

**Aplicação de um instrumento analítico-pedagógico  
baseado numa analogia com os programas  
de pesquisa de Lakatos**  
(um teste no conteúdo de cinemática angular)

**Osmar Henrique Moura da Silva**

e

**Carlos Eduardo Laburú**

Departamento de Física

Universidade Estadual de Londrina

86051-970 Londrina, PR.

osmarh@uel.br

(Recebido: 22 de setembro de 2002)

*Resumo: Este trabalho apresenta os resultados obtidos de uma nova aplicação do instrumento analítico lakatiano nos momentos em que são estimulados controvérsias e conflitos cognitivos. Esse instrumento, que vem sendo desenvolvido por Laburú et al. (1998 e 2001), baseia-se numa analogia dos programas de pesquisa de Lakatos para qualificar o pensamento dos alunos, estruturando-os como se fossem programas. O intento subjacente a tal analogia é procurar fazer com que o educador compreenda melhor a natureza desse pensamento e uma das razões da sua resistência ao ensino oficial. Para entender como está comprometido o pensamento dos alunos com os programas, a análise é complementada com as condições de inteligibilidade, plausibilidade e frutificação para uma mudança conceitual de Posner et al.. Com o interesse de testar a viabilidade deste instrumento de análise, mostra-se, através de uma transcrição videogravada, que essa forma de analisar se revelou uma maneira interessante de compreender o desenvolvimento do pensamento dos estudantes no processo de discussão em sala de aula.*

*Palavras-chave: ensino, analogia, filosofia da ciência*

*Abstract: This study presents an application of an analytical instrument that has been developed by Laburú et al., in a new learning/teaching situation. Our interest is to test its*

*validity. For this, we employed such instrument of analysis, which is based on reading of research programs from Lakatos to qualify the ideas of students, structuring them as if they were programs, during the learning of angular kinematics. This analysis is complemented, utilizing conditions from intelegibility, plausibility and fruitification for a conceptual change from Posner et al. to understand the reason of commitment from the students to the programs. Inside the constructivist perspective that proposes to map the paths taken by students' thoughts, showing through a video-taped transcription in class that this way of analysis revealed itself to be an interesting manner of comprehending the development of student's thoughts, in the process of classroom discussion.*

Key words: *analogy, teaching, philosophy of the science*

## 1 Introdução

Uma preocupação que deveria ser de grande importância para o professor (ou pesquisador) no processo de ensino/aprendizagem é a tentativa de entender como se dá a construção do conhecimento nos aprendizes, o que leva a um efetivo monitoramento dos raciocínios levantados durante uma aula. Nesse sentido, entender o porquê de os aprendizes darem certas respostas visa a auxiliar o professor e a obter melhor controle da aprendizagem dos alunos e da qualidade do que foi aprendido.

Assim, dentro da perspectiva construtivista, que propõe mapear o traço geral dos caminhos que os raciocínios dos indivíduos seguem, indo ao encontro de um entendimento mais produtivo dos fenômenos naturais, ainda que esses mapas, como já dizia Millar (1989, p. 590), nunca possam dar conta por completo do total alcance da sua diversidade, situa-se o instrumento analítico lakatiano utilizado neste estudo. É importante salientar que esse instrumento que aqui se apresentará é adequado, basicamente, na observação de momentos em que são estimulados conflitos cognitivos ou em que posições antagônicas sendo defendidas.

Considerada a aplicação já realizada desse instrumento, primeiramente, no conteúdo de termologia, sobre os conceitos de calor e temperatura (LABURÚ e ARRUDA, 1998), e sua posterior modificação e aperfeiçoamento, no conteúdo de cinemática angular (LABURÚ e SILVA, 2001), levanta-se, com relação à última aplicação, o seguinte problema: é viável reaplicá-lo conforme empregado na última referência, numa outra situação de ensino/aprendizagem, mantendo o mesmo conteúdo?

A fim de encaminhar uma resposta a esta pergunta, primeiramente faz-se uma breve passagem por algumas considerações dos referenciais teóricos responsáveis por subsidiar a forma do instrumento aqui utilizado, apresentando, na seqüência, o instrumento propriamente dito. Depois, apresenta-se a metodologia aqui empregada, a análise dos dados e, por fim, mostra-se a conclusão alcançada.

## 2 Referenciais teóricos do instrumento analítico

Nesta seção, apresentam-se os principais conceitos relacionados com os dois referenciais teóricos que são utilizados para organizar e entender os raciocínios dos alunos.

## 2.1 Os programas de pesquisa de Imre Lakatos

Na filosofia da ciência, a epistemologia de Imre Lakatos é destacada como uma das importantes reflexões do século XX sobre o desenvolvimento das teorias científicas. Para Lakatos, a história da ciência retrata o que ele define como uma metodologia dos programas de pesquisa científica. Nesta metodologia, as teorias não são elementos isolados, mas pertencentes a um determinado programa de pesquisa. Assim, um programa de pesquisa é formado por uma série de teorias que evoluem continuamente, sendo o processo do desenvolvimento científico caracterizado pela competição entre programas de pesquisa rivais. Eles também se caracterizam por regras metodológicas; *algumas nos dizem quais são os caminhos de pesquisa que devem ser evitados (heurística negativa), outras nos dizem quais são os caminhos que devem ser palmilhados (heurística positiva)* (LAKATOS e MUSGRAVE, 1979, p. 162).

A heurística negativa especifica o “núcleo” do programa<sup>1</sup>, considerado irrefutável por decisão metodológica dos seus protagonistas<sup>2</sup>.

A heurística positiva especifica o “cinto de proteção”, considerado refutável. Ou seja, existe um conjunto parcialmente articulado de sugestões e palpites sobre como mudar e desenvolver as “variantes refutáveis” do programa de pesquisa. Com isto, pode-se modificar e sofisticar o cinto de proteção, como também salvaguardar o cientista de ficar sem rumo num oceano de anomalias. Os cientistas, então, desenvolvem, num programa de pesquisa, uma cadeia de modelos, cada vez mais complicados, que simulam a realidade, ao mesmo tempo que passam a ignorar os dados disponíveis (contra-exemplos reais) que surgem, chegando, em alguns casos, durante o desenvolvimento dos modelos, a antecipá-los. Com estas características, é somente quando o cinturão de hipóteses auxiliares enfraquece que se pode dar maior atenção aos dados anômalos. Portanto, em razão da existência de cinturões protetores, as teorias nucleares são preservadas de refutações e resguardadas nos programas de pesquisa.

Para responder como ocorrem as chamadas revoluções científicas, Lakatos fornece uma razão objetiva que se apresenta quando um programa de pesquisa supera um rival (refutando sua heurística: núcleo e cinturão protetor) através de demonstrações de força heurística<sup>3</sup>. Apesar desta refutação não ser um processo instantâneo, historicamente pode-se verificar a vitória de um programa de pesquisa ao explicar o êxito anterior de seu rival e demonstrar um acréscimo de força heurística. Sendo assim, somente através de uma longa visão retrospectiva é que se denomina uma experiência de “crucial”. Ou seja, um programa de pesquisa, considerado progressivo,

---

<sup>1</sup>O programa de pesquisa de Newton, por exemplo, continha em seu “núcleo” as três leis do movimento e a lei da gravitação universal.

<sup>2</sup>Como se verá no que se refere às crianças, elas constroem entendimentos em torno de idéias que são resistentes a mudanças e idéias periféricas mais facilmente modificadas com a descoberta de novos dados e informações (LINN, 1986). Chinn e Brewer (1993, p. 78) dizem que as idéias nucleares das crianças provêm uma estrutura na qual elas interpretam e avaliam novos dados e/ou informações como sendo anômalos, ou para suportar suas compreensões.

<sup>3</sup>Capacidade de um programa de pesquisa em antecipar teoricamente fatos novos, como também recém interpretá-los, em seu crescimento.

uma vez que possui excesso de conteúdo empírico em relação a outro, considerado degenerativo, possui uma corroboração de seu conteúdo empírico adicional.

## 2.2 O referencial de Posner *et al.*

O modelo de POSNER *et al.* (1982) toma por base a filosofia da ciência e aponta semelhanças entre os processos característicos de mudanças conceituais, ou revoluções, ocorridos na ciência e o processo de reconstrução conceitual ocorrido na aprendizagem. Assim, neste modelo encontra-se a formalização de quatro condições, denominadas insatisfação, inteligibilidade, plausibilidade e frutificação, que, na seqüência, são especificadas:

- *Insatisfação*: os cientistas e os estudantes tendem, provavelmente, a não fazer grandes mudanças em seus conceitos, enquanto estiverem satisfeitos com as suas concepções prévias.

*Inteligibilidade*: condição na qual o indivíduo compreende a sintaxe, o modo de expressão, o significado, o sentido, os termos e os símbolos utilizados pela nova concepção. Requer, também, que se construa e identifique representações, imagens e proposições coerentes, internamente consistentes e inter-relacionadas, sem, contudo, acreditar necessariamente que elas sejam verdadeiras. Assim sendo, para que um novo conceito comece a ser explorado, é preciso que ele faça um mínimo de sentido para o aprendiz (STRIKE e POSNER, 1992).

- *Plausibilidade*: condição na qual os novos conceitos adotados são, pelo menos, capazes de resolver os problemas gerados pela concepção predecessora. Desta condição resulta, ainda, a relação de consistência dos conceitos aceitos (em relação a) outros conhecimentos (ecologia conceitual) correlatos assumidos pelo sujeito. O indivíduo, conseqüentemente, acredita que os novos conceitos são verdadeiros. A plausibilidade de uma idéia pode ser identificada em expressões como as do tipo: é difícil de imaginar..., é difícil de pensar..., eu poderia imaginar..., eu entendo..., aquilo faz sentido para mim..., aquilo não poderia estar certo... etc. (HEWSON e THORLEY, 1989).
- *Frutificação*: condição que abre a possibilidade de que novos conceitos sejam estendidos a outros domínios, revelando novas áreas de questionamento.

Segundo os autores, as quatro condições acima, juntamente com os elementos da ecologia conceitual, procuram assegurar, no campo racional, o sucesso da ocorrência de mudança conceitual nos aprendizes. Abaixo estão apresentados tais elementos, com seus respectivos significados:

- *Anomalia*: o caráter específico das falhas de uma dada idéia é uma importante parte da ecologia que faz com que se selecione uma nova idéia sucessora.
- *Analogias e metáforas*: servem para sugerir novas idéias e fazê-las inteligíveis.

- *Compromissos epistemológicos*: a) ideais explanatórios: a maioria dos campos de estudo têm pontos de vista específicos do conteúdo que devem ser considerados como explicação e como padrão de julgamento no campo. b) visão geral sobre o caráter do conhecimento: alguns padrões que são levados em conta para que um assunto tenha sucesso são a elegância, a economia, a parcimônia, que o assunto não seja *ad hoc* e pareça neutro<sup>4</sup>.
- *Crenças e conceitos metafísicos*: crenças a respeito de um ordenamento, simetria, não aleatoriedade do universo, podem resultar numa visão epistemológica e podem vir a selecionar ou rejeitar tipos particulares de explicações. Os conceitos científicos apresentam qualidade metafísica, isto é, podem fazer acreditar que eles representam a natureza última do universo e, por consequência, seriam imunes às refutações.
- *Outros conhecimentos*: conhecimentos em outros campos podem influenciar a escolha de fenômeno para estudo ou um conceito que compete com um outro pode vir a ser selecionado em razão de ser mais promissor que o seu competidor.

### 3 O instrumento analítico

O instrumento analítico lakatiano é elaborado através de uma analogia entre a dinâmica dos programas de pesquisa de Lakatos e as idéias dos alunos diante das teorias científicas. Para isso, as concepções alternativas dos alunos são aproximadas por teorias que competem, em termos explicativos, com as científicas (curriculares). As condições de Posner *et al.* (1982) são utilizadas nessa leitura lakatiana para se entender como os raciocínios dos alunos estão comprometidos com os programas.

Como se disse, este instrumento é apropriado em momentos em que são gerados conflitos cognitivos e/ou controvérsias. Isto significa que, para que sua aplicação seja possível, deve-se garantir no ambiente de instrução um espaço de levantamento e exploração dos raciocínios dos alunos, criando debates abertos com argumentos contrários e incentivando os momentos de esforço dos aprendizes na construção das proposições.

Ao respeitar as condições de contorno acima apresentadas, é possível observar determinadas posições “teóricas”<sup>5</sup> dos alunos que entram em conflito ou rivalizam com

---

<sup>4</sup>Dentro destes compromissos para com o conhecimento de natureza geral, poder-se-ia, ainda, citar outros mais específicos envolvidos com o indivíduo-aprendiz: a necessidade de um explícito entendimento entre teoria e evidência; a compreensão da necessidade da consistência entre idéias teóricas e os dados; disposição em mudar teorias, quando garantido; a crença de que a ciência não só se aplica ao mundo, mas também ao laboratório; a compreensão de que ciência não é um conhecimento estático, mas um contínuo processo de debate sobre a evolução das teorias (CHINN e BREWER, 1993). Alguns destes compromissos epistemológicos citados podem ser inseridos nas *regras do fechamento dedutivo* (acredita-se sempre em todas as consequências lógicas daquilo em que presentemente se acredita), ou *da não consistência* (não se deve acreditar nos elementos de um conjunto inconsistente de proposições) (ABRANTES 1993, p. 185).

<sup>5</sup>Talvez o termo posição “teórica” seja um abuso de linguagem, mas os esquemas que os alunos possuem para interpretar os fenômenos que eles encontram em sua vida diária e que formam um

a curricular, que o professor procura estabelecer. É nelas que se encontram envolvidos e comprometidos os pensamentos dos alunos. Assim, este instrumento analítico, através da analogia com os programas de pesquisa de Lakatos, propõe a observação de tais posições “teóricas” segundo três formas: programa alternativo (baseado nas concepções alternativas), programa científico (resultado da instrução) e fase transitória (mescladas duas formas anteriores, podendo demonstrar uma posição não definida, duvidosa). No caso dos dois “programas”, é possível observar a existência de posições cognitivas relativamente estáveis, em que determinados conceitos, vinculados a uma ecologia conceitual, possuem características de núcleos protegidos de refutações empíricas e de argumentos contrários. Essas proteções ocorrem através de um mutável cinto de proteção, formado de idéias auxiliares dos alunos, as quais surgem em momentos de discussão para fortalecer suas concepções centrais (núcleos).

Do que foi dito acima, apresenta-se, na seqüência, como podem ser classificados os pensamentos dos alunos numa aplicação específica ao conteúdo de cinemática angular:

- *Programa alternativo (PA)*. Neste programa, são incluídos todos os raciocínios que destacam as concepções alternativas. Mais especificamente, podem-se destacar alguns tipos de concepções como aquelas encontradas na última aplicação (LABURÚ e SILVA, 2001) e que orientaram as análises dos dados desta pesquisa. São elas: concepção que associa a noção de força à de velocidade (VIENNOT, 1979); concepção primitiva de velocidade angular, que associa a rotação de um corpo rígido à necessidade de um tipo de velocidade global (DION, 1992, p. 28), entendida como a mesma e a única de todos os pontos do corpo; concepção em que o sujeito, ao analisar movimentos de um corpo rígido em rotação, “transfere-se” do referencial de sala de aula para o referencial girante do corpo (nesta concepção, observa-se a falta de cuidado ou despreparo de certo estudante em estabelecer, de forma coerente, o referencial do movimento analisado).
- *Programa científico (PC)* Classificam-se neste programa todos os raciocínios que pronunciam, com distinção e clareza, as variáveis pertencentes ao conceito escolarizado de velocidade escalar média, ou seja, as grandezas deslocamento e intervalo de tempo ( $V = \Delta S / \Delta T$ ). Além disto, deve existir uma coerente articulação destas variáveis, estabelecendo a comparação entre as velocidades dos pontos *A* e *B* nas questões aqui utilizadas (vide anexo).
- *Fase transitória (FTr)*. Nesta fase, classificam-se as falas que não podem ser claramente definidas. Aqui, identificam-se os raciocínios que estabelecem, acertadamente, a comparação entre as velocidades dos pontos *A* e *B*, mas não articulam todos os conceitos referentes ao núcleo do programa *PC*, como, por exemplo, numa argumentação em que se compara o deslocamento ( $\Delta S$ ) com

---

conhecimento de senso comum (EDWARDS e MERCER, 1987) podem ser entendidos como “teorias” compartilhadas (DRIVER *et al.* 1985).

a velocidade ( $V$ ), faltando o comentário sobre a grandeza intervalo de tempo ( $\Delta T$ ). Esta característica pode levar a uma possível aproximação não só com o programa *PC*, como também com um programa *PA*. Assim, definem-se esses raciocínios de incompletos. Neles existe a impossibilidade de o observador identificar, com certeza, a que núcleo e, conseqüentemente, a que programa pertencem os conceitos articulados numa fala analisada. A fase transitória, por não ser um programa, não se apresenta com um núcleo e um cinturão protetor, mas, na situação em que aparece uma possível tendência a um programa, podem-se analisar as falas com as condições de Posner *et al.* (1982). Contudo, a classificação *FTr* pode ser estabelecida pelo fato de que, ao se analisar a transcrição de uma filmagem, não é possível retirar/investigar mais dados de um aluno para confirmar tal classificação.

No que diz respeito à analogia em que este instrumento se baseia, alguns comentários resumidos em relação ao que foi dito em trabalhos anteriores (LABURÚ e ARRUDA, 1998; LABURÚ e SILVA, 2001) precisam ser acrescentados.

Essa analogia tem aproximações fracas e fortes. Com relação às fracas, enquanto para o ensino médio a mudança conceitual envolve somente exploração das concepções - sem necessariamente atingir métodos e valores epistêmicos de maneira mais permanente e profunda e sem que haja o abandono total do uso das concepções alternativas (VILLANI *et al.* 1997; MORTIMER, 1998), - em um programa de pesquisa lakatiano, os protagonistas estão alicerçados em decisões metodológicas. Estas decisões, responsáveis pelo progressivo desenvolvimento de teorias, contrastam com as concepções alternativas dos *PAs*, pois, como adverte Chi (1991), elas mantêm-se inalteradas no tempo. Outro ponto fraco desta analogia está relacionado com os objetivos do cientista e do aprendiz. Enquanto o primeiro está preocupado com o aprimoramento de ideais explicativos e profissionais, o aprendiz geralmente orienta os interesses para a obtenção do diploma ou para a aprovação nos exames. É fraca, também, porque as crianças, diferentemente dos cientistas, não se dão conta<sup>6</sup> de que duas ou mais teorias podem competir para explicar um corpo de dados (CHINN e BREWER, 1998, p. 642). Um último comentário sobre a fraqueza dessa analogia encontra-se no que Lakatos denomina de hipóteses auxiliares. Os alunos não agem de maneira a realizar hipóteses auxiliares, como no sentido dado pelos programas de pesquisa de Lakatos, a fim de desenvolver um programa de idéias; o que fazem é criar explicações auxiliares para salvaguardar as concepções em que depositam suas crenças.

Para as aproximações fortes, há dois comentários: um referente ao núcleo do programa e, outro, ao cinto de proteção. O núcleo firme pode ser encontrado através da observação do comprometimento dos alunos com suas concepções, havendo dificuldade de aceitação e de transferência para outras. Através dessa maneira de ver, o professor tem a possibilidade de definir que elementos da ecologia conceitual são responsáveis pela inerente ontologia, crenças metafísicas, valores e compromissos epistemológicos do programa *PA* - os quais, por estarem fortemente coerentes

---

<sup>6</sup>E aqui a atuação dos professores se faz importante para reverter isso.

com este último, dão-lhe inteligibilidade, plausibilidade, satisfação e frutificação, resultando em recalcitrâncias à aceitação do programa *PC*. Com relação ao cinto de proteção, as idéias ou explicações auxiliares que surgem nas discussões fazem parte de um processo geral de pensamento com o objetivo de digerir as objeções do programa científico pretendido pelo professor, conservando, com isto, as representações fundamentais nas concepções alternativas.

## 4 Amostra e metodologia

A amostra da pesquisa é composta de alunos matriculados no primeiro ano do ensino médio, no período diurno, do Instituto de Educação Estadual de Londrina (IEEL), Londrina - PR, em 2001. Os dados desta pesquisa foram retirados de um trabalho de dissertação em fase de conclusão. Desta dissertação, selecionaram-se três grupos de alunos para interpretar os resultados obtidos da referida aplicação deste Instrumento Analítico.

Os dados, representados pelos discursos dos alunos, foram obtidos por meio de filmagens em vídeo. É importante ressaltar que a filmagem foi realizada numa aula regular do curso em que o processo de ensino/aprendizagem estava normalmente ocorrendo e o professor era um profissional competente no que se refere ao conteúdo. Após a gravação, fez-se a transcrição das falas dos alunos, basicamente naqueles momentos em que se notou a ocorrência de uma situação conflitiva ou controversa. Para a criação de tais situações, lembra-se que foi necessário reunir os alunos em grupos, possibilitando, assim, a abertura de espaço para que eles levantassem suas próprias idéias, debatessem-nas e as criticassem.

Um questionário formado por quatro questões (que podem ser encontradas em anexo) é utilizado. As questões se originaram do trabalho de SILVA (1990), mas acrescentou-se uma questão (a primeira) e modificou-se outra (a segunda). Estas alterações foram feitas a fim de melhorar a potencialidade do questionário inicial, no intuito de gerar discussões entre os alunos quanto a uma noção intuitiva de velocidade angular e a idéia de velocidade linear. Na aplicação desse questionário, foi informado aos alunos que trabalhassem com os conceitos de espaço e de tempo, para analisar e comparar as velocidades dos pontos *A* e *B* de cada questão. Com isto, tentou-se evitar o desvio do assunto em estudo e situar os raciocínios dos alunos nas questões. Essas questões podem ser perfeitamente respondidas a partir da correta articulação das variáveis pertencentes ao conceito escolarizado de velocidade escalar média, ou seja, considerando-se velocidade escalar média como variação do espaço pelo intervalo de tempo ( $V = \Delta S / \Delta T$ ).

É preciso que se destaque, ainda, que um mesmo aluno teve as suas falas classificadas em mais de uma forma. Assim, numa questão, a fala pode estar classificada no programa *PC* e em outra no programa *PA*. Isto se deve ao fato de que as características inerentes a uma questão apresentam um nível de dificuldade diferente da de outra. Por isto, o importante na classificação deste trabalho é o tipo de raciocínio numa fala e não especificamente o(a) aluno(a).

Na análise dos dados, os grupos foram designados pelas letras *A*, *B* e *C*. As falas dos alunos foram identificadas por nomes fictícios, sendo a letra inicial de cada nome a mesma do grupo a que pertence o(a) aluno(a). Tal procedimento mantém a integridade das pessoas envolvidas. Ao nome fictício do(a) aluno(a), adicionou-se uma numeração em segundos para designar o tempo decorrido de gravação, permitindo uma leitura temporal de suas falas no grupo. Com isso, pode-se ter um melhor entendimento da dinâmica dos discursos e dos diálogos, assim como localizar, durante a análise, o momento de uma fala específica. Entre parênteses, aparecem comentários do observador que objetivam dar maior clareza às falas. Todas as falas estão apresentadas sem correções gramaticais, mas retiraram-se delas palavras ou sentenças com pouco ou nenhum interesse para o objetivo do trabalho.

## 5 Análise dos dados

Nas próximas subseções, analisam-se os discursos dos alunos, no intuito de entender as razões que os levam a resistir ao ensino oficial em muitos momentos do processo de ensino/aprendizagem. Primeiro são mostrados os dados de cada grupo de alunos, já classificados conforme a analogia que relaciona a dinâmica dos programas de pesquisa de Lakatos com o entendimento dos alunos em face das concepções científicas, numa estrutura do tipo programa alternativo (*PA*), programa científico (*PC*) e uma fase transitória (*FTr*). Posteriormente, justifica-se o porquê de cada uma das falas estar assim classificada, ao observar, no caso dos programas *PA* ou *PC*, a característica de um núcleo cuja concepção pode estar muito bem arraigada, quando protegida por um cinturão de idéias. Depois, utilizam-se as condições de inteligibilidade, plausibilidade e frutificação, separadamente, para as falas localizadas em *PA*, *PC* e *FTr*. Estas condições, para as quais se convencionou a designação *I. P. F.*, ajudam a entender os motivos e razões pelas quais uma determinada idéia de um estudante se encontra num programa específico. Finalmente, para fechar a análise, faz-se uma discussão geral dos dados obtidos.

*Classificação das falas em programas e análise com as condições de Posner et al. (1982)*

Grupo A

Dados obtidos

### Programa alternativo (*PA*)

Ana 225” - Questão 3 - (Logo depois de Adão, Ana pega uma caneta, segurando sua extremidade, para exemplificar o cone). A gente roda (a caneta, com os dedos) e a gente vê que vai tudo igual (mostrando que os pontos A e B possuem a mesma velocidade), mas a gente vê que o ponto A roda mais rápido (maior velocidade) que o ponto B, porque quando a gente gira (a caneta) o ponto A

gira mais rápido. O ponto A começa primeiro, porque até chegar ao ponto B..., ele começa primeiro (ponto A). Como o A (ponto A) está em cima (próximo da ponta do cone) ele gira mais rápido (possui maior velocidade). A gente vê que gira tudo, só que ele (ponto A) gira mais rápido (maior velocidade).

Adalberto 320" - Questão 3 - (mantém o mesmo argumento e exemplo de Ana 225", segura a caneta e gesticula com a mesma) - A velocidade do A (ponto A) é maior que a do B (ponto B). Você pega um cone (exemplificando com a caneta) e você começa daqui (extremidade/ponta do cone), a força começou daqui e, daqui, vai para baixo. Então aqui (ponto A) já começa mais rápido (justificando a maior velocidade para o ponto A).

Adalberto 400" - Questão 4 - Pensei no caso da bicicleta. A gente começa pedalando daqui (roldana menor), e a força começa aqui (na roldana menor, onde se pedala) para depois passar para lá. Então, a velocidade de B (ponto B) é maior do que a de A (ponto A).

### Programa científico (PC)

Adão 00" - Questão 1 - É igual à questão dois, o espaço do B (ponto B) é maior do que o de A (ponto A). Os dois chegam no mesmo tempo. Então, a velocidade de B (ponto B) é maior que a de A (ponto A).

Abel 105" - Questão 1 - Porque o B (ponto B) tem que ir mais rápido (maior velocidade) para alcançar a velocidade do A (ponto A). Porque ele tem que dar uma volta muito maior do que a de A (ponto A). Porque o B (ponto B) tem que ir em uma velocidade um pouco maior que a de A (ponto A) para chegar no mesmo tempo.

Adão 204" - Questão 3 - A terceira questão, eu acho que é o mesmo caso da primeira. Como o espaço do B (ponto B) é maior e, se as bolinhas (pontos A e B) vão girar no mesmo sentido, chegando no mesmo tempo, a velocidade de B (ponto B) é maior que a de A (ponto A).

Abel 257" - Questão 3 - Como o B (ponto B) tem uma distância maior para percorrer e os dois (pontos A e B) têm que chegar no mesmo tempo, o ponto B tem que ter uma velocidade maior para chegar no mesmo tempo que o A (ponto A).

Abel 610" - Questão 4 - Eu acho que as duas (velocidades) são iguais, o espaço deles é o mesmo (percurso total dos pontos A e B, passando, cada um, pelas duas roldanas), percorrem num mesmo tempo.

### Fase transitória (FTr)

Adão 586" - Questão 4 - (Desconfiado do argumento de Adalberto 400", pergunta para Abel) a velocidade (dos pontos A e B) é igual, não é?

Adão 707" - Questão 4 - Concorro (com Abel). Eu acho, também, que as velocidades são iguais, porque eles (pontos A e B) vão andar no mesmo ritmo, um não vai atropelar o outro.

## Análise dos programas

## Programa alternativo

As classificações de Adalberto 320” (terceira questão) e Adalberto 400” (quarta questão) no Programa *PA* são justificadas pelo fato de se observar, em tais falas, a concepção que relaciona a noção de força à de velocidade (VIENNOT, 1979) para analisar as velocidades entre os pontos *A* e *B*. Esta concepção é vista em Adalberto 320” e 400”, nas falas: “... a força começou daqui e, daqui (extremidade/ponta do cone), vai para baixo. Então aqui (ponto *A*) já começa mais rápido (maior velocidade)” e “... a força começa aqui (na roldana menor, onde se pedala) para depois passar para lá. Então, a velocidade de *B* (ponto *B*) é maior do que a de *A* (ponto *A*)”. Tal concepção representa o núcleo central deste *Programa Alternativo*. Em Ana 225” (terceira questão), também situa-se o núcleo desse *Programa Alternativo*, que possui um raciocínio muito próximo ao de Adalberto 320”, o qual influenciou esta análise. Apesar de não explicitar o termo “força” em sua fala, a aluna afirma: “a gente roda...” e “o ponto *A* começa primeiro, porque até chegar ao ponto *B*...”. Nestas falas, vê-se um núcleo de programa que utiliza a concepção alternativa que associa força com velocidade. Nelas, os alunos demonstram acreditar que a aplicação de uma força num determinado local de um corpo rígido não é transmitida para outros locais de uma maneira instantânea. Isto justifica as diferentes velocidades nos diferentes pontos do corpo, proporcionais à força aplicada. Assim sendo, essas falas estão aqui classificadas porque identificam-se nos raciocínios nelas presentes o núcleo central cuja concepção, acima mencionada, forma um conhecimento de senso comum.

No que se refere à proteção desse *Programa Alternativo*, ela pode ser constatada em Ana 225” e Adalberto 320”, após o contra-exemplo da distância maior do ponto *B*, vinda dos opositores Adão 204” e Abel 257”, respectivamente. Este cinturão protetor pode ser visto no momento em que Ana 225” e Adalberto 320” seguram uma caneta e, movimentando-a, fornecem argumentos que expressam convicção ao estenderem o raciocínio utilizado na questão do cone, mostrando na mesma situação o que ocorre com a caneta.

## Programa Científico

As falas localizadas no programa *PC* estão, assim, classificadas, porquanto o núcleo desse programa mantém o conceito escolarizado de velocidade escalar média ( $V = \Delta S / \Delta T$ ). Isto pode ser verificado na quase totalidade das falas de Adão 00”, Abel 105”, Adão 204”, Abel 257” e Abel 610”. Nelas, percebe-se que os alunos se utilizam dos conceitos de espaço e de tempo, pertencentes ao núcleo deste programa, para comparar qualitativamente as velocidades entre os pontos *A* e *B*.

## Fase transitória

A fala de Adão 586” está classificada nesta fase por expressar uma dúvida entre os dois programas. Isto pode ser visto no momento em que Adão 586”, influenciado pelo argumento de Adalberto 400” do programa alternativo, demonstra tal incerteza

ao dirigir-se para Abel com a seguinte pergunta: “*A velocidade é igual, não é?*” Mas, em seguida, ao ouvir as afirmações de Abel 610” do programa científico, Adão 707” manifesta uma inclinação para esse programa, conforme se vê na fala “*Concordo (com Abel 610)*”. *Eu acho, também, que as velocidades são iguais...*” Assim, classifica-se a fala de Adão 707” nesta fase porque não houve articulação de todos os conceitos inerentes ao núcleo do programa *PC*. Isto não elimina a possível aproximação com este programa, mas, pela convenção adotada, impossibilita reclassificá-la neste último.

#### Análise com as condições I. P. F.

##### I. P. F. do programa alternativo

A condição de inteligibilidade deste programa *PA* pode ser vista em Ana 225”, Adalberto 320” e Adalberto 400”. Os argumentos, referentes às terceira e quarta questões, salientam os conceitos pertencentes ao núcleo, que é representado pela condição de inteligibilidade: maior força, maior velocidade.

A condição de plausibilidade é encontrada, na terceira questão, na fala da aluna Ana 225”: “... mas a gente vê que o ponto A roda mais rápido (maior velocidade) que o ponto B, porque quando a gente gira (a caneta) o ponto A gira mais rápido”. Na parte sublinhada, nota-se tal condição porque a aluna apresenta uma expressão de vontade, de verdade, de convencimento, buscando no empírico a sua força.

A condição de frutificação pode ser verificada, na terceira questão, em Ana 225” e Adalberto 320”, ao aplicarem suas explicações a uma situação (objeto) diferente: a caneta. Neste caso, a caneta é utilizada para exemplificar, sendo comparada ao cone. Uma outra situação de condição de frutificação existe na quarta questão, no momento em que Adalberto 400” refere-se a uma bicicleta, afirmando que a aplicação de uma força não é transmitida de maneira instantânea.

##### I. P. F. do programa científico

A condição de inteligibilidade vinculada a este programa é observada na quase totalidade das falas de Adão 00”, Abel 105”, Adão 204”, Abel 257” e Abel 610”, ao analisarem separadamente as velocidades dos pontos A e B, utilizando os conceitos inerentes ao núcleo deste programa e comparando qualitativamente essas velocidades. Assim, através de tais falas, os alunos mostram compreender os significados dos conceitos utilizados, justificando a condição de inteligibilidade.

Uma condição de plausibilidade pode ser constatada em Abel 610” e em Adão 00”, ao dizerem: “*eu acho que...*”. Esta forma de expressão pode ser interpretada, nestes casos, como “*eu acredito que...*”, diferente de qualquer natureza duvidosa, pois, logo após cada fala, percebe-se a inteligibilidade. Assim, confirma-se a crença desses alunos em suas afirmações, como também a condição de plausibilidade.

A condição de frutificação é vista, na primeira questão, em Adão 00” (“*É igual à questão dois...*”) e, também, na terceira questão em Adão 204” (“*A terceira questão, eu acho que é o mesmo caso da primeira.*”). Desta forma, classificam-se estas falas

como frutíferas, visto que o aluno faz uma comparação baseada nos moldes empregados na interpretação de outras questões.

#### I. P. F. da fase transitória

Na fase transitória, como se disse na seção do instrumento analítico, por não existir a característica de um programa, não são encontradas condições de inteligibilidade, plausibilidade e frutificação. No entanto, pode-se observar estas condições num tipo de fala em que se nota uma possível aproximação com o programa científico. Neste sentido, observando Adão 707” (quarta questão), detecta-se uma condição de plausibilidade: “*Concordo (com Abel 610)*. *Eu acho...*”. Este aluno demonstra convicção e, com isto, a plausibilidade, ao afirmar que, se existissem velocidades diferentes entre os pontos *A* e *B*, um atropelaria o outro (“... *um não vai atropelar o outro.*”)

### Grupo B

#### Dados obtidos

#### Programa alternativo (PA)

Bruno 00” (questão 1) - É igual (mesma velocidade dos pontos A e B) porque não é o ponto A e B que roda, é o CD que roda. Eles rodam ao mesmo tempo, juntos. Porque se existisse velocidade diferente (dos pontos A e B), esse daqui (ponto B) iria rodar muito mais (ou seja, o ponto B completaria uma volta antes do ponto A).

Bruno 95” (questão 3) - É o mesmo caso do CD. Aqui é o cone que roda e não os pontos A e B. Os dois (pontos A e B) rodam ao mesmo tempo e a velocidade dos pontos (A e B) são iguais.

Bernardo 140” (questão 4) - (interrompe e contraria Bruno 123”) eu já acho que aqui a velocidade de A vai ser menor (velocidade do ponto A na roldana maior - ”aponta com o dedo”) e aqui pode rodar mais rápido na circunferência B (velocidade maior para o ponto B que percorre a circunferência da roldana menor) e aqui já vai ser maior (referindo-se ao tamanho da roldana maior) e vai poder rodar mais lento (menor rotação para a roldana maior; logo, menor velocidade para o ponto A). Então a velocidade de A é menor que a de B, porque a velocidade de B pode ser mais rápida pelo tamanho menor da roda.

#### Programa científico (PC)

Bruno 123” (questão 4) - É a mesma distância um do outro (a distância entre os pontos A e B não muda, durante todo o percurso que passa pelas duas roldanas), eles estão rodando ao mesmo tempo (é o mesmo tempo para os pontos completarem uma volta passando, cada um, pelas duas roldanas), rodando junto, e a velocidade (dos pontos A e B) é a mesma.

Bruno 212” (questão 4) - Eu concordo comigo mesmo (discordando de Bernardo 140”). A velocidade dos dois (pontos A e B) é igual. A distância é igual (distância total do percurso, passando pelas duas roldanas). A roda não interfere (tamanho) nada aqui. É a mesma coisa se tivesse duas rodas (roldanas) iguais (no diâmetro), vão rodar ao mesmo tempo e vão percorrer a mesma distância.

### Fase transitória (*FTr*)

Bruno 60” (questão 2)- A velocidade do B (ponto B) é maior porque os dois estão lado a lado (separados, percorrendo trajetórias curvas) e a distância (pista) do B (ponto B) é maior. Se eles estão lado a lado, a velocidade do (ponto) B tem que ser maior, para andar maior distância.

Bráulio 200” (questão 4) - Eu concordo com os dois (Bruno e Bernardo).

## Análise dos programas

### Programa alternativo

No grupo B, identifica-se a concepção alternativa que entende que, num corpo rígido, só pode haver uma única velocidade em toda sua extensão. Esta concepção toma forma de um núcleo central de um programa *PA* que se contrapõe ao programa *PC* na solução das questões colocadas. As falas de Bruno 00” e Bruno 95” são exemplos que se pode situar neste tipo de programa *PA*: “*É igual* (mesma velocidade dos pontos *A* e *B*), *porque não é o ponto A e B que roda, é o CD que roda*” e “*Aqui é o cone que roda e não os pontos A e B*” (que se pode entender como querendo dizer que é o cone que roda e não os seus pontos isoladamente), da primeira e terceira questão, respectivamente. A causa para a concepção alternativa mencionada está no forte entendimento de que corpos rígidos têm seguramente as mesmas velocidades em cada local de sua extensão para ser assim considerado (LABURÚ e SILVA, 2001). Portanto, a justificativa para a classificação das falas acima neste programa *PA* ocorreu porque nelas identificou-se o núcleo cuja concepção impossibilita diferentes velocidades entre partes distintas de um mesmo objeto.

Para confirmar este pensamento, Bruno olha a segunda questão de outra maneira. Neste caso, por haver dois objetos em pistas separadas, o aluno (Bruno 60”) afirma que há diferentes velocidades para os pontos *A* e *B*: “*A velocidade do B* (ponto *B*) *é maior porque os dois estão lado a lado* (separados, percorrendo trajetórias curvas) *e a distância* (pista) *do B* (ponto *B*) *é maior*”. Assim sendo, quando os objetos estão individualizados, como na segunda questão, há um entendimento de que possam existir velocidades diferentes entre eles e, quando a referência se faz em relação a diferentes partes de um corpo rígido, destaca-se a concepção alternativa já mencionada acima.

Para a quarta questão, vê-se que, em Bernardo 140”, o aluno se confunde em relação a intuitiva noção de velocidade angular que determina uma velocidade maior

ou menor para a menor ou maior roldana, respectivamente, com as velocidades lineares dos pontos  $A$  e  $B$  na correia. Esta confusão pode ser vista na fala: “*aqui a velocidade de  $A$  vai ser menor* (velocidade do ponto  $A$  na roldana maior - aponta com o dedo) *e aqui pode rodar mais rápido na circunferência  $B$*  (velocidade maior para o ponto  $B$ , que percorre a circunferência da roldana menor) *e aqui já vai ser maior* (referindo-se ao tamanho da roldana maior) *e vai poder rodar mais lento*”. Esta maneira de analisar as velocidades é responsável por esta fala estar classificada no programa  $PA$ , identificando a concepção alternativa discutida em Bruno 00” e 95”, pois o aluno estabelece uma mesma velocidade para a roldana em movimento e o ponto localizado em sua circunferência (“*aqui pode rodar mais rápido na circunferência*”), como se este último pertencesse a ela, esquecendo-se de que os pontos na correia estão separados sempre por uma mesma distância. Portanto, ao comparar as velocidades entre os pontos  $A$  e  $B$ , o aluno analisa dois corpos distintos (as duas roldanas) que podem, conforme o núcleo deste programa  $PA$ , possuir diferentes “velocidades”, o que justifica sua argumentação.

#### Programa científico

A fala de Bruno 123” (quarta questão) está aqui classificada porque nela se percebe a utilização dos conceitos de espaço e de tempo, pertencentes ao núcleo do programa  $PC$ , para analisar e comparar as velocidades entre os pontos  $A$  e  $B$ .

No que se refere ao cinturão protetor do programa  $PC$ , este pode ser observado no raciocínio de Bruno 212” (quarta questão), posteriormente ao contra-exemplo de Bernardo 140”. Primeiramente, Bruno 123” articula adequadamente os conceitos pertencentes ao núcleo do programa  $PC$ , respondendo que os pontos  $A$  e  $B$  possuem a mesma velocidade. Em seguida, interrompendo Bruno 123”, Bernardo 140” analisa as diferentes “velocidades” de giro das roldanas (adotando seus referenciais girantes) ao comparar seus tamanhos, relacionando-os com as velocidades dos pontos  $A$  e  $B$ , que, assim são diferentes, como se viu. Este contra-exemplo de Bernardo 140” é rebatido de pronto por Bruno 212”, que discute a impossibilidade de o tamanho das roldanas interferir na igualdade das velocidades dos pontos  $A$  e  $B$ , com a fala: “*A roda não interfere (tamanho) nada aqui*”.

A proteção do programa  $PC$  surge, então, no momento em que Bruno (212”) utiliza o raciocínio usado na quarta questão, ao argumentar que o caso seria o mesmo se as roldanas fossem iguais (“*É a mesma coisa se tivesse duas (roldanas) iguais (no diâmetro), ...*”), estabelecendo a comparação com uma situação em que as roldanas possuem o mesmo tamanho. Do seu ponto de vista, portanto, o tamanho das roldanas e suas diferentes “velocidades” de giro não podem ser usados como elementos argumentativos para refutar  $PC$ , pois não há velocidade de roldana ou tamanho algum a ser considerado, o que, por conseguinte, não cria nenhuma diferença entre as velocidades dos pontos  $A$  e  $B$ , sendo elas iguais na correia. O exemplo de Bruno 212”, mostrando o cinturão protetor do programa  $PC$ , salvaguarda, assim, o núcleo central, representado pela concepção  $V = \Delta S / \Delta T$  aprendida no curso de cinemática linear para essa questão.

## Fase transitória

Na fala de Bruno 60” é possível verificar o emprego, não na sua forma completa, dos conceitos científicos, notando-se a ausência do conceito de tempo. Estas características são responsáveis por esta classificação de acordo com a convenção estabelecida. Porém, por se estar limitado a uma análise de transcrição de gravação, que impede interrogá-lo para que haja uma reclassificação, pode-se afirmar que talvez esse aluno pudesse estar em *PC*, já que sua fala apresenta uma certa aproximação com esse programa.

Outra fala classificada nesta fase é a de Bráulio 200”. Esta se justifica pela expressão: “*Eu concordo com os dois (Bruno e Bernardo)*”. Esta expressão revela que o aluno acha-se em uma situação dúbia, pois não define uma posição entre os programas rivais *PA*, de Bernardo, e *PC*, de Bruno, que se opõem.

## Análise com as condições I. P. F.

## I. P. F. do programa alternativo

A condição de inteligibilidade concernente ao programa alternativo é vista na primeira questão quando Bruno (00”) argumenta “*Porque se existisse velocidade diferente (dos pontos A e B), esse daqui (ponto B) iria rodar muito mais (ou seja, o ponto B completaria uma volta antes do ponto A)*” e, na terceira questão, (Bruno 95”), de acordo com o enunciado: “*Os dois (pontos A e B) rodam ao mesmo tempo e a velocidade dos pontos (A e B) são iguais*”. Entende-se que a primeira das duas falas anteriores representa a condição de inteligibilidade porque se nota que há, por parte do aluno, a compreensão da concepção, que representa o núcleo deste programa *PA*, quando afirma a impossibilidade de haver diferentes velocidades entre os pontos do *CD*, uma vez que, se isto acontecesse, o ponto *B* passaria à frente do ponto *A*. No caso da fala de Bruno 95”, a condição de inteligibilidade é também destacada porque o aluno articula os conceitos de tempo e de velocidade para salvaguardar a concepção que representa o núcleo deste programa *PA*, que é a idéia de que corpos rígidos não podem ter velocidades distintas em seus vários pontos.

A condição de plausibilidade pode ser notada na fala de Bernardo 140” (quarta questão) quando diz: “*Eu acho que ...*”. Após analisar-se toda a fala de Bruno 140”, entende-se que o aluno demonstra estar convencido do que afirma, acreditando nas relações por ele estabelecidas e, assim, a sua expressão “*acho que*” deve ser compreendida como “*eu penso dessa forma*”.

A condição de frutificação é vista no raciocínio de Bruno 95” (terceira questão) - “*É o mesmo caso do CD*” -, à medida que este aluno resgata o domínio explicativo da primeira questão para explicar a terceira.

## I. P. F. do programa científico

A condição de inteligibilidade é vista na fala de Bruno 123” (quarta questão): “*É a mesma distância um do outro (a distância entre os pontos A e B não muda durante todo o percurso que passa pelas duas roldanas), eles estão rodando ao mesmo*

*tempo* (o tempo para os pontos completarem uma volta, passando, cada um, pelas duas roldanas, é o mesmo), *rodando junto*, e *a velocidade* (dos pontos A e B) *é a mesma*". Outra situação semelhante, na mesma questão, ocorre na fala de Bruno 212": "*A velocidade dos dois* (pontos A e B) *é igual*. ... *vão rodar ao mesmo tempo e vão percorrer a mesma distância*". Estes argumentos mostram que o aluno compreende os significados dos conceitos pertencentes ao núcleo do programa PC, pela correta articulação das suas variáveis, já que analisa qualitativa e corretamente as velocidades dos pontos.

A condição de plausibilidade é encontrada na manifestação de Bruno 212" (quarta questão): "*Eu concordo comigo mesmo*". Esta afirmativa destaca esta condição porque ilustra a crença do aluno, significando que os conceitos por ele utilizados e a maneira como foram articulados são verdadeiros.

A condição de frutificação é vista na quarta questão na fala de Bruno 212": "*É a mesma coisa se tivesse duas rodas* (roldanas) *iguais*, *vão rodar ao mesmo tempo e vão percorrer a mesma distância*". A justificativa para esta fala ser assim classificada se deve à extensão do raciocínio do aluno para uma outra situação que vai além do raciocínio utilizado na questão propriamente dita, na qual as roldanas possuem os mesmos tamanhos.

### Grupo C Dados obtidos

#### Programa alternativo (PA)

Carlos 920" - Questão 3 - A velocidade do A (ponto A) é maior que a do B (ponto B). O B (ponto B) tem um espaço maior, o A (ponto A) tem um espaço menor, mas o A (ponto A) tem maior velocidade que o B (ponto B); ele (ponto A) roda mais rápido porque está mais perto da ponta. Chegam no mesmo tempo (os pontos A e B).

Carlos 1120" - Questão 3 - Mas você sabia, por exemplo, se tem um cone girando e eu estou embaixo (local do ponto B) e você em cima (local do ponto A) e, se o cone parar, quem vai ser arremessado mais longe é quem está em cima (ponto A). Quem vai ser arremessado com mais força é quem está em cima (local do ponto A), não quem está embaixo (local do ponto B). Por isso (por ter maior força) que o A (ponto A) tem maior velocidade que o B (ponto B).

Carlos 1225" - Questão 4 - A velocidade de A (ponto A) não é igual à velocidade de B (ponto B), porque se aqui é menor (roldana menor) ele (ponto B) passa mais rápido (maior velocidade). (Portanto) A velocidade de A (ponto A) tem que ser menor que a velocidade de B (ponto B).

Carlos 1365" - Questão 4 - Nesse caso, como o espaço do B (da roldana menor, onde passará o ponto B) é menor, ele passa mais rápido. A velocidade de B (ponto B) é maior que a de A (ponto A). O B (ponto B) tem maior velocidade que o A (ponto A) porque aqui (na roldana menor) tem mais força, por exemplo, se fosse um pedal (este aluno, através do seu gesto com as mãos, refere-se a um pedal de bicicleta).

Programa científico

Camila 755” - Questão 2 - Pelo fato do B (ponto B) ter uma maior circunferência que o A (ponto A), ele (ponto B) tem que ter uma velocidade maior para chegar no mesmo tempo.

Cristiano 1090” - Questão 3 - Mas se você pegar uma pessoa pelos pés e girar, a cabeça estará em uma velocidade maior que os pés (comparando a cabeça com o ponto B e os pés com o ponto A). (Ver também Cristiano 1175”).

Cristiano 1175” - Questão 3 - Acho que (eu estou convencido de que; não há dúvida) o B (ponto B) tem maior velocidade que o A (ponto A) porque, quanto maior o espaço, teria que ter maior velocidade, já que eles chegam no mesmo tempo. O B (ponto B) tem maior velocidade que o A (ponto A).

Fase transitória (FTr)

Carlos 00” - Questão 1 - A velocidade do A (ponto A) é menor que a do B (ponto B) porque A (ponto A) está perto do centro. (Ver também Carlos 310”).

Carlos 310” - Questão 1 - Se eu pegar ele (o aluno Flavo) e começar a girar (levanta da carteira e imita) e imaginar os pontos A e B no seu corpo, o ponto A teria uma velocidade menor porque está mais perto do meio (centro), espaço menor para percorrer.

Carlos 645” - Questão 2 - Só que um vai por fora (ponto B) e o outro vai por dentro (ponto A). O espaço do A (ponto A) é menor que o do B (ponto B). Então quer dizer que o B (ponto B) tem maior velocidade que o A (ponto A). É o mesmo caso do CD, porque o B (ponto B) tem um espaço maior que o A (ponto A). Então a velocidade do B (ponto B) é maior que do A (ponto A) por causa do espaço. Então, concorda comigo?

## Análise dos programas

## Programa alternativo

Em Carlos 920” (terceira questão) há o reconhecimento de que o percurso do ponto B é maior do que o do ponto A e que os pontos A e B chegam ao mesmo tempo – percorrem diferentes distâncias em um mesmo tempo. No entanto, esse aluno se contradiz ao comparar as velocidades dos pontos A e B pela incorreta articulação dos conceitos de espaço e de tempo, o que o classifica no programa PA, com a fala “O A (ponto A) tem maior velocidade que o B (ponto B), ele (ponto A) roda mais rápido porque está mais perto da ponta”. Esta resposta não é plausível do ponto de vista do programa PC, visto que, além de errada, faz uma vinculação estranha entre as velocidades e a ponta do cone. Contudo, esta estranheza desaparece quando se percebe que tal idéia tem uma relação direta com o núcleo do programa PA.

Como se vê, ainda na terceira questão, em Carlos 1120”, está presente o mesmo núcleo encontrado no grupo A, que relaciona a noção de força à de velocidade:

“*Quem vai ser arremessado com mais força é quem está em cima* (local do ponto *A*), *não quem está embaixo* (local do ponto *B*). *Por isso* (por ter maior força) *que o A* (ponto *A*) *tem maior velocidade que o B* (ponto *B*)”. A expressão de Carlos 1365” (quarta questão), “*O B* (ponto *B*) *tem maior velocidade que o A* (ponto *A*) *porque aqui* (na roldana menor) *tem mais força*” é um outro reforço para essa concepção. Assim, no caso de Carlos 920” (terceira questão), quando diz que o ponto *A* “*roda mais rápido, porque está mais perto da ponta*”, e, em Carlos 1365” (quarta questão), com a fala “*porque aqui* (na roldana menor) *tem mais força*”, conclui-se que, para esse aluno, o ponto que circular numa região mais próxima do eixo de rotação tem mais força e, portanto, maior velocidade.

Em Carlos 1225” vê-se que o aluno faz a comparação entre o tamanho das roldanas para analisar, comparativamente, as velocidades entre os pontos *A* e *B*. Esta comparação é apresentada na fala “*porque se aqui é menor* (roldana menor) *ele* (ponto *B*) *passa mais rápido* (maior velocidade). (Portanto) *A velocidade de A* (ponto *A*) *tem que ser menor que a velocidade de B* (ponto *B*)”. Ao unirem-se as falas Carlos 1225” e 1365” (ambas na quarta questão), verifica-se que a confusão entre as velocidades angulares das roldanas e as velocidades dos pontos *A* e *B*, logo, da própria correia, fez com que a concepção alternativa que representa o núcleo deste programa *PA*, utilizada na terceira questão, pudesse ser novamente aplicada. Portanto, pode-se afirmar, ao se analisarem tais falas, que o aluno justifica uma maior velocidade para o ponto *B* pelo fato de este estar mais próximo do centro (ou, como ele dizia na terceira questão, “*porque está mais perto da ponta*”) e, assim, “*porque aqui tem mais força*” (Carlos 1365” - Quarta questão).

Do que já foi dito acima, destaca-se agora o cinturão protetor pertencente ao núcleo desse programa *PA*. Ele pode ser visto quando se analisa a oposição entre programas na terceira questão. O cinturão protetor é disparado quando Carlos 1120” demonstra não se importar com o contra-exemplo dado por Cristiano 1090”. Isto é observado quando se vê Carlos 1120” ignorar o contra-exemplo – “*pegar uma pessoa pelos pés e girar, a cabeça estará em uma velocidade maior que os pés* (comparando-se a cabeça com o ponto *B* e os pés com o ponto *A*)” – usado por Cristiano 1090”, que se encontra no programa *PC*. Para isolar o contra-exemplo de Cristiano 1090”, Carlos 1120” procura proteger o núcleo central do programa *PA* com a seguinte explicação auxiliar: “*Mas você sabia, por exemplo, se tem um cone girando e eu estou embaixo* (local do ponto *B*) *e você em cima* (local do ponto *A*) *e, se o cone parar, quem vai ser arremessado mais longe é quem está em cima* (ponto *A*). *Quem vai ser arremessado com mais força é quem está em cima* (local do ponto *A*), *não quem está embaixo* (local do ponto *B*). *Por isso que o A* (ponto *A*) *tem maior velocidade que o B* (ponto *B*)”. Esta última fala é uma demonstração inequívoca de que o contra-exemplo de Cristiano 1090” não foi aceito e que o núcleo do programa *PA* de Carlos 1120” continua sendo intocado.

#### Programa científico

As falas de Camila 755” (segunda questão) e Cristiano 1175” (terceira questão) estão localizadas no programa *PC* porque utilizam os conceitos de espaço e de tempo

para analisar as velocidades dos pontos  $A$  e  $B$ . Isto pode ser visto na totalidade de suas falas, as quais permitem identificar também o núcleo central do programa científico.

A parte que se refere ao cinturão protetor do programa científico, inicia-se em Cristiano 1090” (terceira questão) – que expõe uma situação em que uma pessoa gira segurada pelos pés e compara as velocidades da cabeça e dos pés com a dos pontos  $A$  e  $B$  –, após a argumentação de Carlos 920”, do programa PA: “*ele (ponto A) roda mais rápido, porque está mais perto da ponta*”. Em seguida, o programa científico de Cristiano é rebatido com um contra-exemplo em Carlos 1120”, do programa alternativo: “*Quem vai ser arremessado com mais força é quem está em cima (local do ponto A), não quem está embaixo (local do ponto B). Por isso que o A (ponto A) tem maior velocidade que o B (ponto B)*”. Depois, na fala de Cristiano 1175” “*Acho que ...*”, percebe-se uma expressão de convencimento próprio e não de dúvida, que pode ser entendida como “é meu entendimento”. Ainda nessa mesma fala, Cristiano demonstra que o argumento-força, empregado por Carlos 1120”, não pode ser usado como critério de refutação para PC, pois ele o ignora em sua argumentação ao afirmar explicitamente os conceitos inerentes ao núcleo central do programa PC, mantendo-o inviolável, com a fala “*quanto maior o espaço, teria que ter maior velocidade, já que eles chegam no mesmo tempo. (Portanto) O B (ponto B) tem maior velocidade que o A (ponto A)*”.

#### Fase transitória

A fala de Carlos 00” (primeira questão) está classificada nesta fase porque, apesar de afirmar corretamente que “*A velocidade do A (ponto A) é menor que a do B (ponto B) porque A (ponto A) está mais perto do centro*”, ele não articula os conceitos pertencentes ao núcleo do programa PC. Essa classificação é ainda fortalecida pelas falas de Carlos 310” (primeira questão) e Carlos 645” (segunda questão), em que é possível observar que esse aluno emprega os conceitos científicos de forma incompleta nessas questões, uma vez que se nota em todas as suas falas a ausência do conceito de tempo. Contudo, a justificativa da classificação de cada uma das falas de Carlos nesta fase se dá por não ser possível definir claramente, em cada uma delas (através da técnica aqui utilizada), o núcleo do programa a que pertencem.

### Análise com as condições I. P. F.

#### I. P. F. do programa alternativo

As condições de inteligibilidade podem ser vistas nas falas de Carlos 1120” (terceira questão) e Carlos 1365” (quarta questão), ao se analisarem as velocidades dos pontos  $A$  e  $B$  a partir do relacionamento com a idéia de força. Ou seja, há relacionamento de maior força com maior velocidade, o que satisfaz a concepção segundo a qual é representado o núcleo deste programa PA.

A condição de plausibilidade é vista na fala de Carlos 1225” (quarta questão) “*...tem que ser...*”. Neste caso, justifica-se tal condição em virtude de esse aluno

demonstrar, por essa expressão, que os conceitos que ele articula na quarta questão o convencem plenamente de que a velocidade do ponto  $A$  é menor que a do ponto  $B$ .

A condição de frutificação do programa  $PA$  é constatada na fala de Carlos 1120”. Esta condição é fundamentada em razão de esse aluno estender o raciocínio utilizado na terceira questão, onde exemplifica uma situação em que duas pessoas se posicionam nos locais dos pontos  $A$  e  $B$  do cone girante; o aluno afirma que, se o cone parar, “*quem vai ser arremessado com mais força é quem está em cima* (local do ponto  $A$ ), *não quem está embaixo* (local do ponto  $B$ )” – explicação que procura relacionar o que ocorreria na mesma situação com os pontos do cone, mas que ultrapassa os aspectos circunscritos da questão.

#### I. P. F. do programa científico

A condição de inteligibilidade é identificada nas seguintes falas: “*Pelo fato do B* (ponto  $B$ ) *ter uma maior circunferência que o A* (ponto  $A$ ), *ele* (ponto  $B$ ) *tem que ter uma velocidade maior para chegar no mesmo tempo*” (Camila 755”, na segunda questão); “... *porque quanto maior o espaço, teria que ter maior velocidade, já que eles* (pontos  $A$  e  $B$ ) *chegam no mesmo*” (Cristiano 1175”, na terceira questão). Vê-se demonstrada nestas falas a correta formulação dos conceitos do núcleo do programa  $PC$ , já que se comparam, de maneira qualitativa, as velocidades entre os pontos  $A$  e  $B$ .

A condição de plausibilidade é observada na fala de Cristiano 1175” (terceira questão): “*Acho que ...*”. Vê-se, neste enunciado, demonstrada a condição de plausibilidade, visto que, nessa fala, o aluno não se mostra duvidoso, mas, sim, convicto de que o seu argumento, utilizado para analisar as velocidades dos pontos  $A$  e  $B$ , é verdadeiro. Na fala de Cristiano 1175”, a palavra “*acho*” equipara-se a “*penso que*”, pois, como se vê pela expressão do aluno no vídeo, diferentemente de qualquer posição duvidosa, ele está enfatizando o seu argumento.

A condição de frutificação é observada na fala de Cristiano 1090” (terceira questão). Isto se dá porque o aluno recorre, nessa fala, ao raciocínio utilizado para comparar as velocidades dos pontos  $A$  e  $B$  do cone, utilizando-o para uma nova análise, em que uma pessoa é girada presa pelos pés. Por esta nova idéia, o aluno compara as velocidades dos pés e da cabeça com as velocidades dos pontos  $A$  e  $B$ , respectivamente, utilizando esse exemplo para explicar o que ocorre no cone.

#### I. P. F. da fase transitória

A condição de inteligibilidade pode ser vista na fala de Carlos 645” (segunda questão) “*O espaço do A* (ponto  $A$ ) *é menor que o do B* (ponto  $B$ ). *Então quer dizer que o B* (ponto  $B$ ) *tem maior velocidade que o A* (ponto  $A$ )”. Nesta fala, apesar da ausência do conceito de tempo, vê-se justificada tal condição porque o aluno toma uma posição que pode ser interpretada como uma tendência para o programa  $PC$ . Isto caracteriza uma condição de inteligibilidade incompleta do programa  $PC$ , que, obedecendo à convenção adotada, localiza a fala nessa fase.

Em razão da possível aproximação, vista na fala desse aluno, com o programa *PC*, nota-se também uma certa condição de frutificação – “*É o mesmo caso do CD*” –, pelo fato de usar o recurso explicativo da primeira questão em um outro contexto, no caso, a segunda questão. Outra condição de frutificação é notada na primeira questão em Carlos 310”, no momento em que ele se levanta da carteira e imita o giro do corpo do seu amigo. Com isto, o aluno imagina os pontos *A* e *B* no corpo do colega, afirmando: “*o ponto A teria uma velocidade menor porque está mais perto do meio (centro), (e tem um) espaço menor para percorrer*”.

### Discussão geral dos dados

Pelo que se nota dos dados obtidos, existem dois tipos de discursos que se opõem e que fornecem diferentes explicações para as quatro questões propostas. São eles o programa alternativo (*PA*) e o programa científico (*PC*).

No caso específico do programa *PA*, encontram-se dois tipos de programas que disputam com o programa *PC* através de distintas argumentações. Um programa *PA* mantém como núcleo a concepção alternativa que impossibilita o pensamento de que um corpo rígido apresente diversas velocidades em suas partes (grupo B). Um outro programa *PA* possui como núcleo a concepção alternativa que associa a noção de força à de velocidade ( $F \propto V$ ), visto nos grupos A e C. Coincidentemente, nos dados analisados, não houve competição entre estes programas alternativos encontrados, o que não descarta a hipótese de que numa outra investigação possa ser encontrada uma rivalidade entre eles ou mesmo de que esta possa ser estimulada pelo professor.

Vê-se também que a segunda questão foi importante para reforçar o entendimento de certas falas de outras questões classificadas no primeiro programa alternativo. Nela, admitiram-se diferentes velocidades para os móveis, representados pelos pontos *A* e *B*, pelo fato de que eles encontram-se isolados nesse caso (grupo B).

No que diz respeito à última questão, encontram-se alunos que levaram em conta a rotação de cada roldana para comparar as velocidades dos pontos *A* e *B*. Com isto, pode-se verificar que a confusão gerada entre uma intuição de velocidade angular para as roldanas e as velocidades lineares dos pontos *A* e *B* fez com que as concepções que distinguem os núcleos de cada programa alternativo já mencionado pudessem ser aplicadas conforme seus proponentes. Resumidamente, em relação a esta confusão, e de maneira coerente com a utilização de cada concepção alternativa, as justificativas para as diferentes velocidades dos pontos *A* e *B* na correia estavam, no caso do primeiro núcleo, no fato de que as roldanas eram corpos distintos (grupo B) e, no caso do segundo núcleo, no fato de que, circulando o ponto *B*, mais próximo do centro de rotação, este tem maior força e, assim, maior velocidade (grupo C).

O uso pelos alunos de cinturões protetores de idéias e argumentos auxiliares nas suas discussões para assegurarem o núcleo central de seus programas, mantendo-os invioláveis, é visto nos grupos analisados. No grupo A, notou-se o cinturão protetor criado para salvaguardar a noção central que associa a noção de força à de velocidade, que representa o núcleo deste programa *PA*. No grupo B, observa-se um cinturão protetor pertencente ao núcleo do programa *PC*. Dois cinturões protetores são

observados no grupo C, um defendendo o núcleo do programa *PA* e outro defendendo o núcleo do programa *PC*.

Além dos pensamentos classificados em programas, encontram-se pensamentos pertencentes à denominada fase transitória (grupo A, B e C). Nesta fase, foram classificados os raciocínios que se apresentaram como indecisos diante dos programas, particularidade de uma forma de pensamento frágil e pouco estável (grupo B). Também nesta fase, obtiveram-se raciocínios denominados incompletos, em que se observaram possíveis aproximações com o programa *PC* (grupos A, B e C). Em razão destas aproximações, acredita-se que todos os discursos encontrados nesta fase, muito provavelmente, devam oferecer pouca resistência à aceitação das concepções do programa *PC*. Por conseqüência, talvez haja maior facilidade em ensinar sujeitos classificados nesta fase, ou seja, convertê-los ao programa *PC*, do que aqueles que mantêm posições arraigadas em qualquer programa *PA*.

A utilização das condições de Posner *et al.* (1982) mostra-se importante para entender a razão do comprometimento dos pensamentos dos alunos com os programas. Como se vê, a condição de inteligibilidade pôde auxiliar, em muitas falas, a destacar/confirmar o núcleo de um programa. Com a condição de plausibilidade, viu-se o comprometimento maior de uma idéia com um determinado programa. Para a condição de frutificação, notou-se a propagação dos pensamentos utilizados nas questões propostas para outras diferentes situações que extrapolavam os limites da própria questão, objetivando fortalecer as argumentações de um determinado programa. Este fortalecimento se deu pela utilização de idéias e explicações auxiliares, as quais estabelecem, nas discussões, um cinturão protetor dos programas.

Para a fase transitória, igualmente utilizam-se as condições acima mencionadas porque nota-se que determinados alunos não se mostram indecisos, ao contrário, mostram-se muito bem definidos. Todavia, estes raciocínios denominados incompletos e que resultaram numa inteligibilidade incompleta não possibilitam identificar (na gravação) com certeza o núcleo e, conseqüentemente, o programa articulado na fala. Porém, afirma-se a existência de uma inteligibilidade incompleta do programa *PC* (grupos A e C) nas falas em que se observou uma possível tendência relativa a este programa. Neste sentido, foi possível destacar condições de plausibilidade e de frutificação. Para finalizar, não se descarta a hipótese de que se possam encontrar em uma outra investigação – baseada em uma análise de dados transcritos como a deste trabalho – inteligibilidades incompletas de programas alternativos, conforme a definida para o programa *PC*.

## 6 Conclusão

Com relação ao principal interesse deste trabalho, que foi testar novamente o instrumento analítico lakatiano, pode-se concluir que, através dos resultados obtidos, há uma corroboração do emprego deste instrumento, pois a dinâmica dos pensamentos dos alunos em sala de aula pôde ser convenientemente representada por esta analogia. De forma complementar, a pesquisa também mostra, juntamente com esta

analogia, que após a caracterização desta dinâmica em programas, consegue-se obter um enriquecimento e aprofundamento da análise dos mesmos, à medida que se aplicam como critério as condições de Posner *et al.* (1982) para examinar as concepções e conceitos dos alunos e a articulação e comprometimento destas condições com os programas.

Particularmente, com relação às concepções alternativas vistas na aplicação anterior deste instrumento (LABURÚ e SILVA, 2001), pode-se destacar que nesta investigação foi encontrado o mesmo perfil de concepções, as quais foram classificadas no programa *PA*. Neste sentido, acredita-se que tais concepções de senso comum sempre possam aparecer em discussões provocadas como as aqui realizadas, dentro do conteúdo de cinemática angular, sem querer descartar a possibilidade de, numa outra investigação, encontrar novas concepções alternativas que permeiem as discussões sobre esse conteúdo e que permitam identificar outros programas, principalmente se as questões aplicadas forem modificadas.

Também conclui-se que a utilização deste instrumento pelo professor, procurando manter a estratégia de ensino aqui empregada, além de lhe possibilitar aproveitar as idéias levantadas, entendendo como os alunos inicialmente raciocinam e o porquê desses raciocínios, permite que o professor possa classificar tais raciocínios em programas e, com isto, melhor entender e monitorar a aprendizagem.

É preciso destacar que este estudo não pretendeu realizar o ensino propriamente dito, mas perscrutar o caminho tomado pelos raciocínios dos estudantes, através de um instrumento analítico mediante o qual o professor consiga perceber que o sujeito tem uma concepção característica de um núcleo, a qual precisa ser modificada. Neste sentido, uma proposta para uma futura pesquisa poderia dar-se na forma de uma intervenção pedagógica que potencialize um avanço na aprendizagem, podendo fundamentar-se em resultados obtidos de um professor que ataca o núcleo do programa alternativo do aluno, enfraquecendo o seu cinturão protetor. Com isso, identificando os pontos-chaves a serem atacados no raciocínio usado pelo aluno, confrontando com o programa *PC*, o educador pode fazer com que o aluno comece a transferir-se para esse programa.

Espera-se que este trabalho venha provocar uma melhoria no conhecimento do educador científico sobre a compreensão do pensamento dos estudantes a respeito do conteúdo particular de Física aqui investigado.

## Anexo - Questionário

**Questão 1:** Dois pontos  $A$  e  $B$  são desenhados na superfície de um  $CD$  de música, conforme a figura. Quando este  $CD$  possui uma rotação, pode-se dizer que:

- a) a velocidade de  $A$  é igual à de  $B$ ?
- b) a velocidade de  $A$  é maior que a de  $B$ ?
- c) a velocidade de  $A$  é menor que a de  $B$ ?

**Questão 2:** Dois carros  $A$  e  $B$  estão em duas pistas concêntricas (circulares). Eles percorrem as suas trajetórias (pistas) lado a lado um do outro. Pode-se dizer que:

- a) a velocidade de  $A$  é igual à de  $B$ ?
- b) a velocidade de  $A$  é maior que a de  $B$ ?
- c) a velocidade de  $A$  é menor que a de  $B$ ?

**Questão 3:** Dado um cone que gira sobre seu eixo de simetria tendo dois pontos  $A$  e  $B$  desenhados sobre o mesmo, pode-se dizer que:

- a) a velocidade de  $A$  é igual à de  $B$ ?
- b) a velocidade de  $A$  é maior que a de  $B$ ?
- c) a velocidade de  $A$  é menor que a de  $B$ ?

**Questão 4:** Dadas duas roldanas que giram devido a uma correia que apresenta dois pontos  $A$  e  $B$ , pode-se dizer que:

- a) a velocidade de  $A$  é igual à de  $B$ ?
- b) a velocidade de  $A$  é maior que a de  $B$ ?
- c) a velocidade de  $A$  é menor que a de  $B$ ?

## Referências

- ABRANTES, P. C .C. Naturalizando a epistemologia. In: Abrantes, P. C. C. (organizador) *Epistemologia e cognição*. Brasília: Editora UnB. p. 171-218. 1993.
- CHI, M. T. H. Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science, in R. Giere (ed.). *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press. 1991.
- CHINN, C. A. and BREWER, W. F. The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, v. 63, n. 1, p. 1-49. 1993.

- CHINN, C. A. and BREWER, W. F. An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science, *Journal of Research in Science Teaching*, v. 35, n. 6, p. 632-654. 1998.
- DION, S. M. *Vetor velocidade angular. Um estudo de aspectos tridimensionais envolvidos em sua conceituação*, Dissertação de mestrado, São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. 1992.
- DRIVER, R., GUESNE, E. and TIBERGHIE, A. *Children's ideas in science*, Open University Press. 1985.
- EDWARDS, D., and MERCER, N. *Common knowledge. The development of understanding in the classroom*. London and New York: Routledge. 1987.
- HEWSON, P. W. and THORLEY, N. R. The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, v. 11, Special Issue, p. 541-553. 1989.
- LABURÚ, C. E. e SILVA, O. H. M. *Uma leitura lakatiana para a análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos (uma aplicação durante a aprendizagem de cinemática angular)*. Trabalho apresentado no XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física, realizado no período de 02 a 06 de julho em Natal/RN. 2001.
- LABURÚ, C. E. e ARRUDA, S. M. Um Instrumento Pedagógico para Situações de Controvérsia e Conflito Cognitivo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 20, n. 3, p. 259-269. 1998.
- LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A. *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Editora Cultrix. 1979.
- LINN, M. C. Issues in cognitive psychology and instruction: science. In: R. F. Dillon and R. J. Sternberg (eds.), *Cognition and Instruction*. San Diego, CA: Academic Press, p. 153-204. 1986.
- MILLAR, R. Constructive Criticism. *International Journal of Science Education*, v. VII, n. 5, p. 587-596. 1989.
- MORTIMER, E. F. Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 1, p. 67-82. 1998.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. and GERTZOG, W. A. Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 221-227. 1982.
- SILVA, D. O ensino construtivista da velocidade angular, *Textos Pesquisa para o Ensino de Ciências*, n. 4, São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação. 1990.
- STRIKE, K. A. and POSNER, G. L. A revisionist theory of conceptual change. In: R. Duschl and R. Hamilton (eds.) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory in Practice*. Albany, NY: State University of New York Press, p. 147-176. 1992.

- VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, v. 1, p. 205-221. 1979.
- VILLANI, A., BAROLLI, E. CABRAL, T. C. B., FAGUNDES, M. B. e YAMAZAKI, S. C. Filosofia da ciência e psicanálise: analogias para o ensino de ciências. *Cadernos Catarinense de Ensino de Física*, v. 14, n. 1, p. 37-55. 1997.