

REPRESENTAÇÕES MENTAIS DOS ALUNOS EM MECÂNICA CLÁSSICA: TRÊS CASOS.*

(Students mental representations in classical mechanics: three cases.)

Marco Antonio Moreira [moreira@if.ufrgs.br]

Maria do Carmo Baptista Lagreca

Instituto de Física, UFRGS

Caixa Postal 15051

91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

Resumo

Baseamos nosso estudo na Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Estudantes de nível universitário foram observados durante dois semestres letivos com a finalidade de determinar o tipo de representação mental que eles teriam utilizado durante o curso, quando resolviam os problemas e as questões propostas nas tarefas instrucionais. Foi também realizada uma entrevista no final do curso com o objetivo de encontrar elementos adicionais que nos permitissem inferir modelos mentais sobre conceitos físicos usados pelos estudantes na elaboração de suas respostas. Os resultados desta pesquisa sugerem a importância dos modelos mentais na compreensão e uso dos conceitos físicos. Parece que quanto mais "elaborados" os modelos mentais, mais facilmente os alunos podem compreender situações e contextos distintos daqueles trabalhados em aula. Este trabalho complementa outro no qual apresentamos as categorias as quais chegamos: proposicionalistas, modelizadores proposicionalistas e modelizadores imagísticos. Cada caso que aqui relatamos ilustra detalhadamente uma destas categorias.

Palavras-chave: modelos mentais, representações mentais, conceitos físicos.

Abstract

We based our study on the Mental Models Theory proposed by Johnson-Laird. College students were observed during two semesters with the objective of determining the type of mental representation that they would have used during the course, when they solved the problems and conceptual questions included in the instructional tasks. In addition an interview was carried out at the end of the course with the purpose of finding additional elements that would allow us to infer mental models on concepts used by the students in the elaboration of their answers. The results of this research suggest the importance of the mental models in the understanding of the physical concepts. It seems that the more "elaborated" the mental models are, the more easily the students understand situations and contexts different from those worked in classroom. This paper complements another one in which we presented the categories we arrived: propositionalists, propositional modelers and imagistic modelers. Each case we describe here illustrates one of these categories.

Key-words: mental models, mental representations, physical concepts

Introdução

Assim como os físicos constroem modelos da natureza, os alunos também constroem seus modelos. Mas há uma diferença básica: os modelos físicos são *modelos conceituais*, isto é, modelos inventados por pesquisadores para facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas físicos, são representações precisas, consistentes e completas de estados de coisas físicas. Porém, os modelos dos alunos, ou de qualquer indivíduo, inclusive os que criam modelos conceituais, são *modelos mentais*, ou seja, modelos que as *pessoas* constroem para representar estados de coisas físicas (bem como estados de coisas abstratas). Estes modelos não precisam ser tecnicamente acurados (e

* Trabalho parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq).

geralmente não o são), mas devem ser funcionais. Eles evoluem naturalmente. Interagindo com o sistema, a pessoa modifica seu modelo mental recursivamente a fim de alcançar e manter sua funcionalidade.

Em uma visão cognitivista contemporânea, parte-se da suposição de que as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem *representações mentais* (quer dizer, internas) dele. Representações internas, ou representações mentais, são maneiras de “re-presentar” internamente o mundo externo.

Dentro das representações mentais, um conceito relativamente novo, mas que tem aparecido com frequência cada vez maior na literatura de pesquisa de ensino de ciências é justamente o de modelo mental (Johnson-Laird, 1983; Gentner e Stevens, 1983; Greca e Moreira, 1997).

Para Johnson-Laird (1983), por exemplo, os indivíduos operam cognitivamente com modelos mentais, os quais podem ser construídos a partir da percepção ou do discurso, podem ser constituídos por muitas proposições (regras) articuladas ou podem ser formados essencialmente por imagens, ou uma combinação de proposições ou imagens.

Se assim for, no caso da Física os alunos aprendem os modelos conceituais físicos, i.e., a Física que lhes é ensinada, usando seus modelos mentais. Deve haver, pois, uma relação entre modelos mentais e modelos conceituais. Nesse sentido, torna-se importante investigar os modelos mentais dos alunos, ou, de maneira mais ampla, suas representações mentais ou, ainda, pelo menos, o tipo de representação mental que eles usam quando estão aprendendo Física.

Com esta preocupação já realizamos um estudo no qual investigamos o tipo de representação mental usado, predominantemente, por estudantes de Física Geral na área do eletromagnetismo (Greca e Moreira, 1997, 1998). Naquela ocasião focalizamos particularmente o conceito de campo elétrico. Agora, passamos à mecânica newtoniana.

Conduzimos durante dois semestres consecutivos, na disciplina Física Geral I para alunos de engenharia uma pesquisa destinada a investigar tipos de representações mentais e possíveis modelos mentais desses estudantes na área de mecânica clássica. Em outro artigo (Lagreca e Moreira, 1998), companheiro deste, apresentamos a categorização a qual chegamos no que se refere à forma de trabalhar, cognitivamente, dos alunos: proposicionalistas, modelizadores proposicionalistas e modelizadores imagísticos. Os primeiros seriam os que conseguiriam articular as proposições em um modelo mental, à luz do qual elas fizessem sentido; os segundos seriam os que construíram modelos mentais basicamente proposicionais e os últimos aqueles cujos modelos eram essencialmente imagísticos. Chegamos a essa categorização agrupando vários alunos a partir da análise qualitativa de suas representações externas (aquilo que eles diziam, escreviam, desenhavam). Neste artigo, relataremos três casos, três exemplos, um de aluno proposicionalista, outro de modelizador proposicionalista e um terceiro de modelizador imagístico. Trata-se de um detalhamento da categorização feita.

Representações mentais segundo Johnson-Laird

Nosso referencial teórico está na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983). Para ele, *proposições* são representações de significados, totalmente abstraídas, que são verbalmente expressáveis. O critério de expressabilidade verbal o distingue de outros psicólogos cognitivos para os quais representações proposicionais são entidades individuais e abstratas formuladas apenas em linguagem própria da mente, uma linguagem que não tem a ver com a língua nem com a modalidade de percepção. *Imagens*, para Johnson-Laird, são representações bastante específicas que

retêm muitos dos aspectos perceptivos de determinados objetos ou eventos, vistos de um ângulo particular, em detalhes de uma certa instância do objeto ou evento. *Modelos mentais* são representações analógicas, um tanto quanto abstraídas, de conceitos, objetos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais, mas que podem ser vistos de qualquer ângulo (e aí temos imagens!) e que, em geral, não retêm aspectos distintivos de uma dada instância de um objeto ou evento (Sternberg, 1996, p.181). Por exemplo, a situação “o quadro está na parede” poderia ser representada mentalmente como uma proposição (porque é verbalmente expressável), como um modelo mental (de qualquer quadro em qualquer parede, possivelmente prototípicos) ou como uma imagem (de um quadro em particular em uma certa parede).

Johnson-Laird sugere que as pessoas raciocinam com modelos mentais. Modelos mentais são como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados conforme necessário. Como quaisquer outros modelos, eles representam o objeto ou situação em si; uma de suas características mais importantes é que sua estrutura capta a essência (se parece analogicamente) dessa situação ou objeto (Hampson e Morris, 1996, p. 243). *Um modelo mental é uma representação interna de informações que corresponde analogamente com aquilo que está sendo representado.*

A analogia pode ser total ou parcial, isto é, um modelo mental é uma representação que pode ser totalmente analógica ou parcialmente analógica e parcialmente proposicional (Eisenck e Keane, 1994, p. 209). Quer dizer, um modelo mental pode conter proposições, mas estas podem existir como representação mental, no sentido de Johnson-Laird, sem fazer parte de um modelo mental. Contudo, para ele as representações proposicionais são interpretadas em relação a modelos mentais: uma proposição é verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental de um estado de coisas do mundo. As imagens por sua vez, correspondem a vistas dos modelos.

Portanto, na perspectiva de Johnson-Laird, *representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são modelos vistos de um determinado ponto de vista* (1983, p. 165).

Esta é a base teórica de nossa categorização: *proposicionalistas* são indivíduos que operam cognitivamente, em uma certa área de conhecimento, com proposições soltas não articuladas em um modelo mental ou, pelo menos, vinculadas a um modelo mental à luz do qual fizessem sentido do ponto de vista da Física; *modelizadores* são aqueles que chegam a construir modelos mentais nessa área de conhecimento, mais tais modelos podem ser basicamente analógicos (imagísticos), basicamente proposicionais (proposições articuladas de modo a formar um modelo ou, pelo menos, atreladas a um modelo que lhes dá sentido), ou híbridos (parcialmente analógicos e parcialmente proposicionais).

Metodologia

A pesquisa foi realizada em situação real de sala de aula, durante o primeiro e segundo semestres letivos de 1996, na disciplina de Física Geral I do Departamento de Física da UFRGS, destinada a estudantes de engenharia. Nas duas oportunidades, a disciplina foi conduzida na modalidade “Método Keller” (Moreira, 1983), na qual não há aulas teóricas, os alunos estudam individualmente, com apoio de monitores e do professor, e avançam na disciplina conforme são aprovados nas avaliações (testes) de cada unidade que são baseadas no livro Fundamentos de Física, de Halliday e Resnick (1994). No primeiro semestre, trabalhamos com 18 alunos e no segundo com 30.

Em ambos os casos, o conteúdo da disciplina esteve dividido em 21 unidades. Os testes das unidades continham problemas tradicionais (do tipo proposto no livro de Halliday e Resnick) e

problemas e/ou questões conceituais. As questões eram formuladas de modo a evitar respostas padronizadas (e memorizadas), por exemplo, “Explique, com palavras, equações e/ou desenhos e/ou leis o que você entende por ...”

Em três unidades, antes de começar os capítulos relativos às leis de conservação, após elas e ao final do curso, os testes de avaliação incluíam um item que consistia na confecção de um mapa conceitual. Os alunos escolhiam, dentre os conceitos estudados até essa parte da disciplina, de 6 a 10 conceitos que julgavam mais importantes e construíam um mapa conceitual (Moreira e Buchweitz, 1993). Em um estudo anterior, Greca e Moreira (1997) obtiveram evidências de que os mapas conceituais poderiam ser usados como indicadores do grau de modelização mental dos alunos em tarefas de Física.

No “Método Keller”, o estudante pode repetir o teste de avaliação de uma certa unidade tantas vezes quantas forem necessárias para demonstrar domínio do conteúdo da unidade. A cada nova tentativa, ele recebe uma nova versão do teste da unidade. A correção é feita imediatamente, na frente do aluno, dialogando com ele. Normalmente, a correção é feita pelos monitores sob supervisão do professor.

Os monitores são estudantes que já passaram pela disciplina com bom desempenho. Mas no caso em pauta os monitores foram bolsistas de pós-graduação, aperfeiçoamento ou de iniciação científica que atuaram, então, como ajudantes de pesquisa. Os autores deste trabalho foram professores e pesquisadores, nos dois semestres. Nesse método, o professor organiza e supervisiona tudo, porém, nesta pesquisa, atuamos também como monitores para ter mais interação com os alunos.

Como esse método de ensino é individualizado, há muita oportunidade de interação pessoal direta entre alunos, monitores e professores. Esta possibilidade é um aspecto altamente vantajoso desse método para conduzir a pesquisa. De certa forma, os alunos estão sendo permanentemente entrevistados. Apesar disso, após o teste de avaliação da última unidade, os alunos foram entrevistados individualmente durante 25 a 30 minutos.

Na entrevista final, os pesquisadores propunham ao aluno uma série de problemas, alguns muito similares aos resolvidos nas unidades de estudo e outros aparentemente distintos mas que exigiam a aplicação dos mesmos conceitos. Uma vez colocada a situação, pedia-se-lhe que explicasse o que acontecia deixando-o livre para fazer qualquer tipo de suposição, desenhar ou escrever fórmulas. O entrevistador (professor) evitava fazer qualquer intervenção que pudesse induzir determinado raciocínio. Em alguns casos, o entrevistador solicitava ao aluno que raciocinasse em voz alta. Quando o aluno dava por terminada sua explicação, independentemente desta estar correta ou não, passava-se ao problema seguinte.

A análise do material colhido, respostas escritas aos testes de avaliação, mapas conceituais, transcrições das entrevistas e notas de campo feitas ao longo do desenvolvimento da disciplina teve por objetivos:

1. tentar identificar o tipo de representação mental -- representações proposicionais, imagens ou modelos mentais -- utilizado o predominantemente pelo aluno;
2. tentar detectar *núcleos conceituais*, i.e., conceitos ou grupos de conceitos que aparecessem com regularidade nas respostas dos alunos ao longo do curso e que se destacassem também nos mapas conceituais e na entrevista final;
3. tentar distinguir características ou atributos dos núcleos conceituais que integrassem conjuntos explicativos e/ou preditivos a fim de obter indícios de possíveis modelos mentais dos alunos.

A metodologia de análise foi do tipo qualitativa, similar a utilizada em um estudo anterior sobre eletromagnetismo (Greca e Moreira, 1997, 1998). Nossos registros foram feitos a partir da interação com os alunos, tanto nos momentos em que faziam consultas aos monitores ou ao professor como durante as avaliações dialogadas que realizavam. As respostas que davam e as perguntas e comentários que faziam durante e depois das provas, corrigidas individualmente, de forma oral, bem como algumas observações pertinentes -- como por exemplo, se as suas respostas coincidiam com aquelas que apareciam no livro texto, se utilizavam desenhos quando explicavam, etc., -- eram registradas evitando que o aluno percebesse. Este tipo de técnica, entrevistas não clínicas e observações de campo, permitiu-nos coletar uma boa quantidade de material para podermos atingir o primeiro objetivo que tínhamos proposto.

Esses dados permitiram também procurar, para cada aluno, os conceitos ou conjuntos de conceitos que aparecessem com freqüência ao longo do curso e que se destacassem especialmente durante as entrevistas, assim como verificar se estes conceitos apareciam nos mapas e o lugar que ocupavam, além de suas relações com os outros conceitos escolhidos. A finalidade era mapear a existência de algum modelo referente a núcleos conceituais mais específicos, que era nosso segundo objetivo.

Como a identificação dos modelos mentais não é uma tarefa “a priori”, a partir destes conceitos e/ou núcleos conceituais, tentamos identificar os atributos ou características dadas pelos alunos a estes conceitos, a fim de reconstruir o modelo que o aluno teria utilizado. O processo de identificação dos conceitos e atributos conceituais teve que ser repetido várias vezes para cada aluno. Juntamente, se determinava, a partir da análise dos testes e da entrevista, como os fenômenos eram descritos e/ou explicados e, neste último caso, o tipo de explicação. Ou seja, se a explicação se baseava em fórmulas, se copiava o formato do livro, se eram explicações “superficiais” (chamamos de superficiais aquelas que só enunciavam o princípio envolvido) ou se incluíam algum senso de mecanismo. Conjuntamente com isto, se determinava também se a linguagem utilizada na entrevista era científica ou não (entendemos por linguagem científica o fato de o aluno usar repetidamente termos científicos, independentemente da correção da sua utilização), se os alunos explicavam “o mundo real”, ou se reduziam situações reais a modelos onde podiam ser aplicados os princípios físicos, se eram capazes de detectar distintas variáveis envolvidas nos problemas e como as manipulavam.

Em resumo, o que fizemos foi o que têm sido feito desde o século passado na Psicologia com a chamada “introspecção experimental sistemática” de Oswald Külpe e Karl Bühler (Schultz e Schultz, 1995): investigar processos mentais indiretamente através daquilo que as pessoas externalizam verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente. Aliás, até agora todas as pesquisas sobre modelos mentais na área de ensino de Ciências têm feito uso de análise qualitativa de protocolos verbais e documentos (desenhos, esquemas, soluções de problemas, mapas conceituais) produzidos pelos sujeitos pesquisados em entrevistas ou tarefas instrucionais.

Registros, Dados, Análise e Resultados de três casos

Partimos do pressuposto de que as pessoas raciocinam com modelos mentais, operam cognitivamente com modelos mentais, representam internamente o mundo com modelos mentais. Decorre daí que a pessoa que constrói um modelo mental de algum estado de coisas do mundo, algum fenômeno físico, por exemplo, chega a compreendê-lo, e à sua maneira, é capaz de explicá-lo e fazer previsões sobre ele. Reciprocamente, se a pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre um certo fenômeno físico é porque tem um modelo mental dele, embora não necessariamente correto do ponto de vista da Física.

Estendendo este raciocínio para o caso de alunos de Física Geral, diríamos que se eles conseguem construir modelos mentais sobre os conteúdos que lhes são ensinados, eles poderão compreender melhor os conceitos e leis físicas e explicar fenômenos físicos usando símbolos e equações que representam tais conceitos. Poderão também transferir a aplicação de tais modelos a outras situações. Quer dizer, eles poderão “testar” seus modelos perante novas situações, prevendo e explicando tais situações. O resultado desta testagem poderá confirmar a aplicabilidade cognitiva do modelo ou implicar sua revisão.

Por outro lado, cremos que os estudantes que não construírem¹ modelos mentais poderão até lembrar e usar símbolos e fórmulas matemáticas que representam os conceitos e leis físicas, mas não conseguirão explicar, prever e transferir seu conhecimento. Quer dizer, não darão evidências de uma aprendizagem significativa. (Moreira, 1997).

Acreditamos também que, como já foi dito, “os modelos mentais estão na cabeça das pessoas (os alunos, no caso)” e a única maneira de investigá-los é, indiretamente, através daquilo que elas externalizam verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente. Daí, a importância de analisar as respostas dos alunos nas avaliações e mapas conceituais que traçaram, de examinar os registros que os monitores fizeram sobre o que os alunos disseram ou perguntaram durante o desenvolvimento da disciplina e na correção (dialogada) dos testes, bem como a entrevista final.

Especificamente, procuramos verificar:

- ? como os alunos respondiam as questões dos testes, se suas respostas eram elaboradas ou memorizadas mecanicamente, se copiavam do livro, se faziam desenhos, se esses desenhos eram explicativos;
- ? como os estudantes atacavam os problemas nos testes, se partiam direto para o uso de fórmulas, se listavam os dados do problema antes de partirem para a solução, se usavam leis mais gerais ou se utilizavam diretamente casos particulares;
- ? como eram as respostas aos problemas propostos na entrevista final, se apenas descreviam o que iria acontecer, se explicavam o que iria ocorrer e porque; se usavam explicitamente conceitos físicos durante a entrevista, se esses conceitos eram bem empregados ou se tinham algum outro significado que não o cientificamente aceito e qual seria ele; se desenhavam ao responder as questões, e como eram esses desenhos;
- ? como eram qualitativamente seus mapas conceituais, se elegiam conceitos ou se eram colocados arbitrariamente, se havia alguma hierarquização conceitual; como eram as ligações (conectivos) entre os conceitos (palavras, frases, fórmulas);
- ? quais os comentários dos monitores sobre cada aluno em particular, durante o semestre, se os alunos tinham dúvidas específicas sobre algum conceito, se tinham alguma idéia diferente sobre determinado conceito, se trabalhavam de alguma forma que chamasse atenção.

Através dessa análise das externalizações verbais, simbólicas, pictóricas ou procedimentais, tentamos inferir o tipo de representação mental usado predominantemente pelos alunos e, se possível, algum modelo mental.

Os construtos que nos ajudaram no exame de cada caso foram os seguintes:

NÚCLEOS CONCEITUAIS: definimos como núcleos conceituais, os conceitos ou grupo de conceitos que apareceram com freqüência ao longo do curso, nas respostas que os alunos davam nos testes de avaliação, e que se destacaram durante a entrevista final e em seus mapas conceituais. A

¹ Rigorosamente falando, mesmo para aplicar fórmulas mecanicamente é preciso construir algum tipo de modelo mental elementar. Quando dizemos que o aluno não constrói um modelo mental de determinada situação física queremos dizer que não forma um modelo mais elaborado, com algum poder explicativo e preditivo.

partir desses núcleos, tentamos identificar os atributos ou características dadas pelos estudantes a esses conceitos, a fim de tentarmos construir um modelo do modelo mental que os alunos teriam utilizado em relação a esses conceitos. Isto é, procuramos inferir a forma como eles representariam esses conceitos nas suas cabeças.

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL: segundo Johnson-Laird (1983), as representações mentais, ou seja, as representações internas que as pessoas constroem do mundo externo, podem existir na forma de representações proposicionais, modelos mentais e imagens. Tentamos identificar o tipo de representação mental utilizado predominantemente pelos alunos. Se eles usavam basicamente representações proposicionais desarticuladas, ou seja, faziam uso acentuado de regras isoladas; se eles trabalhavam com modelos mentais, ou seja, se utilizavam modelos principalmente imagísticos (fazendo uso acentuado de desenhos, por exemplo), se utilizavam modelos principalmente proposicionais (faziam uso de regras interligando conceitos e/ou aspectos da matéria) ou se trabalhavam com modelos parcialmente imagísticos e parcialmente proposicionais.

É importante salientar que o modelo proposicional é diferente da representação proposicional. Quem faz uso de uma representação meramente proposicional utiliza regras soltas, sem significados e não consegue, com o uso destas regras, avaliar situações diferentes, isto é, não consegue compreender, o que implica explicar a estrutura conceitual de uma teoria ou de um princípio e os fenômenos vinculados. A pessoa que usa uma representação do tipo modelo proposicional, também utiliza regras, mas articuladas, interrelacionadas e através delas consegue prever e explicar fenômenos físicos e extrapolar seu conhecimento a situações diferentes.

Outro fator importante a ser salientado é que quando procurávamos identificar o tipo de representação mental que os estudantes operavam, buscávamos os principais indicadores nos testes de avaliação, nas conversas dos alunos com os monitores e na entrevista. Quando tentávamos identificar os núcleos conceituais e as características desses núcleos, a maior parte das evidências foram encontradas na entrevista realizada ao final do curso e nos mapas conceituais confeccionados pelos alunos durante o semestre letivo.

Da análise do material dos alunos, testes de avaliação, conversas com os monitores, mapas conceituais e entrevista final, detectou-se que, ao que parece, o tipo de representação mental utilizado pelos alunos nas tarefas instrucionais, principalmente nos testes de avaliação das unidades de estudo era, em alguns casos, diferentes de aqueles sugeridos durante a entrevista. Assim, fizemos duas tentativas de categorização: a primeira, foi a de classificar os alunos em grupos que tinham como característica principal a forma de trabalhar cognitivamente *durante* o curso. Ou seja, se trabalhavam basicamente com proposições isoladas, desvinculadas de modelos; se utilizavam modelos basicamente proposicionais ou basicamente imagísticos ou se faziam uso de modelos parcialmente proposicionais e/ou parcialmente imagísticos. A segunda tentativa, foi a de classificá-los em grupos que tinham como característica principal o tipo de modelo mental formado em relação a um conceito físico, modelos inferido, na maioria dos casos, na entrevista e nas interações entre alunos e monitores.

Vamos agora apresentar três casos, cada um deles representando uma categoria: a dos *proposicionalistas*, a dos *modelizadores basicamente proposicionais* e a dos *modelizadores basicamente imagísticos*. É esta nossa intenção neste trabalho relatar casos ilustrativos da categorização a qual chegamos.

Caso 1 - Representante dos proposicionalistas

Trata-se de alunos que trabalhavam a maioria dos conceitos estudados usando proposições isoladas, não relacionadas a modelos, não interligando conceitos e/ou aspectos da matéria. Eram estudantes que até sabiam as fórmulas a serem usadas, mas não conseguiam articulá-las, não

conseguiram compreender, explicar a estrutura conceitual da teoria e os fenômenos ligados a ela. A maioria de suas respostas às questões dos testes de avaliação apresentadas eram, basicamente, cópias do livro de texto.

Dizemos também que estes alunos trabalhavam basicamente com proposições isoladas porque não conseguiam transferir os seus conhecimentos a situações similares as que estudaram durante o curso.

Os mapas conceituais destes alunos eram meras associações entre os conceitos estudados, sem uma relação física entre esses conceitos. Quando existia alguma relação, era puramente matemática.

Estes alunos tinham o conceito de força relacionado diretamente com o movimento. Esta relação era do tipo: força como agente que causava o movimento; ou seja, todo o movimento necessitava a presença de uma força, assim como a presença de forças envolvia a existência de movimento.

Emerson (um nome fictício) é um representante típico desta categoria.

Emerson

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação, o aluno resolvia problemas e questões principalmente a partir de fórmulas e definições. Parecia trabalhar basicamente com proposições não vinculadas a modelos, pois as suas respostas resultavam em uma explicitação da fórmula utilizada, sem nenhuma intenção de explicação além disso.

Vejamos algumas respostas (em itálico), dadas pelo estudante, a perguntas ou afirmações contidas nos testes de avaliação realizados no decorrer do curso.

Qualquer corpo apoiado no chão de um carro escorregará se a aceleração for suficientemente grande. Qual aceleração é maior: a que provoca o deslizamento de pequenos blocos ou a que provoca deslizamento de blocos mais pesados? Justifique.

“ $F = ma$. A aceleração é maior nos blocos mais pesados, porque para movimentar estes blocos é preciso uma força maior do que para movimentar um bloco de menos peso. Então, como a força e a aceleração são grandezas diretamente proporcionais, quando aumenta a força, a aceleração também aumenta.”

Quando não existem forças atuando sobre um corpo, o corpo não está acelerado.

“Sim, porque como diz a 1ª lei de Newton, “quando a resultante das forças que atua num corpo é zero, então o corpo que estiver em repouso tende a ficar em repouso, e o corpo que se movimenta com velocidade constante ($a=0$) tende a continuar em seu movimento uniforme.”

Não é possível realizar trabalho sobre uma partícula que permanece em repouso.

“Verdadeiro. Porque como $W = F \cdot d$, se o corpo estiver em repouso não haverá deslocamento, e de acordo com a lei citada anteriormente o trabalho (W) será igual a zero.”

De que depende a mudança no momentum de um sistema?

“Momento = P ? $F = dP/dt$; $P = MV_{cm}$

dP ? Variação do momento.

A variação do momento linear depende da variação da velocidade em relação ao centro de massa, portanto, a aceleração é quem determina a variação do momento. Outra grandeza que faz com que o momento linear tenha variação é a força, sendo que, quanto maior a força maior será o momento linear.”

As características apontadas, utilização de fórmulas ou algoritmos isolados, sem vinculação com modelos, ficaram evidenciadas através de uma pergunta feita a um dos monitores, ao longo do curso:

“Não tem uma regra para fazer tudo de uma só vez?”

Nas aulas, não demonstrava interesse em compreender os fenômenos, lhe interessava saber a fórmula que deveria aplicar em situações específicas.

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): durante a entrevista suas explicações eram centradas predominantemente no conceito de força, sendo que este conceito também ocupou lugar de destaque nos seus três mapas conceituais.

Nos seus mapas as relações entre os conceitos foram feitas através de fórmulas, confirmando a característica do aluno de utilizar fórmulas desvinculadas de modelos. Na figura 1 apresenta-se um mapa conceitual deste aluno.

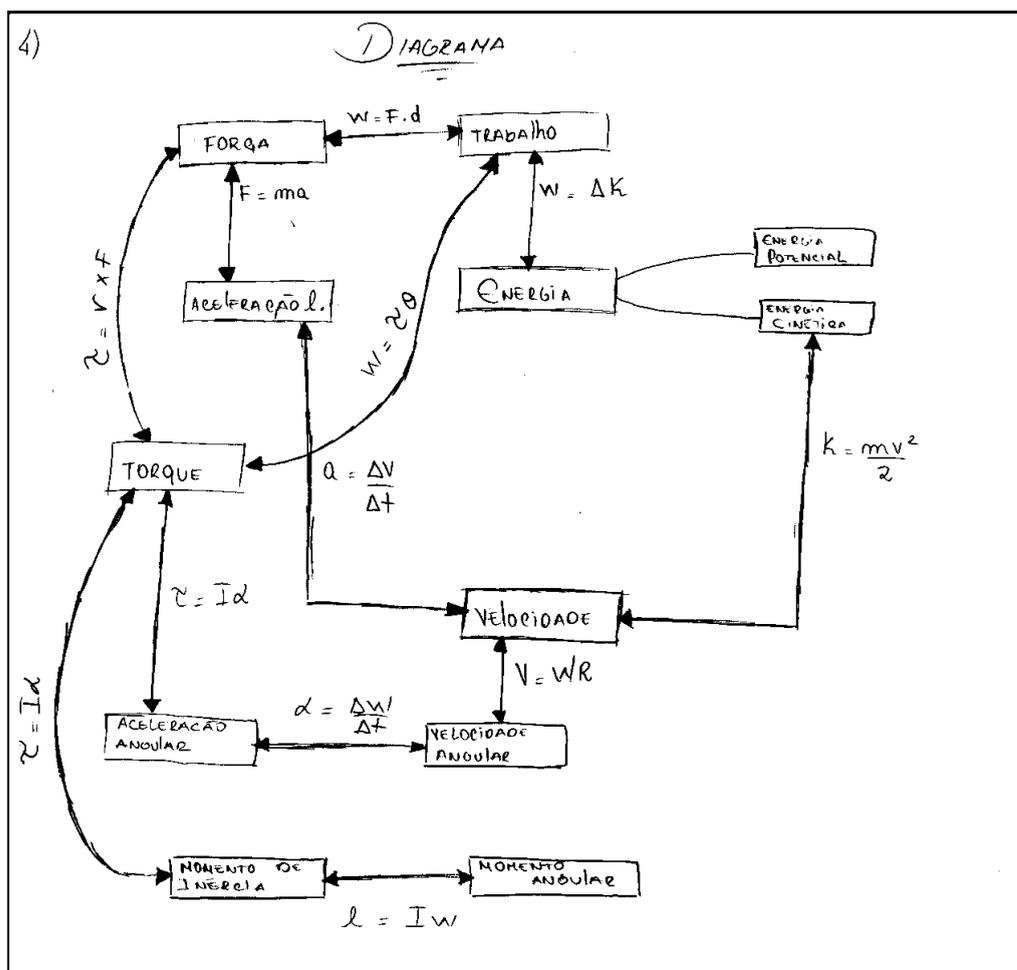


Figura 1: mapa conceitual feito por Emerson

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: mesmo que nos testes de avaliação fizesse uso de vocabulário científico, durante a entrevista, que foi realizada no último dia de aula de cada aluno, não usava esse vocabulário; conceitos como gravidade, força resultante, energia, momento não apareceram. No decorrer da entrevista, suas explicações pareciam baseadas em descrições de fenômenos cotidianos, e estas descrições pareciam estar associadas a “objetos”, ou melhor, à “geometria dos objetos”. Vejamos algumas situações:

“Vai cair...vai descer, é uma rampa...”

“..isso aqui é uma superfície lisa?”

“...tem que firmar o pé no chão.”

Ainda durante a entrevista, aparentemente o aluno só relacionava o conceito de força a movimento, utilizando indiscriminadamente as palavras velocidade, movimento e aceleração.

“...tá, elas vão fazer este movimento até parar, até esta força aqui que foi aplicada nesta bola se igualar a zero.”

“...o que tem menor massa vai se movimentar mais porque tem maior aceleração...e a que tem a maior vai se movimentar menos porque tem a menor aceleração do que a que tem menor massa.”

“Se ele tiver parado não tem aceleração...”

“...até parar, até esta força se igualar a zero.”

Talvez esta relação que ele utilizava para explicar diferentes situações, fizesse parte de um modelo mental sobre o conceito de força que incluísse a idéia de *força como agente que causa o movimento*, assim como, que todo o movimento exige a presença de uma força.

Em outras situações, como por exemplo na resposta dada na entrevista referente à questão “Um macaco e uma caixa estão unidos por uma corda que está ao redor de uma roldana, ambos a mesma altura do solo. O que acontece com a caixa quando o macaco começa a subir pela corda?” ele apenas descreveu o que iria acontecer, sem justificar. Possivelmente isto deva-se ao fato de que o seu provável modelo mental sobre o conceito de força, que ele parece ter utilizado no decorrer da entrevista, não conseguiu explicar tal situação.

“...subir, por causa da roldana, né? Como eu vou te explicar...mas, quando sobe a caixa, desce o macaco”.

O macaco não está descendo, está subindo.

“...Se ele está subindo, ele tá botando a corda para baixo dele, então vai subir o bloco até o bloco encostar aqui na roldana, daí não tem como subir mais...”

Como soubeste disto?

“...Sei lá, né...eu já vi uma roldana fazer isto.”

O aluno não explicou, apenas descreveu o que iria ocorrer e relacionou, novamente, as suas respostas aos objetos presentes no problema. Parece que, quando ele não conseguia utilizar o modelo anteriormente citado, voltava a descrever intuitivamente o que iria ocorrer. Ao ser pressionado para explicar, utilizava como responsáveis pelos fatos descritos, os objetos ou a sua geometria, como o caso do plano inclinado e, agora, com a roldana.

Caso 2 - Representante dos modelizadores basicamente proposicionais

Vamos agora analisar um caso que representa o grupo dos alunos que pareciam trabalhar com modelos mentais basicamente proposicionais, ou seja, regras articuladas em modelos mentais, interligando diferentes conceitos e aspectos da disciplina. Conseguiram fazer articulações com as fórmulas e interpretavam fisicamente, à medida que seu modelo permitia, os fenômenos que lhes

eram apresentados. Esses modelos não necessariamente eram os cientificamente aceitos, no entanto, eles conseguiam resolver e interpretar situações diferentes das quais tinham que simplesmente manipular fórmulas. Aliás, a funcionalidade para o sujeito, é um compromisso básico dos modelos mentais e esses alunos pareciam ter modelos que satisfaziam tal compromisso.

Embora maioria das relações existentes entre os conceitos fossem fórmulas matemáticas, os alunos deste grupo já conseguiam articular algumas ligações físicas entre os conceitos quando confeccionavam seus mapas conceituais.

Esses alunos tinham um modelo ligado à tríade *velocidade constante ? aceleração nula ? força nula*. Este modelo parecia poder ser aplicado a situações que envolviam a 1ª e 2ª Leis de Newton e permitiam resolver bem questões relacionadas com essas leis e fazer previsões.

Sandra (nome fictício) é uma típica representante desta categoria.

Sandra

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação esta aluna também fez bastante uso de fórmulas e definições para responder as questões e os problemas apresentados, mas não parecia ser uma mera manipulação de fórmulas, aparentemente ela conseguia “dar significado” a estas. É possível que ela tenha trabalhado com modelos proposicionais, ou seja, um conjunto de regras articuladas, integrando corretamente diferentes conceitos e/ou aspectos da disciplina.

Ao ser perguntada como resolvia os problemas, respondeu (itálico):

“...eu olho o problema e imagino uma coisa, uma resposta...vem na cabeça, parece que aquilo é certo, aí tu começa a calcular, daí tu vai ver se é certo ou não...quando tu começa calcular, começa a lembrar coisas que tu não imaginou, tu imagina coisas assim, mais simples de resolver, aí tu começa a calcular...aí muitas vezes, pelo menos prá mim, o que eu imaginava tava errado.”

Vejamos alguns indícios de que a aluna parecia entender a aplicação das fórmulas e/ou leis que utilizava nas suas respostas, ao longo do curso.

Qualquer corpo apoiado no chão de um carro escorregará se a aceleração do carro for suficientemente grande. Que aceleração é maior: a que provoca o deslizamento de pequenos blocos ou a que provoca o deslizamento de blocos mais pesados? Justifique sua resposta.

“ $F_R = m \times a$ $a = ? \times N / m$ $a = ? \times m \times g / m$ $a = ?g$
Aplicando-se a 2ª Lei de Newton, sabe-se que a aceleração é diretamente proporcional à força resultante e inversamente proporcional à massa do corpo. Num corpo em repouso dentro de um carro que ‘arranca abruptamente’ surgirá uma força resultante que é a força de atrito. Como a força resultante é o produto do coeficiente de atrito do corpo pela normal, observa-se que há uma simplificação nas massas, provando, assim, que a aceleração não depende da massa do corpo. Assim sendo a aceleração é igual para um pequeno bloco e um grande bloco no interior de um carro”.

Faça uso de explicações e/ou desenhos e/ou esquemas para descrever com suas próprias palavras ou esquemas, como você entende momento de inércia.

*“Momento de inércia é aquilo que define a maior ou menor facilidade de um corpo em entrar em movimento de rotação de acordo com a distribuição da massa em relação ao eixo. $I = \sum m_i r_i^2$
 $I = \int r^2 dm$.”*

Em que ponto do movimento de um pêndulo simples a tensão na corda é máxima? E mínima? Justifique sua resposta.

“ $F_r = m \cdot a$ $T - mg = m \cdot a_m$ $T - mg = m \cdot \omega^2 x_m$ $T = m \omega^2 x_m + m g$.”

A tensão será mínima nos extremos, onde a amplitude de oscilação é máxima, isto é, nos pontos de maior afastamento do ponto de equilíbrio, e será máxima exatamente no ponto de equilíbrio, pela fórmula acima.”

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): durante a entrevista parecia delegar especial atenção ao conceito de energia e à tríade velocidade constante ? aceleração nula ? força nula.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, ao contrário do primeiro caso, não respondia simplesmente descrevendo a situação, sempre buscava uma explicação. Aparentemente explicava utilizando conceitos científicos e, em princípio, possuía um modelo que relacionava velocidade constante com aceleração nula e força nula que “disparava” encadeado e de uma só vez, como mostram as suas respostas.

Eu tenho uma bola e aplico uma força nela com meu dedo. Logo que a bola saiu do contato com meu dedo ela segue carregando a força que eu fiz?

“ Tu bateu com uma força, surgiu uma velocidade nela, se não tiver atrito, ... se tu bateu na bola, aí a bola vai com uma velocidade, se não tem atrito essa velocidade dela vai ser constante, com aceleração zero, a força resultante é zero,... a força ... tá, se é certo o que eu disse ela não manteria, porque a força resultante do movimento seria zero, porque a aceleração é zero e a velocidade é constante, a força que tu aplicou foi só pra botar o corpo em movimento”.

O que acontece com dois blocos ligados por uma corda, colocados num plano inclinado?

“Bom aqui tem um peso... Aqui tem atrito no plano...os blocos vão se decompor, o peso dele em x e num peso aqui que seria...aqui seria a normal que se anula...Então teria um Px prá cá, tensão também, então os blocos tenderiam a descer...tô supondo que eles estão descendo com velocidade constante...aceleração nula, força resultante tem que ser igual a zero...”

Possivelmente, este modelo, onde relacionava velocidade constante com aceleração nula e força nula, permitia a aluna entender o conceito de inércia e resolver bem problemas de corpos isolados. Vejamos uma de suas respostas a um dos testes de avaliação.

Suponha que um carro sob a ação de duas forças esteja acelerado. Podemos concluir daí que: a) o carro não pode se movimentar-se com velocidade constante. b) a velocidade jamais pode ser nula. c) que a soma das duas forças não pode ser nula. d) que as duas forças devem estar agindo na mesma direção ? Em cada um dos casos, dê um exemplo no caso afirmativo ou explique no caso negativo.

“ a) Certo, pois se existe uma aceleração, ela modifica a velocidade no decorrer do tempo.

b) A velocidade poderá ser nula momentaneamente, como por exemplo, se o carro estiver mudando de movimento (mudando de sentido).

c) Certo, pois se ? $F = 0$, implica $m_{\text{carro}} \times a = 0$ (2ª lei) e isto implica aceleração igual a zero. E isto não é possível uma vez que o carro está acelerado.

d) As forças não precisam estar na mesma direção, pois sendo uma das forças maior que a outra, então poderá continuar havendo aceleração e o movimento continuaria sendo acelerado.”

Esse ‘modelo’ era basicamente proposicional. Ao que parece não estava vinculado a imagens. Dizemos que esta tríade era um modelo e não uma representação proposicional aprendida de memória, pois era transferido e aplicado corretamente em diferentes situações. Porém, em sistemas em interação (situações onde há corpos em contato, como por exemplo pêndulos que se chocam) não era utilizado, aparentemente recorrendo para outro modelo que estava associado à palavra energia. No entanto, não conseguimos, através de suas respostas, identificar o possível modelo mental que ela teria utilizado sobre o conceito de energia (parecia estar relacionado com força). Vejamos alguns trechos da entrevista onde ela utilizou este conceito.

O que acontece quando pêndulos de mesma massa e de massas diferentes se chocam?

“...esta aqui vai bater nesta, a energia mecânica vai ter que se conservar, então a energia cinética desta aqui que é massa vezes a velocidade desta aqui ao quadrado sobre dois, vai ser igual a energia mecânica do sistema aqui, ou melhor, se esta em repouso tenho mgh ...”

Porque a bola que bateu fez com que a que estava parada se movimentasse?

“...Porque ela bate e a outra tem que se mexer...porque...transferência de energia...”

Esta aluna, no decorrer do curso, aparentemente, utilizava modelos proposicionais, ou melhor, um conjunto de regras articuladas, integrando corretamente diferentes conceitos e/ou aspectos da disciplina, pois parecia compreender como e porque estava utilizando esta ou aquela fórmula e/ou lei. Durante a entrevista, a aluna nos deu a entender que utilizava um modelo mental proposicional que ficou evidenciado pela relação velocidade constante ? aceleração nula ? força nula. Esse modelo permitia que ela explicasse situações onde não existia contato entre os corpos. A aluna parecia recorrer a um outro modelo que envolvia o conceito de energia, para explicar os casos em que havia contato entre os corpos, talvez por não ter entendido o conceito de força como interação.

Caso 3 - Representante dos modelizadores basicamente imagísticos

Apresentaremos agora um caso que representa o grupo dos alunos que possivelmente trabalhavam com modelos basicamente imagísticos, pois, ao que parece, faziam bastante uso de imagens. Estes alunos resolviam bem os problemas, pareciam ter uma compreensão prévia dos mesmos antes de resolvê-los e analisavam os resultados obtidos. Conseguiram explicar e prever corretamente as situações físicas apresentadas.

Seus mapas conceituais eram mais elaborados que os casos anteriores e continham relações não meramente formulísticas entre os conceitos.

José Paulo (nome fictício) é um representante desta categoria.

José Paulo

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: este aluno na maioria das questões dos testes de avaliação, respondia de maneira singular, usando suas palavras, sem fazer cópia do livro de texto. Fazia uso de conceitos físicos nas respostas e, sempre que podia, citava exemplos e fazia desenhos para explicar. Por isto *parecia que utilizava modelos basicamente imagísticos*, que faziam com que ele sempre analisasse as fórmulas que estava usando, além de realizar certos comentários, durante a resolução dos problemas. O que nos levou a pensar que o aluno interpretava essas fórmulas e entendia as leis que usava.

Quando perguntado como estudava, respondeu:

“Eu voltava sempre nas unidades anteriores, e tentava sempre desenhar alguma coisa que pudesse esclarecer.”

Vejamos algumas respostas deste aluno (em itálico) aos testes de avaliação da disciplina.

Para que um corpo esteja se movendo é necessário que atue sobre ele uma força.

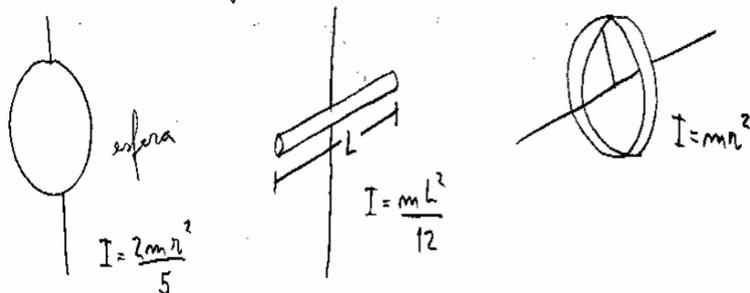
“Falso. Para um corpo começar a se mover, é necessário que uma força atue sobre ele. Porém, ele permanecerá em movimento uniforme até que uma força seja aplicada sobre ele.”

Se sobre um corpo temos força resultante nula, ele está em repouso.

“Falso. A força resultante nula quer dizer aceleração nula. Porém, aceleração nula, não quer dizer que o corpo esteja em repouso. Ele pode estar em movimento retilíneo uniforme.”

Qual a relação entre distribuição de massa e momento de inércia?

O momento de inércia de um corpo pode ser calculado de diversas maneiras. Por exemplo:

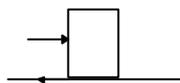


Porém, em todas elas, sempre é importante a distância da distribuição da massa em relação ao eixo. Nos três exemplos, quanto mais "longe" a massa se distribuir em relação ao eixo de rotação, maior será o momento de inércia. Assim, pode-se concluir que quanto mais "espalhada" é a massa do corpo, quanto mais distante esta fica do eixo de rotação, maior é o momento de inércia.

Figura 2: resposta de José Paulo sobre momento de inércia

Caracterize a força de atrito. Utilize exemplos se julgar necessário.

"a força de atrito é uma força de resistência a um movimento. Por exemplo, se uma pessoa empurra um bloco horizontalmente, ela sentirá dificuldades por causa da força de atrito que está agindo em sentido contrário."



Ela varia de acordo com a superfície que está resistindo. Por exemplo, é mais difícil empurrar uma pedra sobre um piso de areia do que sobre o gelo, pois a força de atrito no gelo é menor. É mais fácil mover-se no ar do que na água, pois o atrito na água é maior."

Mesmo ao fazer uso de fórmulas para responder algumas questões, o aluno não se restringia a simplesmente enunciar essas fórmulas, ele parecia interpretar o que elas significavam.

Quando uma pessoa inicia uma caminhada num certo sentido, podemos também afirmar que a terra se movimenta no sentido oposto?

“Se considerarmos o sistema pessoa - terra como um sistema isolado, em que não atue força resultante, $p_i = p_f$.

$P_i=0$, pois a pessoa está em repouso e a terra também.

$$P_f = M.V + m.v \quad p_i = p_f \quad M.v = - m.V$$

logo, teoricamente, se uma pessoa caminha em um sentido, a terra se movimenta em sentido oposto. Porém, como a massa da terra é muito maior que a da pessoa, da compensa a sua velocidade adquirida, que é infinitamente pequena para ser considerada.”

É interessante notar que ao resolver os problemas, além de usar as fórmulas de uma maneira mais abrangente possível, o aluno fazia comentários sobre os resultados, dando a entender que percebia o que estava acontecendo nos problemas. Além disso, qualquer informação que ele usava para resolver os problemas, ele justificava e explicava por que estava usando. Veja por exemplo:

Um bloco de 3,5kg solta-se de uma mola comprimida cuja constante elástica é igual a 640 N/m. Após abandonar a mola, o bloco desloca-se por uma superfície horizontal, por uma distância de 7,8 m, antes de parar. O coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície é 0,25.

- Qual o trabalho realizado pela mola?
- Qual a energia cinética máxima do bloco?
- De quanto a mola foi comprimida antes de ser liberada?

② $m = 3,5 \text{ Kg}$ $K = 640 \text{ N/m}$ $d = 7,8 \text{ m}$ $M = 0,25$

a) $W_f = ?$ $\theta = 180^\circ$

$W_f = f \cdot d \cdot \cos \theta$ $f = M \cdot N = 0,25 \cdot 34,3$ $N = P = 3,5 \cdot 9,8 = 34,3 \text{ N}$

$W_f = 8,6 \cdot 7,8 \cdot -1$ ~~$f = 8,6 \text{ N}$~~

$W_f = -67,08 \text{ J}$

b) A energia cinética atinge valor máximo no instante em que o bloco se solta da mola, onde a velocidade é máxima (v_0).

$f = M \cdot N = m \cdot a$ $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$

$8,6 = 3,5 \cdot a$ Como o corpo está freando, a é negativa.

$a = 2,46 \text{ m/s}^2$ $v^2 = v_0^2 - 2a\Delta x$ $v = 0$

$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{3,5 \cdot 39,376}{2}$ $0 = v_0^2 - 2 \cdot 2,46 \cdot 7,8$

$K = 67,16 \text{ J}$ $v_0^2 = 38,376$

$v_0 = 6,2 \text{ m/s}$

c) A energia mecânica é constante e quando o corpo deixa a mola da era igual a K . Logo:

$E = K + U = K + 0 = 67,16 \text{ J}$

Quando a mola está comprimida, $K = 0$ e $E = U$.

$E = 67,16 = U$

$U = \frac{Kx^2}{2} \Rightarrow 67,16 = \frac{640 \cdot x^2}{2} \Rightarrow 640x^2 = 134,32$

$x^2 = 0,21$

$x = 0,46 \text{ m} = 46 \text{ cm}$

Figura 3: exercício resolvido por José Paulo envolvendo conservação de energia

Em seus mapas conceituais, ele classificava os conceitos como gerais e específicos. Entre os conceitos gerais estão força, energia e aceleração. Entre os conceitos específicos se encontram os

tipos de energia, trabalho, tipos de força, tipos de aceleração, entre outros. As relações que ele usava entre os conceitos eram do tipo proporcionalidade e classificação. Não havia entre os conceitos relações matemáticas.

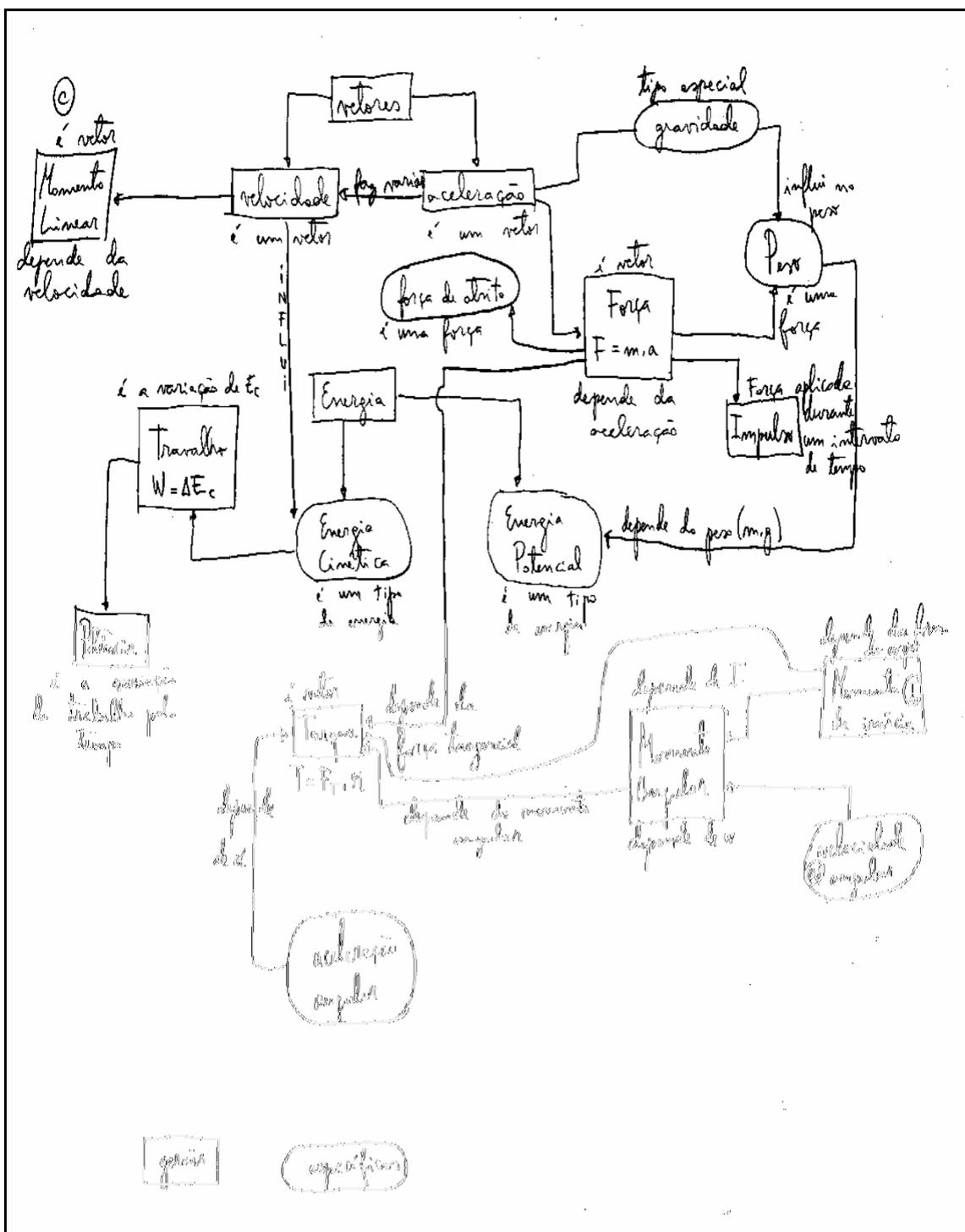


Figura 4: mapa conceitual feito por José Paulo

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): Na entrevista suas explicações estavam sempre centradas no conceito de força.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICACÕES: ficou evidente o uso do conceito de força para explicar as diversas situações que foram apresentadas durante a entrevista. Parece que o aluno entendia o conceito de força como interação e, além disso, deu indícios de que teria mudado o seu modelo primitivo (o que ele teria antes do curso) que seria um modelo de força como agente causador do movimento, por seus comentários na entrevista:

“...eu sempre pensava que uma nave, quando estava em órbita, ela ficava sempre com um foguete ... com os motores ligados, prá ficar girando. E aí eu vi que não, que ela na verdade está sempre em queda livre, ao redor da terra.”

No caso de dois blocos presos por uma corda e colocados num plano inclinado ele fez a previsão correta do que iria acontecer, se fossem massa iguais e se o sistema tivesse ou não atrito. Fazendo a decomposição da força que atua nos blocos (o peso de cada bloco).

A idéia de força como interação parecia estar por trás das respostas das questões dos dois blocos colocados num plano inclinado, dos blocos unidos por uma mola, e do caso canhão mais bala. Por exemplo, no caso em que perguntamos o que aconteceria quando um canhão disparasse uma bala e não tivesse atrito entre o solo e o canhão, o aluno respondeu:

“Se não tiver atrito na superfície que o canhão tá apoiado, a bala vai sair com uma velocidade prá cá e o canhão vai ser empurrado também prá cá.”

Por que isso acontece?

“Porque...porque... eu acho que é por causa da força de contato que havia entre os dois. Quando o canhão explodiu a bala, ela também provocou uma força nele que fez ele se movimentar.”

É possível que, talvez por ter entendido o conceito de força como interação, ele tenha compreendido a terceira lei de Newton, assim como o conceito de inércia, e por isso tivesse conseguido explicar todas as situações em torno do conceito de força, fazendo uso das leis de Newton.

No caso de dois blocos comprimidos por uma mola que são liberados e se chocam em anteparos, sem atrito na superfície e nos anteparos, o aluno respondeu :

“A mola vai fazer... como ela não tem atrito, ela vai fazer os dois blocos irem até a parede, ... os dois blocos vão se chocar com a parede, a parede vai fazer uma força de igual intensidade, eles vão voltar, vão comprimir a mola e assim sucessivamente.

“ Por que ela tem uma ... quando ela é comprimida, ela armazena uma energia... e transforma isso em uma força... em sentido contrário à compressão.”

“É ... a compressão ... há ... proporciona uma ... quanto mais eu comprimir a mola, mais vai surgir uma força cada vez maior, em oposição à compressão.”

“Essa mola tem uma constante... que... que dependendo da ... da compressão ... do deslocamento que eu der nela ... ela vai gerar uma força. Então dependendo dessa força, eu vou ter aceleração no bloco.”

Esse possível modelo mental utilizado pelo aluno, envolvendo o conceito de força como interação, permitiu que ele fizesse predições e respondesse bem as questões apresentadas,

demonstrando ser um modelo eficiente, além de ter permitido que ele deixasse de pensar em força como causadora do movimento, como mostramos anteriormente.

Na entrevista, diferentemente do tipo de respostas dadas nos testes da disciplina, durante o semestre letivo, o aluno não se deteve em uma análise mais profunda das questões propostas, respondendo as mesmas de um modo muito simplista, sem dar oportunidade ao entrevistador de prolongar o diálogo. Talvez isso tenha acontecido porque esse aluno só aparecia na aula para fazer os testes. Nunca foi em uma aula para tirar dúvidas e não manteve um relacionamento mais profundo com os colegas e monitores. Era um aluno muito tímido e isso talvez tenha atrapalhado sua entrevista. Contudo, o seu desempenho no curso foi excelente.

Como acabamos de ver, parecia existir uma dicotomia na forma de trabalhar dos alunos. Ao longo do curso, nos testes de avaliação, eles estavam submetidos ao fato de que tinham que ser aprovados nos testes para concluir o curso de Física Geral I. Eles tinham que demonstrar que haviam “aprendido” os conceitos apresentados. Durante as interações com os monitores e na realização da entrevista, possivelmente por esta não ter caráter avaliativo, os conceitos “aprendidos proposicionalmente” (através de regras desvinculadas de um modelo) em alguns casos foram esquecidos, bem como tais regras deixaram de ser necessárias. Segundo Jonhson - Laird (1983, p.474), os modelos mentais são mais difíceis de serem esquecidos pois envolvem mais trabalho na sua construção. Parecia serem os casos em que não foi possível identificar, durante a entrevista, modelos mentais sobre os conceitos de momentum, impulso, ação e reação, entre outros.

É importante salientar que quando dizemos que os alunos têm modelos mentais sobre o conceito de *força*, a palavra *força* não deve ser identificada necessariamente com o conceito cientificamente aceito. Possivelmente essa seja a forma com que eles aprenderam a indicar a idéia de esforço. Geralmente, quando falamos de *força*, eles não estão falando da mesma *força* que nós. Isto pode ser um grande indicador da dificuldade sobre a compreensão das Leis de Newton.

Conforme o tipo de representação mental que os alunos utilizaram, tanto durante o curso como na entrevista final, pudemos verificar o seguinte:

Alguns, embora trabalhassem durante o curso, nos testes de avaliação, utilizando proposições desvinculadas de modelos, como Emerson na entrevista e na interação com monitores, pareciam ter utilizado um modelo mental sobre o conceito de força que incluía força como agente responsável pelo movimento.

Outros, como Sandra, que trabalhavam durante o curso, nos testes de avaliação, com modelos basicamente proposicionais, ou seja, regras acopladas interligando diferentes conceitos e/ou aspectos da matéria (regras inseridas em um modelo, embora não necessariamente aceito cientificamente), teriam também o conceito de força ligado ao movimento dos corpos, mas nesse caso a relação entre força e movimento incluía a tríade *velocidade constante? aceleração nula? força nula*.

Isto pode ser um indicativo de que, quanto mais “elaborado” o modelo mental, mais facilmente o aluno poderia compreender situações e contextos diferentes daqueles trabalhados em aula, ou daqueles onde só tivessem que aplicar fórmulas.

Conclusão

Neste trabalho apresentamos três casos: um aluno proposicionalista, um modelizador proposicionalista e um modelizador imagista. Trata-se de um trabalho complementar a outro no

qual descrevemos tais categorias trazendo exemplos parciais de vários alunos. Aqui enfocamos as externalizações de apenas três alunos, mas o fazemos de maneira mais detalhada.

Se esta categorização é válida e se o fato de o aluno ser modelizador é relevante para a aprendizagem da Física, teríamos que buscar maneiras mais exequíveis para o professor identificar o tipo predominante de representação mental utilizado pelo aluno nas tarefas instrucionais para, a partir daí, ajudá-lo na modelagem quando for necessário.

Como cremos ter deixado claro, é bastante difícil identificar modelos mentais, pois são representações internas do indivíduo. Por outro lado, identificar “se o aluno é modelizador ou não” já não é tão difícil. Mas o que significa isso? Modelizador, segundo Johnson-Laird, qualquer indivíduo é. Para ele, os sujeitos, por definição, operam cognitivamente com modelos mentais. Estes modelos têm compromissos apenas com a funcionalidade e, certamente, nas aulas de Física qualquer aluno os constrói ou já os tem construídos para as situações físicas que lhe são propostas. Nesse sentido todos seriam modelizadores.

Entretanto, não é este o significado que estamos usando para modelizador. Quando dizemos que os alunos modelizadores dão evidência de uma aprendizagem mais significativa queremos dizer que eles formam modelos mentais mais elaborados, com algum poder explicativo e preditivo, e com alguma congruência com o conhecimento cientificamente aceito. É nessa modelagem que deveremos ajudar os alunos nas aulas de Física. Porém, como fazê-lo é algo que está fora do objetivo deste trabalho assim como do limitado conhecimento que até agora desenvolvemos no tema modelos mentais e ensino e aprendizagem em Física. Por enquanto, queremos apenas sugerir que o assunto representações mentais/modelos mentais/modelagem é relevante para a pesquisa em ensino de Física e parece ter muitas implicações instrucionais.

Bibliografia

- GENTNER, D., STEVENS, J. L. (Eds.) *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983.
- GRECA, I. *Tipos de representações mentais - modelos, proposições e imagens - utilizadas por estudantes de física geral sobre o conceito de campo eletromagnético*. Porto Alegre: Curso de pós-graduação em Física - UFRGS, 1995. Dissertação de mestrado em Física.
- GRECA, I., MOREIRA, M. A. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 95-108, abr. 1996.
- GRECA, I., MOREIRA, M. A. The kinds of mental representations - models, propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, London, v. 19, n. 6, p. 711-724, 1997.
- GRECA, I., MOREIRA, M.A. Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 16, n. 2, p. 289-303, 1998.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. v. 1.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. Models of deduction. In: FALMAGNE R. J. (Ed.). *Reasoning: representation and process in children and adults*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1975.

- JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. Modelos mentales en ciencia cognitiva. NORMAN, D. A *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179 - 231.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models. In: POSNER, M. (Ed.) *Foundations of cognitive science*. Cambridge: MIT, 1990. p. 469-499.
- LAGRECA, M.C.B., MOREIRA, M.A. Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área. Submetido à publicação, 1998.
- MOREIRA, M. ?. Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCATION FOR THE 21st. CENTURY: Towards innovatory approaches, 1994. Concepcion, Chile. Concepcion: Universidad de Concepcion, 1994. p. 81-92.
- MOREIRA, M. A. O Sistema de Instrução Personalizada. In: *Ação Docente na Universidade*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.
- MOREIRA, M. A., BUCHWEITZ, B. Novas estratégias de ensino e aprendizagem. Lisboa. Plátano Edições Técnicas, 1993.
- MOREIRA, M. A., GRECA, I. Concept mapping and mental models. *Meaningful Learning Forum*, Ithaca, N.Y., v. 1, n. 1, p. 3-25, 1996.
- MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. Em: ENCONTRO SOBRE TEORIA E PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS - LINGUAGEM, CULTURA E COGNIÇÃO, 1997, Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte: Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997, p. 163-186.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL SOBRE EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, 1997, Burgos. MOREIRA, M.A. et al. (Orgs.) *Actas*. Burgos: Universidade de Burgos, 1997. p. 19-44.
- PINTÓ, R. ALIBERAS, J., GÓMEZ, R. Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. Departament de Didáctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona. *Ensenanza de las Ciencias*. Barcelona, v. 14, n. 2, p. 219-225, jun. 1996.
- POSNER G. et al. Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. In: NORMAN, D. A *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179 - 231.
- RESNICK, L.B. *Knowing learning and instruction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaun, 1989.

Recebido em 26.08.98

Aceito em 18.11.98