

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

**TIPOS DE REPRESENTAÇÕES MENTAIS UTILIZADAS POR
ESTUDANTES DE FÍSICA GERAL NA ÁREA DE MECÂNICA
CLÁSSICA E POSSÍVEIS MODELOS MENTAIS NESSA ÁREA ***

Maria do Carmo Baptista Lagreca

Dissertação realizada sob orientação do Professor Dr. Marco Antonio Moreira, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física.

Porto Alegre, 1997.

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

Para minha mãe.

“É preciso amar as pessoas como se não houvesse o amanhã.”
(R. Russo)

Com carinho para meu pai, Job e Matheus.

AGRADECIMENTOS

- Ao professor Marco Antonio Moreira por ter me orientado neste trabalho.

- Aos colegas do Grupo de Ensino, Alessandro, Luciana, Isabel, Ileana e Mauro pelo apoio e ajuda durante a pesquisa.

- A professora Rita Maria Cunha de Almeida por nunca ter deixado que eu desistisse, incentivando-me e fazendo-me acreditar que conseguiria.

- Aos professores Luiz Fernando Ziebell e Mário Baibich por terem me dado a oportunidade de ingressar nesta universidade.

- Aos meus colegas ou melhor, aos meus amigos, que durante o nivelamento me ajudaram a ultrapassar as barreiras “quase” intransponíveis dos muros da UFRGS.

Resumo

Neste trabalho, além de investigarmos o tipo de representação mental (proposições, imagens ou modelos mentais) utilizado por estudantes de Física Geral na área de Mecânica Newtoniana, tentamos identificar possíveis modelos mentais que estes estudantes teriam sobre alguns conceitos físicos. Baseamos nosso estudo na Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Estudantes de nível universitário foram observados durante dois semestres com o objetivo 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 realizada uma entrevista no final do curso com a finalidade 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 poderiam compreender situações e contextos distintos daqueles trabalhados em aula.

Abstract

In this work, in addition of investigating the type of mental representation (propositions, images or mental models) used by introductory college physics students in the area of Newtonian mechanics, we tried to identify possible mental models that these students would have on some physical concepts. We based our study on the Theory of the Mental Models proposed by Johnson-Laird. 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. 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 could understand situations and contexts different from those worked in classroom.

Índice

1. INTRODUÇÃO	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1 <i>Modelos mentais e o raciocínio silogístico</i>	9
2.2 <i>A polêmica sobre imagens e representações proposicionais</i>	11
2.3 <i>As representações proposicionais</i>	12
2.4 <i>Os modelos mentais</i>	13
2.4.1 <i>A natureza dos modelos mentais</i>	15
2.4.2 <i>A tipologia dos modelos mentais.....</i>	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 <i>Modelos mentais segundo outros autores</i>	22
3.2 <i>Algumas pesquisas sobre modelos mentais</i>	25
4. METODOLOGIA, REGISTROS, DADOS, ANÁLISE, RESULTADOS	40
4.1 <i>Metodologia.....</i>	40
4.2 <i>Registros, dados, análises, resultados.....</i>	43
4.2.1 <i>Registros, dados e análise de cada caso</i>	45
5. SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	104
5.1 <i>Síntese dos resultados.....</i>	104
5.2 <i>Conclusões.....</i>	108
6. BIBLIOGRAFIA	112

Índice de figuras

<i>Figura 1: mapa conceitual feito por Emerson</i>	47
<i>Figura 2: mapa conceitual feito por Patrícia</i>	51
<i>Figura 3: resposta de Patrícia sobre o conceito de inércia</i>	53
<i>Figura 4: exercício desenvolvido por Carol sobre a segunda lei de Newton</i>	58
<i>Figura 5: mapa conceitual feito por Carol</i>	59
<i>Figura 6: resposta de Carol sobre momento de inércia</i>	60
<i>Figura 7: exercício feito por Ângelo sobre leis de Newton</i>	66
<i>Figura 8: resposta de Augusto em relação ao momento de inércia</i>	68
<i>Figura 9: mapa conceitual feito por Augusto</i>	69
<i>Figura 10: resposta de Lauro sobre momento de inércia</i>	76
<i>Figura 11: mapa conceitual feito por Lauro</i>	76
<i>Figura 12: resposta de Guilherme em relação ao momento de inércia</i>	84
<i>Figura 13: resposta de Guilherme sobre pêndulo simples</i>	84
<i>Figura 14: exercício realizado por Guilherme envolvendo movimento de projéteis e energia</i>	85
<i>Figura 15: exercício resolvido por Lígia envolvendo momentum</i>	89
<i>Figura 16: resposta de José Paulo sobre momento de inércia</i>	94
<i>Figura 17: exercício resolvido por José Paulo envolvendo conservação de energia</i>	96
<i>Figura 18: mapa conceitual feito por José Paulo</i>	97
<i>Figura 19: mapa conceitual feito por Júlia</i>	101

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A pesquisa em ensino de Física, nas duas últimas décadas, teve como tema central as *concepções alternativas* dos alunos sobre fenômenos físicos. Estas idéias que os alunos trazem para a sala de aula, geralmente construídas a partir de suas experiências, freqüentemente estão em desacordo com as concepções cientificamente aceitas. Dentro deste tema, merecem especial destaque a área de Mecânica e a questão da *mudança conceitual* (mudança das concepções alternativas dos estudantes para concepções cientificamente aceitas).

O estudo das concepções alternativas teve seu início na década de 70, com o objetivo de identificar as idéias que os alunos utilizavam espontaneamente para resolver problemas e fenômenos científicos (Duit, 1993). A partir dos trabalhos pioneiros de Viennot (1979) e Driver (1973), o grande número de pesquisas realizadas serviu não só para fazer um exaustivo levantamento das concepções alternativas dos alunos, em praticamente todas as áreas da Física Clássica, mas também para permitir identificar algumas de suas características:

- *coerência* - uma concepção coerente seria aquela que não apresenta contradições internas. Sobre esta coerência existe ainda hoje uma polêmica sobre o que está sendo estudado, pois, segundo Pintó, Aliberas, e Gómez, (1996, pg.222), “se algumas concepções alternativas mostram uma coerência interna, o mesmo não se observa em outras, então poderíamos argumentar que a necessidade de coerência só é própria do discurso científico e, portanto, os alunos podem carecer de tal experiência pessoal”.
- *universalidade* - alguns estudos como os de Hewson e Hamlyn (1984) sobre as idéias de adolescentes de língua e cultura africana acerca do conceito de calor e de Mali e Howe (1979) sobre concepções dos alunos do Nepal em relação à Terra e o espaço, entre outros, parecem indicar um certo grau de universalidade nas concepções alternativas. No entanto, não podemos esquecer a intervenção, nas concepções dos alunos, de fatores relacionados com o contexto social e natural.
- *persistência* - Engel e Driver (1986) comprovaram que as concepções baseadas em experiências do dia - a - dia são mais persistentes que as outras. A persistência das concepções alternativas dos alunos se deve à estabilidade de suas idéias, sendo assim, muito resistentes a mudanças. Segundo Driver e Erickson (1983), essas concepções persistem ao longo de períodos muito grandes de tempo, inclusive além das intervenções educacionais destinadas a facilitar sua transformação. Assim, não se pode esperar que num intervalo muito pequeno de tempo se realizem determinadas aprendizagens. Substituir concepções geradas ao longo da vida requer tempo (Driver, 1986).
- *consistência* - consistente é aquela concepção utilizada em contextos diferentes, embora cientificamente equivalentes. “A coerência corresponde ao discurso, a consistência ao aluno” (Pintó et al., 1996). Pensava-se que a consistência das

concepções alternativas dos alunos era devido ao seu caráter fortemente estruturado (Caramazza, 1981; Clement, 1983) mas investigações posteriores derrubaram esta idéia. Engel e Driver (1986) encontraram consistência aparente em nível de grupo, mas não detectaram essa consistência em nível individual. Ao que parece, os estudantes não mostram consistência na utilização de concepções alternativas.

À medida que se ia avançando no conhecimento das concepções alternativas, houve a necessidade de explicá-las em termos mais fundamentais. Em consequência, surgiu a pesquisa sobre as formas de raciocínio. Esse tipo de pesquisa tenta inferir qual poderia ser a lógica interna das argumentações dos alunos, supondo-se que tais argumentações pudessem ser diferentes das utilizadas nas ciências. De acordo com Pintó et al. (1996), é difícil aceitar que as distintas argumentações dos alunos não têm lógica nenhuma (denominador comum, padrão ou esquema interno), apesar de que possam utilizar raciocínios diferentes segundo a situação que enfrentam. Assim, a existência de modos ou padrões de raciocínio poderia dar pautas para compreender a resistência das concepções alternativas. Os verdadeiros obstáculos para qualquer mudança conceitual seriam certos modos de raciocínio bem ancorados.

Dado que as concepções alternativas interferindo com as concepções científicas ensinadas possam ser as responsáveis por uma aprendizagem ineficaz, essas pesquisas sobre concepções alternativas deram origem também a várias propostas para mudança conceitual. Surgiram, então, estratégias para a mudança de concepções das quais as mais conhecidas são: 1. A idéia piagetiana de conflito cognitivo, a qual recorda a visão de Karl Popper que mantém que as teorias são falseadas e então rechaçadas com base em um experimento crucial. “Por muito tempo se tem aceito que a acomodação cognitiva requer alguma experiência que provocaria um estado de desequilíbrio, dissonância ou conflito cognitivo no aluno. Implicitamente se admitia que tal conflito conduziria a uma acomodação cognitiva que apareceria como uma imediata mudança conceitual.” (Nussbaum, 1989, p. 537). 2. O modelo de Posner, Strike, Hewson e Gertzog, (1982), baseado nas visões filosóficas de ciência de Thomas Kuhn, propõe que existem determinadas condições para que haja mudança conceitual: insatisfação com as concepções existentes; que as novas concepções devam ser inteligíveis, parecer plausíveis e sugerir a possibilidade de um programa de investigação frutífero. Segundo Moreira (1993.p.4), tais estratégias sugerem a mudança conceitual como uma substituição de uma concepção por outra na estrutura cognitiva do aprendiz. As pesquisas conduzidas nessa perspectiva verificaram que essas estratégias pouco contribuíram para uma eficaz mudança conceitual. Para Duit (1994. p.5), a visão construtivista esclarece que a mudança conceitual das concepções alternativas dos estudantes em relação a conteúdos (e.g., concepções de calor, energia, combustão) para concepções científicas, não é possível baseada somente em argumentos lógicos. Isto porque, não só as concepções alternativas dos estudantes são fatores determinantes na mudança conceitual, mas também concepções de várias outras espécies, entre elas concepções de Ciência (concepções que os estudantes têm sobre ciência), concepções de ensino e aprendizagem (i.e., concepções meta - cognitivas), atitudes e fatores emocionais, entre outras coisas.

É possível também que as estratégias propostas para mudança conceitual não tenham atingido seu objetivo devido a uma inadequada fundamentação teórica das

perguntas de pesquisa feitas sobre esse fenômeno de interesse. De um modo geral, essas perguntas têm estado baseadas nas chamadas “teorias de aprendizagem” (como por exemplo: Piaget, Bruner, Ausubel, Vigotsky) e essas teorias têm dado resultados muito frágeis em termos de mudança conceitual. Devido a essa fragilidade, parece que nos últimos anos houve uma certa crise na pesquisa em Ensino de Física, na medida em que não se conseguiu a chamada mudança conceitual e os problemas de aprendizagem da Física continuaram.

Assim, parece ser necessário buscar novas teorias, novas estratégias de mudança conceitual, novos referenciais teóricos para tentar recolocar e fundamentar as questões de pesquisa em Ensino de Física. Em nosso caso, nessa busca chegamos à Psicologia Cognitiva e dentro dela ao estudo das representações mentais, em particular dos modelos mentais. O estudo dos modelos mentais na aprendizagem de Física pode significar um novo e interessante enfoque no estudo das idéias científicas dos alunos, e talvez traga importantes conseqüências para o processo ensino/aprendizagem de Física. Resnick (1989), por exemplo, diz que, na linguagem da ciência cognitiva, aprender sobre algo, chegar a compreendê-lo, é construir um modelo mental dele. Isso, obviamente, tem muito a ver com aprender Física.

Johnson-Laird (1983) e Gentner e Stevens (1983) entendem por modelo mental o construto psicológico que os indivíduos formam ao interagir com outras pessoas, com o meio ou com algum artefato tecnológico, e que lhes permite dar conta de tal interação e predizer o comportamento dos sistemas em futuras relações.

De acordo com vários autores e.g., (Pintó et al., 1996; Norman, 1983) construir um modelo mental requer:

1. fazer uma representação interna do sistema, ou seja, traduzir os elementos da realidade em um código próprio em função de nossos interesses;
2. utilizar um processo de inferência (não necessariamente precisa ser um processo da lógica formal);
3. executar o modelo, quer dizer, pôr em funcionamento na mente um processo de simulação qualitativa do funcionamento do sistema exterior que está sendo modelado.

Isto permite ao sujeito avaliar seu modelo mental, e se necessário corrigi-lo. Assim, investigar modelos mentais pode ser uma forma de conseguirmos compreender os raciocínios e concepções dos alunos que não temos conseguido explicar. Nos parece, por exemplo, que o estudo dos modelos mentais é promissor para dar uma resposta a algumas das interrogações colocadas sobre a persistência das concepções alternativas.

Dentro das várias propostas de estudo das representações mentais existentes na Psicologia Cognitiva, optamos por trabalhar com a teoria de Johnson-Laird (1983) por ser a mais articulada e por ser uma teoria que, assim como a Física, trabalha fundamentalmente com modelos (mentais).

Pode ser que estudando as representações mentais que os alunos têm, tanto as que correspondem às concepções alternativas quanto as construídas a partir dos

conhecimentos científicos ensinados, possamos aprender sobre o processo de construção e a possível mudança dessas representações, bem como verificar qual o seu papel no processo de aprendizagem.

O Grupo de Ensino de Física da UFRGS tem um projeto de pesquisa sobre “Representações Mentais em Aprendizagens de Física: Imagens, Proposições e Modelos Mentais”. Dentro desse projeto, foi apresentada em agosto de 1995, a dissertação de mestrado de Ileana Maria Greca (1995) sobre “Tipos de Representações Mentais - Modelos, Proposições e Imagens - Utilizadas por Estudantes de Física Geral Sobre o Conceito de Campo Eletromagnético”, cujo objetivo foi investigar o tipo de representações mentais, com relação ao conceito físico de campo, em particular no domínio do Eletromagnetismo, que era utilizado por estudantes de Física Geral e por físicos quando resolviam problemas e questões de Física. A pesquisadora entrevistou físicos e estudantes de pós graduação em Física com respeito à forma como eles usam o conceito de campo eletromagnético quando fazem Física. Paralelamente, ela observou cerca de 50 estudantes de Engenharia durante dois semestres letivos com o objetivo de determinar o tipo de representação mental que eles utilizavam quando resolviam problemas e questões propostas nas tarefas instrucionais. Os resultados (Greca e Moreira, 1996, 1997; Moreira e Greca, 1996) desta pesquisa apontaram a importância dos modelos mentais para a compreensão dos modelos físicos. Notou-se que os especialistas usam modelos mentais baseados principalmente em proposições, ou basicamente em imagens, ou, ainda, numa mistura de ambos. Foi percebido também que os estudantes trabalham geralmente com proposições que não são lidas à luz de modelos mentais dos conceitos físicos envolvidos, daí sua dificuldade para interpretar situações e teorias físicas (Greca, 1995). Neste primeiro estudo, o conceito de campo eletromagnético foi escolhido por se tratar de um conceito com o qual os alunos tradicionalmente têm dificuldades e por ser um conceito sobre o qual eles praticamente não têm concepções alternativas. Sendo animadores estes resultados obtidos, passamos a outra área da Física, a Mecânica.

Inicialmente, foi realizada, pela estudante de iniciação científica Luciana Mallmann, uma revisão bibliográfica na área de Mecânica. Esta revisão abrangeu as principais revistas de ensino de ciências, nacionais e internacionais, desde 1980 até 1994, obtendo-se dados sobre a metodologia empregada pelos autores para detectar as concepções alternativas dos estudantes, o tipo de sujeito pesquisado, o local da obtenção dos dados, o marco teórico e/ou referências a outros autores, assim como as estratégias propostas para a mudança conceitual dos alunos. Foi encontrada uma grande quantidade de estudos sobre concepções alternativas dos alunos nesta área, mas muito pouco sobre modelos mentais.

Em prosseguimento, iniciamos o trabalho que será descrito nesta dissertação, no qual tentamos identificar não só o tipo de representação mental utilizada pelos alunos durante o curso de Física I, mas também modelos mentais que estes alunos constroem sobre conceitos e situações físicas da Mecânica Newtoniana. Estes modelos poderiam ser tanto aqueles que eles trazem para a sala de aula, ou seja, os modelos que eles já possuíam para explicar fenômenos do cotidiano e que muitas vezes entram em conflito com o que é ensinado na sala de aula, como os modelos que pudessem vir a ser formados durante a instrução. É importante salientar que não estávamos buscando as concepções alternativas dos alunos, estávamos tentando

identificar os modelos mentais em que essas concepções possivelmente estariam baseadas.

Uma de nossas hipóteses era de que os alunos que conseguissem formar modelos mentais poderiam dar indícios da utilização desses modelos, por exemplo, através do uso acentuado de imagens ou fazendo previsões que não estivessem explicitamente evidentes; conseguiriam ter uma boa compreensão das teorias apresentadas, ou seja, seriam capazes de explicar a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela e não se deteriam simplesmente na manipulação de fórmulas. Esses modelos poderiam ser do tipo imagísticos, proposicionais ou ainda, parcialmente imagísticos e parcialmente proposicionais. 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.

Reciprocamente, outra hipótese foi a de que os alunos que não formassem modelos mentais tenderiam a trabalhar somente com representações proposicionais isoladas, desvinculadas de modelos, não conseguiriam compreender, ou melhor, explicar a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela, voltando para seus modelos primitivos (aqueles que eles teriam antes de iniciarem o curso) em situações ou contextos diferentes daqueles onde tivessem simplesmente que fazer uso de fórmulas.

É importante salientar que o nosso objetivo não foi o de prescrever métodos e/ou técnicas novas de ensino, mas sim o de nos propormos a evidenciar alguns elementos de análise que podem ser úteis para professores e/ou pesquisadores. Tentamos recolocar e fundamentar as questões de pesquisa em Ensino de Física em um novo referencial teórico, o dos modelos mentais de Johnson-Laird.

Nos capítulos seguintes detalharemos o estudo feito: no próximo focalizaremos a teoria que o fundamenta, a dos modelos mentais de Johnson-Laird. No terceiro, falaremos sobre algumas pesquisas feitas sobre modelos mentais. No quarto, descreveremos a metodologia empregada na investigação e analisaremos os dados da pesquisa. No quinto e último, apresentaremos uma síntese dos resultados e faremos uma conclusão do trabalho.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

REPRESENTAÇÕES PROPOSICIONAIS, MODELOS MENTAIS E IMAGENS.

As representações mentais, ou representações internas, são maneiras de “representar” o mundo externo. “As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais internas dele” (Eisenck e Keane, 1990, p.202).

Nosso estudo é baseado na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird, segundo a qual as representações mentais podem existir na forma de *representações proposicionais*, *modelos mentais* e *imagens*. Representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são correlatos perceptivos dos modelos sob um particular ponto de vista (Johnson-Laird, 1983, p.165).

Por exemplo, a situação “*O professor está na sala de aula*” poderia ser representada mentalmente como uma proposição, já que é verbalmente expressável; como um modelo mental, de qualquer professor em qualquer sala de aula ou como de uma imagem, de um professor em particular em uma certa sala de aula.

A característica essencial de um modelo mental é sua funcionalidade. Um modelo é uma representação de alto nível na qual, de um ponto de vista funcional, uma notação simbólica arbitrária corresponde a um aspecto do mundo real ou imaginário. O sistema interpretativo da mente trata um elemento nesta notação, A' , como correspondente a uma entidade, A , no mundo.

Um modelo mental é uma representação interna de informações que correspondem analogamente àquilo que está sendo interpretado (Moreira, 1997, p. 2).

Um modelo mental é composto de elementos e relações que representam um estado de coisas específico, estruturados de uma maneira adequada ao processo sobre o qual deverão operar. Não existe um único modelo mental para um determinado estado de coisas.

O modelo mental de uma escola, por exemplo, possui diferentes versões conforme os diferentes usos que se possa fazer de uma escola: reconhecê-la, projetá-la, construí-la, entrar nela, falar sobre ela. Porém, cada versão deve incluir o núcleo central que identifica o modelo como sendo de escola.

Os modelos mentais são, portanto, uma forma de representação analógica do conhecimento; existe uma correspondência direta entre entidades e relações presentes no modelo e as entidades e relações que se buscam representar (Moreira, 1997, p.3).

Neste capítulo, faremos uma descrição desta teoria. Começaremos por mencionar a questão do raciocínio silogístico; a seguir, será exposta a polêmica sobre as imagens e as representações proposicionais. Logo após, falaremos das representações proposicionais e dos modelos mentais, para depois focar a natureza dos modelos mentais e a tipologia destes.

Começaremos citando Johnson-Laird, para esclarecer o papel dos modelos mentais.

“Podemos supor que os modelos mentais desempenham um papel central e unificador na representação de objetos, estados de coisas, seqüências de acontecimentos. Capacitam os indivíduos para realizar inferências e predições, compreender os fenômenos, decidir que atitude tomar, assim como controlar sua execução; permitem utilizar a linguagem para criar representações compatíveis com as que derivam do conhecimento direto do mundo; e relacionam as palavras com o mundo por meio de conceitos e percepções” (Johnson-Laird, 1983, p. 397).

2.1 Modelos mentais e o raciocínio silogístico

Aristóteles formulou uma série de princípios que governam os silogismos. Silogismos são constituídos de duas premissas e uma conclusão. Por exemplo:

Todos os homens prudentes evitam dirigir em alta velocidade.

Todos os Físicos são homens prudentes.

Todos os Físicos evitam dirigir em alta velocidade.

Aristóteles argumentou que um silogismo da forma:

Todo A é B

Todo B é C

λ Todo A é C

era perfeito porque a transitividade da conexão entre os termos resultava óbvia imediatamente. Afirmava que a validade do argumento era auto-suficiente e que não necessitava apoio maior.

Contudo, o desenvolvimento da lógica formal não tem ajudado os psicólogos a elucidar os processos mentais que subjazem ao processo de inferência. Existe uma intenção de considerar a lógica como um modelo de competência, como um conjunto de regras que os seres humanos têm interiorizadas em alguma parte, e que o apartar-se delas é uma conseqüência das limitações da execução. Esta visão se encontra nos trabalhos de Piaget e seus colaboradores. O problema é que existem muitas lógicas distintas. Por isso precisamos saber qual ou quais são as que os seres humanos

possuem internamente, e a natureza de sua formulação mental. (Johnson-Laird, 1987, p.185)

Já que seres humanos não se preocupam muito em provar teoremas lógicos e sim de passar logicamente de uma afirmação contingente a outra, a representação mental da lógica podia consistir principalmente em regras de inferência internalizadas. Mas que regras de inferências possuímos? Não temos acesso a elas de modo introspectivo, não está claro como poderíamos tê-las adquirido nem como poderíamos passá-las às seguintes gerações, sobretudo se levarmos em conta que muitas das inferências da vida cotidiana parecem não serem válidas, ao menos de forma superficial. É difícil imaginar que a lógica seja inata. Deve existir algo de errado sobre a concepção do raciocínio silogístico. (ibid.)

De acordo com Johnson-Laird (1975), existem critérios para avaliar teorias sobre o raciocínio silogístico. Uma teoria adequada do raciocínio silogístico deve satisfazer os seguintes pontos:

- *deve explicar os erros sistemáticos e as tendências habituais, que se observam nos experimentos, assim como no fato de que são extraídas muitas inferências válidas;*
- *deve proporcionar uma explicação de como as crianças adquirem a habilidade de levar a cabo inferências dedutivas;*
- *deve ser ao menos compatível com os desenvolvimentos da lógica formal, quer dizer, deve permitir que os seres humanos sejam capazes de mostrar um pensamento racional e possam formular princípios que governem as inferências válidas.*

A teoria de Johnson-Laird, baseada nos modelos mentais, satisfaz, segundo ele, estes critérios.

Os modelos mentais podem ser gerados de forma que representem qualquer tipo de informação quantificada. Podem explicar quantificadores como *a maioria, muitos, vários e poucos*. Possibilitam a elaboração de distinções entre *cada um e todos*, e entre *alguns e todos*. Os modelos também possibilitam fazer uma distinção entre inclusão de classes e pertencer a uma classe.

Esta teoria não contém regras de inferência; seu componente lógico consiste em um procedimento que verifica modelos mentais: seu objetivo é o de estabelecer a falsidade de uma suposta conclusão, destruindo o modelo a partir do qual se deriva; mas as manipulações que tentam levar a cabo este processo de destruição estão limitadas, na medida em que nunca devem dar como resultado um modelo que seja incoerente com as premissas. (op.cit.p.193)

Embora a teoria dos modelos mentais não contenha nenhuma regra de inferência, é completamente compatível com os desenvolvimentos da lógica formal.

A teoria dos modelos mentais e a lógica têm características similares, são compatíveis. A teoria dos modelos mentais explica que os seres humanos são capazes de ter um pensamento racional e se não é levada em conta uma prova destrutiva do modelo que acreditam, caem em erro. (Johnson-Laird, 1987, pp.195/196)

2.2 A polêmica sobre imagens e representações proposicionais

Seres humanos são capazes de formar e manipular imagens mentais mesmo na ausência de estímulos visuais correspondentes. Não há dúvidas a respeito da existência do fenômeno das imagens mentais, o problema é a explicação deste fenômeno e a natureza última das imagens como representações mentais.

Existem teóricos que afirmam que a experiência subjetiva de uma imagem é um epifenômeno (fenômeno cuja presença ou ausência não altera os fenômenos que são levados principalmente em consideração), e que a sua expressão subjacente tem uma forma proposicional (Anderson e Bower, 1973; Baylor, 1971; Kieras, 1978; Moran, 1973; Palmer, 1975; Pylyshyn, 1973). As principais características das representações proposicionais, na medida em que possa existir um consenso, são as seguintes: (Johnson-Laird, 1987, p. 204)

- 1. Os processos mentais que estão por trás de uma expressão proposicional são similares aos que estão por trás da percepção de um objeto ou imagem.*
- 2. O mesmo elemento, ou parte de um objeto, pode ser referido por meio de diferentes proposições que constituem a descrição do objeto. Quando as proposições se encontram representadas na forma de uma rede semântica, a representação é coerente e integrada, e cada elemento do objeto representado ocorre só uma vez, estando facilmente disponíveis todas as suas relações com os outros elementos.*
- 3. Uma representação proposicional é discreta e não contínua. Pode representar processos contínuos mediante pequenos incrementos sucessivos das variáveis relevantes, tais como o ângulo do eixo principal de um objeto em relação a um marco referencial. Assim, uma pequena mudança na representação pode corresponder a uma pequena mudança no objeto (ou em sua aparência).*
- 4. As proposições são verdadeiras ou falsas em relação a um objeto. Suas representações são abstratas na medida em que não aparecem nem palavras, nem figuras, embora possam ser necessárias para proporcionar um código interlingüístico entre elas (Chase e Clark, 1972). Sua estrutura não é analógica em relação aos objetos que representam.*

Por outra parte, existem os que argumentam que uma imagem é diferente da mera representação proposicional (Bugelski, 1970; Kosslyn e Pomerantz, 1977; Paivio, 1971, 1977; Shephard, 1975, 1978; Sloman, 1971). Estes autores atribuem uma ampla variedade de propriedades às imagens. O consenso, na medida em que houver, implica os seguintes pontos, segundo Johnson-Laird , 1987, p. 203:

- 1. Os processos mentais que estão por trás de uma imagem são parecidos com os que estão por trás da percepção de um objeto, desenho ou fotografia.*
- 2. Uma imagem é uma representação coerente e integrada na qual cada elemento do objeto representado ocorre tão só uma vez tendo fácil acesso a todas suas relações com outros elementos.*
- 3. Uma imagem é suscetível de contínuas transformações mentais, tais como rotações ou expansões, nas quais os estados intermediários correspondem a estados*

intermediários (ou ponto de vista) de um objeto real que sofre as transformações físicas correspondentes. Assim, uma pequena mudança na imagem corresponde a uma pequena mudança no objeto (ou sua aparência).

4. As imagens representam objetos. São formas analógicas, na medida em que as relações estruturais entre suas partes correspondem aquelas entre as partes do objeto representado. Além disso, pode existir um isomorfismo entre uma imagem e seu objeto, embora essa afirmação só tenha sentido se considerarmos o objeto decomposto em suas partes, mantendo-se certas relações entre elas.

Os críticos das imagens argumentam que é possível construir uma imagem a partir de sua descrição proposicional, mas tal imagem não introduz nenhuma informação nova, simplesmente faz com que a descrição armazenada seja mais acessível e mais fácil de manipular.

As duas formas de representações comportam certas propriedades: diferem basicamente na quarta característica citada anteriormente (a função desempenhada pela representação). Por outro lado, sua aparente semelhança e a idéia de que se transformam uma em outra facilmente tem levado certos teóricos a afirmar que a polêmica não é nem fundamental (Norman e Rumelhart, 1975) nem solucionável (Anderson, 1976, 1978).

Em particular, Anderson (1978) argumenta que “qualquer afirmação sobre uma representação particular é impossível de avaliar, exceto se especificarmos os processos que operam sobre esta representação”. O autor mostra também que uma teoria baseada em imagens pode ser imitada por outra baseada em proposições sempre e quando sejam satisfeitas certas condições.(op.cit.p.205)

Para Johnson-Laird, as imagens são interpretadas como uma perspectiva particular de um modelo mental, representando aspectos perceptíveis dos objetos. São muito específicas e não possuem capacidade explicativa, pois são “visões do modelo”. “Como resultado da percepção ou imaginação, elas representam aspectos perceptíveis dos correspondentes objetos no mundo real”. (Johnson-laird.1983.p.157)

Assim, para Johnson-Laird as imagens são um tipo de representação mental e, para ele, existem também os modelos mentais e as representações proposicionais.

2.3 As representações proposicionais

A natureza de uma representação proposicional depende do que seja uma proposição. Uma das concepções, sobre o que haveria muito a dizer, é uma generalização da idéia mais ampla de que compreender uma proposição é saber como deveria ser o mundo para que fosse certa. Se considerarmos todas as formas possíveis que o mundo possa ter, além de como é realmente, isto é, o conjunto de todos os “mundos possíveis”, então, em princípio, uma proposição é verdadeira ou falsa para cada um dos membros do conjunto. Assim, podemos considerar que uma proposição é uma função de todos os mundos possíveis no conjunto dos valores de verdade. (Johnson-Laird , 1987, p. 208)

Uma representação mental de uma proposição pode ser tratada como uma função que toma como argumento um certo estado de coisas (percebidas, recordadas ou imaginadas). O fato de uma representação proposicional ser uma função, não implica que deva avaliar-se automaticamente cada vez que se pensa nela; de fato, nem sequer implica que esta função possa ser avaliada. Compreender uma proposição é análogo a compilar uma função, mesmo que sua verificação seja em relação à avaliação desta função. (op.cit.p.209)

Se uma proposição é uma função, então sua representação é a representação de uma função. A forma de representar uma função é expressá-la mediante uma linguagem e assim como Fodor et al (1975), e Fodor (1976) têm argumentado, é útil considerar uma representação proposicional como uma expressão em uma linguagem mental.

As representações proposicionais são geralmente interpretadas como representações mentais que consistem em cadeias de símbolos, em uma linguagem própria da mente. No entanto, na visão de Johnson-Laird, “uma representação proposicional é uma representação mental de uma proposição verbalmente expressável” (Johnson-Laird,1983, p.155). Estas representações são interpretadas à luz dos modelos mentais, de modo que entendê-las é saber como seria o mundo caso elas fossem verdadeiras e para isso são necessários modelos mentais.

2.4 Os modelos mentais

A teoria dos modelos mentais apresentada por Johnson-Laird em seu livro “Mental Models” (1983), diz que a formulação moderna do conceito de modelo mental deve-se às idéias de Kenneth Craick (1943). Ele diz que seres humanos traduzem eventos externos em modelos internos e raciocinam manipulando estas representações, ou seja, traduzindo-os em símbolos resultantes desta manipulação de representações em ações ou avaliações de fatos externos.(Johnson-Laird, 1990.p.469)

Craick escreveu: *“Se o organismo tem na cabeça um ‘modelo em escala reduzida’ da realidade exterior e de suas possíveis ações, então é capaz de por à prova diferentes alternativas, concluir qual é a melhor delas, raciocinar perante situações futuras antes que estas aconteçam, utilizar o conhecimento de sucessos passados ao tratar com o presente e com o futuro, e, em qualquer ocasião, raciocinar de uma forma mais segura, completa e competente nas emergências que enfrentar”*. (Johnson-Laird, 1987, p.181)

A partir dessa idéia, Johnson-Laird diz que a compreensão está, essencialmente, baseada na existência de um “modelo de trabalho” na mente de quem compreende. Quando se explica algo a alguém é necessário dar uma espécie de manual ou receita para que a pessoa seja capaz de construir um modelo de trabalho. Esse manual pode ser bem ou mal sucedido, dependendo do conhecimento e habilidade da pessoa para compreendê-lo.

Ele diz que esses diferentes tipos de representações são logicamente distinguíveis entre si em algum nível de análise e que existem diferentes opções para codificar a informação. “Modelos, imagens e representações proposicionais são funcionalmente e estruturalmente distinguíveis entre si”. (Johnson-Laird.1983.p158)

Johnson-Laird relaciona os modelos mentais com representações proposicionais e com as imagens, que são tratadas como uma classe especial de modelos. Na sua teoria, um modelo mental pode ser definido como uma representação de um conhecimento, a longo ou a curto prazo, que satisfaz as seguintes condições:

1. *sua estrutura corresponde à estrutura da situação que ele representa; é um análogo estrutural dessa situação;*
2. *pode consistir de elementos correspondentes a entidades perceptíveis (neste caso ele pode ser concebido como uma imagem perceptível ou imaginária), ou pode conter elementos correspondentes a noções abstratas, cujo significado depende dos procedimentos para manipulação dos modelos;*
3. *ao contrário de outras formas de representações, os modelos não contêm variáveis.*

Os modelos mentais e as representações proposicionais se diferenciam baseados em distintos critérios. Um deles é sua função: uma representação proposicional é uma descrição, que em último termo é verdadeira ou falsa em relação ao mundo. Mas os seres humanos não apreendem, diretamente o mundo; mas sim, possuem uma representação interna dele. Por conseguinte, uma representação proposicional é verdadeira ou falsa com relação a um modelo mental do mundo. Em princípio essa diferença funcional entre modelos e proposições deveria ser a única existente: não haveria porque haver nenhuma diferença, nem no conteúdo nem na forma. No entanto, no caso dos modelos mentais, existem razões para acreditar que sua forma é diferente da representação proposicional. Um modelo representa um estado de coisas e, conseqüentemente, sua estrutura é arbitrária, tal e como é a de uma representação proposicional, mas desempenha um papel representacional ou analógico direto. Sua estrutura reflete aspectos relevantes do estado de coisas correspondente no mundo. (Johnson-Laird, 1987, p.210/211)

As imagens, como os modelos, têm a propriedade da arbitrariedade. Por exemplo, não podemos formar uma imagem de um triângulo geral, mas sim só uma que se refere a um triângulo específico. Por conseguinte, se raciocinarmos sobre a base de um modelo ou uma imagem devemos tomar precauções para assegurarmos que nossa conclusão vai mais além de um caso específico que temos considerado. (op.cit.p.211)

É interessante comparar os modelos e as proposições a partir de um critério de economia. Se uma série de afirmações está altamente indeterminada, e não se pode extrair nenhuma inferência profunda, pode ser mais econômico recordar as proposições feitas, e não interpretá-las na forma de um modelo: uma representação proposicional simples bastará, enquanto que será necessário empregar vários modelos alternativos para representar exatamente o estado de coisas. (op.cit.pp.212/213)

Uma representação proposicional se obtém diretamente do discurso: quando recordadas, tem-se grandes possibilidades de poder recordar as orações literais na quais se baseou; ao contrário, um modelo mental, enquanto que relativamente fácil de recordar, não contém informação direta a cerca das orações nas quais se baseou, e não existe nenhuma garantia de que se possam recordar literalmente. (op.cit.p.219)

2.4.1 A natureza dos modelos mentais

Johnson-Laird diz que os modelos mentais estão, supostamente, na cabeça das pessoas, e sua exata constituição é uma questão empírica, ou seja, de pesquisa. Porém, existem princípios que supõem vínculos à natureza dos modelos mentais limitando tais modelos. A existência destes princípios se deve ao fato de que é difícil dizer e identificar exatamente o que são modelos mentais e como eles diferem de outras formas postuladas de representações mentais como os esquemas de Piaget, os subsunçores de Ausubel e os construtos pessoais de Kelly.

O primeiro é o da doutrina do funcionalismo.

1. *O princípio da computabilidade*: modelos mentais são computáveis. (Johnson-Laird, 1983, p.398). Quer dizer, devem poder ser descritos na forma de procedimentos efetivos (aqueles procedimentos que podem ser levados a cabo sem implicar nenhuma decisão na base da intuição) que possam ser executados por uma máquina. (Moreira, 1997, p.10)

O segundo decorre de que o cérebro é um organismo finito.

2. *O princípio da finitude*: um modelo mental deve ser finito em tamanho e não pode representar diretamente um domínio infinito. (Johnson-Laird, 1983, p.398)

O terceiro vínculo levanta a questão primária dos modelos mentais, que é, naturalmente, a representação de estado de coisas. Já que existe um número infinito de estados de coisas que poderiam ser representados, mas somente um mecanismo finito para construí-los, segue-se que modelos devem ser construídos a partir de constituintes mais básicos.

3. *O princípio do construtivismo*: um modelo mental é construído de elementos básicos arranjados em uma estrutura particular para representar um estado de coisas. (op.cit.p.398)

Modelos mentais podem tomar outras formas e servir a outros propósitos e, em particular, podem ser usados na interpretação da linguagem e para fazer inferências. Essas regras são uma extensão natural de sua função perceptiva: se a percepção do mundo é baseada em modelo, então o discurso sobre o mundo deve ser baseado em modelo, e a habilidade para fazer inferências do que nós percebemos ou do que nós contamos (falamos) permite-nos antecipar até eventos muito remotos. Discurso, no entanto pode ser de mundos fictícios ou imaginários, e daí nossa propensão para

interpretá-lo pela construção de modelos dos estados de coisas, porque nos libera das algemas da realidade perceptiva. (op.cit.p.407)

4. *O princípio da economia nos modelos*: a descrição de um único estado de coisas é representada por um só modelo mental mesmo se a descrição é incompleta ou indeterminada. (op.cit.p.408)

No entanto, um modelo mental único pode representar um número infinito de possíveis estados de coisas, porque o modelo pode ser revisado recursivamente (repetidamente). Existem limites, naturalmente, na revisão de um modelo mental. O processo é ultimamente governado pelas condições de verdade do discurso em que o modelo é baseado. (op.cit.p.408)

A economia representacional conduz ao seguinte vínculo.

5. *O princípio da não-indeterminação*: modelos mentais podem representar indeterminações diretamente se e somente se seu uso não for computacionalmente intratável, i.é., se não existir um crescimento exponencial em complexidade. Este vínculo é um corolário do primeiro e do anterior: se se tratar de acomodar cada vez mais indeterminações em um modelo mental isso levará rapidamente a um crescimento intratável no número de possíveis interpretações do modelo que, na prática, ele deixará de ser um modelo mental. (op.cit.p.409)

Já que modelos mentais podem ter várias formas e servir muitas propostas, seus conteúdos são muito variados. Eles podem representar relações espaciais entre entidades e relações temporais ou causais entre eventos. Um modelo mais rico, imaginário, do mundo pode ser usado para computar as relações de projeção requeridas para uma imagem. Modelos têm um conteúdo e forma que cabem para seu propósito, se ele é para explanar, predizer ou para controlar (cf. os estudos de peritos relatados em Gentner e Stevens, 1983). Sua estrutura corresponde às estruturas percebidas ou concebidas do mundo e é, assim, mais vinculada que seus conteúdos. (op.cit.p.410)

6. *O princípio da predicabilidade*: um predicado pode ser aplicável para todos os termos aos quais um outro predicado é aplicável, mas eles não podem ter âmbitos de aplicação que não se intersectam. (op.cit.p.411)

Assim, por exemplo, os predicados “animado” e “humano” são aplicáveis a certas coisas em comum, “animado” aplica-se a algumas coisas as quais “humano” não se aplica, mas não existe nada que “humano” se aplique e “animado” não. A virtude desse vínculo é que ele permite identificar um conceito artificial ou não natural. Um conceito que fosse definido por predicados que não tivessem nada em comum violaria o princípio da predicabilidade e não estaria, normalmente, representado em modelos mentais. (ibid.).

Quais são os conceitos primitivos (princípio do construtivismo) a partir dos quais todos os modelos mentais são construídos? Esta pergunta leva ao sétimo princípio.

7. *O princípio do inatismo*: todos os primitivos conceituais são inatos (op. cit. p.411). Primitivos conceituais subjazem nossas experiências perceptivas, habilidades motoras, estratégias, enfim, nossa capacidade de representar o mundo (ibid.). Indefinibilidade é uma condição suficiente, mas não necessária para identificar conceitos primitivos. Movimento, por exemplo, é uma palavra que corresponde a um primitivo conceitual, mas que pode ser definida. Embora proponha este vínculo aos modelos mentais, Johnson-Laird rejeita o inatismo extremo de que todos os conceitos são inatos embora alguns tenham que ser “disparados” pela experiência. Ele defende a aprendizagem de conceitos a partir de primitivos conceituais inatos ou de conceitos previamente adquiridos (p. 412). Além dos primitivos conceituais inatos, ele admite também a existência de primitivos procedimentais que são acionados automaticamente quando um indivíduo constrói um modelo mental. Os primitivos procedimentais não podem ser adquiridos através da experiência porque a representação mental da experiência já requer habilidade de construir modelos da realidade a partir da percepção. Estes primitivos devem ser inatos. (op. cit. p. 413)

A análise lexicológica levada por Miller e Johnson-Laird (1976) produziu um terceiro vínculo na estrutura e organização da semântica primitiva e conseqüentemente nos constituintes dos modelos mentais.

8. *O princípio do número finito de primitivos conceituais*: existe um conjunto finito de primitivos conceituais que origina um correspondente conjunto de campos semânticos e outro conjunto finito de conceitos, ou “operadores semânticos”, que ocorre em cada campo semântico servindo para construir conceitos mais complexos a partir dos primitivos subjacentes. (op.cit.p.413)

O campo semântico revelado pela análise inclui forma, cor, pessoa, movimento, percepção, cogitação, emoção, ação corporal, possessão e comunicação. Cada campo é refletido no léxico por um grande número de palavras compartilhando um conceito comum no núcleo de seus significados. Verbos da percepção visual, como por exemplo avistar, vislumbrar, espiar, ver, examinar e olhar, contêm um núcleo subjacente que corresponde ao conceito de ver. Os operadores semânticos incluem conceitos de: tempo, espaço, possibilidade, permissibilidade, causa, intenção. Assim, por exemplo, se uma pessoa vê algo, ela focaliza seus olhos num intervalo de tempo com a intenção de ver o que acontece. Os campos semânticos provêm nossa concepção sobre o que existe no mundo, sobre o mobiliário do mundo, enquanto os operadores semânticos provêm nosso conceito sobre várias relações que podem ser inerentes a esses objetos. (op.cit.pp.413,414)

O argumento que todo conhecimento do mundo depende de modelos mentais, leva ao seguinte vínculo.

9. *O princípio da identidade estrutural*: as estruturas dos modelos mentais são idênticas às estruturas dos estados de coisas, percebidos ou concebidos, que os modelos representam. (op.cit.p.419)

Esse vínculo decorre, em parte, da idéia de que as representações mentais devem ser econômicas e, por isso, cada elemento de um modelo mental, incluindo suas relações estruturais, deve ter um papel simbólico. Não deve haver na estrutura do modelo nenhum aspecto sem função ou significado. (op.cit.p.419)

2.4.2 A tipologia dos modelos mentais

Existem certas questões fundamentais sobre modelos mentais com o objetivo de clarear seu status teórico. A resposta destas questões têm revelado um número de vínculos nos possíveis modelos mentais. Modelos mentais podem conter elementos básicos que correspondem a entidades no mundo: as propriedades desses elementos básicos e a relação entre eles correspondem a nossa concepção de estados de coisas que os modelos representam e essas correspondências são aplicadas nas relações abstratas tais como propriedades. Há uma importante distinção entre “modelos físicos” e “modelos conceituais” segundo Johnson-Laird. Modelos físicos representam o mundo físico; modelos conceituais representam coisas mais abstratas. (op.cit.p.422)

Ele considera seis tipos de modelos físicos:

a) *modelo relacional simples* é um quadro estático consistindo de um conjunto finito de elementos básicos que representam um conjunto finito de entidades físicas, de um conjunto finito de propriedades dos elementos básicos que representam as propriedades físicas das entidades e de um conjunto finito de relações entre os elementos básicos que representam relações físicas entre as entidades. (op.cit.p.422)

b) *modelo espacial* consiste de um modelo relacional em que somente as relações existentes entre as entidades físicas representadas são espaciais e o modelo representa essas relações pela localização de elementos básicos dentro de um espaço dimensional (tipicamente de duas ou três dimensões). Este tipo de modelo pode satisfazer as propriedades do espaço métrico ordinário, em particular a continuidade psicológica de suas dimensões e a desigualdade triangular (a distância entre dois pontos nunca é maior que a soma das distâncias entre cada um deles e um terceiro ponto qualquer). (op.cit.p.422)

c) *modelo temporal* consiste de uma seqüência de quadros espaciais que ocorre em uma ordem temporal correspondendo à ordem temporal dos eventos (embora não necessariamente no tempo real). (op.cit.p.422)

d) *modelo cinemático* consiste de um modelo temporal que é psicologicamente contínuo. O modelo representa mudanças e movimentos das entidades representadas sem descontinuidades temporais. Tal modelo pode naturalmente ocorrer em tempo real, e ocorrerá certamente assim se o modelo derivar da percepção. (op.cit.p.423)

e) *modelo dinâmico* é um modelo cinemático no qual existem também relações entre certos quadros, representando relações causais entre os eventos descritos. (op.cit.p.423)

f) *imagem* é uma representação, centrada no observador, das características visíveis de um modelo espacial tridimensional ou cinemático subjacente. Corresponde a uma visão (projeção) do objeto ou evento representado no modelo subjacente. (op.cit.p.423)

Estes seis tipos de modelos podem ser classificados sob a forma geral de modelos “físicos” no sentido de que, com exceção da causalidade, correspondem diretamente aos modelos físicos do mundo. Eles podem representar situações perceptíveis, mas não podem representar relações abstratas ou qualquer outra coisa além de situações físicas determinadas. (op.cit.p.423)

É preciso fazer uma distinção entre sistema físico, modelo conceitual do sistema físico e modelo mental do sistema físico. Segundo Norman (1983), o modelo conceitual é um modelo preciso, consistente e completo do sistema físico que é inventado para facilitar a construção de um modelo mental (que não é preciso, consistente e completo, mas deve ser funcional) adequado (com poder explicativo e preditivo) do sistema físico. Os modelos conceituais são inventados por pessoas que operam mentalmente com modelos mentais. Para identificar modelos mentais de outras pessoas é preciso ter um modelo de modelo mental, isto é, um modelo conceitual mental.

Modelos mentais não derivados da percepção podem ser construídos para representar situações verdadeiras, possíveis ou imaginárias. Tais modelos podem, em princípio, ser físicos ou conceituais, mas, em geral, são construídos a partir do discurso e este requer um modelo conceitual. Modelos conceituais por não terem o referencial do mundo físico exigem, mais do que os modelos físicos, um mecanismo de auto - revisão recursiva. (Moreira ,1997, p.15)

Para Johnson-Laird existem quatro tipos de modelos conceituais:

a) modelo monádico: representa afirmações sobre individualidades, suas propriedades e identidades entre elas. Ele consiste de três componentes (Johnson-Laird, 1983, p.425)

- i. um número finito de elementos representando entidades individuais e propriedades;
- ii. duas relações binárias, identidade(=) e não identidade(\neq);
- iii. uma notação especial para indicar que é incerto se existem determinadas identidades.

Por exemplo, o modelo conceitual monádico da asserção “Rafael é Físico” pode ser o seguinte:

$$\text{Rafael} = \text{Físico} \\ (\text{Físico})$$

onde o elemento Rafael é uma notação¹ para indicar que o correspondente elemento mental representa um indivíduo que é Rafael. A notação de incluir um elemento entre parêntesis corresponde a essa notação especial dos modelos mentais conceituais que indica que é incerto se a individualidade correspondente existe ou não no domínio do modelo. Quer dizer, pode haver Físico que não seja Rafael.

¹ Obviamente, estas notações são arbitrarias; é improvável que se venha saber como estes elementos são de fato representados na mente. (Moreira, 1997. p. 17)

Um modelo monádico pode acomodar só asserções simples de um único predicado indicando propriedades, identidades e não identidades. Para asserções mais gerais é necessário empregar um outro tipo de modelo, o relacional. (op.cit.p.425)

b) modelo relacional: agrega um número finito de relações, possivelmente abstratas, entre as entidades individuais representadas em um modelo monádico. (ibid.). Este modelo é requerido para representar asserções do tipo “existem mais as do que bês”, que requer uma representação do seguinte tipo:

a
a - b
a - b
a

Para representar um discurso, é necessário a introdução de modelos mentais de relação entre símbolos e suas correspondentes entidades no mundo.

c) modelo meta-lingüístico: contém elementos correspondentes a certas expressões lingüísticas e certas relações abstratas entre elas e elementos do modelo de qualquer tipo (incluindo o próprio modelo meta-lingüístico). (op.cit.p.426). Uma asserção tal como:

Um dos operários é chamado ‘João’

requer o seguinte tipo de modelo meta - lingüístico:

operário
João → operário
operário

onde as aspas simples são usadas para significar um elemento básico representando a expressão lingüística, e a flecha denota a relação de referência: a expressão lingüística “João” se refere (→) a tal operário.

d) modelo conjunto teórico: é aquele que contém um número finito de elementos básicos que representam diretamente conjuntos. Ele pode conter um grupo finito de elementos básicos associados designando as propriedades abstratas do conjunto e um grupo finito de relações (incluindo identidade e não identidade) entre elementos básicos representando conjuntos. (op.cit.p.428)

Por exemplo, vamos considerar a seguinte asserção: Algumas bibliografias listam elas mesmas outras não.

Um modelo mental na forma

$$b_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{“}b_1\text{”} \\ \text{“}b_2\text{”} \\ \text{“}b_3\text{”} \end{array} \right.$$

representa o fato que a bibliografia, b_1 , consiste de três nomes de bibliografias incluindo o dela.

Analogamente um modelo da forma:

$$b_6 = \left\{ \begin{array}{l} \text{"b}_3\text{"} \\ \text{"b}_4\text{"} \\ \text{"b}_5\text{"} \end{array} \right.$$

representa uma bibliografia das bibliografias que não listam elas mesmas:

Nestes modelos, os elementos b_1, b_2, \dots, b_6 representam conjuntos (bibliografias) e a chave representa a relação de inclusão.

Johnson-Laird classifica esta tipologia de informal e tentativa, pois, em última análise, é a pesquisa que vai dizer como são os modelos mentais que as pessoas têm na cabeça. Contudo, os diferentes tipos de modelos físicos e conceituais por ele propostos revelam o caráter essencial dos modelos mentais: eles derivam de um número relativamente pequeno de elementos e operações recursivas sobre tais elementos; seu poder representacional depende de procedimentos adicionais para a construção e avaliação dos modelos. As maiores restrições sobre os modelos mentais decorrem da estrutura de perceber e conceber o mundo, das relações conceituais e da necessidade de manter um sistema livre de contradições. (op.cit.p.429/430)

Capítulo 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo focalizaremos o que os outros autores dizem sobre a natureza e conteúdo dos modelos mentais e citaremos algumas pesquisas feitas sobre modelos mentais. As duas seções deste capítulo foram extraídas, na íntegra, do artigo “Modelos Mentais” de M. A. Moreira, com permissão do autor. Este trabalho foi apresentado no Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências - Linguagem, Cultura e Cognição, na Faculdade de Educação da UFMG, em Belo Horizonte, em março de 1997. Embora enfocando poucos trabalhos, tal revisão é bastante completa, pois o tema modelos mentais é novo e ainda não gerou, na literatura, muitos artigos de pesquisa. Por outro lado, se tal revisão é suficientemente abrangente não teria sentido refazê-la, principalmente levando em conta que seu autor é orientador deste trabalho. Por tais razões, optamos por usá-la, sem modificações, neste capítulo.

3.1 Modelos mentais segundo outros autores

Para Williams, Hollan e Stevens (1983, p. 133) os modelos mentais são compostos de *objetos autônomos* com uma certa topologia *são “rodáveis”* por meio de inferências qualitativas locais e *podem ser decompostos*. A noção de objeto autônomo é central em sua concepção de modelos mentais: trata-se de um objeto mental que representa explicitamente alguma coisa, cujas conexões topológicas com outros objetos é também explícita, e que tem um certo número de parâmetros internos. Associado a cada objeto autônomo existe um conjunto de regras (internas) para modificar seus parâmetros e, assim, especificar seu comportamento.

Para esses autores, um modelo mental é, então, um conjunto de objetos autônomos “conectados”. Por exemplo (op. cit. p. 134), uma “região de fluido” pode funcionar como um objeto autônomo em um modelo e ter como parâmetro a temperatura, a qual pode assumir um de quatro “valores” (aumentando, diminuindo, constante ou indeterminada). Este objeto está conectado, explicitamente, com um número limitado de outros objetos e interage com eles transmitindo mudanças nos valores de seus parâmetros através do que os autores chamam de “portos”(conexões mentais entre os objetos autônomos que compõem o modelo mental). Assim, o modelo mental de um “trocador de calor” (“heat exchanger”) pode incluir um objeto autônomo representando o mecanismo de transferência de energia térmica e vários outros objetos autônomos representando “regiões de fluido”. Alguns destes objetos autônomos estarão conectados ao que corresponde ao mecanismo de transferência e somente eles poderão passar adiante a informação de que houve uma mudança nos parâmetros de uma certa região de fluido. É essa propagação das mudanças em valores dos parâmetros que dá o sentido de “rodar” o modelo, sempre presente no raciocínio sobre sistemas físicos.

Os objetos autônomos de Williams, Hollan e Stevens são objetos mentais (que possivelmente seriam também modelos mentais) que têm fronteiras definidas. Seu comportamento, *definido como mudanças nos valores dos parâmetros*, é governado por operações (regras) internas não diretamente acessíveis, não significativas. O resultado disso é uma certa opacidade do objeto autônomo de modo que não se poderia perguntar como ocorre um determinado comportamento, mas sim observá-lo.

Contudo, embora os objetos autônomos sejam normalmente opacos, eles podem, às vezes, ser decompostos. O resultado dessa decomposição é um novo modelo mental, composto também de objetos autônomos com uma dada topologia, os quais podem ser usados para produzir explicações do comportamento do objeto autônomo de nível mais alto original (op. cit. p. 135). Este novo modelo estaria embebido, encaixado, incrustado, no modelo original.

Isso significaria que o “funcionamento” de um modelo mental poderia ser explicado por um outro modelo mental, resultante da decomposição do anterior, que estaria subjacente. Quer dizer, este modelo subjacente poderia ser usado para inferir o comportamento (mudanças nos valores dos parâmetros) de um objeto autônomo em condições não especificadas (talvez esquecidas) no funcionamento do modelo inicial de “nível mais alto”. Nessa linha de raciocínio, o novo modelo poderia, em princípio, ser também decomposto gerando outro modelo subjacente de “nível mais baixo”. O limite inferior deste processo seria, talvez, função daqueles conjuntos finitos de primitivos conceituais, de campos semânticos e de operadores semânticos dos quais fala Johnson-Laird.

Outros autores cujo trabalho na área de modelos mentais tem sido muito citado são de Kleer e Brown (1983). Seu objetivo é o de desenvolver modelos sobre como o indivíduo compreende o funcionamento de dispositivos tais como máquinas, aparelhos eletrônicos, hidráulicos, térmicos. A esses modelos eles dão o nome de *modelos mentais mecânicos* (op. cit. p. 155). Sua construção envolve quatro aspectos relacionados: o mais básico é a *topologia do dispositivo* (uma representação de sua estrutura, sua organização física, seus componentes); o segundo é um processo de inferência, chamado “*visionamento*” (“*envisioning*”), que a partir da estrutura (topologia) do dispositivo determina sua função; o terceiro, denominado *modelo causal*, descreve o funcionamento do dispositivo (i.e., uma descrição de como o comportamento do dispositivo decorre de interações causais entre os componentes); o último é a *execução* (“*rodagem*”) do modelo causal, através de uma série de eventos cada um deles relacionado causalmente com o anterior, para produzir um comportamento específico do dispositivo (p. 158).

O modelo de de Kleer e Brown é aparentemente simples, mas, baseados em suas pesquisas, eles dizem que é surpreendentemente difícil construir modelos mentais de dispositivos eletro-mecânicos, por exemplo, se estes modelos devem ser capazes de prever conseqüências de eventos que não foram considerados na criação do modelo. Para eles, o processo de construção de um modelo mecânico envolve dois problemas distintos: um é a construção de uma simulação qualitativa mental do dispositivo e o outro é a simulação mental do resultado do funcionamento desta construção; o primeiro destes problemas está relacionado com o processo que eles chamam de “*visionamento*” e o segundo com o que eles denominam execução (“*rodagem*”) do modelo causal.

Idealmente, um modelo causal deve ser *consistente, correspondente e robusto* (p. 167). Um modelo causal *consistente* é aquele que não tem contradições internas: distintos componentes não podem dar valores diferentes para um mesmo atributo de um estado do dispositivo. *Correspondência* significa que o modelo causal deve ser fiel ao comportamento real do dispositivo modelado. *Robustez* tem a ver com a utilidade do modelo causal em situações atípicas, por exemplo quando a estrutura do dispositivo for perturbada. Um modelo robusto deve prever o comportamento do dispositivo quando, por exemplo, uma de suas partes está com defeito. Segundo estes autores, a melhor maneira de se ter um modelo causal robusto é ter robustos os próprios componentes do modelo (p. 168).

Mais adiante serão dados exemplos de modelos mentais mecanísticos (causais) de de Kleer e Brown, assim como daqueles propostos por Williams, Hollan e Stevens. No momento, é importante dar-se conta que a concepção de modelo mental de Johnson-Laird é muito mais abrangente do que a destes autores.

Em um artigo recente, Ibrahim Halloun (1996), enfocando o que ele chama de *modelagem esquemática*, também se refere a modelos mentais (p. 1021):

“A modelagem esquemática é uma teoria epistemológica em desenvolvimento, fundamentada na pesquisa cognitiva. Esta teoria sustenta que os modelos são componentes principais do conhecimento de qualquer pessoa e que a modelagem é um processo cognitivo básico para construir e usar o conhecimento no mundo real. Três das mais fundamentais premissas da modelagem esquemática são:

1. *Construímos modelos mentais* que representam aspectos significativos do nosso mundo físico e social, e manipulamos elementos desses modelos quando pensamos, planejamos e tentamos explicar eventos desse mundo.
2. Nossa visão do mundo é causalmente dependente tanto de como o mundo é como de como nós somos. Decorre daí um óbvio mas importante corolário: ‘Todo nosso conhecimento sobre o mundo depende da nossa habilidade de construir modelos dele.’ (Johnson-Laird, 1983).
3. *Modelos mentais* são internos às mentes das pessoas. Eles são *tácitos* e não podem ser explorados diretamente. Podem, no entanto, ser investigados indiretamente via *modelos conceituais* com o quais as pessoas se *comunicam* com as outras verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente (e/ou via *modelos físicos*, que são artefatos materiais). Modelos conceituais usados na vida diária são freqüentemente subjetivos, idiossincráticos e não estruturados coerentemente.”

A concepção de modelo mental de Halloun é, portanto, a de Johnson-Laird, mas o que ele enfatiza é o processo de modelagem.

3.2 Algumas pesquisas sobre modelos mentais

Gentner e Gentner (1983), descrevem pesquisas nas quais fizeram previsões sobre o desempenho de alunos em problemas de circuitos elétricos a partir de duas analogias que, segundo eles, são os modelos mais comumente usados pelos estudantes nesta área: o modelo do “fluido em movimento” (analogia hidráulica) e o modelo da “multidão em movimento”. No primeiro, o fluido em movimento corresponde à corrente elétrica, os canos aos fios, os estreitamentos dos canos aos resistores, os reservatórios às baterias e a diferença de pressão (função da altura da água no reservatório) à diferença de potencial. No segundo, a quantidade de pessoas que passa por um “portão” por unidade de tempo corresponde à corrente elétrica, o portão (passagem, saída) à resistência elétrica e a “força com que as pessoas se empurram” à diferença de potencial; neste modelo não há um análogo adequado para as baterias.

Na previsão desses autores, a adoção de um ou outro destes modelos resultaria em desempenhos diferentes em problemas de circuitos elétricos. Por exemplo, o primeiro modelo poderia levar a conclusões erradas sobre circuitos com resistores em série ou paralelo: os sujeitos poderiam tender a considerar que, independente de como estão ligados, quanto mais resistores maior a resistência do circuito e menor a corrente. Por outro lado, o segundo modelo tenderia a levar à previsão de que dependendo de como estão dispostos os “portões” a corrente será maior ou menor; por exemplo, se os resistores estiverem em paralelo (portões lado a lado) a corrente será maior (mais gente passará). Mas este modelo teria dificuldades com problemas que envolvessem baterias em série ou em paralelo.

A partir dessa previsão fizeram um estudo com 36 estudantes de segundo grau e calouros universitários que pouco sabiam de eletricidade (op. cit. p. 117). Eles deram aos alunos um folheto contendo várias questões sobre eletricidade que eles deveriam responder, trabalhando com ritmo próprio. Na primeira página havia um circuito simples com uma bateria e um resistor, como o da figura 1a. Nas quatro páginas seguintes havia, em cada uma delas, um circuito um pouco mais complicado como os das figuras 1b, 1c, 1d e 1e.

Em cada um destes casos, os alunos deveriam dizer se a corrente no circuito era maior, igual ou menor do que a do circuito mais simples (1a). Depois de dar suas respostas a todas estas perguntas, eles deveriam descrever, com suas próprias palavras, como pensavam a eletricidade em um circuito. A seguir, na página seguinte do folheto, deveriam ser mais específicos e dizer, em cada um dos casos (1b, 1c, 1d e 1e), se haviam pensado em um fluido escoando, em objetos em movimento, ou alguma outra visão de eletricidade enquanto resolviam os problemas propostos.

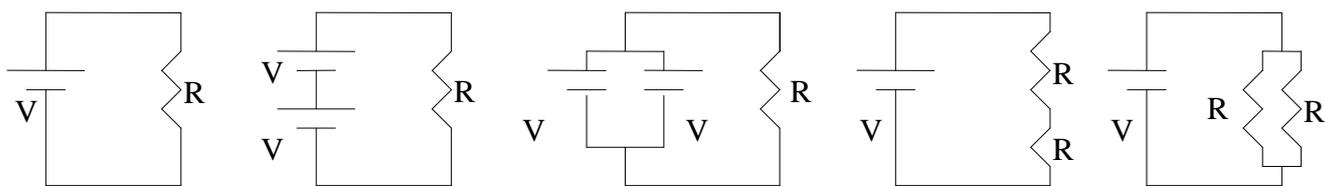


Fig. 1a

1b

1c

1d

1e

Os pesquisadores, então, analisaram os protocolos obtidos a partir das respostas dadas e identificaram sete alunos que usaram, consistentemente, em todas as questões o modelo do fluido em movimento e oito que usaram o modelo da multidão (objetos) em movimento. As respostas dos alunos que foram inconsistentes no uso de modelos não foram consideradas nessa etapa da pesquisa.

Os resultados obtidos confirmaram a previsão de que os alunos que usassem o modelo do fluido em movimento se saíam melhor nas questões sobre baterias do que sobre resistores enquanto que os que preferissem o modelo da multidão em movimento teriam melhor desempenho nas questões sobre resistores, particularmente em paralelo, do que sobre baterias.

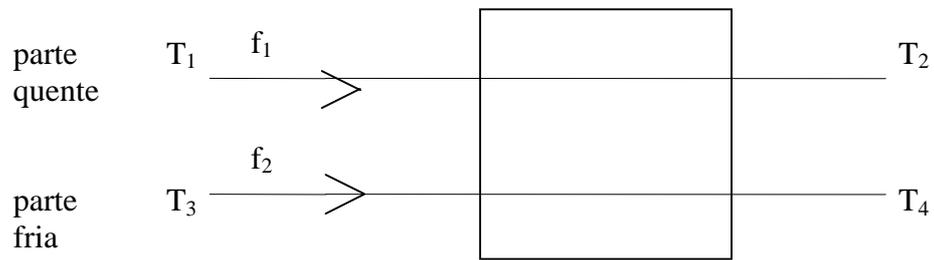
Como se pode depreender desta descrição, o conceito de modelo mental de Gentner e Gentner é, praticamente, o mesmo de analogia, no sentido bem tradicional - - aquele em que o análogo guarda uma correspondência muito próxima com aquilo que representa. A definição de Johnson-Laird -- modelo mental como análogo estrutural de um estado de coisas (um evento ou um objeto) do mundo -- parece ser mais abrangente.

Williams, Hollan e Stevens, esses autores definem modelo mental como um conjunto de objetos autônomos² “conectados” (1983, p. 133), relatam experimentos (op. cit. p. 135-146) sobre modelos mentais de um sistema de resfriamento que eles denominam “trocador de calor” (“heat exchanger”). Tal sistema consiste no seguinte (p. 132):

“A função de um “trocador de calor” é resfriar um fluido quente. Este fluido pode ser a água ou o óleo usado para lubrificar e resfriar uma máquina. O calor é retirado (sic) por meio de um fluido frio, em geral água de rio ou de mar. Os parâmetros importantes do funcionamento do “trocador de calor” são o fluxo do fluido quente (f_1), as temperaturas de entrada e de saída do fluido quente (T_1 e T_2), o fluxo do fluido frio (f_2) e as temperaturas de entrada e saída do fluxo frio (T_3 e T_4).”

² Objeto autônomo é, para Williams, Hollan e Stevens (1983), um objeto mental que representa explicitamente alguma coisa, cujas conexões topológicas com outros objetos é também explícita, e que tem um certo número de parâmetros internos.

Esquemáticamente, o trocador de calor pode ser representado da seguinte forma (ibid.):



Para estes autores, o comportamento (i.e., mudanças nos parâmetros) de um objeto autônomo é governado por um conjunto de regras internas. No caso do “trocador de calor”, eles sugerem que um conjunto de oito regras seria suficiente para dar conta de seu funcionamento (op. cit. p. 136):

$$\begin{array}{lcl}
 dT_1 & \Rightarrow & dT_2 \\
 dT_1 & \Rightarrow & dT_4 \\
 df_1 & \Rightarrow & dT_2 \\
 df_1 & \Rightarrow & dT_4 \\
 dT_3 & \Rightarrow & dT_2 \\
 dT_3 & \Rightarrow & dT_4 \\
 df_2 - & \Rightarrow & dT_2 \\
 df_2 - & \Rightarrow & dT_4
 \end{array}$$

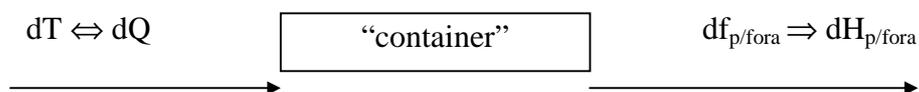
O símbolo \Rightarrow significa que qualquer mudança no parâmetro da esquerda causa uma mudança na mesma direção no parâmetro da direita. O símbolo $- \Rightarrow$ significa que uma mudança no parâmetro da esquerda causa uma mudança na direção oposta no parâmetro da direita.

Este é um modelo “compilado” de “trocador de calor” que um conhecedor de máquinas térmicas poderia ter sobre o funcionamento superficial desse dispositivo. Superficial porque estas regras não são suficientes para representar um entendimento profundo dos mecanismos subjacentes a um sistema térmico como esse.

Este conjunto de regras pode também ser interpretado como definindo o funcionamento de um objeto autônomo isolado, o qual seria, então, um caso degenerado de modelo mental (i.e., um modelo mental constituído de um só objeto autônomo).

Nos experimentos que fizeram, esses pesquisadores pediam aos sujeitos que pensassem em voz alta enquanto respondiam uma série de questões sobre os valores dos parâmetros T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , f_1 e f_2 e sobre os efeitos qualitativos de variações nesses parâmetros. As respostas dos sujeitos e o que eles diziam enquanto pensavam em voz alta geraram os protocolos cuja análise permitiu identificar três modelos de “trocador de calor” (p. 137-146):

No modelo 1 - Modelo do “Container” - o sistema é representado como um “container” para dentro do qual se está bombeando calor e a maneira de sair dele é através do fluxo de fluido, água ou óleo, para fora. Esquemáticamente, esse modelo seria assim:



A regra $dT \Leftrightarrow dQ$ diz que uma variação na temperatura (T) resulta em uma variação equivalente no calor total (Q) do fluido e vice-versa. A regra $df_{p/fora} \Rightarrow dH_{p/fora}$ diz que um aumento no fluxo de fluido para fora implica um aumento no fluxo de calor para fora do sistema.

Este modelo dá conta das quatro primeiras regras do “modelo do especialista”, mas é omissivo em relação às quatro últimas embora não viole nenhuma delas (p. 138). Na concepção dos pesquisadores, o modelo é constituído de quatro objetos autônomos (a entrada de calor, o “container” e as duas saídas, água ou óleo) e três portos (conexões mentais entre objetos autônomos em um modelo mental).

Os outros dois modelos são suplementares ao modelo 1, contendo mais objetos autônomos e portos necessários para justificar respostas a determinadas questões.

O conceito de modelo mental usado nessa pesquisa, semelhante ao de modelo mecânico proposto por de Kleer e Brown (1983, p. 155), é também mais restrito do que o de Johnson-Laird. Além disso, trata-se de um modelo basicamente proposicional.

Gutierrez e Ogborn (1992) usaram o conceito de modelo mental mecânico proposto por de Kleer e Brown (1983) para analisar protocolos relativos a força e movimento, tanto dos sujeitos de sua pesquisa como de outros estudos já publicados por outros autores. O modelo de de Kleer e Brown já foi descrito neste trabalho (p. 13), porém vale a pena retomá-lo na interpretação de Gutierrez e Ogborn (op. cit. p. 201-203), a fim de clarificar ainda mais este conceito modelo mental.

Segundo estes autores, o modelo mecânico de de Kleer e Brown procura responder à seguinte pergunta: o que necessita um sistema cognitivo que se depara com um sistema físico (como um dispositivo hidráulico, elétrico ou térmico) para ir desde como ele é feito até uma ou mais possibilidades de como ele funciona, suficientemente boas para explicar o que ele faz? (ibid. p. 201).

Este processo pode ser analisado em quatro etapas:

- representar o sistema;
- “bolar” um modelo de como ele poderia funcionar;
- imaginar o modelo funcionando (simulação mental);
- comparar com a realidade os resultados imaginados do modelo.

Estas etapas são repetidas se a última não for satisfatória. Cinco noções básicas introduzidas por de Kleer e Brown estão implícitas nestas etapas:

<i>topologia do dispositivo:</i>	uma representação da estrutura do sistema físico;
<i>visionamento</i> (“envisioning”):	ir desde a estrutura até como poderia funcionar o sistema;
<i>modelo causal:</i>	resultado do processo de visionamento;
<i>execução</i> (rodagem, “running”):	imaginar o que faria o modelo causal;
<i>episódio:</i>	intervalo de tempo durante o qual a explicação permanece a mesma.

O modelo de de Kleer e Brown atribui ao sistema cognitivo um compromisso ontológico básico: tudo tem uma causa; o raciocínio com este tipo de modelo é causal, não legal; as explicações são em termos de ações e efeitos, não de leis e regularidades (ibid. p. 202). O sistema cognitivo pode inclusive gerar, i.e., inventar causas. Causas que são inventadas apenas porque são necessárias causas são chamadas de míticas.

Este tipo de modelo é basicamente qualitativo. Nele não existem leis e relações quantitativas, somente relações do tipo “se isso acontecer então tal coisa acontecerá”, usando propriedades do tipo “grande”, “pequeno”, “maior”, “menor”, “negligível”, “igual”, “mesmo”.

A topologia, o visionamento, o modelo causal e a execução podem ser discriminados como segue (ibid.):

<i>Topologia</i> --	materiais: partes cujos atributos podem ser afetados por uma ação causal componentes: partes que podem efetuar uma mudança causal condutos: partes que podem conduzir materiais ou ações causais
<i>Visionamento</i> --	causas cujos efeitos estão ausentes, ou são muito pequenos, são ignoradas; até prova em contrário, atributos desconhecidos têm valores negligíveis.
<i>Modelo causal</i> --	<i>princípio da localidade:</i> a causa está estruturalmente perto de seu efeito. Se é a estrutura, como um todo, que determina a causa, então, ela é não local. <i>princípio da assimetria:</i> causas precedem seus efeitos. Segundo este princípio, os episódios são construídos em uma dada seqüência determinada por relações causais.

Estes dois princípios são de de Kleer e Brown, porém Gutierrez e Ogborn julgam necessário agregar três outros (p. 203):

<i>princípio da produtividade:</i>	se existe um efeito, ele terá sido sempre produzido por uma causa;
<i>princípio da constância:</i>	se existe uma causa, invariavelmente haverá um efeito;

princípio da unicidade: a mesma causa sempre produzirá o mesmo efeito.

Execução -- um modelo aceitável, quando imaginado em funcionamento deve ter *consistência, correspondência e robustez*. Consistência significa que o modelo não deve ter contradições internas; correspondência requer que ele prediga o que de fato acontece; robustez implica que o modelo continue fazendo previsões corretas quando o contexto muda para outro similar.

Se estes vínculos não forem satisfeitos, o modelo deve ser reconstruído (reformulado): uma nova causa pode ser introduzida, ou um novo efeito, ou a topologia deve ser modificada. Esta reconstrução é chamada de “aprendizagem” por de Kleer e Brown (apud Gutierrez e Ogborn, p. 203), porém ela não implica “ensino”, apenas observação e reflexão.

Como se disse antes, Gutierrez e Ogborn utilizaram o modelo de de Kleer e Brown para analisar protocolos relativos a força e movimento. Eles trabalharam com 10 estudantes espanhóis, cinco na faixa de 13-14 anos que haviam tido apenas uma introdução elementar à mecânica de Newton na disciplina de ciências e cinco na de 17-18 anos que haviam já cursado dois anos de mecânica Newtoniana.

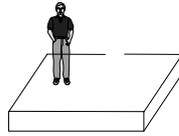
A técnica utilizada foi a da entrevista clínica, propondo aos estudantes situações tiradas de histórias em quadrinhos envolvendo movimentos cotidianos. Com isso eles pretenderam afastar-se das situações problemáticas normalmente propostas em sala de aula e deixar os alunos mais à vontade. As entrevistas duraram aproximadamente uma hora, foram gravadas em fita magnética e transcritas.

Na análise dos protocolos assim obtidos, as explicações dos movimentos dadas pelos alunos foram divididas em episódios; cada vez que mudava a natureza da causa considerava-se um novo episódio.

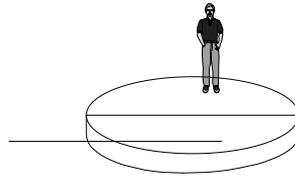
De sua pesquisa e da reanálise de protocolos obtidos por outros pesquisadores, Gutierrez e Ogborn concluíram que, de modo geral, o modelo de de Kleer e Brown é adequado para descrever o raciocínio causal em uma ampla variedade de situações. Em particular, eles observaram que freqüentemente os entrevistados mudavam o modelo causal, modificando a natureza da explicação em um ou mais episódios e isso é uma coisa que o modelo dá conta (a mudança de idéia, ou aprendizagem, de de Kleer e Brown). Encontraram também evidências da causalidade mítica e dos vários princípios do modelo causal.

Stella Vosniadou (1994) diz que em suas pesquisas sobre mudança conceitual tem conseguido identificar um número relativamente pequeno de modelos mentais, concernentes aos conceitos enfocados em uma entrevista, que os estudantes usam consistentemente. Por exemplo, em relação ao conceito de Terra ela encontrou que 80% das crianças entrevistadas utilizavam de maneira consistente um dos seguintes modelos (p. 53):

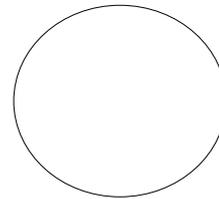
1. Retangular



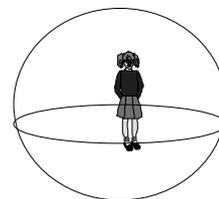
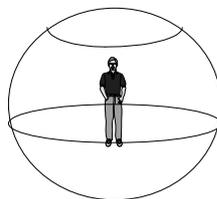
2. Disco



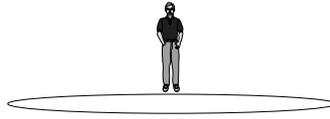
3. Dual



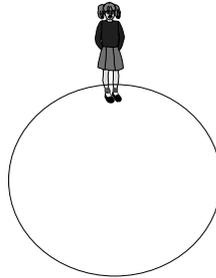
4. Esfera oca



5. Esfera achatada



6. Esfera



Os dois primeiros foram chamados de “iniciais” porque parecem estar baseados na experiência cotidiana e não apresentam influência do modelo científico, culturalmente aceito, de Terra esférica. Os três seguintes foram considerados sintéticos porque combinam aspectos dos modelos iniciais e do modelo científico: o modelo dual, segundo o qual há duas Terras, uma plana, na qual as pessoas vivem, e outra esférica que é um planeta no céu; o da esfera oca em que as pessoas vivem numa região plana interna; o da esfera achatada segundo o qual as pessoas vivem em regiões planas em cima e embaixo (ibid.).

Vosniadou interpreta a mudança conceitual como uma modificação progressiva dos modelos mentais que a pessoa tem sobre o mundo físico, conseguida por meio de *enriquecimento* ou *revisão*. Enriquecimento envolve a adição de informações às estruturas conceituais existentes, revisão implica nas mudanças nas crenças ou pressupostos individuais ou na estrutura relacional de uma teoria.

Esta autora estabelece uma distinção entre uma *teoria física estrutural ingênua* (“naive framework theory of physics”) que é constituída bem cedo na infância e *teorias específicas* que descrevem a estrutura interna de domínios conceituais nos quais os conceitos estão “encaixados”. Ela questiona a hipótese -- que é praticamente senso comum -- de que a construção do conhecimento começa pela formação de conceitos isolados que vão se relacionando até constituírem estruturas conceituais complexas. Sua hipótese é a de que os conceitos estão “encaixados”, desde o começo, em estruturas teóricas mais amplas. Ela argumenta, por exemplo, que desde muito pequenas as crianças desenvolvem cinco vínculos sobre o comportamento de objetos do mundo físico -- continuidade, solidez, não-ação-à-distância, gravidade e inércia -- e que estas “pressuposições entrincheiradas” (op. cit. p. 47) estão organizadas em uma *teoria física estrutural ingênua* não disponível para testagem consciente. Esta teoria restringe o processo de aquisição de conhecimento sobre o mundo físico.

As teorias específicas consistem de um conjunto de proposições ou crenças inter-relacionadas que descrevem as propriedades e comportamentos de determinados objetos físicos.

A mudança conceitual por revisão pode ocorrer tanto em nível de teorias específicas como em nível da teoria estrutural, mas neste caso ela é muito mais difícil

e é provável que gere as chamadas concepções alternativas (“misconceptions”). Essa pesquisadora interpreta as concepções alternativas como tentativas do aprendiz para interpretar a informação científica à luz de uma teoria estrutural que contém informações contraditórias com a visão científica.

No caso da Terra, as crianças têm dificuldade em construir mentalmente o modelo científico porque este modelo viola certas “pressuposições entrincheiradas” da teoria física estrutural ingênua na qual o conceito de Terra está “encaixado”.

O conceito de modelo mental de Vosniadou é o de “representação analógica que os indivíduos geram durante o funcionamento cognitivo e que tem a característica especial de preservar a estrutura daquilo que supostamente representa” (p. 48):

“Modelos mentais são representações dinâmicas e generativas que podem ser manipuladas mentalmente para prover explicações causais de fenômenos físicos e fazer previsões sobre estados de coisas do mundo físico. Supõe-se que muitos modelos mentais são criados na hora para resolver questões de situações problemáticas específicas. Contudo, é possível que alguns modelos mentais, ou parte deles, que foram úteis uma vez, sejam armazenados como estruturas separadas e recuperados da memória de longo prazo quando necessário.”

Esta definição é praticamente a de Johnson-Laird. A partir dela, Vosniadou realizou várias pesquisas sobre mudança conceitual envolvendo o conceito de Terra, explicações sobre o dia e a noite, o conceito de força e o de calor. Em todos os casos, ela encontrou que os sujeitos usam consistentemente um de um pequeno conjunto de modelos mentais.

A metodologia utilizada nesses estudos consiste em formular várias questões sobre o conceito que está sendo pesquisado. Algumas delas requerem uma resposta verbal, outras estimulam a feitura de desenhos e outras implicam a construção de modelos físicos. A suposição que está por detrás é a de que os estudantes “acessam” o conhecimento relevante e constroem um modelo mental que lhes permite responder as questões propostas. A pesquisadora, então, busca entender e descrever esses modelos e usá-los para fazer inferências sobre a natureza das teorias específicas e estruturais que os restringem.

Dois aspectos dessa metodologia são destacados (p. 50): o *tipo de questões* utilizadas e o *teste de consistência interna*.

As *questões* são “geradoras” (produtivas, não factuais), i.e., questões que não podem ser respondidas através de simples repetição de informação não assimilada. No caso da Terra, perguntas do tipo “Qual é a forma da Terra?” ou “A Terra se move?” não servem porque respostas corretas não significam necessariamente que os alunos tenham entendido o conceito em pauta. Perguntas como “Se você caminhasse muitos dias sempre em linha reta aonde chegaria?” ou “A Terra tem fim?” teriam maior potencial para fazer com que os alunos buscassem em sua base de conhecimentos a informação relevante para construir um modelo mental de Terra, ou recuperassem da memória de longo prazo um modelo já construído.

O teste de consistência interna consta em verificar se o padrão de respostas de um dado sujeito para todas as perguntas “generativas” relativas ao conceito pesquisado pode ser explicado pelo uso consistente de um único modelo mental genérico subjacente.

Harrison e Treagust (1996) fizeram um estudo sobre modelos mentais de 48 alunos de oitava a décima série (segunda do 2º grau no Brasil) relativos a átomos e moléculas. Estes autores usam o termo “modelo mental” para descrever as suas interpretações das concepções de átomos e moléculas dos alunos. Esses alunos eram de três diferentes escolas australianas e participaram voluntariamente da pesquisa. Foram utilizadas entrevistas semi-estruturadas com duração média de 20 minutos.

No início da entrevista, cada aluno recebia um pedaço de folha de alumínio e um bloco de ferro e lhe era perguntado: “De que você acha que são feitos estes materiais?” Normalmente, o estudante dizia que o alumínio e o ferro eram feitos de átomos e moléculas. Quando isto não acontecia depois de quatro ou cinco perguntas do tipo da inicial, o pesquisador dava uma pista usando o termo “átomo”. A seguir, pedia-se ao aluno que pensasse sobre seu modelo mental (sic) de átomo e que o desenhasse em uma folha de papel e descrevesse o desenho (p. 515).

Como a maioria dos entrevistados desenhava ou mencionava uma bola ou uma esfera, dava-se-lhes uma bola de poliestireno de 5 cm de diâmetro e um pompom (com núcleo duro) e perguntava-se-lhes qual desses dois modelos tinha alguma semelhança com seu desenho e descrição (p. 516).

A seguir, os alunos recebiam uma folha contendo seis “diagramas de átomos”, tirados de livros didáticos e/ou usados comumente pelos professores, e deviam indicar qual desses diagramas melhor se ajustava ao seu modelo mental de átomo, qual o segundo melhor ajuste, qual o terceiro (se possível) e quais os diagramas que não gostavam. Nessa ocasião, frequentemente os alunos falavam em núcleo, camada eletrônica, nuvem eletrônica, movimento do elétron, prótons e nêutrons. Quando isso não acontecia, o entrevistador dava pistas e perguntava aos alunos sobre nuvens e camadas eletrônicas (ibid.).

A discussão passava então para moléculas e cada entrevistado recebia dois modelos concretos de molécula de água, dos quais devia escolher um e explicar as razões de sua escolha.

Cada entrevista foi gravada em áudio-teipe e transcrita literalmente. As transcrições mais os desenhos dos alunos formaram o conjunto de dados a ser analisado. Da análise qualitativa feita, foram identificadas categorias nas quais podiam ser enquadradas as preferências dos alunos. No artigo (Harrison e Treagust, 1996), são apresentadas tabelas com tais preferências e com os atributos atômicos e moleculares segundo os modelos dos estudantes. São também apresentadas e comentadas várias descrições dos alunos sobre seus modelos mentais.

Observe-se que a metodologia usada nesta pesquisa provavelmente não seria compartilhada por outros autores que também usam entrevistas, pois muita coisa

parece ser sugerida aos entrevistados. Os modelos são apresentados ao sujeito e ele ou ela deve escolher dentre eles o que mais se assemelha ao seu. Entretanto, este tipo de entrevista “não tão clínica” tem sido usada na pesquisa em ensino de ciências. A entrevista “teachback”, por exemplo, consiste de uma conversação entre entrevistador e entrevistado até chegarem a um consenso sobre o pensamento do entrevistado (Pintó et al., 1996).

Greca e Moreira (1996, 1997) conduziram uma pesquisa com 50 estudantes de engenharia em uma disciplina de Física Geral, na qual se propuseram a investigar o tipo de representação mental usado pelos alunos quando trabalhavam com o conceito de campo, particularmente no domínio do eletromagnetismo, ao resolver problemas e questões conceituais. O estudo foi conduzido em dois semestres consecutivos e teve como base conceitual a teoria de Johnson-Laird. Como foi bastante discutido nas primeiras seções deste trabalho, para Johnson-Laird existem três tipos de representações mentais: modelos mentais, proposições e imagens. Modelos mentais são análogos estruturais do mundo; proposições são cadeias de símbolos expressáveis em linguagem natural e interpretadas (em termos de verdadeiras ou não) à luz de modelos mentais; imagens são vistas de modelos mentais.

A pesquisa objetivou, então, identificar se os alunos, ao resolver problemas e questões de Física, operavam mentalmente com modelos, proposições ou imagens, ou com alguma combinação destes tipos de representações mentais propostos por Johnson-Laird.

Todo o estudo foi conduzido em condições normais de sala de aula. No primeiro semestre, com 25 alunos, a metodologia de ensino foi totalmente individualizada: o conteúdo foi dividido em 20 unidades de estudo; para cada unidade havia um roteiro de estudo e um teste escrito; quando aprovado no teste, o aluno passava para a unidade seguinte; havia possibilidade de repetir o teste tantas vezes quanto fosse necessário para dominar o conteúdo da unidade; o aluno trabalhava com ritmo próprio e contava com a assistência de monitores e do professor ao preparar cada unidade de estudo. Nesta metodologia, se desejado, é possível atingir-se um elevado grau de interação pessoal entre os estudantes e o professor, bem como entre os estudantes e os monitores. No caso, os dois pesquisadores atuaram como professores e monitores durante todo o semestre e estimularam o máximo possível a interação pessoal; procuravam discutir Física com os alunos sempre que havia oportunidade. Além disso, a avaliação de cada unidade era também dialogada.

A partir dessa forte interação, pessoal e do exame das respostas dos alunos às questões propostas nos guias de estudo e nos testes de avaliação, foi possível distinguir entre estudantes que construíram ou não um modelo mental do trabalho para o conceito de campo eletromagnético. Na primeira categoria foram enquadrados sete alunos e seus modelos foram classificados como basicamente proposicionais (matemáticos) ou essencialmente analógicos (imagísticos). Na categoria dos não modeladores foram incluídos 14 estudantes. De um modo geral, eles trabalhavam com proposições soltas (não articuladas em um modelo) e não usavam imagens. Quatro casos foram considerados intermediários entre as duas categorias.

No segundo semestre da investigação, com outros 25 alunos, os pesquisadores continuaram com o mesmo objetivo de identificar o tipo de representação mental usado pelos alunos, porém mudaram a metodologia de ensino e coletaram mais materiais de análise. O curso tinha três períodos semanais de aulas, de duas horas cada um. Em cada período, em um primeiro momento havia uma aula expositiva de 30 a 35 minutos; depois, os alunos trabalhavam em pequenos grupos (máximo quatro participantes), geralmente resolvendo problemas e questões de uma lista. Em cinco ocasiões, a lista foi substituída por um experimento de laboratório e em três por um mapa conceitual. Ao final de cada aula, os estudantes entregavam o produto de seu trabalho ao professor ou ao ajudante. Um dos pesquisadores atuou como professor e o outro como ajudante; os dois estiveram sempre presentes e durante o trabalho em grupo interagiram o máximo possível com os alunos.

O curso teve três avaliações formais individuais e uma pequena entrevista final também individual.

Todas as respostas dos alunos às listas de problemas e questões de cada aula ou aos roteiros de laboratório, todas as provas e todos os mapas conceituais foram utilizados como material de análise acoplados às observações feitas durante a interação pessoal e na entrevista final.

Todo este material gerou variáveis e escores: “conceito”, “problema”, “laboratório”, “mapa conceitual”, “trabalho em grupo” e “modelo”. A variável “modelo” foi construída a partir dos indicadores obtidos no estudo do primeiro semestre, da análise qualitativa do material escrito produzido pelos alunos e, sobretudo, da observação feita pelos pesquisadores ao longo do semestre, interagindo bastante com os estudantes. Esta variável recebeu escores de 0 a 5 correspondentes a seis categorias:

- Categoria 0 (N=3) -- estudantes que operavam na base do ensaio-e-erro;
- Categoria 1 (N=3) -- alunos que trabalhavam exclusivamente com proposições, porém soltas, memorizadas mecanicamente;
- Categoria 2 (N=3) -- alunos que usavam basicamente proposições, mas com alguma articulação;
- Categoria 3 (N=7), 4 (N=7) e 5(N=2) -- estudantes que construíram algum tipo de modelo mental para o conceito de campo elétrico.

As demais variáveis foram também atribuídos escores e uma matriz de correlações foi construída. Observou-se nessa matriz que as correlações foram estatisticamente significativas e que as mais baixas em relação à variável modelo ocorreram com as variáveis “laboratório” e “trabalho em grupo”, enquanto as mais altas aconteceram com as variáveis “mapa conceitual” e “conceito”.

Tais correlações poderiam, em princípio, ser esperadas pois as variáveis “conceito” (construída a partir das respostas declarativas dos alunos) e “mapa conceitual” eram as mais “conceituais”, as quais, por sua vez, seriam mais dependentes do tipo de representação mental utilizado.

Uma análise fatorial mostrou que as variáveis “conceito”, “laboratório”, “problema”, “mapa conceitual” e “trabalho em grupo” correspondem a um único fator que correlaciona 0,72 ($p=0.0001$) com a variável “modelo”.

Estes resultados sugerem que a variável “modelo” explica boa parte dos escores das demais variáveis, especialmente das “conceituais”.

Esta pesquisa foi, segundo os autores (Greca e Moreira, 1996 e 1997), o começo de um programa³ de pesquisa sobre modelos mentais e a aprendizagem de Física que partiu do zero em 1994. Nesse primeiro estudo, apenas tentaram, e aparentemente conseguiram, distinguir entre alunos que trabalhavam e não trabalhavam com modelos mentais, segundo a teoria de Johnson-Laird, enquanto se desempenhavam em tarefas instrucionais de Física.

Do ponto de vista metodológico, este estudo também usou a análise qualitativa de documentos e verbalizações dos alunos, mas, diferentemente dos outros já descritos, completou-a com um tratamento quantitativo.

Os resultados obtidos sugerem que nos cursos introdutórios universitários de Física a maioria dos alunos trabalha com proposições não integradas ou não interpretadas em um modelo mental. As proposições que eles usam são definições e fórmulas manipuladas mecanicamente para resolver problemas ou questões. Alguns, no entanto, dão evidência de construção de modelos e isso parece caracterizar uma aprendizagem mais significativa.

O presente estudo, ao mesmo tempo que repete o de Greca e Moreira em outra área (Mecânica Newtoniana), lhe dá continuidade, pois vai além na medida em que tenta identificar modelos mentais.

Ibrahim Halloun (1996) fez uma pesquisa sobre *modelagem esquemática* cuja base teórica vai na linha dos resultados de Greca e Moreira, pois na raiz de sua investigação está o princípio de que, em Física, a aprendizagem do aluno será tanto mais significativa quanto maior for sua capacidade de modelar. Ele argumenta que a Física é uma ciência de modelos e a modelagem é uma atividade sistemática dos físicos para construir e aplicar o conhecimento científico. Aprender Física implica, então, aprender e jogar o “jogo da modelagem”.

Como foi dito na página 14, Halloun usa o conceito de modelo mental de Johnson-Laird e supõe que, apesar de tácitos, os modelos mentais podem ser explorados, indiretamente, através dos modelos conceituais que a pessoa externaliza de maneira verbal, simbólica ou pictórica ao se comunicar com outra pessoa. Supõe também que através de instrução adequada os modelos conceituais -- que são geralmente subjetivos, idiossincráticos e não coerentemente estruturados -- podem se tornar relativamente objetivos e estruturados de maneira coerente. Esta evolução,

³ “Modelos Mentais e Aprendizagens de Física segundo a Tipologia de Johnson-Laird”, apoio CNPq.

segundo ele, é melhor atingida em ciências e matemática onde os modelos desempenham um papel central.

É na idéia de “instrução adequada” que entra a modelagem esquemática, ou processo de modelagem tal como proposto por Halloun, cujos cinco estágios são (op. cit. pp. 1026-1028):

- *seleção* (identificação e descrição da composição de cada sistema físico da situação física e do respectivo fenômeno);
- *construção* do modelo (conceitual ou físico; no caso da resolução de problemas, os alunos são guiados na construção de um modelo conceitual matemático);
- *validação* do modelo (verificação da consistência interna);
- *análise* do modelo (no caso da resolução de problemas, consiste principalmente de executar o modelo matemático, obter respostas de problemas e interpretá-las);
- *desdobramento do modelo* (tem a ver com transferência).

Deve ficar claro, no entanto, que a modelagem esquemática, como estratégia instrucional, se refere principalmente a modelos conceituais que o aluno externaliza. Os cinco estágios do processo da modelagem sugeridos por este pesquisador não são hierárquicos; os três estágios do meio se superpõem; o primeiro e o segundo também podem se superpor pois, na prática, em particular na resolução de problemas, a construção do modelo pode se limitar à seleção de um modelo matemático adequado.

Halloun trabalhou com 87 estudantes libaneses, 59 de escola secundária e 28 universitários, aos quais deu aulas de recuperação durante o verão, pois não haviam passado em Física durante o semestre regular. Aos secundaristas deu cinco aulas de duas horas, nas quais usou a modelagem esquemática para ensinar-lhes problemas de estática. Aos universitários deu também cinco aulas nas quais ensinou-lhes a modelagem esquemática em mecânica da partícula.

Os problemas utilizados foram daqueles normalmente encontrados nos livros de texto de mecânica. Foram aplicados pré e pós-testes e comparados os resultados. Segundo o autor, tais resultados implicam que a modelagem esquemática é uma estratégia válida para o ensino da Física (op. cit. p. 1035). Contudo, sua pesquisa tem falhas metodológicas (por exemplo, falta de grupo de controle) que limitam sua validade interna e externa.

É preciso mais pesquisa sobre modelagem conceitual (aquela que se pode ensinar) e modelagem mental (aquela que se tenta investigar e, talvez, facilitar na instrução) e sua inter-relação. O valor da pesquisa de Halloun é que ela parece tentar algo nesse sentido.

Capítulo 4

METODOLOGIA, REGISTROS, DADOS, ANÁLISE, RESULTADOS

4.1 Metodologia

Nesta pesquisa nos propusemos tentar identificar o tipo de representação mental, bem como possíveis modelos mentais referentes a alguns conceitos físicos (na área de mecânica) utilizados por estudantes universitários em um curso introdutório de Física.

Com a finalidade de tentar inferir modelos mentais utilizados pelos alunos, trabalhamos em situação real de sala de aula desenvolvendo além das atividades usuais de avaliação da disciplina, diversas outras, tais como elaboração de mapas conceituais, práticas experimentais orientadas, monitoria e entrevistas. Admitimos que a estrutura das representações internas dos indivíduos é refletida nas suas representações externas. Consideramos que tudo o que os alunos fizessem (escrevessem, desenhassem, perguntassem e dissessem) nos daria indícios da forma como operavam mentalmente.

Em um primeiro momento, no 1º semestre de 1996, trabalhamos com um grupo de 18 estudantes de engenharia cursando a disciplina de Física Geral I sob a modalidade de “Método Keller”. Nesta modalidade, os alunos estudam sozinhos, não há aulas teóricas, e avançam na disciplina conforme são aprovados nas avaliações (testes) de cada unidade (Moreira, 1983) que são baseadas no livro Fundamentos de Física, de Halliday e Resnick (1994).

Em uma segunda oportunidade, no 2º semestre de 1996, trabalhamos com um grupo de 30 estudantes de engenharia e matemática cursando a mesma disciplina de Física Geral I, também sob a modalidade de “Método Keller”.

Em ambos os casos, o curso foi dividido em 21 unidades. Um grupo de monitores, que atuaram também como pesquisadores, colaborou com o professor/pesquisador. Os testes das unidades continham problemas tradicionais (do tipo Halliday e Resnick) e problemas e/ou questões conceituais. Durante o curso foram recolhidos todos os testes que os alunos fizeram. Para obter o máximo de informação “livre” por parte dos alunos (ou seja, explicações não muito padronizadas), nesses testes agregamos perguntas abertas, como por exemplo: “Explique, com palavras, equações e/ou desenhos e/ou leis o que você entende por...”. A idéia nestes casos era ver se as respostas tinham algum tipo de elaboração pessoal, que pudesse ser reflexo de um modelo mental subjacente, ou eram simplesmente repetição do que aparecia no livro. Como observamos que os alunos, após interagirem

com os monitores, mudavam suas respostas, apagando as originais, passamos a guardar também estas, solicitando-lhes que as novas respostas estivessem em folhas a parte.

Em três momentos do curso, antes de começar os capítulos correspondentes às leis de conservação, após estas e ao final do semestre os testes incluíam um item que consistia na confecção de um mapa conceitual. Os alunos escolhiam, dentre os conceitos estudados até esta parte da disciplina, de 6 a 10 conceitos que julgavam mais importantes. Segundo um estudo anterior (Moreira e Greca, 1996), os mapas conceituais poderiam servir como indicadores do grau de modelização mental dos alunos em tarefas de Física.

Após o teste de avaliação da última unidade, os alunos foram entrevistados individualmente durante 25-30 minutos. Nestas entrevistas, que foram gravadas, os pesquisadores propuseram uma série de problemas, desde aqueles mais similares aos resolvidos durante o curso até outros superficialmente distintos, mas que exigiam a aplicação do mesmo sistema conceitual. Uma vez que a situação era colocada oralmente, pedia-se-lhes que explicassem o que acontecia, deixando-os livres para fazer qualquer tipo de suposições, desenhar ou escrever fórmulas. As únicas perguntas que o entrevistador respondia e/ou fazia eram para esclarecer dúvidas sobre o enunciado, ou quando uma explicação não era exposta de maneira suficientemente clara pelo aluno, evitando, na medida do possível, intervenções que induzissem um 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 deste material, respostas escritas dos testes, mapas conceituais e entrevistas, além das notas de campo tomadas pelo pesquisadores ao longo do semestre tinha por objetivo geral a identificação de modelos mentais; para isso buscou-se:

- a) *tentar determinar o tipo de representação mental -- representações proposicionais, imagens ou modelos mentais -- utilizado pelo alunos;*
- b) *tentar detectar núcleos⁴ conceituais que aparecessem em suas respostas mais de uma vez ao longo do curso;*
- c) *tentar identificar características ou atributos dos núcleos conceituais que integrassem conjuntos explicativos e/ou preditivos, a fim de obter indícios de modelos mentais utilizados pelos alunos.*

A metodologia de análise foi do tipo qualitativa, similar a utilizada em um estudo anterior sobre eletromagnetismo (Greca e Moreira, 1997). 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

⁴ Por núcleos conceituais entendíamos os conceitos ou grupos de conceitos que aparecessem com frequência ao longo do curso, nas respostas dos alunos, e que se destacassem durante a entrevista e nos mapas conceituais

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 sem 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 frequência 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, se 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 pictóricamente. 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. De qualquer modo, a metodologia utilizada deverá ficar mais clara nas secções seguintes onde enfocaremos os registros feitos e a análise qualitativa dos mesmos.

Do total de 48 alunos com os quais trabalhamos nos dois semestres durante os quais foi desenvolvida a pesquisa, escolhemos 13 casos para relatar nesta dissertação. Tal escolha deve-se ao fato de que seus materiais de análise (registros) eram os mais completos. Em se tratando de estudo de casos, consideramos este número bastante significativo.

4.2 Registros, Dados, Análise, Resultados

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 construírem⁵ 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 às questões dos testes, se suas respostas eram elaboradas ou memorizadas mecanicamente, se copiavam do livro, se faziam desenhos, se esses desenhos eram explicativos;

⁵ 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.

- 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.

A seguir apresentaremos, caso a caso, a análise feita para 13 alunos (nomes fictícios). Após, tentaremos estabelecer algumas categorias de análise.

Antes, porém, é preciso definir construtos que nos ajudaram no exame de cada caso:

NÚCLEO CONCEITUAL: 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 partir desses núcleos, tentamos identificar os atributos ou características dadas pelos estudantes a esses conceitos, à 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.

Apresentaremos a seguir, os 13 casos estudados (nomes fictícios):

4.2.1 Registros, dados e análise de cada caso

Caso 1 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. Seria um proposicionista.

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 $\sum F = dP/dt$; $P = MV_{cm}$

$dP \Rightarrow$ 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 utilização de fórmulas desvinculadas de modelos. Na figura 1 apresenta-se um mapa conceitual deste aluno.

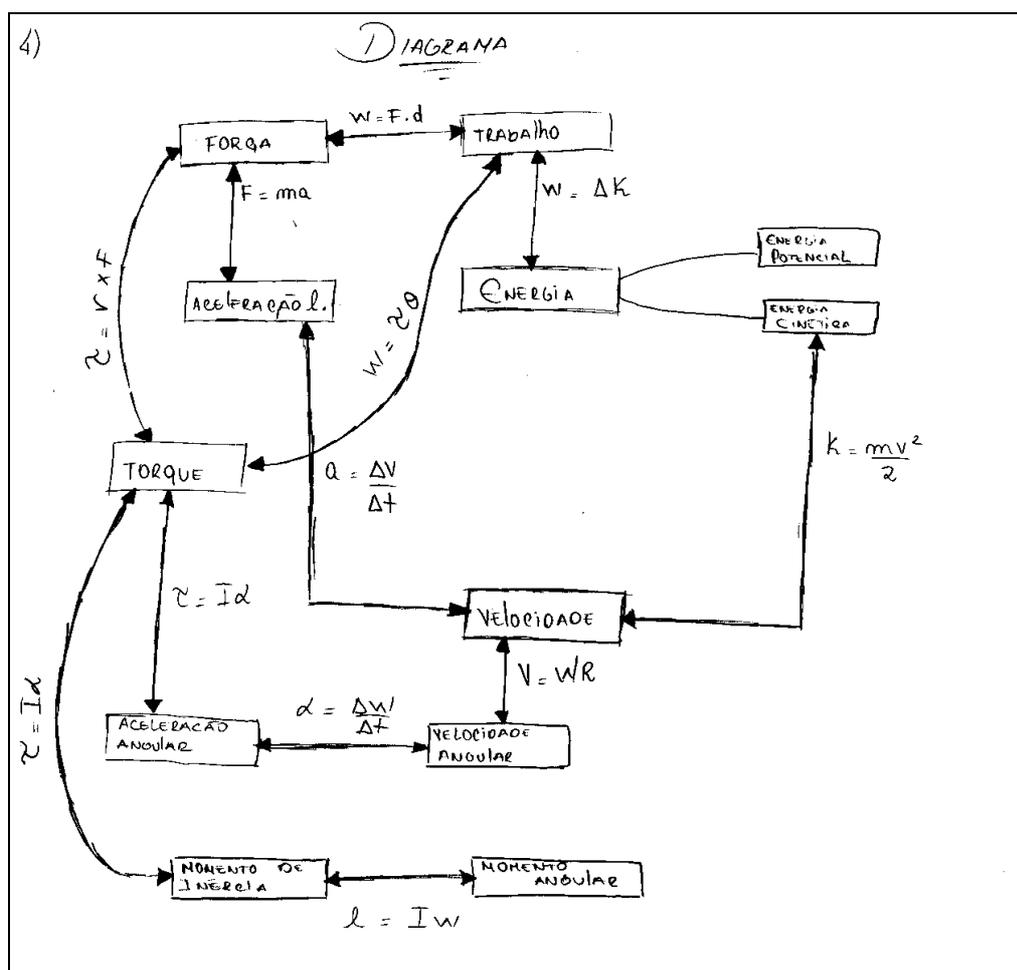


Figura 1: mapa conceitual feito por Emerson

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 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. 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 Patrícia

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: na maioria das vezes, resolvia os problemas nos testes de avaliação apenas manipulando as fórmulas, ou seja, sem deter-se na compreensão das mesmas. Provavelmente trabalhava utilizando proposições soltas, desvinculadas de modelos. Ao ser perguntada como resolvia os problemas propostos, a aluna respondeu (itálico).

“ Eu me baseio muito por fórmulas. Dedução assim de fórmulas eu até não consigo deduzir, mas se eu pego uma fórmula, eu vejo primeiro os dados que eu tenho no problemas, daí eu vejo as fórmulas que tenho e tento aplicar.”

Sem interpretar ?

“É, seria, eu acho, o mais importante ...”

Tu não consegues imaginar ... tu não imaginas o problema ?

“Não ... eu chego a imaginar, mas eu acho que não imagino realmente”

A sua maneira de trabalhar, basicamente fazendo uso de proposições isoladas, ficava bem explícita quando respondia a maioria das questões dos testes de avaliação

com o auxílio de exemplos que se encontravam no livro - texto. Podemos dizer que a aluna “decorava” regras e as usava. Seria também proposicionalista.

Vejamos algumas de suas respostas, em itálico, nos testes de avaliação.

Faça uso de explicações e/ou equações e/ou desenhos para dar a idéia do que você entende por ...

“ Trabalho é qualquer força que implique deslocamento. O simples sustentamento de um corpo qualquer por uma pessoa, por exemplo, não é trabalho, é simplesmente uma força para equilibrar a ação da gravidade. Não há deslocamento. Se a pessoa abaixar ou levantar este objeto, aí sim, poderemos dizer que se realizou trabalho.”(Resposta referente ao conceito de trabalho)

“ Energia é uma coisa transferível. Por ex., ao pegar um arco e flecha, puxamos a corda que impulsionará a flecha. Ao fazermos isto acumulamos energia para dispará-la (energia potencial). Quando soltamos a corda a flecha sai voando (energia cinética). Voa até a energia acabe e ela seja vencida pela gravidade, caindo.”(Resposta referente ao conceito de energia)

“Os corpos que estão em MCU possuem momento angular. Nestes casos a tendência é a conservação deste momento. Por exemplo, um avião com problemas está descendo na pista, perde o controle e começa a girar. Se o piloto virar o manche para direita, o avião virará para esquerda, pois é a maneira como o momento angular será mantido.” (Resposta referente ao conceito de conservação de momento angular).

Seus mapas não apresentavam relações entre os conceitos, estes eram apenas interligados. Em destaque estavam "grandezas físicas", como massa, tempo e distância, como se estes fossem os conceitos mais relevantes. Num segundo nível, estava velocidade e depois força e aceleração. O conceito de velocidade não aparecia ligado com o de força, havendo relações entre os conceitos de aceleração e força e velocidade e aceleração.

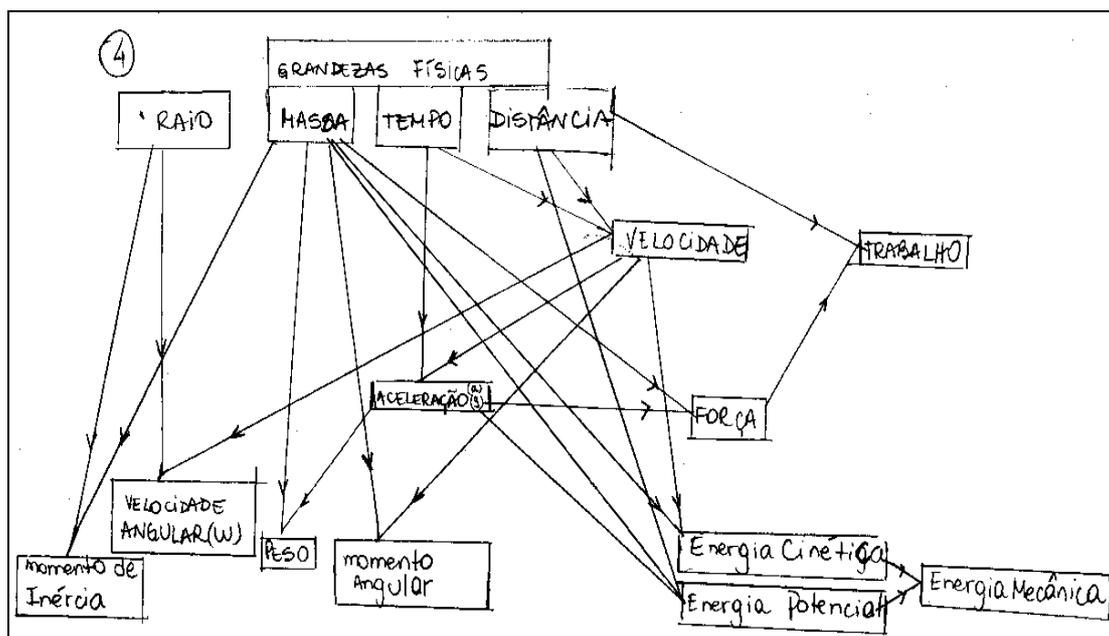


Figura 2: mapa conceitual feito por Patrícia

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(ES): durante a entrevista suas explicações referentes a situações envolvendo corpos isolados e sistemas em interação (corpos em contato) foram centradas principalmente no conceito de força.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, diante de uma situação física, partia descrevendo a situação que imaginava, predizendo o que iria acontecer. Quando questionada, explicava usando termos científicos. Restringia-se a explicar todas as situações utilizando o conceito de força e talvez isso tenha ocorrido porque, aparentemente, não formou um modelo mental que envolvesse os conceitos de conservação do momento e da energia. Provavelmente, a aluna tivesse um modelo mental onde o conceito de força estava sendo compreendido como agente que provocava o movimento.

Vejamos alguns trechos da resposta da aluna ao problema de dois corpos colocados amarrados por uma corda em um plano inclinado.

“ Em primeiro lugar eles vão cair ... Porque eles vão cair... Eles tem a mesma massa? ... Ah! Então eles vão cair juntos na distância que estão.”

Por que?

“ Porque eu acho que tendo a mesma massa, e tem também conforme o ângulo, vai ter inclinação, e ação da gravidade. Então, se eles tivessem mais massa... Não, mas ia compensar pelo atrito. Eles vão cair juntos ... separados pela mesma distância, assim que eu estou pensando.... por causa da ação da gravidade... que tem uma inclinação, então eles vão ter uma força puxando eles para baixo. Mas mesmo que fosse um bloco mais pesado que o outro... a força de atrito seria compensada pelo peso.”

De um lado a força peso na direção do movimento que "fazia" o corpo cair e aumentava com o aumento da massa e do outro (em sentido oposto), a força de atrito que também aumentava com o aumento da massa. Ou seja, mesmo que um dos blocos fosse maior, estas duas forças iriam ser compensadas, pois ambas dependiam da massa, fazendo com que a aceleração deles fosse a mesma. Um raciocínio coerente e com uma certa base na segunda Lei de Newton, porém com uma interpretação do conceito de força diferenciado, pois não interpretava força como interação, e sim, atribuía a este conceito a propriedade de provocar o movimento.

A idéia de força que era proporcional à massa e à aceleração utilizada para explicar corpos isolados se repetiu em questões envolvendo corpos em contato. A seguir estão algumas considerações da aluna sobre o problema de uma bala lançada por um canhão:

“ O canhão dispara a bala, para fora, para frente, mas em compensação o canhão também vai um pouco para trás.... Porque assim como o canhão faz uma certa força na bala , a bala faz uma certa força no canhão ”

Quando sai do canhão, que forças atuam sobre a bala?

“ A velocidade com que ela saiu, a força que o canhão fez, força da gravidade... o atrito com o ar ...”

O que parecia ser em um primeiro momento estranho era o fato de ela considerar a velocidade inicial como força, mas talvez isto fosse mais um indício de que, para ela, força estava relacionada com algo que causasse o movimento e no caso o corpo se movia por ter esta velocidade.

Em algumas situações, embora, como já foi dito anteriormente, durante os testes de avaliação sua forma de trabalhar fosse predominantemente proposicional, ou seja, fazia uso de proposições isoladas, desvinculadas de modelo, parecia que a aluna também fazia uso do modelo que incluía a força como agente causador do movimento.

Se analisarmos a resposta dada pela aluna sobre o que compreendia por inércia, podemos verificar que ela demonstrava que não existia movimento sem a presença de uma força.

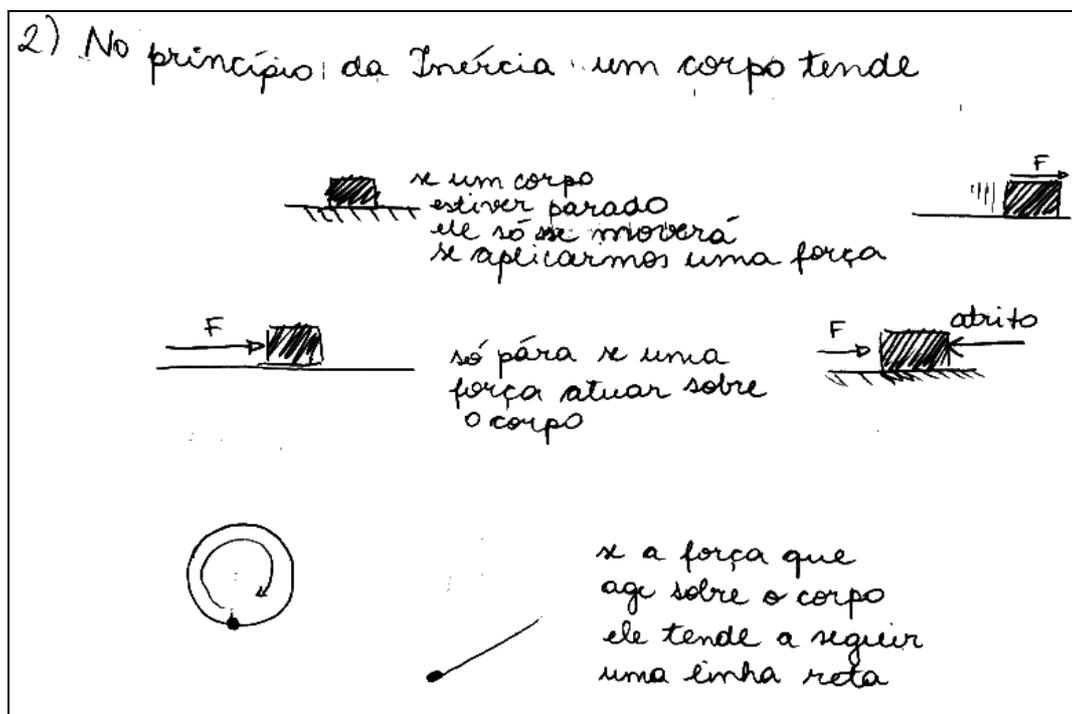


Figura 3: resposta de Patrícia sobre o conceito de inércia

Voltando à entrevista, no problema dos pêndulos que se chocam apareceu, novamente, a força como responsável pelo movimento.

“A grande ia bater na pequena, só que a pequena não ia ter tanta força... pra... pra outra se deslocar tanto... tanto quanto ela.... depois a pequena vai voltar e vai bater na grande, mas como a grande é maior, mais pesada, ela não vai ter tanta força pra... pra bater nesta... e a grande foi para trás.”

Porque , quando uma bate na outra, uma vai para frente e outra para trás?

“ Lei da ação e reação.”

Que diz o que?

“ Que dois corpos diferentes, né, exercem.... aí, quando um corpo empurra o outro são da mesma intensidade.”

É interessante que, embora a aluna explicasse em termos de ação e reação, não tinha totalmente claro o que isto significava, como mostra o trecho acima, que parece um pouco confuso. Ação e reação não aparecia como qualquer interação entre os corpos (contato e a distância) e sim apenas em interações por contato, como sugere a

resposta a questão "Diga se a afirmação é verdadeira ou falsa. As forças de ação e reação nunca atuam sobre o mesmo corpo.", realizada durante o semestre.

"É verdadeira. Por exemplo, se você empurra uma parede a ação será contra a parede, que por sua vez reagirá à pessoa".

Provavelmente, se ela tivesse clara a idéia de interação à distância, não responderia de forma tão confusa à questão de um dos testes de avaliação: "Quais as semelhanças e/ou diferenças entre massa, peso e força gravitacional?"

" A massa é uma grandeza física e está nas outras duas (peso e força gravitacional). peso e a força gravitacional vão variar dependendo respectivamente da gravidade e das massas e da distância."

O modelo mental envolvendo o conceito de força como agente que provoca o movimento a levava resolver razoavelmente bem problemas típicos envolvendo a segunda lei de Newton. Provavelmente, este modelo tenha dificultado a sua compreensão sobre os conceitos de interação e inércia.

A aluna, da mesma forma que o aluno do primeiro caso, explicava diferentes situações usando o conceito de força como agente que causa o movimento, ou melhor, parecia usar um modelo mental no qual para existir movimento tinha que existir a presença de uma força. Além de parecer que ela teria utilizado, em alguns casos, esse modelo também no decorrer do curso, como foi mostrado.

Talvez, por ter trabalhado durante o curso basicamente usando proposições soltas, ela não tenha conseguido formular um modelo que englobasse o conceito de força como interação, pois, como ela mesma disse, não pensava nos problemas, simplesmente verificava as fórmulas que possuía e que poderia usar, sem se preocupar em imaginar ou entender a questão e os conceitos nela envolvidos.

Casos 3 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.

“ $F_R = m \times a$ $a = \mu \times N / m$ $a = \mu \times m \times g / m$ $a = \mu g$
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 mínima 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 \Leftrightarrow aceleração nula \Leftrightarrow força nula.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, ao contrário do primeiro e do segundo casos, não respondia simplesmente descrevendo a situação, sempre buscava uma explicação. Aparentemente explicava utilizando conceitos científicos e, em princípio, possuía um modelo que relaciona 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 P_x 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 $\sum F = 0$, 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 à 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 \Rightarrow aceleração nula \Rightarrow 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 4 Carol

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação a aluna ao resolver os problemas usava as leis e fórmulas e, na maioria dos casos, colocava os valores diretamente nas fórmulas, sem enunciá-las antes. Isto nos levou a pensar que possivelmente ela trabalhava utilizando proposições soltas, desarticuladas, não vinculadas a modelos, ou seja, não integrando os diferentes conceitos da disciplina, como nos dois primeiros casos. Poderíamos dizer que ela também decorava e usava regras. Seria também proposicionalista.

Vejamos algumas respostas (itálico) referentes aos testes de avaliação feitos pela aluna, durante o semestre letivo.

Um bloco de massa $m_1 = 4\text{kg}$ é puxado por um bloco suspenso de massa $m_2 = 6\text{kg}$, conforme a figura. O sistema possui atrito desprezível.

a) obtenha a aceleração de cada bloco.
b) quanto vale a aceleração da corda?

4) $m_1 = 4\text{kg}$ $m_2 = 6\text{kg}$
 $g = 9,8\text{m/s}^2$
 $P = 6 \cdot 9,8 = 58,8\text{N}$
 $T = 58,8\text{N}$
 $58,8 = 10 \cdot a$
 $a = 5,88\text{m/s}^2$
 $T = 4 \cdot 5,88 \Rightarrow 23,52\text{N}$

Figura 4: exercício desenvolvido por Carol sobre a segunda lei de Newton

Em uma passagem da entrevista, a aluna pareceu confirmar o seu estilo proposicional, ou seja, a utilização de regras desarticuladas, que não integravam os conceitos e/ou aspectos da matéria.

“É, eu sei que é isso aí. Mas eu não consigo pensar, não é ... que nem $2+2=4$. Eu só consigo pensar se eu boto uma fórmula e penso.” Comentário sobre as aceleração de dois blocos colocados e soltos num plano inclinado, amarrados por uma corda.

Em seu mapa conceitual, os conceitos estavam ligados somente por fórmulas matemáticas e a aluna ainda fez uma ressalva de que, para ela, as fórmulas diziam tudo. Mais uma vez pareceria que encontramos evidências do seu caráter puramente proposicionalista. A figura a seguir é um dos mapas da aluna.

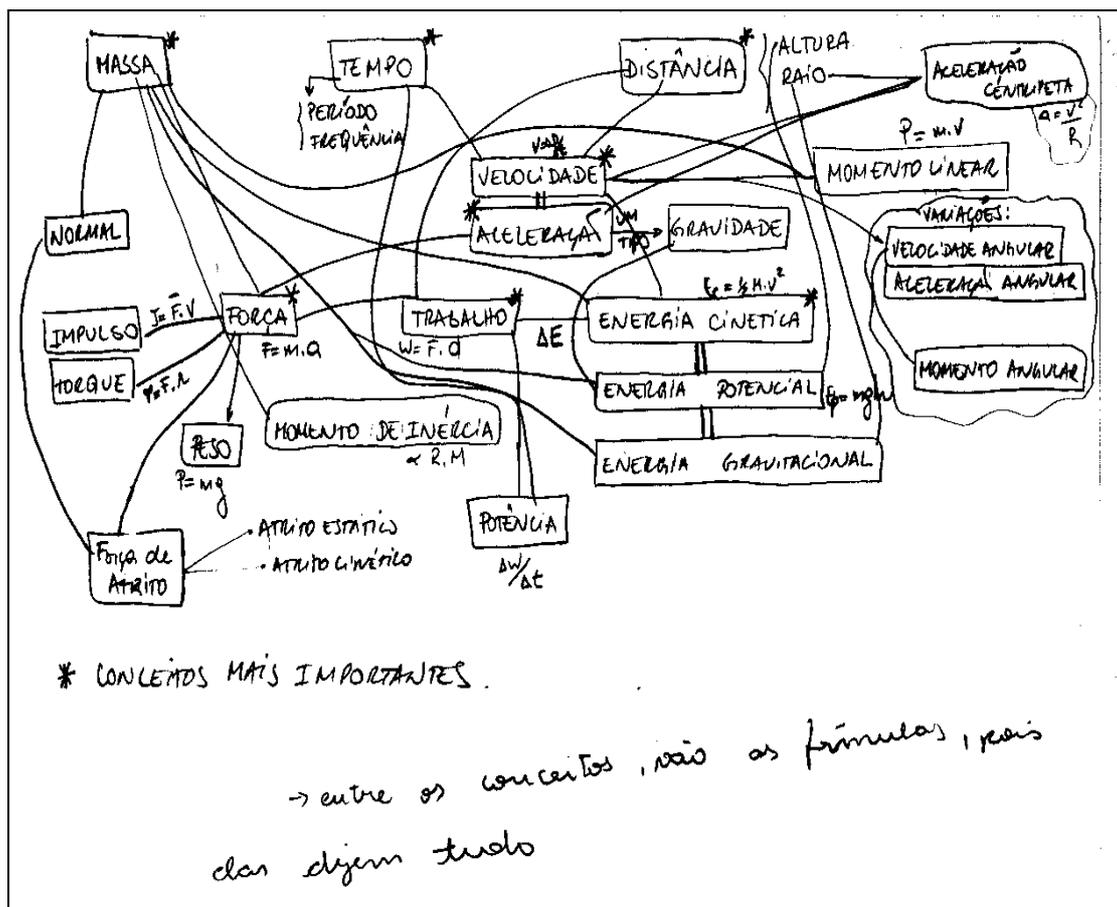


Figura 5: mapa conceitual feito por Carol

Na entrevista perguntamos como ela resolvia os problemas. Respondeu:

“...ou eu pego um exemplo do livro e decoro quais são as coisas que tem ali e faço um desenho parecido com aquele, ou pego as fórmulas e vejo que coisas que eu tenho para caber na fórmula.”

Com a resposta dada pela aluna mais uma vez nos sugeriu que tínhamos indícios da sua maneira de trabalhar, basicamente proposicional, ou seja, fazendo uso de regras soltas, desvinculadas de um modelo.

Ela também utilizava exemplos que existiam no livro de texto adotado (Halliday & Resnick).

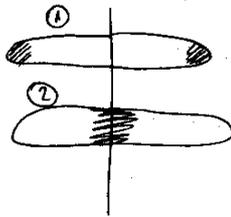
Faça uso de explicações e/ou desenhos e/ou fórmulas para dar idéia de como você entende a relação entre distribuição de massa de um corpo e seu momento de inércia. Se julgar necessário dê exemplos.

4. quanto maior for a distância das massas em relação ao eixo de rotação maior será o momento de inércia.

$$I = I_{cm} + M \cdot h^2$$

↓
distância

então quanto maior o h maior o I .



considerando os 2 desenhos no desenho 1 é muito mais difícil fazer ele girar do que o desenho 2, isso por que quanto mais perto do eixo ficam as massas menor é o I (momento de inércia)

Figura 6: resposta de Carol sobre momento de inércia

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): durante sua entrevista, suas respostas giravam sempre em torno do conceito de força.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, diante de uma situação física, partia descrevendo a situação que imaginava, predizendo o que iria acontecer. Quando questionada, explicava porque, usando uma linguagem científica. Restringia-se a explicar todas situações utilizando o conceito de força o que implicaria que ela não tivesse formado um modelo mental que envolvesse os conceitos de conservação do momento e da energia. Provavelmente esta aluna também tivesse um modelo mental onde o conceito de força estivesse sendo compreendido como agente que provocava o movimento. Vejamos algumas de suas respostas.

Que forças atuam sobre uma bala que é lançada por um canhão?

“ ...é sempre um problema, eu nunca sei se a força do canhão entra nessa história, mas eu acho que é só a força peso.”

“ ... eu poderia pensar que existe força do canhão que vem aqui, mas eu sei que não...”

“ Eu sempre pensei que tem essa força. Eu aprendi na marra que não ,mas...”

Ela demonstrava uma certa indignação por não conseguir entender o porque de não aparecer nos livros o vetor que assinalava a presença da força quando o corpo estava em movimento, demonstrando que, para ela, só existia movimento se, sobre o corpo, atuasse uma força.

Essa força acompanharia o corpo?

“ Não, eu sei que ela não acompanha porque em nenhum livro tem essa setinha, mas só que eu pensaria nisso. Ela ia ser a mesma, até que alguma outra força se colocasse contra ela, mas não tem essa força aqui, eu sei que não tem. Já entendi que não tem. Entender eu não entendi, eu sei que não tem.”

O que exatamente tu não consegues entender Carol ?

“...eu não consigo entender como é que um gurizinho chuta a bola e não tem força nenhuma atuando em cima da bola!? Essa minha dificuldade, assim, é uma grande dificuldade que eu tenho ... que na marra eu sei ...”

Sabendo que o seu modelo não estava correto, mesmo sem entender o porque, parecia que a aluna utilizava uma regra onde a força era proporcional à aceleração, para responder as questões durante a entrevista.

No caso de dois blocos amarrados por uma corda e colocados num plano inclinado. O que poderá acontecer? Porque?

“Eles vão cair ... pela gravidade, os dois blocos vão tender a deslizar pelo plano inclinado. Aí vão haver ... se não tem força de atrito vai ter uma força que vai ... vai puxar eles na direção do plano inclinado, e vai ter uma tensão para cima no bloco de baixo e uma tensão no de cima para baixo que vão ser iguais. E daí o s blocos vão cair, depois, essa força vai poder ser desmembrada nas suas duas componentes em função do peso ... que vai ser uma X e uma Y. Vai ter uma normal também nos dois blocos.”

Suponha que um canhão esteja sobre uma superfície sem atrito e lança uma bala. O que acontecerá com o canhão e com a bala?

“O canhão lança a bala, aí ele, ele ... exerce uma força em cima desta, desta ... bala ... e ela vai com essa força prá lá. Só que ... o canhão vai prá trás um pouquinho. Tá, agora, porque isso acontece? Aí eu não me lembro mais é das fórmulas, era ... que era ... a força de reação! A força de reação do canhão, era a força de reação do canhão em relação a ... ao que ele tinha feito em relação a bala. Então sempre acontecia isso, a bala ia prá frente mas o canhão dava uma resposta.”

“Bom, porque ele vai com uma velocidade prá frente e outra velocidade prá trás? Porque eles vão ter aceleração né? Por causa da força, aqui vai haver uma força, e essa força, em função da massa de cada um, vai causar uma aceleração qualquer, diferente pros dois, e essa aceleração diferente vai definir velocidades diferentes.”

Na resposta acima, ela mesmo diz não lembrar das fórmulas, ou seja, das regras que usava no decorrer do curso, e então ela utilizava um regra, que pensava ser a correta, ou melhor, que achava que nós queríamos que ela soubesse, que era a de que a força é proporcional à aceleração. Vejamos outro exemplo.

No caso dos blocos comprimidos por uma mola e liberados em uma superfície sem atrito de formas que bata em anteparos laterais também sem atrito, a aluna respondeu:

“ ... a força que eles receberam foi a que a mola exerceu e quando tu libera a mola esta força se distribui em relação a massa de cada um, determinando uma aceleração.”

Esta aluna trabalhou durante todo o curso usando regras soltas, aparentemente desvinculadas de modelos, que não integravam os diferentes conceitos da matéria. Na entrevista, ela demonstrou como pensava e, mesmo não entendendo o porque, sabia que seu pensamento não era correto. Assim, parecia que ela utilizava uma regra, para responder as questões da entrevista, onde a força era proporcional à aceleração e esta era proporcional à velocidade, dando a entender que sempre existia uma força na direção do movimento. Parecia que a aluna ao perceber que pensava errado (para um corpo estar em movimento era preciso haver a presença de uma força para provocar este movimento), ela usava uma lei que ela achava que estava correta, ou melhor, que ela pensava que queríamos que ela respondesse.

Caso 5 Ângelo

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação, quando este aluno utilizava fórmulas no contexto de suas respostas não fazia uma mera citação destas, parecia que elas eram usadas para auxiliar suas explicações. Aparentemente trabalhava com modelos basicamente proposicionais, ou seja, regras interligadas, integrando diferentes conceitos e/ou aspectos da matéria. Vejamos algumas respostas que apareceram nos testes de avaliação.

É possível um corpo estar acelerado e manter o módulo da velocidade constante?

“ Sim, um exemplo é o caso de um menino girando uma pedra amarrada com um fio.”

A força que mantém um corpo em movimento circular uniforme realiza trabalho sobre este corpo?

*“ Não, porque a força está direcionada para o centro. $W = F.d.\cos\theta$;
 $W = F.2\pi R.\cos90^\circ$ $W=0.$ ”*

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

“Podemos fazer uma comparação com o movimento translacional.

$$F = m.a \qquad T = I.\alpha$$

o momento de inércia pode ser comparado com a massa. Também podemos dizer que o I é a dificuldade que os corpos têm de se movimentarem. Isto é, quanto maior o I, maior deverá ser o torque (isto também acontece com o movimento de translação) e também devemos desconsiderar o atrito para esta informação. O momento de inércia está associado ao movimento de rotação.

Explique com suas palavras o que é equilíbrio estático e de que ele depende.

“ É a condição que os corpos têm de estarem totalmente parados, isto é, não podem estar em nenhum tipo de movimento. Depende das seguintes constantes. $P =$ constante e $L =$ constante e essas constantes devem ser zero. Para o corpo estar em equilíbrio estático o somatório das forças e o somatório dos torques devem ser iguais a zero.”

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): durante a entrevista, da mesma forma que a aluna do caso 3 (Sandra) parecia delegar especial atenção ao conceito de energia e à tríade velocidade constante \Leftrightarrow aceleração nula \Leftrightarrow força nula.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, não respondia simplesmente descrevendo a situação, sempre buscava uma explicação. Utilizava conceitos científicos nas suas respostas. Apesar de que nas avaliações parecia usar modelos basicamente proposicionais, aqui, aparentemente, possuía um modelo mental parcialmente proposicional e parcialmente imagístico, que relacionava velocidade constante com aceleração nula e força nula que “disparava” encadeado e de uma só vez. O aluno parecia descrever situações onde estava imaginando, fazendo uso de gestos, como que tentando expressar o que estava vendo e, além disso, usava a regra: velocidade constante \Rightarrow aceleração nula \Rightarrow força nula. Dizemos que este modelo era parcialmente proposicional e parcialmente imagístico.

Vejamos alguns trechos de sua entrevista.

Dois blocos colocados sobre uma mesa sem atrito, eles estão amarrados por uma corda e a gente está puxando eles. O que vai acontecer?

“ ... depende, tem vários casos, se ..., se eu usar a minha força aqui...prá velocidade ser constante, a aceleração vai ter que ser zero e a força zero. Sim, no momento em que eles já estão se movendo, né?... a velocidade vai ser constante se nenhuma força externa atuar no sistema. Agora, se eles estão parados e eu aplicar uma força a velocidade não vai ser constante, porque vai ter aceleração também.”

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

“Para a velocidade ser constante, a aceleração tem que ser zero, né? Então a força tem que ser zero também, não pode ter forças externas ao sistema, a força mg teria que ser contrabalançada com a força de atrito e o somatório das duas dá zero, daí tenho velocidade constante.”

Esse modelo parcialmente proposicional e parcialmente imagístico, era transferido e aplicado corretamente em diferentes situações. Porém, em situações onde havia corpos em contato, como por exemplo pêndulos que se chocam, não era utilizado, aparentemente recorrendo para outro modelo que estaria associado à palavra energia. Não foi possível, através de suas respostas, identificar o possível modelo mental que ele teria sobre o conceito de energia. De alguma forma, ele tentava utilizar a idéia de transferência e transformação de energia. No entanto, não aparece de maneira clara o que ele estava entendendo como energia.

Vejamos alguns trechos de suas respostas na entrevista.

Dois blocos colocados em um trilho sem atrito com dois anteparos nas extremidades, e comprimidos por uma mola. Um dispositivo libera esses blocos. O que vai acontecer? Porque?

“ Os dois blocos vão ser lançados nas direções dos anteparos, no sentido para fora da mola, ... vão se chocar no anteparo e voltar...Porque? inicialmente o sistema tinha uma energia potencial aqui, no momento em que a mola saiu, transformou isso em energia cinética, que foi repassada aos dois blocos.”

E se as massas dos blocos são diferentes?

“ O bloco que tiver menor massa vai sair com velocidade maior que o outro bloco. Porque? Porque a energia cinética não vai ser igualmente distribuída, ... se a massa desse bloco aqui é maior que o outro a energia cinética que ele vai receber vai ser menor.”

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

“No caso de massa iguais, quando a bola é lançada prá cá, a velocidade que tinha essa bola é transferida para essa aqui, porque tem a mesma massa e essa aqui pára no instante que se chocar com essa...No segundo caso, como a massa dela é menor, ela vai voltar prá cá e não vai mexer com esta bola grande.”

Porque isso ocorre?

“Porque isto ocorre?...Bom...aqui ocorre uma transferência de energia, né? Quer dizer, a energia cinética do sistema tem que ser igual, então a energia cinética que tem esta aqui vai se transformar, vai passar pra esta aqui...e a energia potencial que tinha essa aqui, vai ficar com esta aqui, então esta aqui fica parada e esta continua aqui...E no segundo caso, aqui tem... é que aqui a energia cinética é pequena... não é grande o suficiente para modificar a energia potencial aqui, nesse estado...essa energia cinética aqui passa prá essa bola aqui, só que como a massa dela é muito grande ele transforma de novo prá energia cinética dessa aqui, aí ela volta prá cá.”

Mesmo que durante o curso o aluno tenha utilizado, aparentemente, modelos proposicionais para desenvolver questões e problemas dos testes de avaliação, possivelmente o modelo sobre o conceito de força, que incluía a tríade velocidade constante \Rightarrow aceleração nula \Rightarrow força nula, que talvez ele tenha usado na entrevista tenha lhe permitido uma boa compreensão do conceito de inércia fazendo com que resolvesse bem problemas de corpos isolados. Vejamos a resposta a uma questão dos testes de avaliação.

Um bloco de massa $m_1 = 4 \text{ kg}$ é puxado por um bloco suspenso de massa $m_2 = 6 \text{ kg}$. O sistema possui atrito desprezível.

a) Obtenha a aceleração de cada blocos.

b) Quanto vale a tensão na corda ?

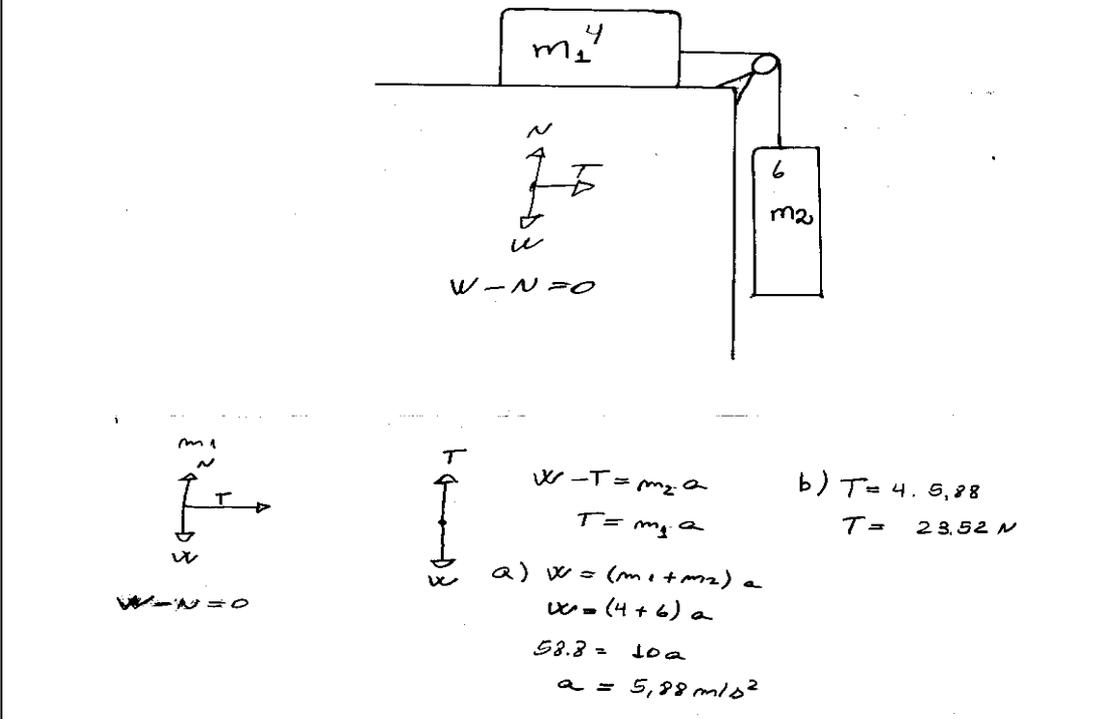


Figura 7: exercício feito por Ângelo sobre leis de Newton

Este caso é muito parecido com o caso 3. A diferença entre eles é que, durante a entrevista, este aluno talvez tivesse utilizado modelos mentais parcialmente proposicionais e parcialmente imagísticos ao invés de somente modelos basicamente proposicionais como no caso 3. Há indícios de que ele fazia uma análise dos problemas, além de fazer previsões. Também, como no caso citado, não conseguia compreender o conceito de força como interação e, talvez por isso, tenha recorrido a um outro modelo que envolvia o conceito de energia ao responder questões de corpos em contato.

Caso 6 Augusto

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: a maioria das questões propostas nos testes de avaliação este aluno respondia a partir de fórmulas, fazendo uso destas nas suas explicações. Os problemas ele solucionava

sempre partindo do uso de equações mais gerais, utilizando os conceitos estudados. Quando utilizava fórmulas, estas não pareciam estar isoladas e sim que seriam interpretadas e aplicadas para cada situação. Segundo nossa definição de modelos proposicionais (conjunto de regras acopladas que interligam diferentes conceitos e/ou aspectos da matéria), parecia ser este um dos casos. Ou seja, parecia trabalhar com modelos basicamente proposicionais. Vejamos algumas respostas (itálico) dadas pelo aluno durante o semestre.

O fio ou o cabinho metálico que suporta um pêndulo aumenta ligeiramente de comprimento quando a temperatura se eleva. Como isso refletir-se á num relógio controlado pelo pêndulo?

“ $T=2\pi (l/g)^{1/2} \Rightarrow$ se aumentarmos o comprimento do pêndulo, ele terá um período maior, conseqüentemente, o relógio marcará um tempo menor”.

Faça uso de explicações e/ou equações e/ou desenhos para explicar, segundo o seu entendimento, porque a lua não cai em direção a terra. Porque a lua não tem atmosfera?

“A lua deve ter uma velocidade dada pela equação $V_o = (GM/r_{Terra-Lua})^{1/2}$. Se essa velocidade for maior, a lua sairá da órbita da terra. Se for menor, ela seria atraída pela terra”.

A segunda lei de Newton afirma que se não são exercidas forças externas sobre um sistema, este não se acelera. Podemos deduzir daí que não podem haver mudanças no momentum?

$$\begin{array}{ll} \Sigma F_{ext} = dp/dt & dm v/dt = m dv/dt = ma \\ \Sigma F = 0 & a = 0 \end{array}$$

Se não forem exercidas forças externas sobre o sistema, o momento total de conserva”

Faça uso de explicações e/ou fórmulas para explicar o que você entende por momento de inércia.

1- O momento de inércia nos diz como a massa está distribuída pelo corpo.

Se não tem massa rodando, não tem mom. inércia

Figura 8: resposta de Augusto em relação ao momento de inércia

Quando o momento de inércia de uma perna é menor, quando a perna está dobrada ou quando a perna está estendida, sendo que ambas estão oscilando livremente? Explique sua resposta.

Quando a ginasta gira ao redor de uma barra horizontal, com o corpo estendido, o seu momento de inércia é dado por $1/3 ML^2$. Já quando ela dá um salto mortal com braços e pernas encolhidas, o seu momento de inércia é dado por $2/5 ML^2$. Se uma ginasta tiver $m = 40 \text{ kg}$, $l = 1,80\text{m}$ e $R = 1/2$, teremos:

$$I = 40 (1,8)^2/3 = 43,2 \text{ kg.m}^2 \text{ (com o corpo estendido)}$$

$$I = 2/5 40 (0,9)^2 = 12,96 \text{ kg.m}^2 \text{ (com braços e pernas encolhidas)}$$

Então ela terá maior momento de inércia com o corpo está estendido.

Parecia que o aluno, ao resolver problemas, não utilizava fórmulas como regras estabelecidas a um determinado tipo de problemas, mas sim que a partir das leis mais gerais olhava a situação específica do problema e elaborava a sua solução. Mais uma vez parecia demonstrar o seu modo de trabalhar, usando modelos basicamente proposicionais.

$$\begin{aligned} & "F = ma \\ & \Sigma F = F - f_a = m_1 \cdot a \\ & \Sigma F = f_a = m_2 \cdot a \dots" \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & "E_{M1} = E_{M2} \quad U + K = U = K \\ & mgh_1 = mv_1^2/2 = mgh_2 = mv_2^2/2 \dots" \end{aligned}$$

Nas aulas, após os monitores terem solucionado suas dúvidas, o aluno não demonstrava interesse em resolver os problemas que não conseguia fazer sozinho.

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): o aluno respondeu às questões da entrevista utilizando essencialmente os conceitos de força, energia e momento linear.

Nos seus mapas conceituais o aluno identicamente não destacou conceitos, colocando num mesmo patamar os conceitos de força, velocidade, massa, aceleração e tempo, parecendo dar a idéia de que existia alguma relação entre eles. Seus mapas não continham apenas relações matemáticas. Além do uso de fórmulas e leis ele utilizava relações de proporcionalidade entre os conceitos. Vejamos um dos mapas do aluno na figura seguinte.

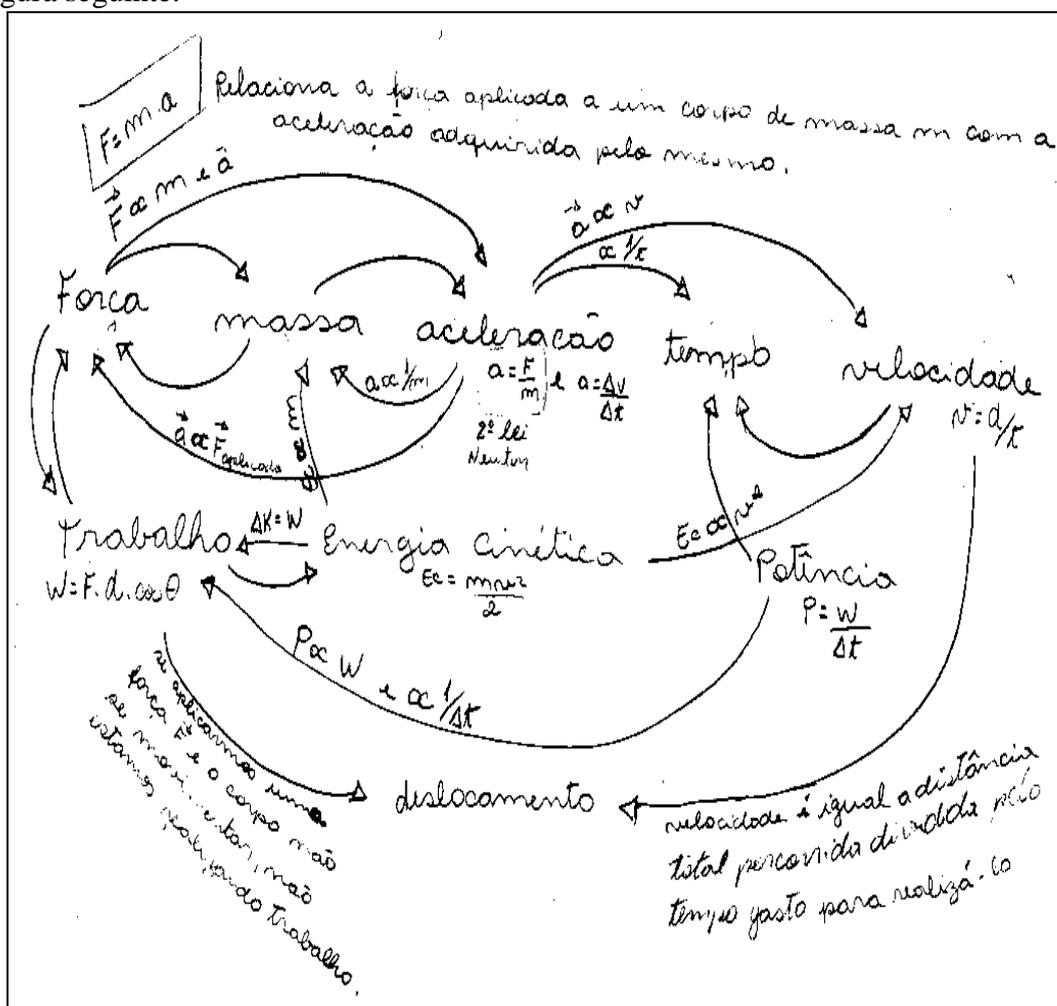


Figura 9: mapa conceitual feito por Augusto

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, primeiro o aluno fazia predições do que iria acontecer e depois parecia que utilizava a matéria que foi vista no curso para justificar suas predições. Suas explicações pareciam dar evidências do uso de modelos mentais. Ele possivelmente "visualizava" internamente a solução do problema, dava então ao entrevistador a sua resposta e depois justificava fazendo uso de leis. Foi difícil encontrar elementos que nos permitissem inferir modelos mentais estáveis sobre conceitos físicos usados pelo

aluno durante a entrevista, devido a maneira como ele trabalhava. Para questões similares, ele explicava usando raciocínios diferentes. Não havia uma regra ou idéia principal que ele usasse nas suas respostas. Era como se o aluno formulasse, na hora, um modelo mental que servisse para explicar determinada situação. No entanto, apesar das dificuldades encontradas para inferirmos modelos mentais estáveis sobre os conceitos físicos usados pelo aluno, a sua maneira de trabalhar, gerando modelos na hora, é perfeitamente normal e pode ser evidência de uma aprendizagem significativa.

É possível que ele tenha usado a relação “se existe força então existe velocidade e aceleração” e isto estaria diretamente ligado à massa dos corpos. Idéia que também parecia ter sido usada em seus mapas conceituais.

Dois blocos estão colocados num plano horizontal e amarrados por uma corda. Uma pessoa puxa um dos blocos. O que irá acontecer?

“Tem uma força aplicada num dos blocos... então vai ter velocidade, ter aceleração. Os dois blocos vão se deslocar com a mesma velocidade”.

“Se a massa é m e m , a aceleração vai ser dada pela segunda lei de Newton: somatório das forças é igual a massa vezes a aceleração. Essa massa vai ser a massa dos blocos e a força vai ser essa força que está sendo aplicada.”

No caso dos blocos puxados por uma corda, percebe-se que o aluno gira em torno das definições dos conceitos de *força-aceleração-velocidade*. Mas não fica evidente as relações entre esses conceitos.

“Tem uma força aplicada em um dos blocos ... então vai ter velocidade, ter aceleração. Os dois blocos vão se deslocar com a mesma velocidade.”

“Uma força aplicada, os dois blocos vão ter a mesma aceleração e a mesma velocidade (pausa). Prá velocidade ser constante, a força, a aceleração tem que ser zero. (pausa)

E se a superfície tem atrito?

“Superfície tem atrito ... (pensa alto: então se tem atrito, a força sendo aplicada...) Prá velocidade ser constante o somatório das forças tem que dar zero, prá não ter aceleração(pausa).

No caso de dois blocos unidos por uma corda e colocados num plano inclinado, ele respondeu sem fazer uma análise das forças envolvidas no problema.

“(pausa) Eles, eles vão cair. Eles vão... se não tiver nenhuma força puxando elas, elas vão cair com a mesma aceleração, com a mesma velocidade...considerando que eles tem a mesma massa”.

No caso de dois blocos presos por uma mola , que está comprimida. Por um mecanismo qualquer, essa mola libera os blocos, que batem em anteparos no final do percurso. Não tem atrito nem no solo, nem nos anteparos. O que acontecerá? Porque?

“Não tem atrito, conservação de energia, os dois blocos vão chegar ao mesmo tempo nos dois anteparos...mesma velocidade, mesma aceleração, caso os dois blocos tenham a mesma massa...no anteparo vão...vão bater, e aí o momento se conserva...”

E se as massas forem diferentes?

“Vão ser liberados, o bloco com a massa menor vai ter velocidade maior... vão se encontrar no lado do bloco de massa maior... uma velocidade menor, então vai estar se deslocando uma distância x e o outro vai estar se deslocando uma distância bem maior, por causa da velocidade”

Porque? ...*“eu tô vendo a fórmula aqui, a da energia potencial elástica, eu vou relacionar ela com a velocidade (pausa). Energia ... a energia potencial elástica tem que ser igual a ... à velocidade dos blocos ...à energia cinética dos blocos. Sim, devido à massa dele, o que tiver massa maior, vai adquirir velocidade menor.”*

Neste problema, o aluno utilizou conservação de energia e momento linear, sem deixar evidências que nos permitissem inferir um possível modelo mental que ele teria usado em relação a esses conceitos.

Parece que o aluno não entendeu a terceira lei. E é possível que isso tenha dificultado uma “aproximação” ao conceito de força como interação entre os corpos.

Vejamos a resposta do aluno a um dos testes de avaliação.

Critique a afirmativa, justificando sua resposta: Para que um corpo se mova é necessário que a ação seja um pouco maior que a reação, do contrário não há força resultante, e então o corpo não se move?

“ Para um corpo se mover é necessário que a ação seja maior que a reação.

Depois do diálogo com os monitores, respondeu:

“ A ação e a reação são iguais em módulo, mas tem direção e sentidos opostos.”

Na entrevista, mesmo com dificuldades sobre o conceito de força, ele conseguia prever e explicar algumas situações. Também usou os conceitos de momento e energia, além de leis gerais como conservação de momento linear, conservação de energia e a segunda lei de Newton. A identificação de possíveis modelos mentais estáveis sobre os conceitos físicos utilizados por ele foi uma tarefa muito difícil, devido ao fato de que em questões similares, ele usava raciocínios diferentes, como se gerasse na hora um modelo mental que explicasse determinada situação. Contudo, como já foi dito, esta maneira de trabalhar é perfeitamente normal e pode inclusive ser evidência de aprendizagem significativa. Uma prova disto é que

de alguma maneira, esses modelos serviram para resolver os problemas encontrados por ele. Além disso, este aluno teve um bom desempenho no curso.

Caso 7 Roger

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação, resolvia os problemas e as questões a partir de fórmulas. É provável que trabalhasse com proposições isoladas, não vinculadas a modelos, não integrando conceitos e/ou aspectos da matéria. Ele repetiu vários testes durante o curso e suas respostas sempre tinham características de explicações de monitores e/ou aspectos muito semelhantes ao texto do livro. Provavelmente, decorava regras e as utilizava. Seria outro proposicionalista. Vejamos algumas de suas respostas (itálico).

Um atirador normalmente segura firmemente sua arma para dispará-la. Por que razão ele sente o impacto da arma no seu ombro?

“Exemplo: Arma $M_a = 50 \text{ kg}$ $V = ?$

Bala $V_b = 5 \text{ m/s}$ $M = 0,02 \text{ kg}$

$P_i = P_f$ $0 = 50 V + 5 \cdot 0,02$... $V = -0,002 \text{ m/s}$

O momento inicial é igual ao momento final. Olhando o exemplo, veremos que a velocidade encontrada para a arma é negativa em comparação com a da bala, por isso que ocorre o impacto da arma no ombro dele.”

... o que você entende por momento de inércia?

“o momento de inércia seria a mesma coisa que a massa no movimento de translação. O momento de inércia está relacionado diretamente com o eixo de rotação e o raio. Quando um objeto está na ponta de uma vareta, seu momento de inércia é maior que se ele tivesse no meio da vareta

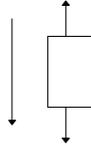
... o que você entende por energia cinética de rolamento?

“ $K = m v^2/2 + I \omega^2/2$ A energia cinética no rolamento é a soma da energia cinética translacional com a rotacional.”

Durante o semestre, o aluno tinha dificuldades na compreensão dos conceitos.

Para que um corpo se mova é necessário que a ação seja maior que a reação, do contrário não há força resultante, e portanto, ele não pode se mover?

“ Nem sempre, porque se a reação for maior que a ação, vai ocorrer o contrário. Ex.: um elevador, se a tensão for menor que o peso, o elevador vai ir para baixo.



O seu modo de trabalhar, basicamente usando proposições isoladas, também poderia ser visto em um comentário que fez a um monitor durante o semestre:

“Eu entendo as fórmulas, elas são fáceis, mas o problema é que nunca sei quando usar a da energia potencial ou a da energia cinética”.

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): na entrevista respondeu as questões usando, na maioria das vezes, os conceitos de força e conservação de energia.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: durante a entrevista, mesmo fazendo uso de conceitos científicos nas suas respostas e predizendo, em alguns casos, corretamente o que iria acontecer, na maioria não conseguia dar uma explicação cientificamente aceitável para suas previsões. Possivelmente “imaginando” a situação problemática nos casos mais simples e nos casos mais complicados não o conseguia. Através de suas respostas, não conseguimos elementos que nos permitissem identificar os possíveis modelos mentais que teria utilizado em relação aos conceitos citados (força e energia). Vejamos alguns trechos de sua entrevista.

Caso de dois blocos colocados numa superfície horizontal, unidos por uma corda e sendo puxados por uma força **F**.

“ Bom, a velocidade vai ser a mesma nos dois, porque quando eu puxo este aqui esse aqui vai vir junto, tão ligados, têm a mesma força de atrito, a mesma gravidade,... A massa seria igual.

E se as massas dos blocos fossem diferentes ?

“Sendo uma maior? Bom, a velocidade vai ser a mesma nos dois. Acho que porque são ligados iguais aqui. A velocidade desse primeiro bloco já inclui o segundo, porque eles estão sendo puxados pela mesma força”.

“A aceleração deles também seria igual. A força vai ser diferente, continua estes dois com massas iguais, sendo que um seja maior ... ah, não, não, de repente seria menor ..., no segundo bloco. Tá, os dois têm a mesma massa, tá. Aí o segundo considerando o outro, esse aqui maior mais esse aqui menor, a soma das duas massas seriam iguais, aí a força vai ser a mesma.”

“Se a força é sempre a mesma? Acho que a aceleração vai ser diferente, a aceleração do bloco mais leve vai ser maior que a do bloco mais pesado.”

No caso dos blocos comprimidos por uma mola ele prevê corretamente o que vai acontecer mas em sua explicação parece existir uma confusão em torno da compreensão das leis de conservação de energia e momento linear.

“ Bom, por causa da conservação de momento, o inicial tem que ser igual ao final. A energia potencial que era antes ele vai transformar em cinética depois vai voltar a potencial.”

“Se têm massas diferentes, eles vão se encontrar na mesma posição ainda. Exatamente porque eu não sei, mas eu sei que caiu numa prova e ... por causa que ... (pausa) ... por causa que o bloco maior teria uma energia potencial maior ... então quando ele volta ...vão se encontrar no meio de novo. Por causa que a energia potencial desse aqui é maior de que essa. Essa aqui vai vir e vai voltar no mesmo ponto. E esse aqui também vai ir e vai voltar...”. Neste ponto, o aluno não fala mais em momento. Talvez isso fosse um indício de que o aluno não sabia muito bem sobre os conceitos que citava nas suas respostas.

Esse aluno tinha muitas dificuldades durante o curso. Contou a um dos monitores que recorria a um professor particular para passar na disciplina, pois não entendia nada, ou melhor, sabia as fórmulas e depois que descobrisse qual teria de usar, ficava fácil. O problema era saber quando e qual fórmula usar. Ele repetiu vários testes e seu desempenho foi sofrível.

Trabalhava ao longo do semestre basicamente usando proposições isoladas, não integrando conceitos e/ou aspectos da matéria. Na entrevista, não conseguia, na maioria das vezes, explicar as questões apresentadas. Não foi possível, através de suas respostas, identificar algum modelo mental que ele teria utilizado sobre os conceitos físicos citados.

Caso 8 Lauro

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: este aluno sempre respondia as questões sem entrar no formulismo da Física, como se entendesse o que iria acontecer, mas sem saber, de uma forma decorada, qual a fórmula a ser usada nas questões e problemas apresentadas nos testes de avaliação. É provável que, pelas razões apresentadas acima, este aluno tenha utilizado modelos mentais basicamente imagísticos durante o curso. Vejamos algumas de suas respostas (itálico).

Considerando os conceitos de trabalho e energia cinética avalie se as seguintes sentenças são verdadeiras ou falsas. Justifique sua alternativa.

(*f*) Se sobre um corpo atua uma força resultante não-nula mas que não efetua trabalho, então o corpo pode mover-se sobre uma reta.

“Se ele se mover haverá trabalho”.

(*v*) Apesar de ser cansativo segurarmos um bloco de 5 kg isto não significa que estejamos realizando trabalho sobre o bloco.

“Eu posso não o estar deslocando”.

A energia mecânica total de uma partícula nem sempre é conservada.

“ Quando há atrito por exemplo ela não se conserva, transformando em energia interna”.

Quando uma partícula efetua uma trajetória fechada, o trabalho total efetuado por uma força conservativa qualquer é igual a zero.

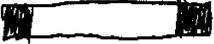
“ Sim pois eles se anulam. Ex: uma bola jogada para cima, a gravidade atua contrária e a favor do movimento”.

A segunda lei de Newton afirma que se não são exercidas forças externas sobre um sistema, este não se acelera. Podemos deduzir daí que não podem haver mudanças no momentum?

“Sim, pois não havendo força não mudará a velocidade conservando o momentum”.

Faça uso de equações e/ou desenhos e/ou leis para explicar o que entende por momento de inércia:

① MOMENTO DE INÉRCIA. É A MEDIDA DA FACILIDADE OU DIFICULDADE PARA QUE ALGUM OBJETO DE ACORDO COM SUA FORMA E SUA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA TEM PARA SE MOVIMENTAR EM ROTAÇÃO.

+ DIFÍCIL  MOMENTO MAIOR

+ fácil  MOMENTO MENOR

Figura 10: resposta de Lauro sobre momento de inércia

Outro elemento que parecia sugerir a utilização de modelos mentais imagísticos por parte do aluno, eram seus mapas conceituais. Neles, ele parecia selecionar um grupo de conceitos, separando-os em duas colunas e fazendo uma ligação entre esses conceitos, estabelecendo sempre relações não matemáticas, identicamente ao seu modo de trabalhar durante o curso, onde também não fazia uso destas relações. Vejamos um dos mapas do aluno.

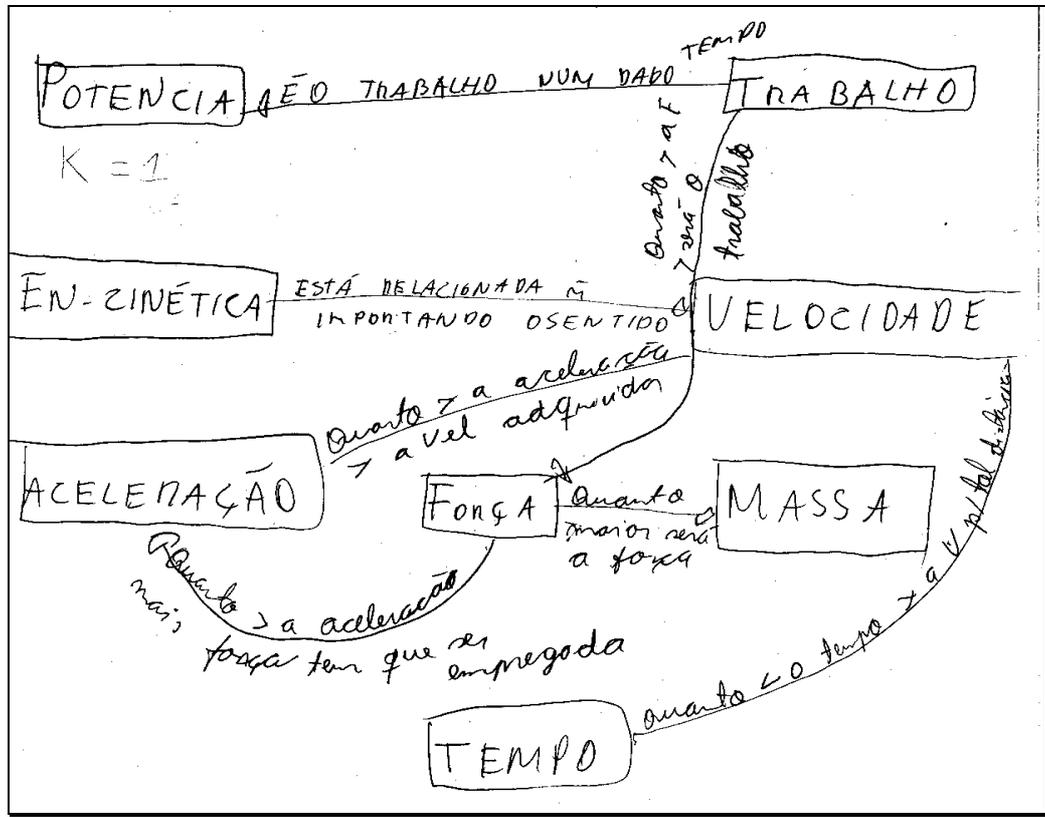


Figura 11: mapa conceitual feito por Lauro

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): respondeu as questões da entrevista usando basicamente os conceitos de força e energia.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista o aluno conseguia prever corretamente todas as situações apresentadas, explicando de uma maneira satisfatória, usando conceitos físicos. Ele parecia entender como as coisas funcionavam, mas não sabia as fórmulas que tinha que aplicar, pois, como ele mesmo dizia, não estudava. Quando pressionado para explicar, fazia uso de leis físicas, mas nunca analisando fórmulas. Aparentemente conseguia “visualizar” as situações apresentadas. Provavelmente os modelos que teria utilizado seriam principalmente imagísticos.

Contudo, não foi possível, através de suas respostas, identificarmos possíveis modelos mentais estáveis sobre os conceitos citados, devido a maneira como ele trabalhava. Para questões similares, ele as explicava usando raciocínios diferentes. Não havia uma regra ou idéia principal que ele usasse nas suas respostas. Era como se ele formulasse, na hora, um modelo mental que servisse para explicar aquela situação. Como já foi dito, no caso 6, esta maneira de trabalhar, gerando modelos na hora, é perfeitamente normal e pode ser evidência de uma aprendizagem significativa. Vejamos alguns trechos de sua entrevista.

No caso de dois blocos amarrados sendo puxados por uma força constante:

“Se não tem atrito e tem uma força puxando, eles vão acelerar ... com a mesma aceleração”

E tem importância a relação entre as massas? Se uma for maior que a outra ou se elas forem iguais. Isso vai influenciar?

“Num sistema ... não vai influenciar no sistema todo”.

Como explicas isso?

“Por exemplo, aí eu vou ter no caso, se eu tenho uma massa maior e uma massa menor, a ordem não vai... eu não vejo...”

“Se eu tenho uma massa pequena e outra grande acho que não vai importar”.

“Vai ser igual, vai se tornar tudo igual ... velocidade, aceleração... eles estão amarrados.”

E se a superfície tem atrito, o que acontece? Independente da massa dos blocos?

“Independente. Se a força de atrito for igual a força aplicada, aí ele não vai acelerar. É, independente”.

Baseado em que tu estás dizendo isso?

“Não me lembro...parece que isso tem uma fórmula...força aplicada e a força de atrito é contrária, se as duas forem iguais aí ele não vai acelerar”.

Tens dois blocos presos por um fio, só que agora eles estão colocados num plano inclinado. A gente quer saber o que pode acontecer.

“...Eles estão aqui, vão descer, tá. Eles estão assim um do lado do outro ... eu acho que se não tiver atrito eles vão descer igual ... com a mesma, a mesma velocidade.”

Como vai ser essa velocidade? Ela vai diminuir, vai aumentar?

“... Vai aumentar, porque a gravidade no caso, acelerando, né?”

E se tivesse atrito?

“...Se tivesse atrito. Vai descer prá cá, conforme fosse a força de atrito, poderia descer constante ou poderia segurar, né?”

Como seria essa situação?

“...Ah, se o atrito fosse igual a essa força aqui, a força peso mais o seno, vezes o seno. Se fosse igual a essa força eles estariam parados”

“... Se um tiver massa maior que o outro? Acho que não importa.”

Porque não importa?

Longa pausa

Temos dois pêndulos duas massas iguais e abandonamos uma desta posição. Gostaríamos de saber o que você acha que vai acontecer.

“... Se não houver perda, esse outro vai prá cá, pro lado oposto vai alcançar o mesmo teto do primeiro do 1, o que tava parado vai ter o mesmo teto que o 2 no início em relação ao 1 o 2 fica parado no meio. Isso se a energia, não houver perda. E depois acontece a mesma coisa.”

E que explicação você daria para isso acontecer?

“Conservação. Conservação de energia ... ele tá pendurado, né? Mgh, é ele tem potencial. O que ele não tem é a de movimento. No caso aqui (2) tem potencial tá parado, isso é certo. Nesse (1) acho que não tem energia ... e vai se transformar em energia de movimento, cinética, né? De movimento. E aqui (colisão) ele vai transferir para o outro, vai pegar essa energia de movimento no caso e vai tornar potencial, aqui assim, e na volta ele vai bater aqui de novo e vai transferir pro outro.”

Antes de tu fazer a cadeira, tu tinha previsões de algumas coisas que podiam acontecer e que durante a cadeira fostes vendo que as tuas previsões estavam erradas ou o que tu viu confirmou as coisas que tu pensava?

“...Deixa eu pensar... é um troço assim, que eu não sabia, é que eu nunca imaginei também, é que se eu não tivesse atrito, e eu empurrasse uma coisa... eu nunca imaginei assim, eu nunca imaginei não ter atrito, por isso eu sempre imaginei que fosse parar o troço. Eu nunca imaginei que se eu empurrasse e não tivesse atrito, ele fosse embora.”

Repetindo, de maneira análoga ao caso de Augusto (caso 6), parecia que o aluno não utilizava modelos estáveis que ficasse evidenciados através de um conceito ou idéia mais geral que usasse para explicar e/ou predizer alguns problemas. O que parecia era que existiam modelos que ele gerava na hora, para explicar algumas situações, pois respondia questões similares com raciocínios diferentes. Esses modelos serviram para resolver os problemas que ele encontrava.

É interessante notar que este aluno, ao resolver os problemas propostos nos testes de avaliação durante o semestre, nos primeiros testes ele resolvia os exercícios de uma maneira bem desordenada, obtendo o resultado, mas colocando de uma maneira muito confusa no papel; às vezes fazia uso das fórmulas sem enunciá-las, outras vezes enunciava a fórmula que estava sendo usada. Da metade do curso em diante, ele começou a organizar melhor os seus dados. Talvez isso tenha acontecido pelo fato de que os possíveis modelos que ele utilizaria para resolver os problemas, estariam sendo elaborados ao longo do curso. Assim, à medida que esses modelos iam ficando mais elaborados, ele compreendia melhor os problemas e as suas respostas iam ficando mais claras, mais organizadas.

Caso 9 Antenor

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: parecia trabalhar com modelos basicamente proposicionais (regras acopladas, integrando conceitos e/ou aspectos da matéria): explicava as questões e problemas propostos nos testes de avaliação com auxílio das definições matemáticas, porém

demonstrando uma certa compreensão das mesmas, como mostram as suas respostas (em itálico) nos testes de avaliação.

Faça uso de explicações e/ou desenhos e/ou fórmulas para explicar como você entende por a relação entre força e centro de massa.

“ $\sum F_{ext} = m \cdot a_{cm}$. Em um corpo ou em um sistema de corpos a resultante das forças externas aplicadas neste corpo (ou sistema) é igual a massa total do corpo (ou sistema) vezes a aceleração do centro de massa deste corpo (ou sistema). Ou seja, é como se a força atuasse diretamente sobre o centro de massa desse corpo (ou sistema).”

Faça uso de explicações e/ou desenhos e/ou fórmulas para explicar o que você entende por momento de inércia.

“O momento de inércia mede a maneira que a massa de um corpo está distribuída neste corpo.

Para massas discretas temos: $I = \sum m_i r_i^2$. Para a massa distribuída pelo corpo temos: $\int r^2 dm$, exemplo: esfera sólida.”

Faça uso de explicações e/ou desenhos e/ou fórmulas para explicar o que você entende por energia cinética de rolamento:

$$K = 1/2 I_{CM} \omega^2 + 1/2 M V_{CM}^2$$

A energia cinética de rolamento é dividida em duas partes: a energia de rotação ($1/2 I_{CM} \omega^2$) e a energia de translação ($1/2 M V_{CM}^2$). Quanto maior momento de inércia maior será a componente rotacional. Por exemplo: a componente rotacional do aro é maior que a da esfera.”

Um canhão dispara uma bala. O que acontece com o canhão e a bala? Por que?

“O momento linear é conservado $P_i = P_f$, $0 = mv + MV$, $m =$ massa da bala; $v =$ velocidade da bala; $M =$ massa do canhão; $V =$ velocidade do canhão. Devido a grande massa do canhão em relação a bala o canhão adquire uma velocidade pequena e para trás. $V = -mv/M$. Já a bala, por possuir uma pequena massa adquire uma grande velocidade $v = MV/m$ ”.

Resolvia os problemas de conservações utilizando princípios gerais. Parecia que o aluno, ao resolver problemas, não utilizava fórmulas como regras estabelecidas à um determinado tipo de problemas, mas sim que, a partir das leis mais gerais, ele

olhava a situação específica do problema e a partir daí elaborava a sua solução. Mais uma vez sugerindo que seu modo de trabalhar fazia uso de modelos proposicionais.

$$E_i = E_f \quad K_i + U_i = K_f + U_f \dots$$

$$EMA = EMB \\ U_i = U_f + K_f \quad E_c + E_p = E_c \dots$$

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): durante a entrevista utilizava como núcleo de suas explicações os conceitos de força para explicar situações envolvendo corpos isolados e energia para explicar corpos em interação (corpos em contato).

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista ele descrevia e, ao mesmo tempo, explicava a situação que lhe era apresentada utilizando conceitos científicos. Identicamente aos casos 6 e 8, parecia que ele gerava os modelos, na hora, para explicar determinadas situações, pois usava raciocínios diferentes para responder questões similares. Era como se ele conseguisse enxergar as situações e elaborar suas soluções, possivelmente fazendo uso de modelos bastante imagísticos.

Para ele, a força parecia estar relacionada tanto com o movimento quanto com a aceleração, mas não foi possível identificar como seria essa relação, pois suas respostas não nos deram elementos que nos permitissem identificar possíveis modelos mentais estáveis utilizados por ele envolvendo esses conceitos.

No problema de dois blocos amarrados por uma corda e colocados em um plano inclinado, o aluno respondeu primeiramente sem falar atrito.

“Aí eles vão descer a rampa... por causa do peso deles... A componente horizontal do peso vai fazer com que eles...tenham um movimento acelerado, eu acho. Vai ter uma aceleração.”

Qual vai ser a aceleração de cada bloco?

“Acho que eles acabam como um bloco só. Porque um vai puxar o outro...sei lá... não` da para explicar muito bem, mas eu entendo que eles vão atuar como um bloco só que vai descer junto, com uma determinada aceleração.”

E se tivesse atrito, o que aconteceria?

“Dependendo do atrito, eles podiam até nem descer ... E se não fosse muito grande eles desceriam com uma aceleração menor do que a que eles desceriam do que se não tivesse atrito.”

Quando os problemas eram de colisões, ou seja, interações por contato, o aluno explicava em termos de energia. Possivelmente, utilizava um modelo incompleto ou que parecia formar na hora onde o conceito de energia aparecia relacionado com o movimento, ou seja, um corpo em movimento possuía energia e através de uma interação por contato transferiria esta energia para outro corpo. A quantidade de “energia” transferida parecia estar relacionada com a massa dos corpos em questão, mas o aluno parecia não ter claro como era esta dependência, tal como mostra o trecho abaixo.

Eu tenho dois pêndulos de massas iguais, e eu ligo um contra o outro, o que acontece?

“Tenho a impressão que essa aqui vai passar toda a energia dela para esta aqui que vai subir com a mesma velocidade que essa aqui tinha... e a outra vai parar.”

E se uma das bolinhas tem massa maior?

“ A com massa maior talvez saia... não sei se sai com a velocidade da menor... não tenho muita certeza... Aí ela bater, voltaria ... e a com massa maior sairia. Acredito que com a velocidade que estava a com massa menor, ou... menos...”

Também na situação que envolvia dois blocos comprimidos por uma mola e liberados, ele associava o movimento dos blocos ao fato de que durante o contato da mola com estes ela transferia energia para os blocos.

Quando eu largar os blocos, eles vão, um para cada lado, batem na parede, voltam... vão bater na parede e voltar... e aí a mola vai dar energia para eles...”

Este aluno respondeu bastante bem tanto as questões quanto os problemas dos testes de avaliação, mas as respostas que ele deu na entrevista não permitiram a identificação de possíveis modelos mentais estáveis em relação aos conceitos citados por ele. Para questões similares ele explicava usando raciocínios diferentes. Não havia uma regra ou idéia principal que ele usasse nas suas respostas. Era como se ele formulasse, na hora, um modelo mental que servisse para explicar aquela situação.

Quando tentamos identificar os possíveis modelos mentais que os alunos teriam usado em relação aos conceitos físicos utilizados por eles para explicarem as questões da entrevista, tivemos muitas dificuldades de encontrar elementos que nos permitissem inferir alguns modelos mentais aos alunos dos casos 6, 8 e 9. A dificuldade surgiu pelo fato de esses três alunos tinham o mesmo estilo de trabalho, a mesma maneira de enfrentar os problemas. Em questões similares, eles pareciam usar raciocínios diferentes para explicar, não usavam uma regra ou idéia principal que explicasse situações parecidas. Como já foi dito, é provável que estes alunos gerassem modelos, na hora, para resolver determinadas situações. Além disso, parecia que esses alunos “rodavam” os modelos como se fossem um filme. Esses modelos seriam imagísticos e haviam elementos nas suas respostas que não eram necessariamente do cotidiano.

Caso 10 Guilherme

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: ao resolver problemas e questões dos testes de avaliação, aparentemente o aluno não utilizava fórmulas específicas para cada situação, mas sim parecia compreender o que fazia, partindo de princípios e fórmulas gerais. Ele utilizava exemplos que nem sempre se encontravam no livro de texto; fazia gestos com as mãos, como se quisesse mostrar o que estava enxergando; não fazia uma mera manipulação de fórmulas, parecia que as empregava de uma maneira que dava a entender que compreendia o que estava fazendo; sempre levantava hipóteses sobre os problemas apresentados e gostava de discutir as questões que existiam no livro. Parecia ter uma visão dos assuntos que trabalhava e sempre utilizava desenhos e/ou pequenos esquemas para responder questões e resolver problemas. Pelas razões citadas acima, é possível que esse aluno tenha trabalhado fazendo uso de modelos basicamente imagísticos.

Vejamos algumas de suas respostas (itálico).

Quando um ágil saltador pula sobre uma barra seu centro de massa fica abaixo desta.

“ Sim, o mesmo exemplo da folha (uma folha de qualquer material dobrada na forma de meia-lua), pois seu corpo se curva sobre a barra formando uma figura semelhante, a menos que ele pule muito mais alto que a barra ficando assim em cima da barra.”

Um atirador normalmente segura firmemente a sua arma para dispará-la. Por que razão ele sente o impacto da arma em seu ombro?

“ Pelo fato de existir um fator ação e reação, a força com que é disparado o projétil, também é feita sobre a arma, e se converte no impacto sentido pelo atirador. Ou também pelo fator $P_p + P_a = 0$, onde a arma também teria um deslocamento e uma velocidade contrárias a do projétil, estando a arma fixa ao ombro este movimento se transforma no impacto sentido pelo atirador.”

A figura a seguir mostra a resposta do aluno para a questão ‘Quando o momento de inércia de uma perna é menor, quando a perna está dobrada ou quando a perna está estendida, sendo que ambas estão oscilando livremente? Explique sua resposta ’

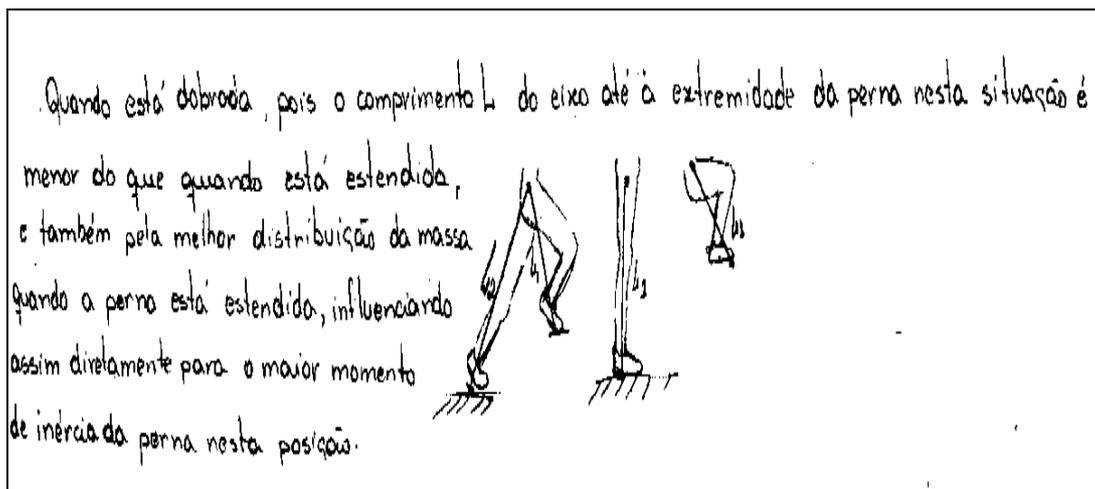


Figura 12: resposta de Guilherme em relação ao momento de inércia

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

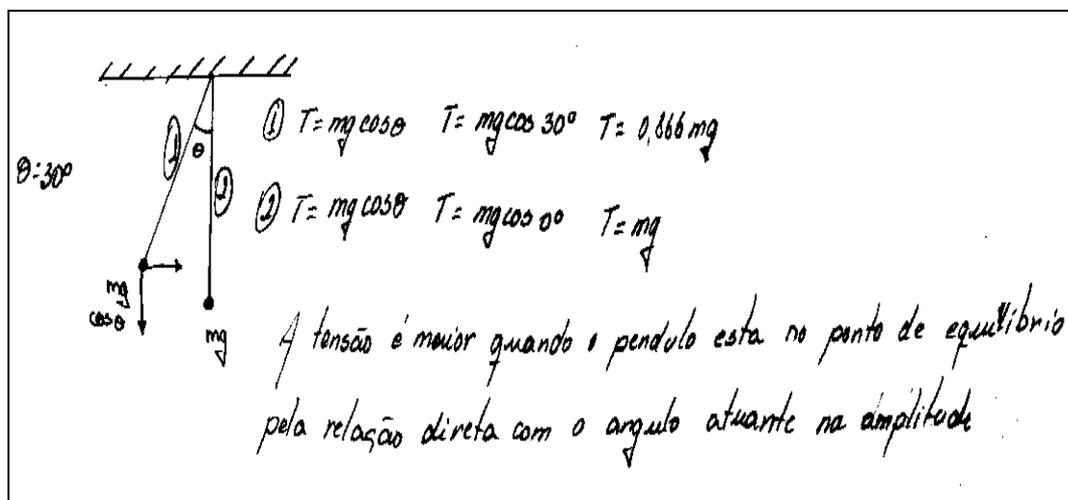


Figura 13: resposta de Guilherme sobre pêndulo simples

Ao responder a um monitor como era o seu processo para resolver um exercício, comentou:

“ É entender, é raciocinar, é pensar a Física. Não é decorar a Física.”

Vejamos um exercício resolvido pelo aluno em um dos testes de avaliação.

Um projétil de massa igual a 2,4 kg é lançado com uma velocidade inicial igual a 159 m/s, fazendo um ângulo de 41° com a horizontal, do topo de um rochedo situado a 125 m acima do chão.

- qual é a energia cinética do projétil imediatamente após ter sido lançado?
- qual a sua energia potencial? Suponha que o chão esteja a $y = 0$.
- supondo que a resistência do ar possa ser ignorada, determine a velocidade do projétil imediatamente antes de atingir o solo.

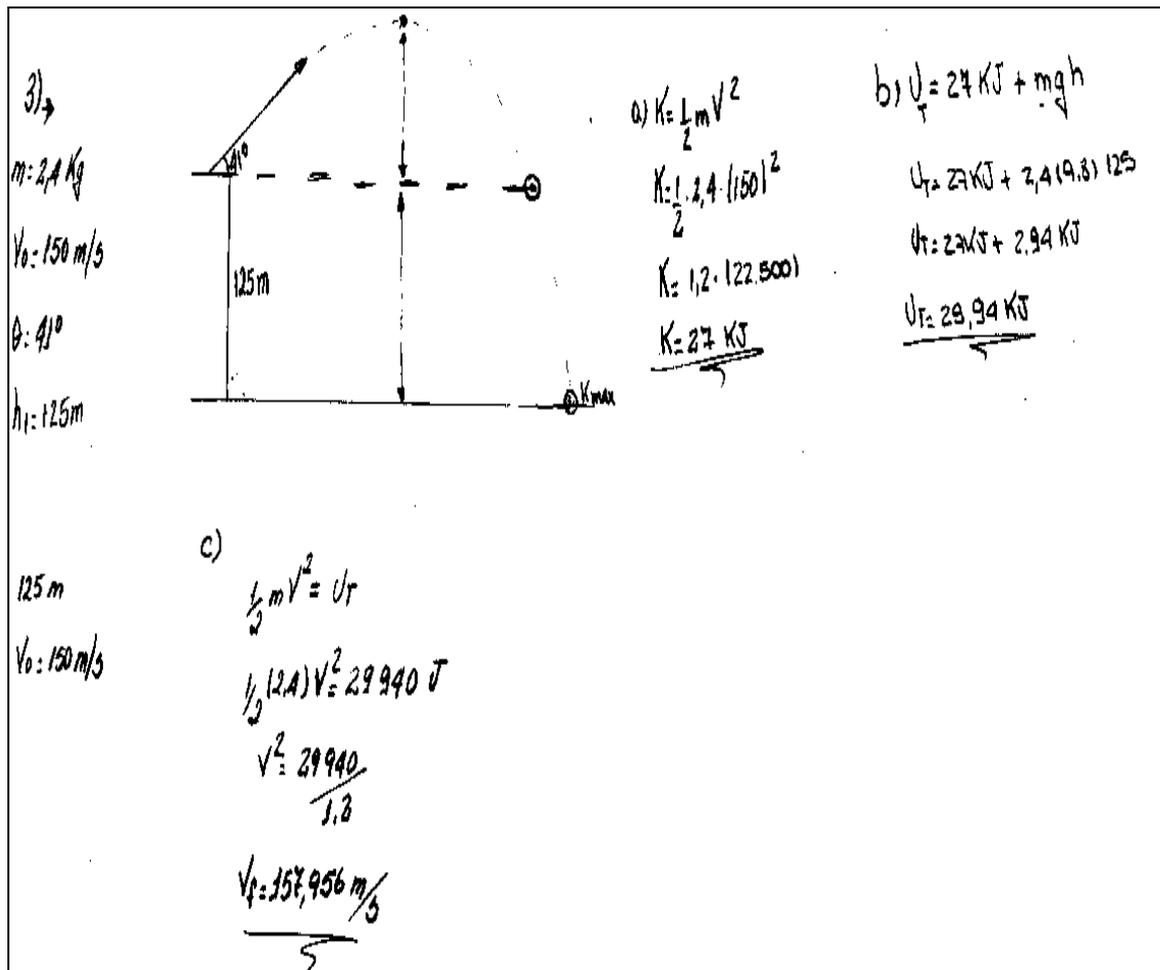


Figura 14: exercício realizado por Guilherme envolvendo movimento de projéteis e energia

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): o aluno, ao responder as questões abordadas na entrevista centrou suas explicações principalmente nos conceitos de força e de energia.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: na entrevista, quando surgiram situações envolvendo corpos isolados, o aluno as explicava em termos de força e as situações envolvendo corpos em contato, explicava usando o conceito de energia. Antes de mostrar alguns trechos da entrevista, achamos importante salientar que primeiro o aluno desenhava a situação apresentada e colocava, corretamente, os vetores das forças existentes, para depois começar a responder. Isso acontecia em todos os problemas apresentados. Devido ao teor de suas respostas, é possível que ele tenha utilizado, durante a entrevista modelos mentais imagísticos.

A resposta do aluno em relação a questão do plano inclinado, poderia nos levar a um modelo sobre o conceito de força próximo ao de força como interação, pois o aluno parecia entender a terceira lei de Newton. Provavelmente esse possível modelo sobre conceito de força o levou a compreender o princípio da inércia.

Vejam os alguns trechos de sua entrevista.

No caso dos blocos colocados em um plano inclinado e amarrados por uma corda:

“Vai ter uma força F para baixo, que vai ser a soma dos dois ‘ $m.g.\sin\Theta$ ’, sendo Θ o ângulo de inclinação, vai ter as normais, uma força contrária a essa ‘ $m.g.\sin\Theta$ ’ que vai ser a normal, que é ‘ $m.g.\cos\Theta$ ’ vezes o coeficiente de atrito cinético, que é a força de atrito e a tensão na corda.”

“Se as forças forem iguais o sistema fica parado, ou melhor, se as forças se anulam.”

“Se uma das forças for maior, bom, a de atrito pode ser maior e o sistema fica parado, mas se a força que está no sentido descendendo o plano for maior, ele vai descer em movimento acelerado. Os dois blocos com a mesma aceleração.”

“Sendo a força constante, se a massa variar, a aceleração varia mas, se a força for constante e a massa não variar, a aceleração não varia.”

“A velocidade dos blocos vai ser igual mas não vai ser constante por causa que eles estão expostos a gravidade.”

Quanto a sistemas em interação por contato, explicava em termos de conservação de energia, como se os corpos possuíssem energia e esta fosse transmitida de um corpo para outro através do contato. Um corpo poderia transferir toda energia que possuísse ou parte da energia que possuísse, dependendo da massa dos corpos envolvidos.

Eu tenho uma bolinha de massa m , de aço, e aqui também, eu jogo uma contra a outra...Caso 1 as massas são iguais e caso 2 a massa que está parada é maior que a outra. O que acontece?

“ Colisão elástica. Elas são feitas do mesmo material e tem a mesma massa, a energia dessa bolinha que tá descendo vai ser transferida toda para esta aqui, então no caso a que desce bate e fica parada e essa aqui sobe na mesma amplitude. E nesse caso aqui, sendo a massa maior no caso, ela vai descer, também essa energia vai ser transferida para essa, mas não totalmente, ela vai ter um recuo e essa aqui vai subir...”

“ A potencial vai diminuindo e a cinética vai aumentando, aqui é o ponto de energia cinética máxima, onde ocorre a colisão, então a energia cinética máxima vai ser transferida para essa, que vai subir até atingir o mesmo nível de energia potencial inicial da outra bolinha.”

Porque neste problema, antes de começar, você disse que era uma colisão elástica?

“ Porque ocorre a total transferência de energia, a bolinha bate e para, ela não continua com movimento e nem inverte o movimento.”

A mesma idéia se repete na situação envolvendo dois blocos, que por um dispositivo qualquer explodem.

“A energia que a mola teria quando estava sendo comprimida vai ser dividida em dois.”

Talvez ele tenha utilizado esse modelo sobre o conceito de energia no decorrer do curso. Vejamos uma resposta do aluno a um dos testes de avaliação.

O trabalho é um processo através do qual é possível transferir energia de um corpo para outro.

“Sim, pois existindo força resultante é sinal de que algum tipo de energia foi transferida de um corpo para outro.”

Não ficou, no entanto, evidente, através das suas respostas durante a entrevista, qual o modelo que este aluno teria utilizado sobre o conceito de força. É possível que ele tenha se valido de um modelo mental sobre este conceito que esteja mais próximo do cientificamente aceito, mas não podemos afirmar isso. Ele conseguiu explicar corretamente o que iria acontecer nos problemas dos blocos colocados no plano inclinado e em uma superfície plana, mas não conseguimos elementos que nos permitissem identificar qual seria este modelo, a não ser que ele está próximo ao modelo de força como interação pois, ao que parece, o aluno conseguiu compreender e aplicar bem a terceira lei de Newton. Quanto ao modelo sobre o conceito de energia que ele usou, podemos dizer que, para ele, a energia é algo que pode ser transformado (quando um corpo assume diferentes posições) ou transferido (no caso de contato entre os corpos).

Caso 11 Lígia

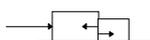
TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação um grande número de problemas foram trabalhados partindo de princípios gerais, ou equações gerais, com desenhos e esquemas auxiliares, não parecendo ser uma mera aplicação mecanicista de fórmulas específicas para cada situação em particular. Um exemplo disto apareceu no conteúdo de cinemática onde utilizava as mesmas equações para o movimento de queda livre, ou seja, não tomava este caso particular de um movimento retilíneo uniformemente variado como algo diferente, ou melhor, que necessitasse equações matemáticas diferentes. O mesmo

aconteceu com as aplicações dos princípios de conservação de energia e de momento linear, onde a aluna partia do princípio geral da conservação e representava através de desenhos o que estava fazendo, dando uma idéia clara de que sua resolução baseava-se na compreensão dos problemas. Aparentemente, trabalhava com modelos predominantemente imagísticos pois sempre levantava hipóteses sobre os problemas apresentados, parecendo ter uma visão dos assuntos que trabalhava e sempre utilizava desenhos e/ou pequenos esquemas para responder questões e resolver problemas. Vejamos algumas de suas respostas (itálico) aos testes de avaliação.

Faça uso de equações e/ou leis e/ou desenhos para dizer o que você por ...

... sistema e força interna a um sistema.

“ Por exemplo, se olharmos o sistema formado por dois blocos A e B, uma força externa que age no sistema é a força que A exerce em B, assim uma força interna é uma força exercida por uma parte do sistema sobre outra parte do sistema. O sistema pode ser escolhido como quisermos”.

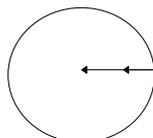


... relação entre força e conservação de momento)

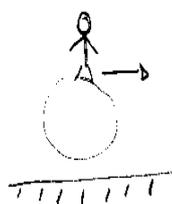
“ Se a soma das forças externas que agem sobre um determinado sistema for zero, então ocorre a conservação do momento linear deste sistema, isto é, se um sistema for isolado ($F_{ext} = 0$) e fechado (número de partículas for constante) temos que $P_i = P_f$. Se a $\sum F_{ext} = 0 \rightarrow a_{CM} = 0 \rightarrow V_{CM}$ é constante.”

... conceito de força centrípeta.

“ $F_{cp} = m \cdot a_{cp}$, então: quando temos um corpo, se movimentando em uma superfície circular, esse corpo possui uma aceleração centrípeta, e, por consequência uma força, direcionada para o centro da superfície, que é chamada de Força Centrípeta.”



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



Se analisarmos o sistema pessoa - terra e tomarmos a x horizontal, temos

$$P_i = P_f$$

$$m_H v_H + m_T v_T = m_H v_{Hf} + m_T v_{Tf}$$

$$m_H \cdot 0 + m_T v_T = m_H v_{Hf} + m_T v_{Tf}$$

$$v_{Tf} = \frac{m_T v_T - m_H v_{Hf}}{m_T}, \text{ assim se a}$$

v_{Hf} for maior que v_T , então a v_{Tf} será negativa, ou seja, ela estará se movendo no sentido oposto do movimento do homem.

Figura 15: exercício resolvido por Lígia envolvendo momentum

Um bloco está em repouso sobre uma superfície horizontal, de maneira que não está acelerando na direção y , porque a força peso e a normal formam um par ação e reação e, portanto, se anulam.

“3ª Lei de Newton. O par ação e reação possui o mesmo módulo, mesma direção e sentido contrário sendo que o par ação e reação não atuam no mesmo corpo e portanto não se anulam.”

Um canhão dispara uma bala. O que acontece com o canhão e com a bala? Explique sua resposta.

“Quando um canhão dispara uma bala, a bala adquire certa velocidade para frente e o canhão recua, pois ocorre a conservação do momento linear, pois a soma das forças externas é igual a zero. $P_i = P_f \rightarrow mV_b + mV_c = mV_b + mV_c, \quad 0 = mV_b + mV_c, \quad mV_b = -mV_c.$ ”

Resolvia os problemas de conservações utilizando princípios gerais.

$$\begin{aligned}EMA &= EMB \\ E_c + E_{pg} &= E_c + E_{pg} \\ (m \cdot V)^2/2 + 0 &= 0 + m \cdot g \cdot h \dots\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P2 &= P3 \\ a) m_A \cdot V_A + m_b \cdot V_b &= m_B \cdot V_B = m_A \cdot V_{Af} + m_b \cdot V_b \\ 2,0,5 + 10 \cdot 4 \cdot V_b &= 3,0,3 + 2,0,5 + 10 \cdot 4 \cdot 1,4 \\ b) P1 &= P2 \\ m_b \cdot V_b &= m_A \cdot V_A + m_b \cdot V_b \quad 10 \cdot 4 \cdot V_b = 2,0,5 + 4 \cdot 10 \cdot 0,2264 \cdot 10 \dots\end{aligned}$$

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): suas explicações para as questões apresentadas na entrevista foram, na maioria das vezes, baseadas em dois núcleos que envolviam os conceitos de força e energia.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: durante a entrevista, em apenas uma das situações propostas, a aluna justificou em termos de energia, sendo que em todas outras situações - indiferentemente se envolvendo corpos em contato ou corpos isolados - a aluna explicou em termos de força. É provável que, identicamente a sua maneira de trabalhar ao longo do curso, tenha utilizado modelos imagísticos ao resolver as questões a ela apresentadas, ao longo da entrevista.

As situações envolvendo corpos em contato respondeu utilizando a lei de ação e reação, com uma idéia de que os corpos não possuem forças, e parece também que para ela o movimento não necessita da presença de uma força para existir.

No caso do canhão que lança uma bala.

“ A bala vai adquirir uma velocidade e vai para cá, e o canhão vai recuar.... Porque quando ele atira a bala, a bala vai para frente, esta bala vai exercer uma força que é contrária ao canhão, e vai empurrar ele para trás ...”

Qual vai ser a aceleração da bala?

“ É... a aceleração da gravidade. Aqui assim, isso é lançamento de projéteis, né? Aqui é MRU.... aqui vai ser um MRUV...”

Quem provocou este movimento nesta bala?

“ Foi a força com que a bala saiu daqui.”

Depois que a bala saiu do canhão, tu podes dizer quais são as forças que atuam sobre ela?

“Atua o peso, que é a força da gravidade. Hã, daí...a viscosidade, que se chama, do ar... e só, eu acho.”

Esses dados poderiam nos sugerir um modelo sobre o conceito de força como uma interação por contato, pois a aluna parece ter clara a idéia de forças de ação e reação. Esta idéia de interação por contato onde a força não é o agente que causa o movimento, provavelmente levou-a a compreender o princípio da inércia. No entanto, como veremos a seguir, esse modelo não é o cientificamente aceito, pois a aluna, no caso da energia, a relacionava com “causa do movimento”.

É possível também que, durante o curso, nos testes de avaliação, esse possível modelo mental sobre o conceito de força, que indica a força como interação entre corpos, tenha sido usado. Vejamos algumas respostas da aluna envolvendo esse modelo.

Faça uso de explicações e/ou fórmulas e/ou desenhos para dar uma idéia do que você entende por inércia."

“ Lei da inércia: Um corpo tende a manter seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme, a menos que forças externas atuem sobre ele. Um exemplo do princípio de inércia é o M.R.U. que não possui aceleração, pois a força resultante sobre ele é nula. Assim, se ele está em M.R.U., permanece em M.R.U.”

Faça uso de explicações e/ou equações e/ou desenhos para descrever aos efeitos do atrito estático e cinético sobre um corpo.

"Atrito estático: quando um corpo está sobre uma superfície e a ele é aplicada uma força horizontal, surge então o atrito entre a superfície e o corpo. O atrito é estático quando o módulo da força aplicada ao corpo é igual ao módulo da força de atrito, e essa força de atrito é chamada força de atrito estático, pois o corpo permanece em repouso. $F_{ae} = \mu_e \cdot N$.

O atrito é cinético quando o módulo da força de atrito estático diminui e passa a se chamar força de atrito cinético e, desta forma, o módulo da força que é aplicada ao corpo é maior que o módulo da força de atrito cinético e o corpo começa a se mover. $F_{ac} = \mu_c \cdot N$.”

Voltando à entrevista, tentemos analisar o modelo que a aluna teria usado quando falava no conceito de energia.

Talvez um possível modelo de energia que ela tenha utilizado seja o de que a energia estaria ligada diretamente com o movimento, ou melhor, como causa do

movimento. Usando este modelo, a aluna não conseguiu prever corretamente o que iria acontecer, diferentemente dos casos em que aplicou o conceito de força para explicar.

Vejamos alguns trechos da sua entrevista.

Suponha que tenha dois pêndulos de massa m e comprimento l , sendo que entre eles há um ângulo de 90° . O que acontece quando eu largo um contra o outro?

“ Eu acho que eles vão cair juntinhos, assim, vindo prá cá e voltar. E voltar até parar.... Porque este aqui vai adquirir uma velocidade, quando tu largou.... Aqui ele vai ter uma energia potencial, e quando chegar aqui, ele vai ter uma energia cinética.... Aí ele vai adquirir uma velocidade, uma colisão perfeitamente elástica que chama quando os dois ficam juntinhos?.... Então eles vão andar juntinhos”

E se a massa deste aqui for maior que a massa deste aqui?

“ A mesma coisa, aqui tem energia potencial, energia cinética, que é a energia cinética deste m mais a energia cinética deste m .”(pêndulo)

É provável que durante o curso, nos testes de avaliação ela também tenha se valido deste modelo, sobre o conceito de energia, para resolver as questões.

Vejamos alguns exemplos.

Faça uso de explicações e/ou equações e/ou desenhos para descrever o que você entende por trabalho.

“Trabalho: é a equação matemática que mede a transferência ou transformação de energia, pois quando ocorre uma transformação ou transferência de energia, a força está deslocando seu ponto de aplicação, assim; $T = F.d.\cos\theta$.”

Em uma resposta de um dos testes de avaliação, onde era solicitado que fizesse uma analogia para explicar o conceito de energia, a aluna relacionava claramente o conceito de energia com trabalho. Talvez para ela falar em energia, necessariamente envolvesse algum processo que resultasse no movimento dos corpos, como se a energia fosse causa da existência do movimento. Parecia que para ela, os corpos tinham energia e essa energia estaria associada a capacidade de produzir movimento.

Faça uma analogia para explicar o conceito de energia.

“Por exemplo, se colocarmos vários dominós alinhados na vertical, ao impulsionarmos o primeiro dominó, esse empurra os outros, pois o primeiro adquiriu uma quantidade de energia que é transferida aos demais, assim a energia está associada a capacidade de produzir movimento. Ou seja, a energia é a propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho.”

Repetindo, durante o desenvolvimento da disciplina, nos testes de avaliação, a aluna parecia utilizar modelos basicamente imagísticos, pois sempre fazia uma análise das questões e fazia pequenos desenhos e/ou esquemas antes de respondê-las. Também parecia usar modelos predominantemente imagísticos na entrevista, onde dava a entender que tinha compreendido força como interação, pois suas respostas eram corretas quando fazia uso deste modelo.

Caso 12 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 poderia levar 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.”

Vejam 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.

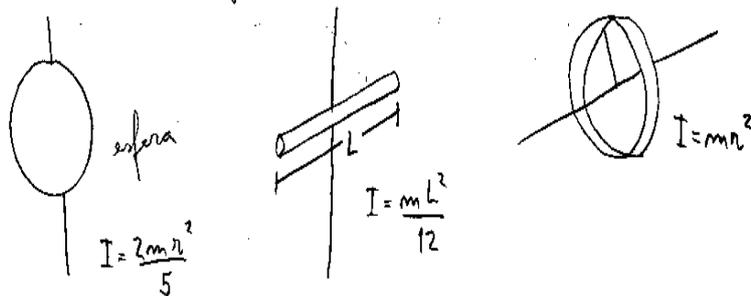
“Falso. Para um corpo começar a se mover, é necessário que uma força atue sobre ele. Porém, ele permanecerá em movimento uniforme até que uma força seja aplicada sobre ele.”

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:

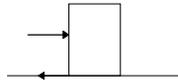


Porém, em todas elas, sempre é importante a distância da distribuição da massa em relação ao eixo. Nos três exemplos, quanto mais "longe" a massa se distribuir em relação ao eixo de rotação, maior será o momento de inércia. Assim, pode se concluir que quanto mais "espalhada" é a massa do corpo, quanto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

Figura 16: 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.

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

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

① $W_f = ?$

$W_f = f \cdot d \cdot \cos \theta$

$f = \mu \cdot N = 0,25 \cdot 34,3$

$N = P = 3,5 \cdot 9,8 = 34,3 \text{ N}$

$W_f = 8,6 \cdot 7,8 \cdot -1$

~~$f = 8,6 \text{ N}$~~

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

② A energia cinética atinge valor máximo no instante em que o bloco se solta da mola, onde a velocidade é máxima (v_0).

$f = \mu \cdot N = m \cdot a$

$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$

$8,6 = 3,5 \cdot a$

Como o corpo está freando, a é negativa.

$a = 2,46 \text{ m/s}^2$

$v^2 = v_0^2 - 2a\Delta x$ $v = 0$

$0 = v_0^2 - 2 \cdot 2,46 \cdot 7,8$

$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{3,5 \cdot 38,376}{2}$

$v_0^2 = 38,376$

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

$K = 67,16 \text{ J}$

③ A energia mecânica é constante e quando o corpo deixa a mola ela 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 17: 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.

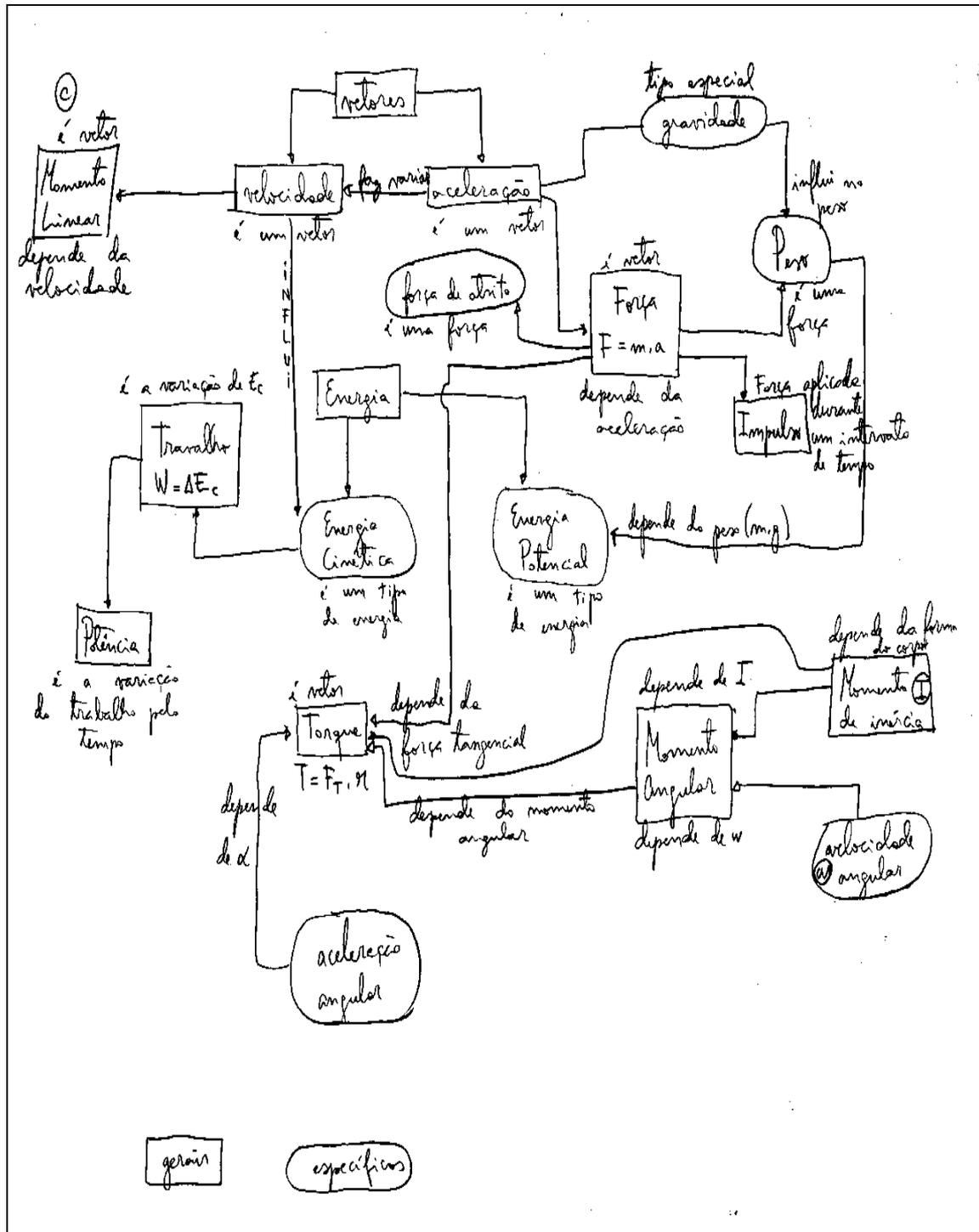


Figura 18: mapa conceitual feito por José Paulo

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

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: 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 poderia estar escondida atrás 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 bola vai sair com uma velocidade prá cá e o canhão vai ser empurrado também prá cá.”

Porque isso acontece?

“Por que...por que... 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 previsões 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.

Caso 13 Júlia

TIPO DE REPRESENTAÇÃO MENTAL UTILIZADO DURANTE O CURSO: nos testes de avaliação, aparentemente trabalhava com proposições isoladas, desvinculadas de modelos, que interligavam conceitos e/ou aspectos da matéria. Outro caso de proposicionalismo. Parece não ter havido uma evolução por parte da aluna na compreensão dos conceitos apresentados.

Vejamos algumas anotações dos monitores sobre a aluna:

“Não sabe dizer o que é força além de $m \times a$ ”.(23/5 monitor 1)

“Entende conservação de momento como conservação do sistema; trabalha com conservação dos corpos isolados; não faz diagramas de forças e suas componentes, na

medida em que elas estão decompostas consegue resolver os problemas, se a aluna tem que decompô-las, parece não compreender o que faz.”(21/5 monitor 2)

“Não entende momento de inércia, confunde , usando a palavra massa na palavra inércia”. (11/6 monitor 2)

Na resolução de problemas, aplicava as fórmulas direto, sem avaliar os resultados.

“Usou as equações do MRU porque as equações do MRUV davam dois resultados (dois instantes em que a bola estava a 15m do solo).”(21/3 monitor 3)

Ao responder (itálico) as questões usava exemplos do livro de texto, mas parecia não entender.

Explique com suas próprias palavras o que você entende por ser a lei de conservação do momento angular. Dê exemplos.

$I_i \omega_i = I_f \omega_f$ $l = m (r \times v)$ $v = \omega R$
Quando consideramos um sistema isolado, onde $\sum \tau_{ext} = 0$, há conservação do momento angular no sistema. Um exemplo que prove isso é quando uma pessoa em pé gira em torno do seu próprio eixo. Quando ela abre os braços seu raio aumenta e com isso sua velocidade angular será menor; ao encolher os braços seu raio diminuirá mas em compensação sua velocidade angular será maior.”

Na resposta acima, a aluna fala “seu raio”, quando teria que falar da distribuição de massa em torno do eixo de rotação, demonstrando não ter domínio sobre o conceito abordado na questão.

Vejamos outras questões dos testes de avaliação, onde fica evidente que ela se atrapalhava e confundia o que estava falando, demonstrando não ter conhecimento dos conceitos que estava desenvolvendo em suas respostas.

Comente a seguinte afirmativa: O centro de massa de um sistema de partículas está sempre mais próximo da partícula mais pesada.

“O centro de massa representa o ponto de equilíbrio do corpo, então seu peso deve estar devidamente distribuído para que ele fique equilibrado. Por isso o centro de massa fica localizado mais próximo da partícula mais pesada.”

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

$I = \sum m_i r_i^2$. A inércia rotacional depende da massa e do raio do corpo. Quanto maior é o raio de um corpo em rotação, maior será seu momento de inércia, ou seja, sua rotação em torno de um eixo que passa pelo seu centro de massa será menor do que um corpo que possui raio menor. Por exemplo, sejam duas esferas, uma oca e outra sólida, as duas com a mesma massa; a esfera oca terá maior momento de inércia, pois $\sum r_i^2$ será bem maior do que uma esfera sólida onde a distância entre r e o centro de massa é bem menor.”

Seus mapas foram confeccionados com conceitos isolados cujas relações eram feitas através de fórmulas. Se analisarmos o mapa, veremos que ela separava o momentum do resto da matéria. Isso reafirmava o fato de que as fórmulas não estavam interligadas e pareciam estar desvinculadas de modelos mentais, comprovando o seu modo de trabalhar, basicamente proposicional (regras desacopladas, não interligando conceitos e/ou aspectos da matéria).

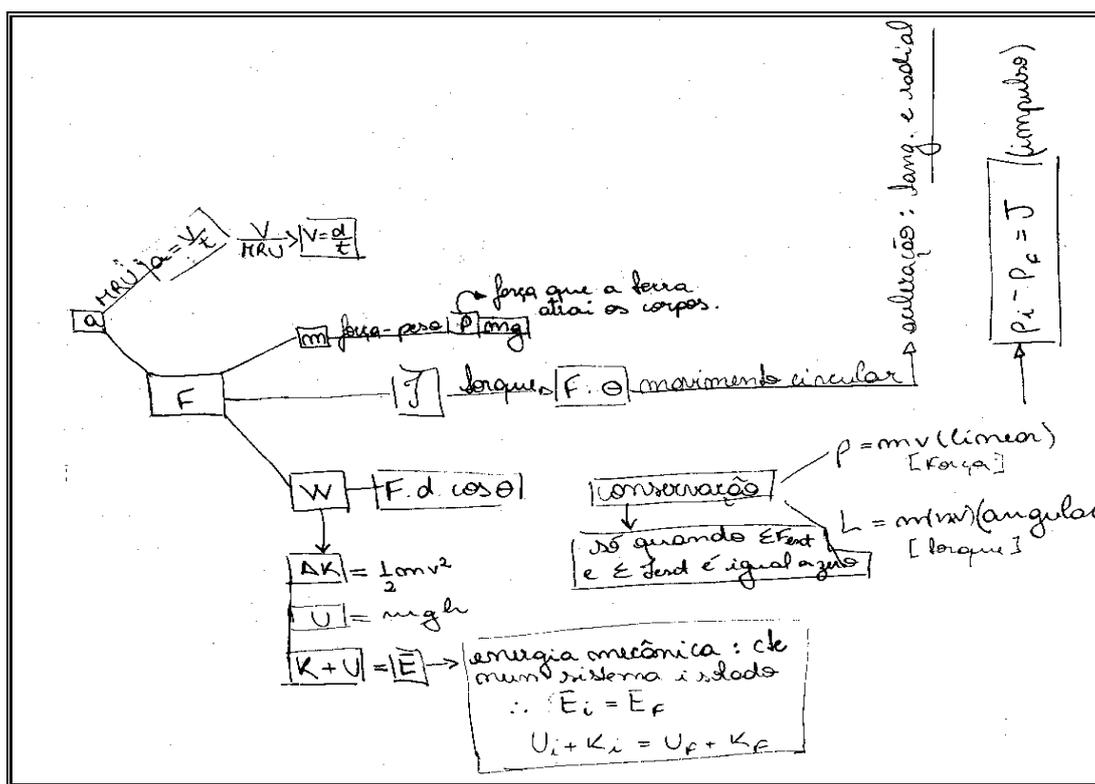


Figura 19: mapa conceitual feito por Júlia

NÚCLEO(S) CONCEITUAL(IS): Durante a entrevista suas explicações foram centradas, na maioria das vezes, nos conceitos de força e energia.

CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO CONCEITUAL E DAS EXPLICAÇÕES: embora a aluna use conceitos físicos para responder as questões propostas na entrevista, parecia que ela não usou modelos mentais que incorporassem os conceitos usados.

Através de suas respostas ficou difícil identificarmos possíveis modelos mentais estáveis que ela teria utilizado sobre os conceitos citados na entrevista.

No caso de dois blocos unidos por uma corda e puxados sobre uma superfície horizontal sem atrito, a aluna fez as seguintes considerações:

“Numa superfície sem atrito ... ué ! Não entrar em movimento.”

“Movimento retilíneo ... movimento retilíneo uniforme. A velocidade é constante, se a minha força é constante, a velocidade é constante e a aceleração é nula.”

Vai ser igual ou diferente para cada um dos blocos?

“Igual”

Independente de existir atrito e das massas dos blocos?

“... é que tendo atrito ou não ... igual pro ... Eu tô, penso assim sabe, eu penso em termos de sistema sabe, mesmo que este aqui fosse mais pesado ... eu puxaria aqui assim e daria a mesma velocidade para o meu sistema.”

No caso de dois blocos comprimidos por uma mola e liberados que batem em anteparos laterais, sem atrito no solo nem nos anteparos.

“Tá vai e volta aqui, bate com a mesma força e volta e fica fazendo isso aí. Ele bate na parede e aí ele volta porque a parede, né, empurra ele com a mesma força, e aí ele volta e bate na mola. Prá mim, nunca pararia isso aqui.”

“ A aceleração não posso dizer que é constante mas a velocidade pode. Por causa que se a aceleração for constante, cada vez vai tá mais rápido, a velocidade vai aumentando.”

Se as massa foram diferentes?

“Se uma massa for maior... deixa eu pensar... ah, o que tiver massa maior vai ter velocidade menor...Por causa que ele vai sair com a mesma aceleração, mas a força, que prá ele tem a mesma velocidade desse aqui, a força teria que ser maior?”

Como é essa força?

“Acho que essa força é igual pros dois, que saiu da mola aqui ... O que tem massa maior vai ter aceleração ... mas é... ai, tu tá me enrolando...”

“Eu tô querendo dizer o seguinte, essa força aqui vai ser maior que essa prá manter os dois com a mesma velocidade. Tá, mas no caso aqui a força não é para a mesma velocidade, então, aí no caso, vai ficar um negócio assim, meio desordenado ...”

No caso dos pêndulos de massas iguais:

“Essa vai prá lá e aí no caso, ela ia iniciar uma oscilação aqui, né? Mas como tem essa com uma massa, ... eu acho que ela bate aqui e volta ... no caso ela assumiria a posição dessa aqui. Essa ia ir, voltar, bater nela e voltar, sabe?”

“Porque? Por causa que ... bom, ela tá com uma velocidade, bateu nessa aqui e parou. Por causa que ... bateu, né? Porque ela vai parar? Sei lá.”

“Ai, eu não sei dizer porque ela pára, mas ... é assim porque isso aqui é um pêndulo né? O movimento do pêndulo é sempre assim.”

“Sei lá porque fazem isso. Eles, porque ela deu ... bateu nessa aqui, aí parou porque essa, a força dessa aqui, no caso seria o peso, sei lá..., mesmo talvez ela parada ..., aí essa aqui passa, no caso tinha energia cinética, passou prá essa aqui, fez essa aqui oscilar, volta, essa aqui ... tá, essa aqui tinha energia potencial aqui, aí vem com energia cinética quando bateu nessa aqui ela, assim, vamos dizer que ela tenha passado uma energia potencial que aí essa aqui veio com energia cinética, ... potencial transformou em cinética.”

A aluna não conseguia explicar as diferentes situações a ela apresentadas na entrevista. Talvez isso tenha acontecido porque nos testes de avaliação ela trabalhava com proposições isoladas, desvinculadas de modelos, e não teria conseguido formar nenhum modelo mental mais elaborado sobre os conceitos a ela apresentados.

Esta aluna teve um desempenho que deixou a desejar no curso, repetiu vários testes e notávamos que ela decorava regras e as usava, sem importar o contexto em que estavam sendo usadas. Ela não interpretava as questões. Durante a entrevista, várias vezes ela se irritou com as perguntas, pois não conseguia explicar porque pensava daquela maneira.

Capítulo 5

SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

5.1 Síntese dos Resultados

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 inferidos basicamente, na maioria dos casos, durante a entrevista e interações entre alunos e monitores.

Começaremos apresentando a categorização referente à forma de trabalhar durante o curso, principalmente nos testes de avaliação, dos alunos.

GRUPO 1: Os alunos pertencentes a esse grupo eram aqueles que trabalhavam a maioria dos conceitos estudados usando proposições isoladas, não relacionadas a modelos, não interligando conceitos e/ou aspectos da matéria. Os alunos sabiam as fórmulas a serem usadas, mas não conseguiam articulá-las, não conseguiam compreender, explicar a estrutura conceitual da teoria e os fenômenos ligados a ela. A maioria das respostas às questões dos testes de avaliação apresentadas eram, basicamente, cópias do livro - texto.

Dizemos também que esses 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 dos alunos pertencentes a esse grupo eram meras ligações entre os conceitos estudados, sem uma relação física entre esses conceitos. Quando existia alguma relação, era puramente matemática.

Os alunos que fazem parte deste grupo são: *caso 1(Emerson), caso 2 (Patrícia), caso 4 (Carol), caso 7 (Roger) e caso 13(Júlia)*. Seria o grupo dos proposicionalistas.

GRUPO 2: Os alunos enquadrados neste grupo são os 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 conseguiram 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 conseguiram articular algumas ligações físicas entre os conceitos quando confeccionavam seus mapas conceituais.

Incluímos neste grupo os alunos *caso 3 (Sandra), caso 5 (Ângelo), caso 6 (Augusto), e caso 9 (Antenor)*. Seria o grupo dos modelizadores proposicionalistas.

GRUPO 3: Neste grupo, os alunos possivelmente trabalhavam com modelos basicamente imagísticos, pois, ao que parece, faziam bastante uso de imagens.

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.

Este grupo é formado pelos alunos dos casos *8 (Lauro), 10 (Guilherme), 11 (Lígia) e 12 (José Paulo)*. Seria o grupo dos modelizadores imagísticos.

Como se pode observar, nesta classificação não houve casos claros de modelos parcialmente proposicionais e parcialmente imagísticos.

A classificação seguinte foi feita a partir dos núcleos conceituais detectados durante a entrevista e nas interações, os quais nos permitiram inferir alguns modelos mentais estáveis referentes aos conceitos que se destacaram: força e energia.

GRUPO A: Alunos que 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.

Neste grupo colocamos os alunos: *caso 1 (Emerson), caso 2 (Patrícia) e caso 4 (Carol)*.

GRUPO B: Alunos que tinham um modelo ligado à tríade velocidade constante \Rightarrow aceleração nula \Rightarrow 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.

Neste grupo encontram-se os alunos: *caso 3 (Sandra), caso 5 (Ângelo)*

GRUPO C: Alunos que pareciam ter um modelo de força mais próximo do cientificamente aceito. Esse modelo parecia incluir força como interação, pelo menos quando se tratava de corpos em contato. Com esse modelo sobre o conceito de força, eles conseguiam trabalhar satisfatoriamente situações que envolviam as leis de Newton e conseguiam fazer previsões.

Neste grupo estão os alunos: *caso 10 (Guilherme), caso 11 (Lígia) e caso 12 (José Paulo)*.

GRUPO D: Os alunos desse grupo pareciam ter um modelo que incluía o conceito de energia como alguma coisa que podia ser transferida (quando existe contato entre corpos) ou transformada (quando o corpo está em determinadas situações).

Neste grupo estão os alunos: *caso 5 (Ângelo), caso 9 (Antenor) e caso 10 (Guilherme)*.

GRUPO E: Aqui estão os alunos que não conseguimos, através do material pesquisado, identificar possíveis modelos que teriam, se é que teriam modelos elaborados, sobre os conceitos abordados por eles na entrevista.

Neste grupo se enquadram os alunos: *caso 6 (Augusto), caso 7 (Roger), caso 8 (Lauro) e caso 13 (Júlia)*.

Parece que os modelos mentais sobre os conceitos físicos que os alunos têm, mesmo que não sejam cientificamente corretos, correspondem, segundo a tipologia dos modelos mentais de Johnson-Laird, à modelos dinâmicos. Ou seja, são modelos cinemáticos nos quais existem também relações entre certos quadros, representando relações causais entre eventos descritos.

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 Johnson - 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 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 as seguintes relações:

- Embora trabalhassem durante o curso, nos testes de avaliação, utilizando proposições desvinculadas de modelos, alguns alunos, durante a entrevista e interação com monitores, pareciam ter utilizado um modelo mental sobre o conceito de força que incluía força como agente responsável pelo movimento.
- Alunos 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 o conceito de força ligado ao movimento dos corpos. Ainda que mantendo a relação entre força e movimento, incluem, em alguns casos, a tríade velocidade constante ⇒ aceleração nula ⇒ força nula.
- Alunos que trabalhavam com modelos basicamente imagísticos, teriam o conceito de força mais próximo do cientificamente aceito, ou seja, força como interação, pelo menos quando os corpos estão em contato. Além disso, alguns desses alunos também teriam um modelo que envolvesse o conceito de energia e que estaria ligado com o fato da energia ser alguma coisa “transferível” (corpos em contato) ou “transformada” (um corpo em diferentes situações).

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.

5.2 Conclusões

No primeiro capítulo deste trabalho ressaltamos os motivos que nos levaram a optar pela linha de pesquisa utilizada, as representações mentais, bem como a área da Física escolhida para ser investigada, a Mecânica. Nos capítulos seguintes focalizamos a teoria em que baseamos o nosso trabalho, a dos modelos mentais de Johnson-Laird e destacamos algumas pesquisas feitas sobre modelos mentais. Depois de descrevermos a metodologia empregada na investigação, analisamos os dados da pesquisa e apresentamos os resultados.

Neste capítulo final, tentaremos analisar a metodologia aplicada, se funcionou para o que nos propusemos e suas limitações, além de apontarmos algumas implicações da nossa pesquisa.

Neste trabalho tentamos identificar não só o tipo de representação mental utilizada pelos alunos durante o curso de Física Geral I, mas também possíveis modelos mentais que esses alunos constroem sobre conceitos e situações físicas da Mecânica Newtoniana.

Partimos de duas hipóteses: a primeira era a de que os alunos que conseguissem formar modelos mentais, onde os princípios da teoria estudada fizessem sentido, poderiam dar indícios da utilização desses modelos, por exemplo, fazendo mais uso de imagens, fazendo previsões que não estivessem explicitamente evidentes; conseguiriam ter uma compreensão das teorias apresentadas, ou seja, poderiam explicar a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela e não se deteriam simplesmente na manipulação de fórmulas. Esses modelos poderiam ser do tipo imagísticos, proposicionais ou, ainda, parcialmente imagísticos e/ou parcialmente proposicionais; a segunda hipótese era a de que os alunos que não formassem modelos mentais, onde os princípios da teoria fizessem sentido, tenderiam a trabalhar só com representações proposicionais isoladas, desvinculadas de modelos, não conseguiriam compreender, ou melhor, explicar a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela, voltando para seus modelos primitivos (aqueles que eles teriam antes de iniciarem o curso) em situações ou contextos diferentes daqueles onde tivessem simplesmente que fazer uso de fórmulas.

Um fato que observamos é que, pareceria que quanto mais “elaborado” o modelo mental utilizado pelo aluno, mais facilmente ele podia compreender situações e contextos diferentes daqueles trabalhados em aula, ou daqueles onde só tivesse que aplicar fórmulas. Pois, conforme o tipo de representação mental que os alunos utilizaram, tanto durante o curso como na entrevista final, pudemos verificar que: alguns alunos que trabalhavam durante o curso com proposições desvinculadas de modelos, não interligando os diferentes conceitos e/ou aspectos da matéria, parece que

na entrevista teriam utilizado um modelo mental onde o conceito de força aparecia como agente responsável do movimento; os alunos que trabalhavam durante o curso 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, porém relacionando o conceito de força com a tríade velocidade constante \Rightarrow aceleração nula \Rightarrow força nula e, os alunos que trabalhavam com modelos basicamente proposicionais ou modelos basicamente imagísticos teriam o conceito de força mais próximo do cientificamente aceito, ou seja, força como interação, pelo menos quando os corpos estão em contato. Além disso, alguns desses alunos também teriam um modelo que envolvia o conceito de energia e que estaria ligado ao fato de a energia ser alguma coisa “transferível”(corpos em contato) ou “transformada” (um corpo em diferentes situações).

É possível que a dificuldade que os alunos têm de formar modelos mentais sobre os conceitos apresentados se deva ao fato de que eles de um modo geral, são ensinados proposicionalmente, ou seja, devem aprender regras isoladas, sem relacionar conceitos e/ou aspectos da matéria à construção de modelos mentais. Em geral, nas avaliações da disciplina, é isto que exigimos dos nossos alunos, que eles saibam resolver problemas usando regras (fórmulas). Torna-se desnecessária a formação de modelos sobre determinados conceitos físicos, quando somente somos levados a “resolver” listas de problemas, tendo como princípio, por parte de alguns professores, que se os alunos conseguem resolver as listas apresentadas a eles durante o semestre, então eles “saberiam”, “aprenderiam” Física. Talvez os alunos também tenham essa visão de aprendizagem em Física e por isso, não têm necessidade (nem tempo, nem vêem a utilidade) de formar modelos mentais integrando conceitos físicos. Quando encontrados, os modelos mentais estão relacionados com a compreensão dos conceitos físicos e não com o desempenho do aluno na resolução de problemas pois, em geral, basta o aluno ter habilidade matemática e saber manipular fórmulas para resolver alguns problemas, sem ser necessário a compreensão dos conceitos envolvidos.

No nosso caso, os alunos se preparavam para os testes, com roteiros de estudo baseados no livro adotado pela disciplina de Física Geral I da UFRGS, o Halliday-Resnick, onde encontramos um conjunto de regras que, supostamente, fazem parte de um modelo e ajudariam a construir modelos mentais que englobassem os conteúdos de mecânica Newtoniana. Mas, a maioria dos alunos não conseguiu formar modelos mentais cientificamente compartilhados após terem estudado o livro.

Levadas em conta as considerações dos parágrafos anteriores, concordamos com Greca (1995, p.84) quando das conclusões da sua pesquisa: “Uma instrução basicamente proposicional que é característica dos livros texto utilizados, nos quais as teorias científicas aparecem como estruturas acabadas, regidas principalmente por considerações de consistência formal; fenômenos, leis e suas expressões matemáticas apresentados de acordo com ele e a avaliação da aprendizagem do aluno realizada através de problemas que não requerem uma tomada conceitual, não favorece a construção de modelos mentais. Somente reforça as crenças dos alunos de que aprender Física é saber as leis, princípios e equações que aparecem nos manuais, ou seja, aprender proposições não integradas a modelos, sem questionar-se a coerência ou a necessidade de uma compreensão conceitual que modifique seu próprio

conhecimento. Isto leva inevitavelmente a uma organização conceitual pobre. Provavelmente, insistindo sobre a parte conceitual, ou encarando o ensino a partir de considerações ou discussões qualitativas das teorias, seja possível facilitar a formação de modelos mentais”.

Sobre a metodologia empregada, cremos que para a nossa pesquisa ela parece ter sido válida. O uso do Sistema de Instrução Personalizado (método Keller) permitiu uma interação entre monitores e alunos, possibilitando aos monitores e ao professor/pesquisador ter uma visão de cada aluno, conhecê-los, saber como eram, como trabalhavam, quais suas características, suas dificuldades, suas limitações. Nós queríamos identificar os possíveis modelos mentais usados pelos alunos na área de mecânica e o tipo de representação mental que utilizariam para trabalhar durante o curso -- modelos mentais, imagens ou proposições -- e o material coletado durante o semestre, como testes dos alunos, anotações dos monitores sobre conversas com os alunos, mapas conceituais elaborados por eles durante o curso e a entrevista final, forneceram elementos que nos permitiram inferir alguns dos possíveis modelos mentais utilizados pelos alunos e a forma como trabalharam durante o semestre.

Queremos ainda salientar que a nossa pesquisa foi feita em condições normais de sala de aula, motivo pelo qual acreditamos que seus resultados possam estar mais próximos aos vivenciados pelos professores.

Além do fato citado acima, é importante lembrar que esta foi uma pesquisa “a longo prazo”, onde se seguiu o desenvolvimento dos alunos; não foram feitos testes de questões pontuais simplesmente. A nossa pesquisa não interferiu no andamento normal do curso. Os alunos, em hipótese nenhuma, se sentiram como “elementos de pesquisa”. Eram atendidos normalmente nas aulas para tirarem suas dúvidas e os testes de avaliação continham problemas tradicionais e questões abertas como “Faça uso de equações e/ou explicações e/ou desenhos para dizer o que você entende por ...”.

Em alguns casos, foi difícil a identificação dos modelos mentais pois, de fato, inferir o que é que as pessoas têm nas suas cabeças, ainda que de uma forma mais simplificada possível, é uma tarefa sumamente difícil. Como já foi dito na introdução, não estávamos buscando as concepções alternativas dos alunos, estávamos tentando identificar os modelos mentais em que essas concepções possivelmente estariam baseadas. Procurávamos o que estaria por trás dessas concepções. É importante ressaltarmos que: concepções alternativas são construções pessoais, relativamente incoerentes, resistentes à mudanças, compartilhadas em diferentes culturas e contextos, enquanto que modelos mentais são representações dinâmicas ou simulações do mundo. “Os modelos mentais desempenham um papel central e unificador na representação de objetos, estado de coisas, seqüência de eventos, a maneira que o mundo é e as ações sociais e psicológicas da vida diária. Permitem aos indivíduos fazer inferências, entender fenômenos, elaborar atitudes a serem tomadas, controlar sua execução e, principalmente, experimentar eventos por procuração” Johnson - Laird (1983, p.397).

Achamos relevante ressaltar nesse espaço a importância desse trabalho para os professores, visto que os modelos mentais não seriam concepções alternativas isoladas que possam ser substituídas simplesmente e sim construções mentais mais elaboradas

e complexas. Eles envolvem uma outra forma de olhar para os fenômenos e com essa outra forma “reinterpretar” aquilo que é dado na sala de aula.

O que queremos dizer é que formamos um modelo mental sobre os conceitos físicos e, certamente, cada um de nós têm um modelo diferente. Quando damos aula, através do discurso que fazemos do nosso modelo, cada aluno poderá formar, ou não, (ou já ter) um modelo do nosso modelo sobre os conceitos físicos a eles apresentados. E, além disso, analisamos os modelos dos alunos à luz dos nossos modelos. Vimos por exemplo o quanto é importante salientar que quando dizemos que os alunos têm modelos mentais sobre o conceito de *força*, a palavra *força* não deve ser identificada com o conceito cientificamente aceito. Possivelmente essa seja a forma com que eles aprenderam a indicar a idéia de esforço. Quando falamos de *força*, geralmente, eles não estão falando da mesma *força* que nós. Isto pode ser um grande indicador da dificuldade sobre a compreensão das Leis de Newton.

Para terminar, queremos dizer que este trabalho é mais um estudo, com um marco referencial novo dentro da pesquisa na área e que os resultados desta pesquisa nos mostraram a importância dos modelos mentais na compreensão dos conceitos físicos. Queremos reiterar também que o nosso objetivo não foi o de prescrever métodos e/ou técnicas novas de ensino, mas sim o de nos propormos a evidenciar alguns elementos de análise que podem ser úteis para professores e/ou pesquisadores.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, J. R. **Language, memory and thought**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1976.
- ANDERSON, J. R. Arguments concerning representation for mental imagery. **Psychological Review**, Washington, v. 85, p. 249-277, may. 1978.
- ANDERSON, J. R., BOWER, G. H. **Human associative memory**. New York: V. H. Winston, 1973.
- BAYLOR, G. W. Programs and protocol analysis on a mental imagery task. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1971. **Proceedings on the First International Joint Conference on Artificial Intelligence**, 1971.
- BUGELSKI, B. R. World and things and images. In: Norman, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179-231.
- CARAMAZZA, A., MCCLOSKEI, M., GREEN, B. Naive beliefs in sophisticated subjects: misconceptions about trajectories of objects. In: 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. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, v. 14, n. 2, p.219-225, Jun. 1996.
- CHASE, W.G., CLARK, H. H. Mental operations in the comparison of sentences and pictures. In: GREGG, L.W. (Ed.). **Cognition in learning and memory**. New York: John Wiley, 1972.
- CLEMENT, J. Students' alternative conceptions in Mechanics: A coherent system of preconceptions? In: 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. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, v. 14, n. 2, p. 219-225, Jun. 1996.
- CRAIK, K. **The nature os explanation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1943.

- DRIVER, R. **The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students**. Urbana: Universidad de Illinois, 1973. Thesis.
- DRIVER, R. Psicología cognitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 4, n.1, p. 3-15, oct. 1986.
- DRIVER, R., ERICKSON, G. Theories-in-action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceitual frameworks in science. **Studies in Science Education**, Driffield, v.10, p. 37-60, 1983.
- DUIT, R. Research on students' conceptions - developments and trends. IN: Novak, J. Ed., **Proceedings of the Third Internatinal Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics**. NewYork: Cornell University (distributed electronically). 1993.
- FODOR, J.A. **The language of thought**. Hassocks: Harvester, 1976.
- FODOR, J. D., FODOR, J. A., GARRET, M. F. The Psychological unreality os semantic representations. In: Norman, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179-231.
- GENTNER, D., STEVENS, A. L. (Eds.) **Mental models**. Hillsdale: Lawrence Erlbaun, 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, imagenes, 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, 1997.

- GUTIERREZ, R., OGBORN, J. A causal framework for analysing alternative conceptions. **International Journal of Science Education**, London, v. 14, n. 2, p. 201-220, apr. / june 1992.
- HALLOUN, I. Schematic modeling for meaningful learning of physics. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n. 9, p.1019-1041, nov. 1996.
- HARRISON, A.G. E TREAGUST, D. F. Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. **Science Education**, New York, v. 80, n. 5, p. 509-534, 1996.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. v. 1.
- HEWSON, M. G., HAMLYN, D. The influence of intellectual environment on conceptions of head. **European Journal of Science Education**, London, v. 6, n. 3, p. 245-262, july/sept. 1984.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. Models of deduction. In: FALMAGNE R. J. (Ed.). **Reasoning: representation and process in children and adults**. Hilldale: 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.
- KIERAS, D. Beyond pictures and words: Alternative information-processing models for imagery effects in verbal memory. In: Norman, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179-231.
- KOSSLYN, S. M., POMERANTZ, J. R. Imagery, propositions and the form of internal representations. In: Norman, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179-231.

- MALI, G. B., HOWE, A. Development of earth and gravity concepts among Nepali children. **Science Education**, New York, v. 63, n. 5, p.685-691, oct. 1979.
- MILLER, G. A., JOHNSON-LAIRD, P. N. **Language and perception**. Cambridge: Harvard University Press, 1976.
- MORAN, T. P. The symbolic nature of visual imagery. In: Norman, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179-231
- MOREIRA, M. A. 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., GRECA, I. Concept mapping and mental models. **Meaningful Learning Forum**, U.S.A, 1996.
- MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. Trabalho apresentado no Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências - Linguagem, Cultura e Cognição, Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 5 a 7 de março 1997.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. In: ENCUENTRO INTERNACIONAL SOBRE EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, 1997, Burgos. MOREIRA, M.A. et al. (Orgs.) **Actas**. Burgos: Universidade de Burgos, 1997. p. 19-44.
- NORMAN, D. A., RUMELHART, D. E. Memory and knowledge. In: Norman, D. A., Rumelhart D. E. and In LNR Research Group. **Explorations in cognition**. São Francisco: Freeman, 1975.
- NORMAN, D. A. Some observations on mental models, In: GENTNER, D., STEVENS, A. L. (Eds.). **Mental models**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 6-14.

- NORMAN, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**, Barcelona, Ediciones Paidós, 1987. p. 179 - 231.
- NUSSBAUM, J. Classroom conceitual change: philosophical perspectives. **International Journal of Science Education**, London, v. 11, p.530-540, 1989. special issue.
- PAIVIO, A. **Imagery and verbal process**. New York: Holt, Rinehart, Winston, 1971.
- PAIVIO, A. Images, propositions and knowledge. In: NICHOLAS, J. M. (Ed.). **Images, perception and knowledge**. Dordrecht: Reidel, 1977.
- 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. **Enseñanza 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.
- PYLYSHYN, Z. W. What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. 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 Erlbaum, 1989.
- SCHULTZ, D. P., SCHULTZ, S. E **História da psicologia moderna**. 7. ed. São Paulo: Cultrix, 1995. 439 p.
- SHEPHARD, R. N. Form formation and transformation of internal representations. In:
 SOLSO R. (Ed.). **Information processing and cognition: the Loyola symposium**, Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1975.
- SHEPHARD, R. N. The mental image. In: NORMAN, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179 - 231.

SLOMAN, A. Interactions between philosophy and artificial intelligence: the role of intuition and non-logical reasoning in intelligence. In: NORMAN, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, 1987. p. 179 - 231.

VIENNOT, L. **Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire**. Paris: Hermann, 1979. 154 p.

VOSNIADOU, S. Capturing and modeling the process os conceptual change. **Learning and Instruction**, v. 4, p. 45-69, 1994.

WILLIAMS, M. D., HOLLAN, J. D., STEVENS, A. L. Human reasoning about a simple physical system. In: GENTNER, D. AND STEVENS, A. L. (Eds.) **Mental models**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983.