, tanto em elementos que a compõem quanto na maneira como eles são articulados. O conteúdo proposto para o ensino de mecânica pelo GREF é apresentado de forma mais global; os elementos abordados são diferentes e existe uma relação entre eles, existe uma articulação no todo. O mapa 2, que representa a proposta tradicional, tem apenas parte da teoria contemplada, e não apenas o todo fica comprometido, mesmo a parte presente se apresenta fragmentada, com poucas relações.

Assim, temos um exemplo de como a inovação de conteúdo pode acontecer mesmo com *coisas* já presentes no ensino: basta que as articulações sejam estabelecidas, ampliando a visão que se possa ter sobre

o mesmo assunto. Isto é, o GREF e os livros didáticos possuem vários elementos comuns, mas a análise de sua estrutura pelo mapa conceitual, apontou muitas diferenças.

Os cursos realizados pelos elaboradores do GREF têm refletido estas diferenças e, como conseqüência, os professores aplicadores têm apresentado um perfil bem definido, caracterizando um grupo de mapas conceituais bem determinado.

Coerentemente, o professor que participou dos cursos do GREF tem uma visão menos fragmentada da teoria justamente por articular os conceitos de forma mais global. Esta nova articulação dos conceitos traduz uma visão de mundo diferente entre os professores do grupo R e do grupo G. Não é possível separar visão de mundo de visão de educação. À partir do momento em que o professor olha para uma teoria com outros olhos, isto é, seu conhecimento não se esgota nos livros didáticos, ele vai mais fundo, buscando novos caminhos para se atingir um mesmo conceito, e ele acaba por ver este reflexo em seu curso, mesmo que a mudança seja, a princípio, quase imperceptível.

A análise dos professores com mapas geográficos e conceituais se mostrou bastante apropriada para o nosso fim, e acabou por dar consistência à idéia de que as duas propostas realmente trazem conteúdos distintos, embora discorrendo sobre o mesmo tema.

O mais importante, acreditamos, é que o projeto está promovendo uma reestruturação de conteúdo, possibilitando uma nova visão de mundo, e, conseqüentemente, uma nova visão de educação.

Bibliografia

1. Alves, R., *Filosofia da Ciência: Introdução ao Jogo e Suas Regras*, 10.^a edição, Editora Brasiliense, São Paulo, 1994.
2. Braúna, R. C. A., Silva, I. S., Bisch, S. M., Hosoume, Y., *Projetos de Formação Continuada e suas Perspectivas de Mudanças*, Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, Belo Horizonte - MG Jan/97.
3. Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M., *The Feynman Lectures on Physics - Volume I*, sixth printing, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1977.
4. Freire, P., *Pedagogia do Oprimido*, 22.^a edição, Editora Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1993.
5. Goethe, J. W., *A Doutrina das Cores*, Apresentação, seleção e tradução de Marco Giannotti, Editora Nova Alexandria, São Paulo, 1993.
6. Gómez, A. P., *O pensamento prático do professor: a formação do professor como profissional reflexivo*, in *Os professores e a sua formação*, Editora Dom Quixote, Lisboa, 1995.
7. GREF, *Física 1 - Mecânica*, 3.^a edição, Edusp, São Paulo, 1993.
8. Hosoume, Y., *Proyecto disciplinar de formación continuada de profesores de Física "Grupo de reelaboración de la enseñanza de Física (GREF)"*, in *La formación continuada del profesorado de ciencias en IberoAmérica – Nivel Medio*, Iber – Cima – OEI, 1996.

9. Hosoume, Y., Menezes, L. C., "Proposta de conteúdo e metodologia para o ensino de Física no 2.º grau", in "A Universidade e o Aprendizado Escolar de Ciências", Projeto USP/BID, Formação de Professores de Ciências, gestão 1990-1993;
10. Kneller, G. F., *Ciência como Atividade Humana*, traduzido da 1.ª edição/1978, Editora Zahar/Edusp.
11. Landau, L., Lifchitz, E., *Mecânica*, Tradução de José Severo de Camargo Pereira, Editora Hemus, São Paulo.
12. Matos, O. C. F., *A Escola de Frankfurt – Luzes e Sombras do Iluminismo*, Editora Moderna, São Paulo, 1993.
13. Nóvoa, A., *A Formação de Professores e Profissão Docente*, in *Os professores e a sua formação*, Editora Dom Quixote, Lisboa, 1995.
14. Nussenzveig, H. M., *Curso de Física Básica – 1-Mecânica*, 1.ª reimpressão, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1985.
15. Ota, M. I. N., *Os modelos de interação da Física e dos estudantes*, tese de doutoramento, FEUSP, São Paulo, 1997.
16. Ota, M. I. N., *Estrutura Conceitual da Mecânica Clássica*, Atas do IX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, 1991.
17. Pereira, J. A., *Uma Reelaboração de Conteúdo de Física do Segundo Grau – A eletricidade como exemplo*, dissertação de mestrado, IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1995.
18. Piassi, L. P. C., *Que física ensinar no 2.º grau? Elementos para uma reelaboração do conteúdo*, dissertação de mestrado, IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1995.

19. Pinto, A. V., *Ciência e Existência*, 3.^a edição, Editora Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1979.
20. Poincaré, H., *O valor da ciência*, Tradução de Maria Helena Franco Martins, Editora Contraponto, Rio de Janeiro, 1995.
21. Pregnotatto, Y. H., *A Eletrostática: O Conhecimento Possível e O Conhecimento Aprendido*, tese de doutoramento, FEUSP, São Paulo, 1994.
22. Ramalho Junior, F., Ferraro, N. G., Soares, P. A. T., *Os Fundamentos da Física 1*, 6.^a edição, Editora Moderna, São Paulo, 1993.
23. Robilotta, M. R., *Construção e Realidade no Ensino de Física*, textos do curso pós-graduação de mesmo título do IFUSP, São Paulo, 1994.
24. Salém, S., *Estruturas Conceituais no Ensino de Física - Uma aplicação à Eletrostática*, dissertação de mestrado, IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1986.
25. Saviani, D., *A nova lei da educação – LDB, Trajetória, Limites e Perspectivas*, 4.^a edição revista, Editora Autores Associados, Campinas, 1998.
26. Taille, Y. L., *A Construção do Conhecimento*, texto transcrito de sua palestra organizada pela Equipe Multidisciplinar do NAE2 – SEESP, gestão 1989-1992.
27. Zanetic, J., *Física também é cultura*, tese de doutoramento, FEUSP, São Paulo, 1989.

Anexo I

PLANO DE CURSO

Parte 1 – Movimento: Conservação e Variação

COISAS	CONCEITOS
Jogo de bilhar, avião e foguete, tiro de canhão e colisão de veículos, ...	Conservação da quantidade de movimento linear no sistema.
Veículo partindo, freando e fazendo curva.	Varição da quantidade de movimento linear de um objeto do sistema. Força (Leis de Newton).
Carrossel, furadeira, helicóptero, ...	Conservação da quantidade de movimento angular no sistema.
Roda livre, pião, ...	Varição da quantidade de movimento angular de um objeto do sistema. Torque.
Hidroelétrica, combustível, brinquedo de corda, ...	Conservação da energia no sistema.
Arrancada e freada de um veículo.	Varição da energia de parte do sistema. Trabalho de uma força.
Motor	Potência.
Bate estaca, ...	Energia mecânica.
Esmeril, furadeira, ...	Varição da energia cinética de rotação de parte do sistema.

Parte 2 – Condições de Equilíbrio

COISAS	CONCEITOS
Objetos suspensos, maçanetas, balanças, ...	Equilíbrio de forças e torques.
Balanças, dinamômetros, ...	Massa e peso.
Atração de objetos pela Terra, pela Lua e por outros planetas.	Força gravitacional e campo gravitacional.

Parte 3 – Ferramentas e mecanismos que ampliam a força aplicada

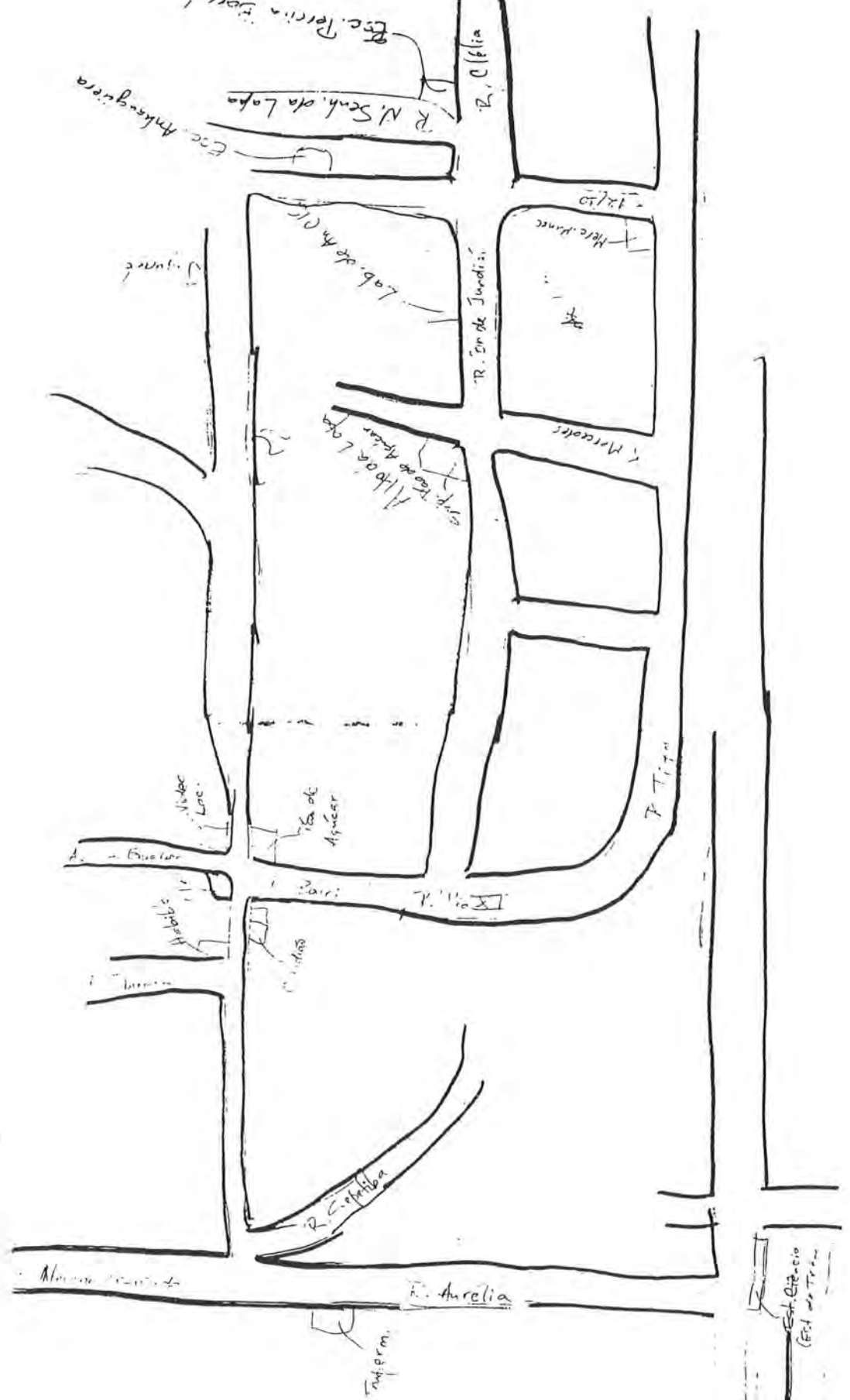
COISAS	CONCEITOS
Chave de boca, de fenda, alicate, ...	Vantagem mecânica.

Parte 4 – Descrição matemática dos movimentos

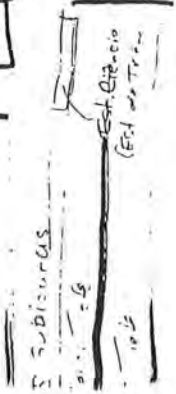
COISAS	CONCEITOS
Mapas e outras representações das localizações e de suas mudanças.	Vetores posição e deslocamento, velocidade e aceleração.
Trecho retilíneo do movimento do Metrô.	Cinemática escalar.

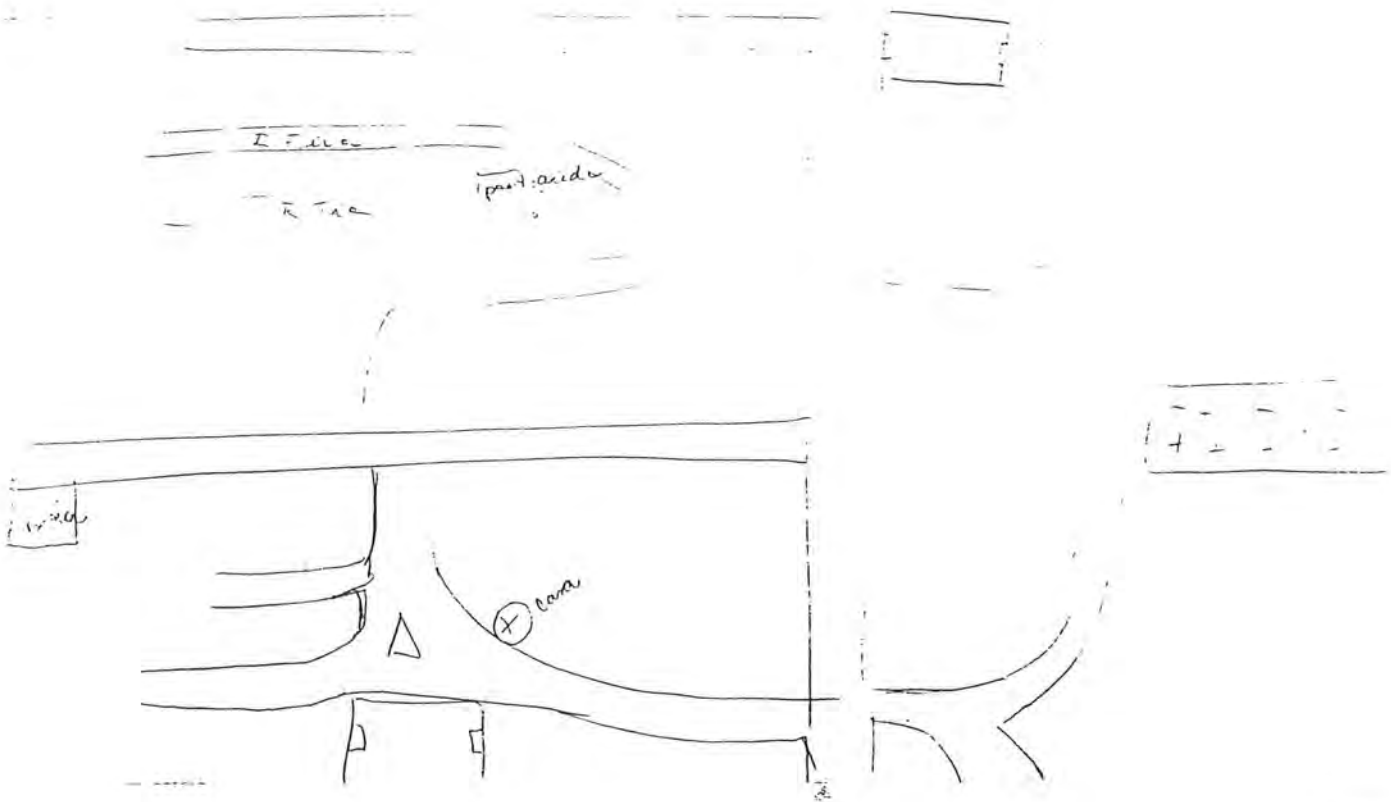
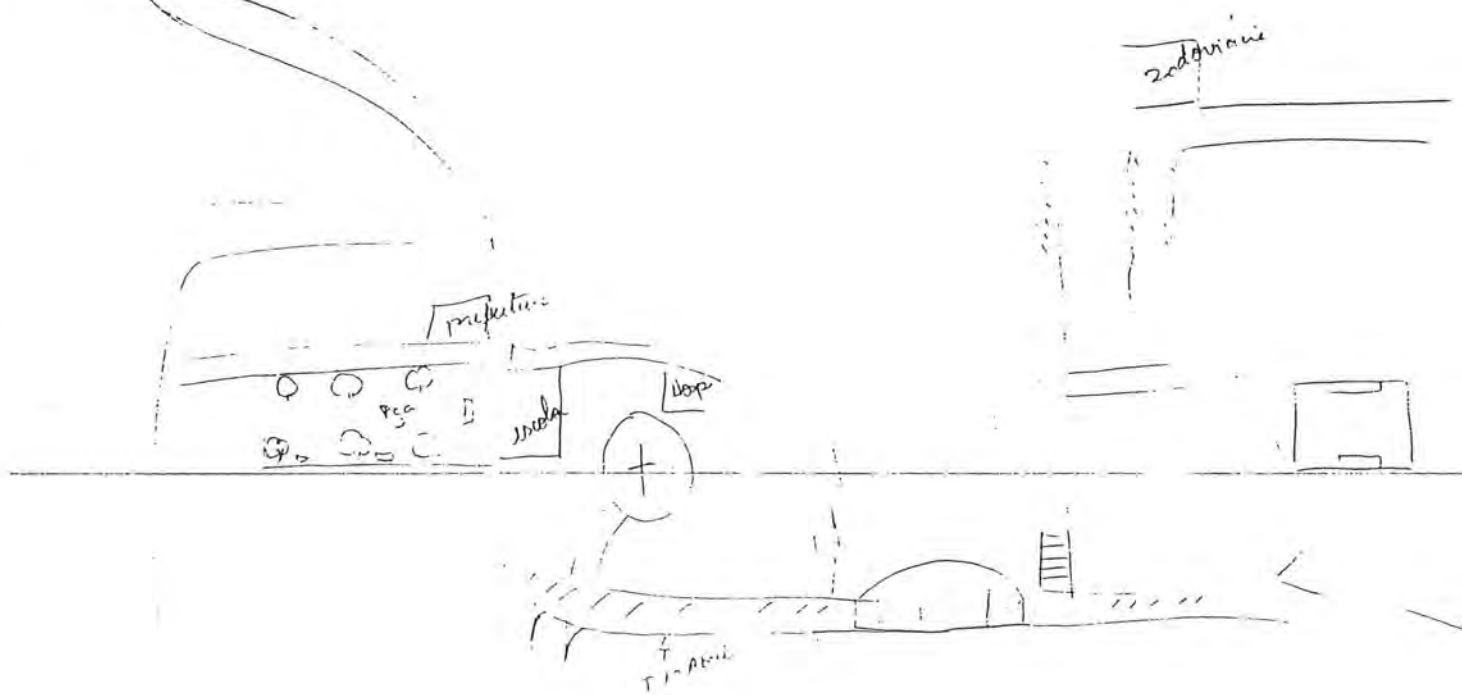
Anexo II

Mapas geográficos confeccionados pelos professores de física.



R1-GEO





R2-GEO

Craftsmen

Happo Hq

Handwritten notes

part

EBSD

AV

Distribution

X
||
||

AV

Handwritten notes

Handwritten notes

Periferia

Rio Paraitama

Museu Municipal Protoph

COMERCIO

Aspis urban

N

Rede Wom

Madr
raiz



Popul
Abil

Atad

Colégio da UFJF
Aplicação de UFJF

Ponto mais alto

UFJF

BR-040

G1-GEO

VILA MONUMENTO

Rua Quiritor Portugal

Rua Lima Barreto

11/2000

Rua Quiritor Portugal

Av. D. Pedro I

→ Centro

Bairro ←

G2-GEO

ESCOLA ESTADUAL

Av. São José

Escola Branco
Com. P. Particular

Centro Cultural
Agulha

BRAGA das ROÇAS

Comitê do
Municipal

Av. José Bonifácio

Av. ...

Residência

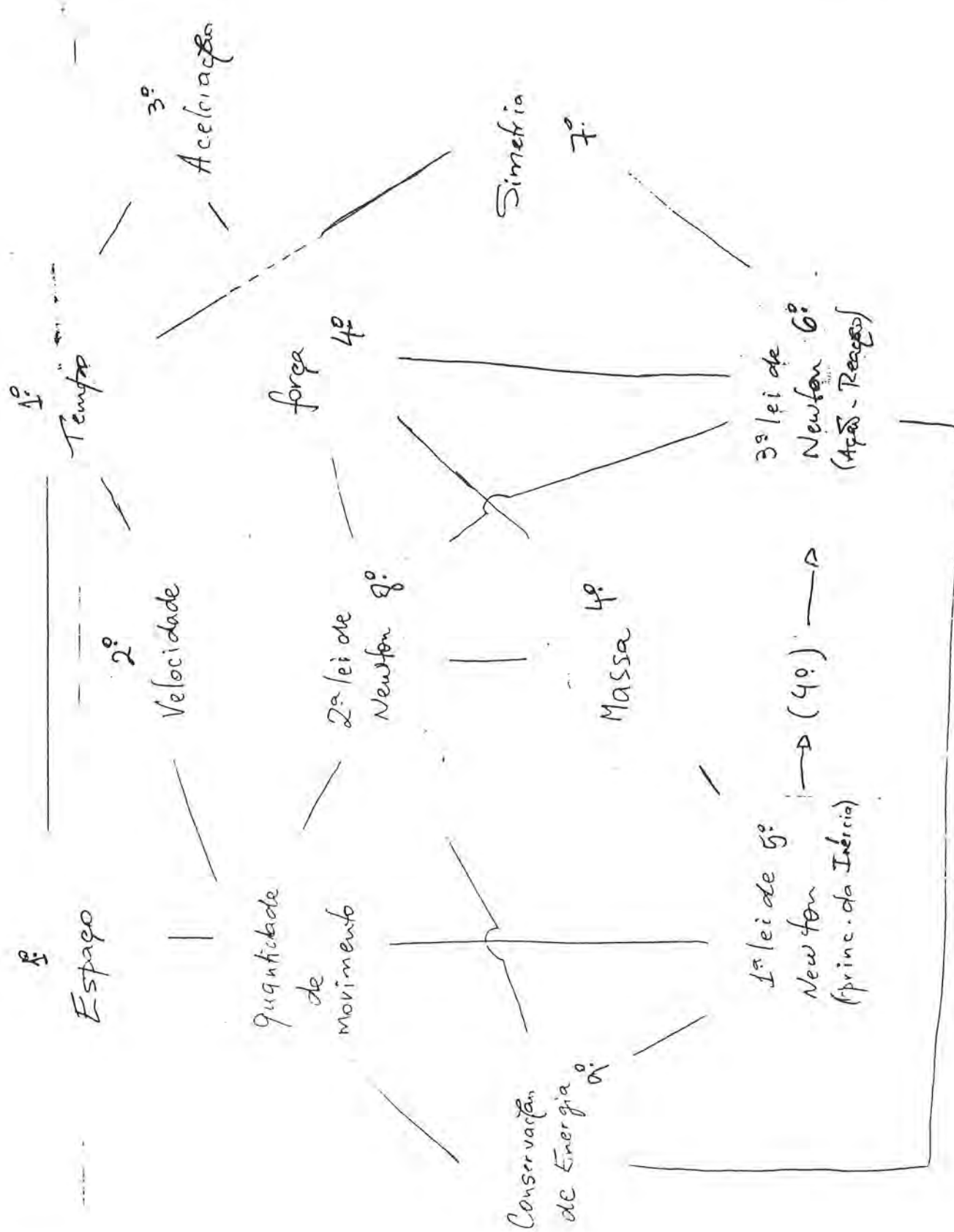
Colégio
(onde estuda)



G4-GEO

Anexo III

Mapas da mecânica confeccionados pelos professores de física.



5
Quantidade
de
material

consequência
Energia
Máquina

admissão

velocidade

1°

3°

Atração
gravitacional

tempo

superfície

4°

2°

Matéria

Força

aplicar

Estado
de
Matéria

alterar

reação

R2-MEC

Proques / Colúis



Comunidade
de
Energia

Transmissibilidade
de
transmissíveis



Leis de Newton
= aceleração / velocidade

Energia
Cinética
Mecânica

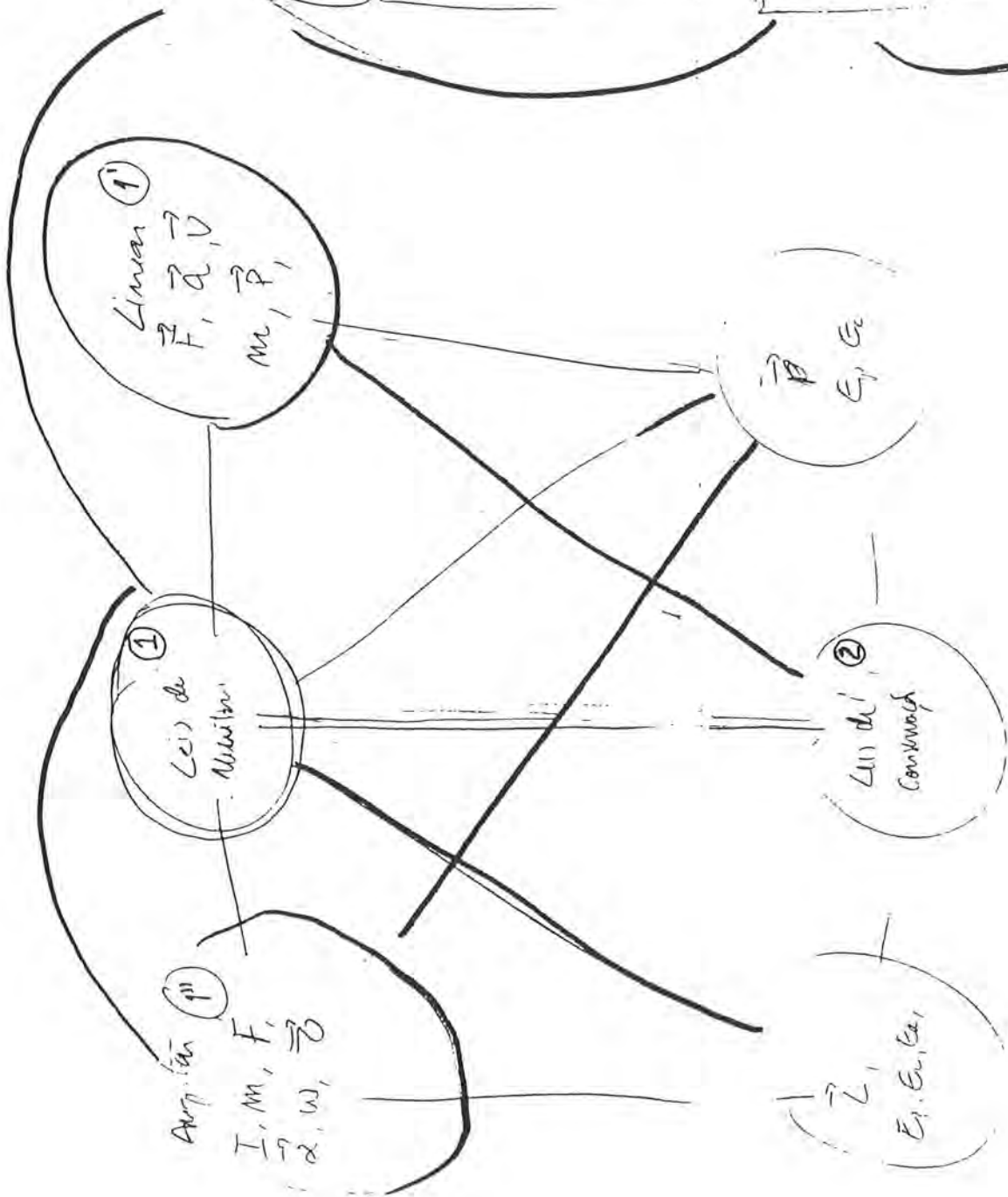
Gratidão

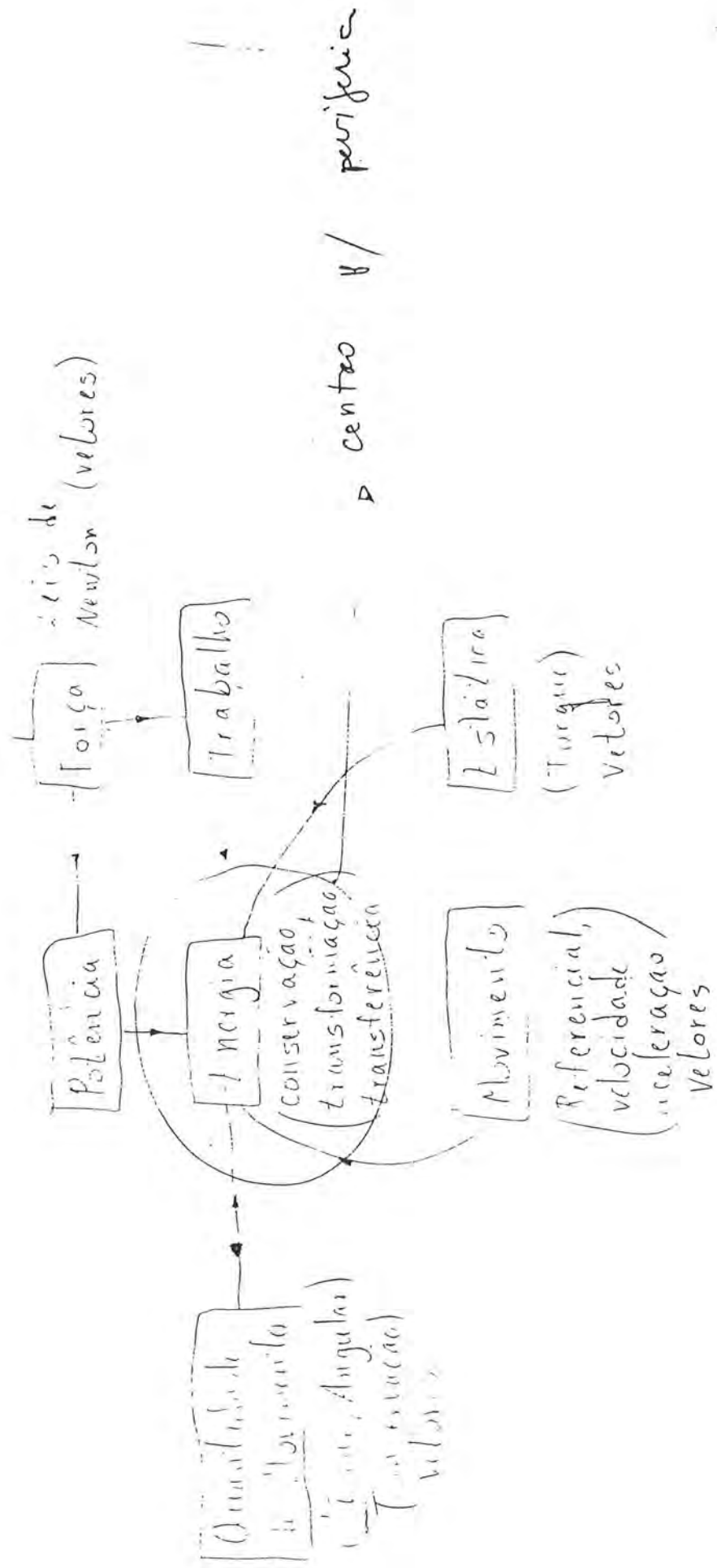
hidrostática

Cinemática

Astronomia

magn. ampé!





▷ centro // periferia

Conservação da Energia

- Valores do movimento dos corpos
- Quantidades dos momentos relativos ao movimento.

Leis de Conservação

ORDEM

Conservação da Quantidade de movimento (angular / linear)

Palavras-chaves

- 1º Lei de Newton
- MRU
- "Estado natural"
- "Estado natural"

- 2º Lei
- Força
- Mudança no movimento

- 3º Lei
- Ações Mútuas

Indícios Contínuos

1º Lei de Newton

- o corpo em movimento permanece em movimento

2º Lei

- Como medida de resistência de um corpo
- Como de taxa de variação

3º Lei

- Relação de força entre corpos

- Indícios do movimento
 - Quantidades das grandezas referentes ao movimento
- G3-MEC

