

# Noções de Aceleração em Adolescentes: uma Classificação

(Adolescent's notions of acceleration: a classification)

C. E. Laburu

*Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina*

A. M. Pessoa de Carvalho

*Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo*

Recebido em 10 de Junho de 1991; Revisado pelos autores em 15 de Outubro e 5 de Julho de 1993

Aceito em 30 de Julho de 1993

## Resumo

O principal objetivo deste artigo é o de descrever concepções dos alunos sobre o conceito de aceleração. Estas concepções são baseadas somente em um ponto de vista cinemático e foram obtidas com estudantes com idades entre 11 e 16 anos. Foram usados três experimentos mostrando movimentos acelerados. Uma tabela resume as concepções dos alunos, apresentando uma possível classificação de tais concepções e implicações pedagógicas são discutidas.

## Abstract

The main goal of this article is to show students' conceptions about the acceleration concept. These conceptions are based only in a kinematical point of view, and were obtained through clinical interviews with students aged between 11 to 16 years old. Three experiments showing accelerated movements are used. A table resuming the students' conceptions is presented. It shows one possible classification for the students ideas. Pedagogical implications are briefly discussed.

## I. Introdução

Diversos estudos sobre movimento podem ser encontrados na literatura, apresentando-se desde aqueles com preocupações específicas com o próprio movimento, até os que procuram relacioná-lo às concepções dos sujeitos. Particularmente no que se refere a estes últimos, encontramos trabalhos que se direcionam preferencialmente para os problemas dinâmicos, mostrando um conjunto de pré-concepções que os estudantes mantêm quando do trato desses problemas (VIENNOT 1979; SALTIEL and MALGRANGE 1980; CLEMENT 1982; WATTS 1983; McDERMOTT and SOMERS 1991). Outros estudos, por sua vez, direcionam essas questões para a inércia e para os referenciais inerciais galileianos e sua invariância (ECKSTEIN e SHEMESH 1989).

Além dessas abordagens e mantendo esta linha de investigação, outra classe de pesquisa que podemos encontrar é aquela que se ocupa das concepções dos sujeitos dentro da Cinemática, isto é, concepções de espaço, velocidade, tempo e aceleração (PIAGET 1946; KOLODY 1977; TROWBRIDGE e McDERMOTT 1980, 1981; LABURU 1987; LABURU E CARVALHO 1992).

Seguindo esta última linha, este artigo busca, basicamente, representar as idéias sobre o conceito cinemático de aceleração que se obtém junto a estudantes adolescentes com idades variando entre onze e dezesseis anos.

A motivação que vai ao encontro deste trabalho, surge em razão de o conteúdo aqui especificado estar diretamente relacionado com o conteúdo curricular de

Cinemática do segundo grau. Logo, conhecer as concepções alternativas dos alunos no que se refere a esse conteúdo pode ser de grande auxílio para as estratégias pedagógicas.

O direcionamento que demos ao estudar as concepções dos alunos adolescentes teve como referencial duas outras pesquisas: uma primeira, realizada por PIAGET (1946) com crianças cujas idades variavam entre 5 e 13 anos; e uma segunda pesquisa, em que TROWBRIDGE e McDERMOTT (1981) trabalharam somente com estudantes universitários. Ao partirmos desses dois trabalhos, além do de KOLODY (1977), procuramos resgatar idéias que nos inspirassem tanto no tocante à parte experimental como a possíveis questionamentos que se faziam necessários para as entrevistas clínicas da nossa amostra.

No que se aplica à parte experimental, do trabalho de Piaget empregamos a idéia de realizar experimentos utilizando movimentos acelerados (retardados), em que se explora, de um lado, o aumento (ou diminuição) dos intervalos de espaço, mantendo os respectivos intervalos de tempo constantes e, de outro lado, a diminuição (ou aumento) dos intervalos de tempo a partir de intervalos espaciais iguais. Dessa idéia elaboramos os dois experimentos descritos na seção Tarefas-Experimentos (página 4).

Das pesquisas de Trowbridge e McDermott (1981) e de Kolody (1977), aproveitamos a idéia principal de se empregarem dois movimentos síncronos e acelerados. Modificamos o experimento elaborado por Trowbridge e McDermott - dois planos inclinados paralelos, por onde, respectivamente, desciam bolinhas com acelerações diferentes - e utilizamos duas pistas horizontais com carinhos com acelerações distintas (ver seção Tarefas-Experimento).

### Metodologia

A metodologia empregada fez uso de entrevistas clínicas audiogravadas. Tais entrevistas seguiam uma padronização de perguntas, mantendo, contudo, certa flexibilidade em função das respostas dos sujeitos, ou

de um possível esclarecimento de suas respostas. Essas perguntas se assentavam em três tarefas-experimento a seguir detalhadas.

### Amostra Utilizada

A amostra pesquisada constou de 10 alunos pertencentes à 6ª série do primeiro grau, de 12 alunos da 8ª série do primeiro grau e de 12 alunos que cursavam o 2º ano do segundo grau. Todos esses sujeitos eram alunos regulares do Colégio Estadual Vicente Rijo, de Londrina, Paraná. Desses alunos, apenas os que cursavam o segundo grau haviam passado por um curso regular de Cinemática.

### Tarefas-Experimento

As entrevistas vincularam-se a três tarefas-experimento. A primeira servia-se de uma pequena madeira sobre a qual se prendiam dois grampos, através dos quais se passava uma fita branca a ser puxada pelo entrevistador. Esta fita partia do repouso e daí por diante sua velocidade era aumentada continuamente. Entre os grampos, e mantendo sempre o mesmo lugar, o entrevistado batia de forma cadenciada uma caneta de tipo pincel atômico, de maneira a imprimir pontos sobre a fita, tentando manter o ritmo constante. No final do experimento a fita assemelhava-se à figura 1.

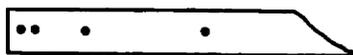


Figure 1

Esta tarefa, assim como a próxima, estava direcionada para o estudo, primeiramente, da previsão e, logo em seguida, da explicação do fato acontecido por parte do sujeito entrevistado. Caracterizava-se, também, por mostrar o movimento acelerado segundo intervalos de tempo constantes, enquanto aumentasse ou diminuísse o intervalo dos espaços (no caso do movimento retardado, diminuição dos espaços, invertíamos a fita já experimentada e arguíamos a partir dessa situação).

Nesta tarefa priorizava-se do aluno um tratamento qualitativo; no entanto, noções quantitativas de velocidade média e do uso dessas para interpretação de uma possível relação  $\Delta V/\Delta t$  aproximada foram, "a priori", incentivadas, em detrimento de uma solução mais rigorosa.

Da mesma forma, uma solução que evidenciasse preocupações em especificar qualitativamente que as velocidades instantâneas mostravam-se cada vez maiores nos respectivos tempos instantâneos, de forma a identificar um incremento de velocidade por incremento de tempo na fita, também foi por nós respeitada como solução do tipo  $\Delta V/\Delta t$ . Exemplificando, a solução poderia ser: a velocidade instantânea em qualquer instante arbitrário, menos a velocidade instantânea num outro determinado instante (no instante inicial  $t_0 = 0$ ,  $V_0 = 0$ ), pelo respectivo intervalo de tempo (facilmente avaliado numericamente na fita) foi considerada como entendimento de aceleração no nível buscado na pesquisa.

A segunda tarefa consistia de um experimento no qual se fazia uso de um caderno espiral, em cujas espirais o entrevistador passava uma régua fazendo estalos. A régua era passada pelo entrevistador de forma a produzir ora movimentos uniformes, ora acelerados.

Esta tarefa procurava explorar o aumento ou diminuição do intervalo de tempo em iguais intervalos de espaço.

A terceira e última tarefa trabalhava com um experimento que apresentava dois carrinhos em duas pistas distintas e paralelas. Um dos carrinhos (B/Branco), com menor aceleração, partia do repouso numa posição anterior à do outro carrinho (C/Cinza), com maior aceleração. Este último, também partindo do repouso, era disparado quando o outro móvel passasse ao seu lado. Após os dois móveis percorrerem determinada distância, o carrinho (C) alcançava o seu par, entrando os dois, simultaneamente, em seus respectivos túneis de forma a desaparecerem. Finalizava-se, assim, o experimento (ver figura 2). Esta tarefa objetivava a con-

frontação das acelerações dos dois carrinhos. Ela poderia ser resolvida comparando-se as velocidades finais às velocidades iniciais nulas e aos seus respectivos tempos, ou as velocidades finais às velocidades no instante de ultrapassagem, conservando-se os respectivos tempos iguais.

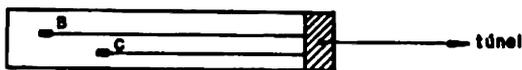


Figure 2

Apesar de o nosso interesse principal nesta tarefa ter sido o de observar a concepção de aceleração a partir da sua noção cinemática mais fundamental (aceleração como variação de velocidade por intervalo de tempo), em detrimento de relações mais complicadas - com fórmulas, muitas vezes, decoradas e utilizadas de maneira automática -, é importante observar que esta tarefa pode ser resolvida de outras maneiras; por exemplo, pela equação de Torricelli ou pela equação horária (esta também sendo adequada à primeira tarefa). Houve um incetivo à primeira idéia em detrimento do uso automático das duas últimas equações.

#### Apresentação dos Dados

Pela análise das entrevistas dos alunos, pode-se classificá-las em padrões diversos de dificuldade, os quais se procurará ilustrar com trechos das entrevistas mais representativas.

Ao empregar-se a palavra critério - por exemplo: aceleração como critério de variação de velocidade ( $a = \Delta V$ ) - está-se querendo dizer que o sujeito entrevistado indicava, pelas suas respostas, uma relação entre a idéia de aceleração e o conceito que a substituíra. Ou seja, uma noção de aceleração era automaticamente transferida ao conceito que se estava tentando interpretar.

Gostaríamos de salientar que a palavra aceleração já fazia parte do vocabulário da amostra. Na entrevista, somente poucos sujeitos da 6ª série, inicialmente, sentiram algum desconforto em empregá-la, quando dire-

tamente questionados sobre a aceleração, mas rapidamente se serviram da mesma no decorrer da entrevista.

Nos exemplos a seguir identificamos o entrevistado pelo seu primeiro nome e assinalamos entre parênteses sua idade e respectiva série escolar.

Comentários do entrevistador são colocados em letras maiúsculas ou entre parênteses dentro da fala do aluno (R), para possíveis esclarecimentos do leitor. Perguntas feitas ao entrevistado são caracterizadas pela inicial P.

*Exemplos das dificuldades dos estudantes: critérios de aceleração*

1 - Aceleração usada como critério de variação de velocidade ( $a = \Delta V$ )

Rodrigo(15, 8<sup>o</sup>): Quando perguntado se a fita estaria acelerada, vide figura 1, responde: R - Ela (a fita) foi aumentando a velocidade; aqui (no início da fita) você puxou devagar e deu tempo de eu fazer mais pontos. Porque se ela estivesse acelerada, ela continuaria com as mesmas distâncias. Estaria estável.

No movimento retardado (a fita ao contrário), afirma: R - Ela(a fita) estaria acelerada só que iria diminuindo a velocidade, desacelerando.

2 - Aceleração como critério de aumento de velocidade, ( $a = \Delta V$  |)

Nesse padrão incluímos as respostas das entrevistas que traziam o sentimento de haver aceleração somente na situação de aumento de velocidade, diferentemente do padrão anterior, que condicionava a aceleração, também, à diminuição de velocidade. Dentro desse padrão pudemos observar um subpadrão, no qual nos pareceu que os estudantes tinham a preocupação de definir a aceleração como acréscimo de velocidade somente em trechos da fita ou da régua em que a velocidade despontasse visualmente um valor alto - a ação manual fosse vista como tendo uma grande velocidade. Exemplifiquemos o padrão e o seu respectivo subpadrão nos dois exemplos abaixo:

Lilian(12,6<sup>o</sup>): No movimento acelerado da fita, Lilian, ao ser perguntada se fita estaria acelerada, responde: R - Tava. Porque você puxou mais rápido (cada

vez mais rápido). P - E se a fita tivesse dado pontos todos iguais, ela estaria acelerada? R - No mesmo ritmo. P - E a fita, ao contrário, com os pontos diminuindo, ela estaria acelerada? R - Não. Taria diminuindo (a velocidade).

Roger(11, 6<sup>o</sup>): No movimento acelerado da régua no segundo experimento, diz: P - Essa régua estava acelerada? R - Só no final. P - E no começo? R - No começo lá estava devagar. Ela (a régua) é acelerada no fim e no começo não. Quando ela vinha fazendo estalos, vinha mais devagar de um ponto pro outro e no final foi mais acelerado.

3 - Aceleração como critério de velocidade ( $a = V$ )

Enquanto no critério anterior quase sempre o movimento uniforme era automaticamente descartado, agora, qualquer movimento é imaginado como acelerado.

Isto é, para haver aceleração basta existir movimento. No entanto, alguns sujeitos tão somente julgavam haver aceleração naqueles movimentos nos quais a velocidade fosse considerada como alta, por eles. Desse modo, achamos conveniente salientar, dentro desse padrão, um subpadrão que evidenciasse haver aceleração como critério de velocidade, unicamente quando esta fosse "alta".

Vejam os exemplos desse padrão e do seu respectivo subpadrão:

Alexandre(16, 2<sup>o</sup>): No movimento acelerado da fita: P - Esta fita estava acelerada? R - Tava, porque ela está se movendo. P - E se as distâncias forem todas iguais? R - Taria só que menos velocidade. P - E se as distâncias forem grandes, mas sempre iguais, a fita estaria acelerada? R - Taria, mas com velocidade constante, com a mesma velocidade.

Juliana(12, 6<sup>o</sup>): NO MOVIMENTO UNIFORME DA RÉGUA, AO SER PERGUNTADA SE A RÉGUA ESTARIA ACELERADA, RESPONDE: R - Não taria. Sempre no mesmo ritmo. AO REALIZARMOS UM MOVIMENTO UNIFORME MUITO RÁPIDO COM A RÉGUA, RESPONDE: R - Tá acelerada, porque puxou mais rápido (mais velozmente).

4 - Aceleração como critério de velocidade final ( $a = V_{\text{final}}$ )

Alguns sujeitos utilizavam a idéia de que a aceleração seria maior, menor ou igual, conforme fosse a ve-

locidade final maior, menor ou igual, respectivamente.

Ricardo(16, 2<sup>o</sup>): NO EXPERIMENTO 3: P - As acelerações são iguais ou diferentes dos carrinhos? R - No final são iguais. P - Por que? R - Porque estavam (os carrinhos) correndo na mesma velocidade.

5 - Aceleração como critério de aumento de velocidade por intervalo de tempo ou intervalo de espaço ( $a = \Delta V/\Delta t$  ou  $a = \Delta V/\Delta S$ ).

A exceção de um único aluno do segundo ano que apresentou uma noção explícita de aceleração segundo esse critério (variação de velocidade por variação do tempo), todos os outros sujeitos da amostra deram respostas no sentido de mostrarem que a velocidade de um carrinho em relação ao outro de alguma forma estava aumentando. Contudo os estudantes representavam esse aumento de uma maneira implícita. Pelas respostas de certos alunos constatávamos a necessidade de asseverar a maior aceleração do carrinho cinza em relação ao branco com isso, justificando o maior acréscimo da velocidade, sentida pelos sujeitos, no decorrer do espaço ou do tempo.

Jorge(16, 2<sup>o</sup>): OBSERVA INCORRETAMENTE TER O BRANCO MAIOR ACELERAÇÃO: R - (o carrinho branco) vai adquirindo a velocidade de acordo com o tempo. Vai aumentando o tempo, vai aumentando a velocidade.

Marcelo(14,8<sup>o</sup>): R - O carrinho cinza foi mais acelerado que o branco. Porque eles chegaram neste ponto que você marcou (túnel) juntos. E o carrinho branco saiu na frente do cinza, teve mais distância. O cinza teve mais aceleração para alcançar o branco. O branco já estava na frente.

6 - Aceleração como critério de posição ( $a = \text{posição}$ )

Esse padrão surgiu em função de algumas respostas fundamentadas no experimento 3 priorizarem: a posição, o chegar primeiro, a maior (ou menor) distância percorrida, o sair na frente, o chegar junto, o levar mais tempo (por ser a distância maior) de um dos carrinhos.

A título de exemplo seja a resposta de Léo típica desse critério:

Léo(14, 8<sup>o</sup>): AFIRMA INCORRETAMENTE SER A ACELERAÇÃO DO CARRINHO BRANCO A MAIOR, POIS: R - O espaço para ele (carrinho branco) percorrer é maior que o cinza.

7 - Aceleração como critério de força ( $a = \text{força}$ )

Nesse critério a potência, a força, a impulsão evidenciavam o vocabulário comum, caracterizando a idéia de aceleração. Esse padrão, particularmente, foi utilizado indistintamente em todos os experimentos.

Simone(16, 2<sup>o</sup>): R - Ah, parece que o carrinho cinza de lá, parece que a aceleração é mais rápida que o carrinho branco. Parece que começa mais lentamente, o cinza começa mais rápido..., quando os dois tiveram na mesma linha (emparelhados) acho que alguma força fez com que o cinza se pulsionasse, a força de impulsão (do cinza) foi maior que o do carrinho branco.

8 - Aceleração como critério de ultrapassagem ( $a = \text{ultrapassar}$ )

Ivan(16, 2<sup>o</sup>): Deduz ter o carrinho cinza maior aceleração, argumentando: R - Ele (o carrinho cinza) começou entrar em movimento e passou o outro (o carrinho branco). Estavam juntos né. O cinza em repouso, branco em movimento. O cinza ultrapassou o branco.

### Outras dificuldades dos estudantes

Nesta seção assinalaremos alguns problemas conceituais ocorridos com outras grandezas necessárias à compreensão da aceleração sob o ponto de vista científico. O motivo para descrição desses problemas é por entendermos que uma conceituação correta da aceleração somente é apreendida pelo aluno quando houver uma real superação dessas dificuldades.

Começemos pela questão relativa ao tempo. No primeiro experimento, os alunos foram questionados sobre a igualdade, ou não, dos intervalos de tempo - batidos manualmente de forma cadenciada; os alunos tinham sido previamente treinados a fim de bem realizar essa ação. Três tipos de respostas foram obtidas: uma considerando corretamente a igualdade dos tempos; outras duas, incorretas, que vinculavam os intervalos de tempo aos intervalos espaciais ou à rapidez (velocidade) da fita, correspondendo, respectivamente, às

afirmações de intervalos de tempo crescentes ou decrescentes. Logo, uma ligação visual direta entre o aumento ou diminuição dos intervalos espaciais, relacionados ao aumento ou à diminuição dos intervalos de tempo.

**Exemplifiquemos os dois últimos casos assinalados:**

Simone(16, 2<sup>o</sup>): R - A distância vai dobrando, mas o tempo vai diminuindo. Se leva um hora aqui (espaço menor), aqui vamos supor (espaço maior) levaria meia, aqui (espaço maior ainda), quinze, aqui (bem maior espaço que o antecedente) levaria sete segundos. P - O tempo da fita que você está falando tem alguma coisa a ver em alguma coisa a ver com você batendo com a caneta? R - O tempo é o mesmo, porque você está batendo a mesma coisa, só a velocidade aumenta. P - Você falou que o tempo era diferente? R - Pera aí, deixa eu ver se organizo os meus pensamentos ... bom, o tempo vai diminuindo mesmo... porque o meu ritmo é o mesmo; se você aumenta a velocidade e os pontos ficam mais espaçados, então o tempo tem que ser menor no intervalo dos pontinhos, não importa a velocidade, mas o seu ritmo é o mesmo.

**Intervalos de tempo da fita considerados crescentes**

Lucy(12,6<sup>o</sup>): P - Se leva um segundo para você formar este ponto mais distante quanto tempo leva para você formar este outro ponto mais longe ainda? (pergunta feita olhando-se a fita carimbada com os pontos cada vez mais espaçados) R - Um segundo também .nhos? R - É né, porque a distância é maior. P - Mas você não bateu do mesmo jeito? R - Bato. P - E assim mesmo o tempo pode ficar diferente? R - É porque passou a fita rápido e ficou maior (o tempo).

No que se refere à avaliação do tempo no experimento 3, verificamos, por outro lado, o número de sujeitos que de alguma forma responderam incorretamente à questão da comparação dos tempos por terem sido conduzidos, por exemplo, a um finalismo do tipo "o móvel branco levou mais tempo, pois chegou por último", ou "saiu primeiro", ou o "móvel cinza levou mais tempo, pois saiu por último". Seja o exemplo de Patricia(11, 6<sup>o</sup>), quando perguntada para comparar os tempos dos carrinhos: R - É antes né (o carrinho branco levou menos tempo), porque ele saiu primeiro.

## **Análise dos Resultados**

Na tentativa de fazer uma confrontação dos dados acima exemplificados e de dar uma visão da totalidade dos tipos de resposta, sintetizamos na tabela que segue as entrevistas obtidas.

### *A - Explicação da Tabela - Convenções Utilizadas*

A tabela comporta dezessete colunas, figurando tanto as concepções dos alunos sobre aceleração, como as grandezas problemáticas que auxiliam o conceito de aceleração e o seu completo entendimento. A primeira coluna nos dá a relação dos sujeitos entrevistados e suas respectivas séries escolares. A simbologia exibida na primeira linha das colunas restantes é equivalente às simbologias dos critérios de aceleração exemplificados na Apresentação dos Dados. Outros códigos também utilizados foram:

x resposta dada pelo aluno.

+ resposta inicialmente dada pelo aluno e em seguida abandonada, não confirmada.

- resposta usada implicitamente, não havendo distinção, para o observador, entre acréscimo de velocidade em função do espaço ou do tempo.

(x) resposta usada de maneira intuitiva, sem explicação clara da relação.

chega = os móveis chegaram juntos.

As porcentagens relacionadas na tabela devem ser vistas como auxílio à especificação do número de alunos relativos de nossa amostra e não, de uma possível porcentagem estatística sistemática. Outras amostras provavelmente apresentarão porcentagens distintas.

### *B - Discussão da Tabela*

Verificando a última linha da tabela - "Colunas mais especificamente ligadas ao experimento..." -, observa-se que cada experimento, em função de suas condições de contorno, realçou certas características importantes, como, por exemplo, a posição do móvel, a ultrapassagem, o tempo, o espaço percorrido. O que se quer dizer com isso é que existiram respostas de uma determinada coluna que foram obtidas no experimento não

	TEMPOS-PTS INIAIS		TEMPOS-PTS DE FIMES		V. OBTENIDO PELO ESPHO	a = ΔV	a = ΔV / Δt		a = V	a =	POSICÃO	a = ΔV / Δt	a = ΔV / Δs	a = FORÇA	a = V FINAL >	a =	Δt
	1	2	3	4			5	6									
84 CÔRTE																	
Júlia	X																
Luiz		X	X														
Luciana	X																
Bogor		X															
Patrícia	X																
Vitor	X																
Lilian		X	+	X													
Alamanda		X		X													
Andree		X								X	X						
Rodrig C		X		X						X	X						
84 S&M	40 %	80 %	10 %	40 %	0	80%	80%	70%	80%	70%	0	0	20 %	10 %	10 %	10 %	
Everton	X		+	X													
Berardo	+		X	X	X												
Alvaro	X	X	X	X													
Leo	X		X	X													
Simone	X		+	X													
Patrícia		X															
Rodrigo			X	X	Desconhecido												
Ques	X		X	X													
Esson	X	X	X	X													
Marlo	(X)		X	X													
Berardo B		X	X	X													
Dieali	X																
84 ABO	80 %	28 %	41 %	83 %	33 %	88 %	88 %	17 %	88 %	80 %	28 %	28 %	28 %	10 %	0	80 %	
Robson		X		X													
Cláudio	X	+															
Cláudio	X		X	X													
Roberto	X		X	X													
Jorge	X																
Fabiano	X		+	X													
Luiz	X		X	X													
Alamanda	X																
Antônio		X		Desconhecido													
Paulo		X	X														
Edson	X																
Fernando	X			X													
	78 %	88 %	10 %	88 %	88 %	0	28 %	10 %	88 %	48 %	33 %	10 %	28 %	10 %	40 %	88 %	

Colunas com especificamente ligadas ao experimento 1. Colunas com especificamente ligadas ao experimento 2. Colunas com especificamente ligadas ao experimento 3.

Tabela

especificado. Contudo a maioria delas dizia respeito a um determinado experimento.

Parece, portanto, que cada tarefa potencialmente apresentou aspectos próprios que, todavia, por final serão tomados dentro de uma totalidade de análise. Antes, porém, coloquemos que os sujeitos se utilizaram de mais de um critério em suas interpretações dos experimentos (ver a tabela) e que padrões incompatíveis entre si - aceleração como critério de aumento de velocidade e aceleração como critério de velocidade - foram, também, muitas vezes, utilizados, dependendo do experimento ou do movimento ser considerado uniforme ou acelerado.

Notamos na coluna  $a = \Delta V/\Delta t$  que Paulo foi o único caso a resolver corretamente, de maneira até mesmo semi-quantitativa, a questão referente à aceleração como taxa de velocidade no primeiro experimento, observando, no entanto, que ele não conseguiu obter o mesmo sucesso no terceiro experimento. Os outros sujeitos de seu grupo tão-somente conseguiram exibir nesta coluna explicações de aceleração como taxa de velocidade de maneira implícita (símbolo — na tabela e explicação no critério 5 na Apresentação dos Dados).

Ao analisarmos a tabela conseguimos observar certas regularidades. Começando pela coluna  $a = \Delta V$ , notamos certa progressividade no tipo de resposta que afirma haver aceleração em situações em que há variação de velocidade: nenhum aluno na 6ª série, contra 4 alunos (33%) na 8ª série e 7 alunos (58%) no 2º ano. Esse aumento deve ter sido provavelmente influenciado pelo fator escola, no que se refere aos sujeitos do segundo ano. Porém essa progressividade, como se pode ver, é aparente, pois o número de alunos que não mantiveram uma incompatibilidade em afirmar simultaneamente os movimentos acelerados ( $a = \Delta V$ ) e uniformes ( $a = V$ ) cai para: 2 alunos (17%) na 8ª série e 3 alunos (25%) no 2º ano. Se ampliarmos essa análise para aqueles estudantes que também consideraram a aceleração como acréscimo de velocidade ( $a = \Delta V$ ), ficamos com: 2 alunos (20%) na 6ª série, 6 alunos (50%) na 8ª

série e 3 alunos (25%) no 2º ano.

Ou seja, a escola (pelo menos no que se refere à amostra pesquisada) pouco influenciou na minimização da quantidade relativa das respostas que sustentavam as idéias intuitivas de aceleração como critério de velocidade.

Nos subpadrões que caracterizavam haver aceleração somente em trechos da fita ou da régua que apresentavam "grande" velocidade (subpadrão  $a = \Delta V$  altas) nos movimentos acelerados, ou no caso dos movimentos uniformes considerados muito rápidos pelos sujeitos (subpadrão  $a = V$  altas), consegue-se visualizar certa progressividade a nível de coerência interna. Queremos dizer com isso que os entrevistados começam a regular espontaneamente a consideração incoerente de se estabelecerem apenas trechos desse movimento como acelerados e, assim, passam a ver todo o movimento com a velocidade continuamente crescente.

Essa mesma regulação podemos inferir em relação aos movimentos uniformes "rápidos", que são vistos como meramente relativos aos movimentos uniformes de "baixa" velocidade. Fortalecendo esse argumento encontramos o decrescente número de estudantes nos subpadrões acima, quando considerados como um todo: 7 alunos (70%) na 6ª série, 4 alunos (33%) na 8ª série, contra 1 aluno (8%) no 2º ano.

A coluna da tabela que trata a aceleração como critério de força ( $a = \text{força}$ ) é interpretada da seguinte forma: na medida em que, por motivos técnicos, todos os nossos experimentos, de uma forma ou de outra, foram puxados por alguma força - a fita e a régua, manualmente, e os carrinhos, por pesos escondidos em saquinhos -, pensamos ser esta a razão fundamental da procedência desse critério. Por outro lado, é constatado que essa noção permanece invariável no decorrer das séries.

A tabela comporta uma outra discussão e explicação no momento em que agrupamos as colunas de aceleração como critérios de posição, ultrapassagem e velocidade final numa única coluna, para efeito de es-

tudo. Tais critérios, mantidos praticamente constantes nos três períodos investigados, têm a possibilidade de ser explicados segundo as reminiscências da noção de velocidade transportadas para a noção de aceleração. A compreensão da velocidade, no sujeito, carrega noções intuitivas (PIAGET 1946 e TEIXEIRA 1985) que vinculam o seu entendimento às idéias semelhantes a essas encontradas. Ou seja, a noção de velocidade caracteriza-se por um objetivo a ser alcançado, ou a se chegar, traduzindo-se em menos tempo para percorrer ou alcançar um determinado fim desejado. Portanto, neste caso, acreditamos na transferência direta das dificuldades encontradas em relação à aceleração como sendo análogas àquelas deparadas na conceitualização de velocidade. Dificuldades que conduzem à intuição elementar de término ou meta, tendendo a um caráter finalista e de ordem que prevalece sobre o de trajetória (PIAGET 1946).

Para completar os comentários da tabela, citemos algumas questões paralelas detectadas nas entrevistas e que diziam respeito mais especificamente aos conceitos físicos de tempo e velocidade.

No primeiro experimento, as batidas cadenciadas formando pontos na fita estabeleciam, para efeito de análise das velocidades, intervalos de tempo constantes. No entanto, inesperadamente, verificamos que tal condição não era consensual para todos os alunos (ver Simone(16, 2º) e Lucy(12, 6ª) na referência às grandezas que auxiliam o entendimento da aceleração). Da primeira coluna da tabela (tempos-fita iguais), verificamos que 60% dos alunos da 6ª série, 42% dos alunos da 8ª série e ainda 25% dos alunos do segundo ano achavam que os intervalos de tempo da fita não permaneciam iguais. O desvio da igualdade nos intervalos de tempo é explicado por nós em razão de duas causas básicas. Uma, referente ao distanciamento crescente dos pontos no movimento acelerado, conduzindo a transferência direta para um aumento nos intervalos de tempo, isto é, os intervalos de tempo aumentam, pois os espaços estão aumentando (coluna da tabela

tempos-fita diferentes, espaços >). A segunda causa para a inferência na diferença dos intervalos de tempo pode ser interpretada em razão de alguns sujeitos associarem estes últimos à rapidez do movimento, isto é, os intervalos de tempo diminuíam, pois a velocidade da fita aumentava (coluna da tabela tempos-fita diferentes, rapidez <).

A confirmar o nosso argumento de que a grandeza tempo apresenta a sua singularidade, podemos centrar a atenção na última coluna da tabela ( $\Delta t$ ), que trata da dificuldade dos alunos em estabelecer de modo satisfatório a comparação dos tempos entre os dois carinhos no terceiro experimento: 58% dos alunos do 2º ano do segundo grau apresentaram respostas incorretas, número este muito próximo ao dos alunos da 8ª série do primeiro grau. Nesse experimento, quando as respostas não salientavam espontaneamente a comparação dos tempos dos dois móveis, pedíamos aos alunos que a fizesse explicitamente, pois esses tempos seriam importantes na análise da aceleração. No entanto, muitas das respostas foram insatisfatórias, pois, como já o dissemos na Apresentação dos Dados, os raciocínios embutidos nas respostas estavam ligados a um finalismo imediato de meta ou chegada a um objetivo.

Outro problema que conseguimos evidenciar estava relacionado à grandeza velocidade. No experimento da fita, ao pedirmos aos entrevistados para compararem as velocidades médias em trechos compreendidos entre instantes diferentes sobre a fita, notamos que, para a maioria dos alunos da 6ª e 8ª séries, ou as questões não eram respondidas ou, muitas vezes, limitavam-se simplesmente a relacionar as velocidades (médias) aos intervalos de espaço, abandonando por completo a análise do respectivo intervalo de tempo (ver coluna da tabela V somente pelo espaço).

Para finalizar, comparando os trabalhos dos autores Trowbridge e McDermott(1981) com o nosso, notamos algumas semelhanças marcantes: associação entre posição e aceleração; associação entre velocidade e aceleração (que inclui também os nossos critérios de veloci-

dade final, de ultrapassagem); negligência do intervalo de tempo quando da consideração da variação da velocidade. Logo, tais coincidências mostram que, muitas das noções explicitadas pela amostra dos dois autores acima, encontram-se já presentes numa faixa etária anterior, como aqui constatamos.

Quanto ao trabalho de Piaget (1946) - que exhibe, em sujeitos formais, uma primitiva noção de aceleração como aumento de velocidade -, vemos que muitos dos nossos alunos, por toda a extensão etária analisada, continuam mantendo essa idéia primitiva de aceleração; primeiramente, nos alunos mais novos, como aumento unicamente de velocidade ( $a = \Delta V / t$ ) e no caso dos alunos mais velhos, a idéia de aceleração se amplia também para a de variação de velocidade.

Não obstante, os resultados por nós encontrados particularizam-se em determinados pontos. Por exemplo, ao obtermos os subpadrões de aceleração, ou ao evidenciarmos a convivência de padrões contraditórios existindo conjuntamente, ou mesmo, os resultados problemáticos apontados pelos nossos alunos quando da compreensão da grandeza tempo; estas características, talvez despontadas em função não só da faixa etária e do tipo de amostra trabalhada, como, da mesma forma, em razão das condições de contorno do nosso particular arranjo experimental.

### Propostas para o Ensino

A aceleração está associada a um conjunto de variáveis - velocidade, tempo, conceito de grandezas instantâneas, articulação métrica do tipo razão proporcional entre a variação de velocidade e a variação de tempo - que se não estiverem bem estruturadas e interligadas restringirão a compreensão do conceito de aceleração. Por meio deste trabalho (LABURU E CARVALHO 1992) e do de Trowbridge e McDermott (1981), vimos que uma classe de concepções permanecem inalteradas nos sujeitos durante anos e que precisam ser vencidas para que essa compreensão se efetive.

Especificamente em relação aos nossos alunos do 2º ano do 2º grau, cujas condições em toda a amo-

stra deveriam ser as mais apropriadas para a resolução satisfatória dos problemas colocados, em função de o conteúdo trabalhado já fazer parte de seus currículos, a superação dessas concepções se faz de fundamental importância.

Então, coloquemos as preocupações consideradas por nós relevantes ao ensino do conceito de aceleração que evidenciamos por meio deste estudo. Iniciemos pela exploração da "inteligibilidade" (POSNER e al. 1982) do conceito de aceleração - parametrizada como taxa de velocidade - naquilo que diz respeito à confrontação lógica dos movimentos acelerados aos seus antípodas, os movimentos uniformes, principalmente aqueles visualmente condicionados às velocidades "altas", condição inicial de discussão em sala de aula. Em outras palavras, é conveniente se explorarem experimentos em que haja observação de movimentos uniformes "de alta velocidade", de forma que os sujeitos com concepções que porventura se prendam a esses movimentos tomem consciência do aspecto contraditório de tratar como acelerados esses casos (como também, generalizando, qualquer movimento uniforme).

Por outro lado, como vimos, será preciso - o professor - estar alerta para a grandeza variação de tempo. Ela, em si mesma, necessitará de mais atenção, já que se apresenta como não evidente para alguns alunos, sendo, muitas vezes, ministrada superficialmente ou considerada pelo professor, em muitos problemas (empíricos ou conceituais), como um conceito intuitivo para os seus alunos.

Do exame das nossas entrevistas, inferimos ser proveitoso realizar mais discussões a nível qualitativo sobre as grandezas envolvidas na aceleração, priorizando-se o lógico-matemático (semi-qualitativo) ao métrico, contudo alcançando-se este último como objetivo do ensino do conceito de aceleração, assim como da velocidade embutida naquele. Compactuando com essa idéia anterior, acrescenta-se a preocupação do resultado encontrado por este estudo, do pouco número de respostas métricas de que se serviram os alunos do 2º ano

do 2º grau, quando do uso do critério de aceleração como taxa de velocidade ( $a = \Delta V/\Delta t$ ), assim como, na comparação das velocidades médias.

Dentro do espírito de se aumentar a garantia de que os processos de ensino-aprendizagem estarão se mesclando numa interação harmoniosa, equilibrante, um segundo passo é potencialmente útil. Passo esse que se baseia tanto na "inteligibilidade" do conceito trabalhado quanto na substancialização da sua "plausibilidade" (POSNER et al. 1982). Estas podem ser identificadas na medida em que as experiências aqui sugeridas forem refletidas como problemas abertos (GIL 1983), em que se valorizam passo a passo as seguintes condições: um prévio estudo do problema colocado, explicitando as situações que se considerem reinantes; a emissão de hipóteses sobre as magnitudes (variáveis) envolvidas, considerando-se os casos limites; a elaboração e explicitação de possíveis estratégias na resolução do problema; a valorização da verbalização ao máximo, em detrimento de operacionalismos; por fim, a análise cuidadosa dos resultados à luz das hipóteses elaboradas e os casos limites considerados. Dessa forma busca-se um melhor aprimoramento do conceito.

Seguindo essas ações pedagógicas, surge, do mesmo modo, a inquietação com a identificação, entre os alunos, de outros critérios não satisfatórios (por exemplo: aceleração como posição, como velocidade final, como ultrapassagem) que precisam ser devidamente eliminados quando confrontados com o conceito cinemático de aceleração.

Nessa inquietação, questões relacionadas ao uso do vocabulário de senso comum fisicamente incorreto, iguais às encontradas durante este estudo em diversos alunos - "acelerar um carro, mas a sua velocidade permanece constante" - devem ser perseguidas de modo a se buscar uma crítica a esse vocabulário. Acreditamos estar aqui a origem tanto da existência intuitiva dos subpadrões anteriores (e do seus próprios padrões) como do uso simultâneo (contraditório) desses padrões/subpadrões - o acelerador de um carro serve

para aumentar a velocidade como igualmente serve para manter uma velocidade alcançada. Somada a essa generalização, o destaque à colocação de que, historicamente, a busca por uma concepção de aceleração como incremento de velocidade por unidade de espaço, pensada de início por Galileu (GALILEI 1945), pode se mostrar de utilidade. Pois essa explicitação tem a possibilidade de ajudar aqueles alunos que mantêm uma concepção próxima a esta (critério 5, acima) a observarem a possível arbitrariedade na definição do conceito de aceleração assim concebido. Esta arbitrariedade, limitada à definição da aceleração como variação de velocidade por unidade de tempo é de muita importância para a Física; por exemplo, para movimentos próximos à superfície terrestre, o incremento da velocidade dá-se proporcionalmente ao tempo decorrido (assim chamados movimentos uniformemente acelerados), e não proporcionalmente ao espaço percorrido - como observara Galileu (GALILEI 1945). Logo, seria motivacionalmente interessante evidenciar, primeiramente, que essa noção, quando exibida por algum aluno, já havia sido pensada por Galileu e salientar experimentalmente que a descoberta de Galileu destaca-se por ter constatado que uma aceleração relacionada à variação da velocidade pela variação do tempo reproduz com simplicidade matemática movimentos naturais.

Em suma, queremos por meio de toda essa aplicabilidade do conceito de aceleração estar auxiliando a promover um pouco melhor a aprendizagem deste conceito, obedecendo, contudo, à forma como ele é introduzido convencionalmente nos cursos regulares de Cinemática do segundo grau - sem, por exemplo, entrar no mérito da questão da conveniência de se introduzir o conceito de aceleração pela via da Dinâmica. Com essa articulação, subsidia-se o professor no seu controle do nível de aprendizagem dos alunos, fazendo com que a consistência interna do conceito seja respeitada nas várias situações aplicativas (LABURU 1986). As situações aplicativas deverão estar subordinadas aos diversos momentos em que a praxe se fizer necessária, criando-se

condições propícias ao confronto das idéias dos sujeitos para com as concepções científicas. Ao se conseguir, dentro de todos esses casos trabalhados - "frutificação" do conceito (Posner et al 1982) -, que a aceleração seja coordenada, como conceito, independentemente do observável a que ela se remeta, conseqüentemente, evidenciando o emprego consistente do conceito, acreditamos ter conseguido estabelecer uma efetiva aprendizagem.

Para finalizar, é precavido realçar que as idéias acima não se preocuparam com uma organização sequencial do conteúdo para suportar uma proposta programática direta.

### Conclusão

Pudemos observar por meio deste trabalho que a aceleração, como noção, vem coligada a um conjunto de idéias que a substitui na interpretação de movimentos acelerados.

Mostramos que a aceleração surge da noção de incremento de velocidade na sua forma mais próxima da noção física. Esta noção mantém-se praticamente inalterada desde o momento em que foram construídas pelos sujeitos mais novos, como fez ver Piaget. Para a sua completa compreensão, deve-se vencer, primeiramente, uma classe de concepções. Estas concepções, para serem vencidas, devem ser buscadas não somente por meio dos recursos de uma mudança conceitual, mas, certamente, também, da sua prévia vinculação a uma maturidade lógico-matemática que será necessária para o trato das grandezas que a assistem e que a ela são inerentes.

Pretendemos, assim, neste estudo recomendar algumas questões ligadas à noção do conceito de aceleração e dirigir certas preocupações ao professor, com o intuito do ensino do referido conceito.

### Bibliografia

- CLEMENT, J.(1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American J. of Phys.* 50, 66-71.
- ECKSTEIN, S. G. and SHEMESH, M.(1989). Development of children's ideas of motion: intuition vs logical thinking. *Int. J. Sci. Educ.*, 11, 3: 327-336.
- GALILEI, G.(1945). Diálogos acerca de dos nuevas ciências. Buenos Aires, Biblioteca Teoria e História de las Ciências. Editora Losada, 373p.
- GIL PEREZ, D.(1983). Três paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 26-33.
- KOLOGY, G. O.(1977). How students learn velocity and acceleration. *Journal of College Sci. Teaching*, New York, 6(3): 224-227.
- LABURU, C. E.(1986). Uma proposta de instrumento para o ensino dos conceitos cinemáticos de velocidade e aceleração no segundo grau. *Resumos - SBPC-38a. reunião anual. Curitiba PR*, p.419.
- LABURU, C. E.(1987). Desenvolvimento e aprendizagem do conceito de aceleração em crianças e adolescentes. São Paulo. Tese de mestrado. Instituto de Física, USP.
- LABURU, C. E. e Carvalho, A. M. P.(1992). Investigación del desarrollo y aprendizaje de la noción de aceleración en adolescentes. *Enseñanza de las ciencias*. 10(1), 63-72.
- McDERMOTT, L.C. and SOMERS, M.(1991). Building a research base for curriculum development on example from mechanics. *Proceedings on International workshop held at the University of Bremem. March 4-8*, 330-355.
- PIAGET, J.(1946). Les notions de mouvement et de vitesse chez L'enfant. *Presses Universitaires, Paris, Bibliotheque de Philosophie Contemporaine*, 281 p.
- POSNER, G. J. et al.(1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Educator* 66(2): 221-227.

- SALTIEL, E. and MALGRANGE, J. L.(1980). Spontaneous' ways of reasoning in elementary kinematics. *Eur. J. Phys.* 1: 73-78.
- TEIXEIRA, O. P. B.(1985). Desenvolvimento do conceito de velocidade: um estudo a partir de questões típicas. São Paulo. Tese de mestrado. Instituto de Física, USP.
- TROWBRIDGE, D. E. and McDERMOTT,L. C.(1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *Am. J. Phys.*,St. Louis, 43(12): 1020-1028.
- TROWBRIDGE, D. E. and McDERMOTT, L. C.(1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *Am. J. Phys.*, St. Louis, 49(3): 242-253.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *Eur. J. Sci. Educ.*, London and Phyladelphia, 2: 205-221.
- WATTS, D. M.(1983). A study of school childrens' alternative frameworks of the concept of force. *Eur. J. Sci. Educ.*. London and Philadelphia, 5(2): 217-230.