

# A introdução à mecânica no ensino secundário (\*)

MARÍLIA FERNANDES THOMAZ e NILZA VASCONCELOS

Departamento de Física e de Didáctica e Tecnologia Educativa  
Universidade de Aveiro

*Uma análise dos resultados de investigação sobre a aprendizagem em Mecânica levanta questões sobre as causas da persistência das ideias intuitivas apresentadas pelos alunos após o ensino formal, e sugere possíveis estratégias para evitar tal facto. No presente artigo desenvolve-se uma abordagem integrada para o ensino da cinemática e da dinâmica, no contexto do ensino secundário, fundamentada numa análise e reflexão sobre dados de investigação educacional nesta área. A abordagem é apresentada como alternativa à indicada nos actuais currícula e manuais escolares utilizados nas escolas.*

## 1. Introdução

A problemática das ideias intuitivas, ou conceitos alternativos como são denominadas por vários investigadores, tem gerado nas duas últimas décadas um interesse cada vez maior entre psicólogos e investigadores em ensino das ciências. Um corpo de investigação rapidamente crescente revela que os alunos vêm para as aulas de ciências com ideias acerca dos conteúdos que vão ser alvo de instrução. Através da sua interacção com o mundo que os rodeia as crianças vão desenvolvendo noções, expectativas, sistemas explicativos ou descritivos que, em muitos casos, estão em contraste com as concepções científicas que se espera que os alunos aprendam. Essas ideias têm sido identificadas em alunos de diferentes idades e em diferentes conteúdos programáticos, e tem-se verificado que são altamente resistentes a mudança. Tem também sido demonstrado que essas ideias intuitivas ou conceitos alternativos podem, em certos casos, dificultar a aquisição de conceitos científicos.

Ao professor de ciências, consciente da existência dessas ideias e das suas implicações no processo de ensino/aprendizagem, põe-se então o problema de conseguir que um aluno que usa um certo conceito alternativo para interpretar um certo fenómeno passe a usar um conceito cientificamente aceite na interpretação quer desse fenómeno particular quer de outros em que o conceito esteja envolvido.

Dos resultados de investigação realizados nesta área surgem três ideias principais que são hoje de particular importância para o ensino das ciências, e em particular para o ensino da Física. A primeira diz respeito ao conhecimento que uma pessoa foi construindo através da sua interacção com o mundo. É com base nesse conhecimento que já desenvolveu que o aluno interpreta aquilo que o professor está a dizer. A segunda ideia incide sobre o facto de um indivíduo se esforçar por dar sentido ao seu mundo natural. Embora numa aula muitos alunos pareçam entender, por exemplo, que um corpo que não é actuado por forças continua sempre com a mesma velocidade, na sua experiência do dia a dia constata que isso não faz sentido, que não está de acordo com essa mesma experiência. Finalmente a terceira ideia revela que, embora partindo da mesma informação, indivíduos diferentes constroem conceitos diferentes.

Hoje em dia já existe muita evidência que corrobora estas três ideias. No entanto mais importante do que saber como é que as pessoas utilizam o seu conhecimento para interpretar o mundo, será saber como actuar de modo a ajudá-las a desenvolver as suas ideias na direcção das cientificamente aceites.

---

(\*) Deste trabalho foi feita uma comunicação em forma de cartaz à 5.ª Conferência Nacional de Física, Física 88, realizada em Aveiro de 26 a 29 de Setembro de 1988.

Esta questão é semelhante à questão central que se põe aos filósofos contemporâneos da Ciência — compreender como mudam os conceitos quando confrontados com novas ideias ou novas informações. O processo envolvido na aprendizagem em ciências é claramente semelhante. Em ambos os casos existe uma interação entre o conhecimento existente e as ideias novas. O problema é portanto o de uma *mudança conceptual*. Tal como no processo do desenvolvimento científico, o qual se dá à custa da confrontação duma variedade de ideias em conflito, assim também o desenvolvimento conceptual do aluno se dará quando este tiver oportunidade para confrontar as suas ideias com as ideias dos outros, nomeadamente com as dos seus colegas. Tudo isto tem grandes implicações no ensino/aprendizagem de Física nomeadamente na sequência dos conteúdos que se pretende que os alunos aprendam, bem como na metodologia utilizada na sua abordagem. Nesta linha de pensamento apresentam-se nas secções seguintes alguns resultados de investigação sobre aprendizagem em Mecânica, sua análise e reflexão à luz da abordagem clássica, desenvolvendo-se em seguida uma abordagem integrada do ensino da cinemática e da dinâmica numa tentativa de evitar os problemas revelados pela investigação nesta área.

## 2. Resultados de investigação e implicações educacionais

Numerosos trabalhos de investigação [1-5] têm mostrado que grande número de alunos, mesmo após vários anos de ensino formal, continuam a fazer interpretações não newtonianas dos movimentos dos corpos, revelando possuir ideias semelhantes às dos alunos antes do ensino formal. Dentre as noções intuitivas em Mecânica frequentemente identificadas em trabalhos de investigação e comuns a populações de alunos com diferente formação científica em Física, três se apresentam com maior incidência, nomeadamente:

a) se um corpo se move, há uma força na direcção e sentido do movimento, i.é., o movimento implica a existência de uma força

na mesma direcção e sentido daquele (força que é muitas vezes considerada como uma «força interna»);

b) movimento uniforme requer uma força constante;

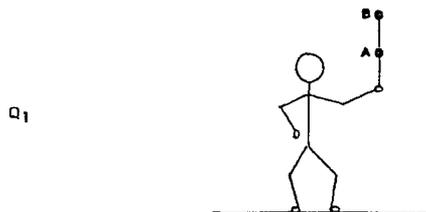
c) se um corpo está parado, não há forças a actuar sobre ele.

A origem destas ideias está numa certa identificação, feita pelos alunos, do conceito de força com o de velocidade. Note-se que a própria linguagem comum reforça esta ideia. (É vulgar ouvir-se a frase «aquele carro vai com muita força» significando que vai com muita velocidade). Este facto origina dificuldades de aprendizagem em Mecânica como a seguir se ilustram com alguns exemplos.

i) *Dificuldades na identificação de uma força contrária ao movimento (por exemplo: força de atrito, força gravítica, etc.).*

Os quadros I e II apresentam a percentagem de respostas alternativas dadas a dois itens dum questionário sobre o conceito de força, aplicado a alunos ingleses antes do ensino formal de Mecânica (Vasconcelos, 1987) e a alunos portugueses do 1.º ano da universidade

QUADRO I—Percentagens de respostas alternativas dadas à situação  $Q_1$



	$Q_{1,1}$	$Q_{1,2}$		$Q_{1,3}$
	↑	↑	F.nula	↓
Alunos ingleses (14 anos, antes do ensino formal em Mecânica) N = 125	88%	40%	46%	78%
Alunos portugueses (1º ano da universidade, ciências) N = 103	90%	12%	79%	91%

em cursos de ciências (Thomaz, 1983). Uma descrição detalhada destas questões é apresentada no apêndice 1.

QUADRO II—Percentagens de respostas alternativas dadas à situação  $Q_2$



	Q <sub>1.1</sub>	Q <sub>1.2</sub>		Q <sub>1.3</sub>
	→	→	F.nula	↘
Alunos ingleses (14 anos, antes do ensino formal em Mecânica) N = 125	84%	50%	30%	70%
Alunos portugueses (1º ano da universidade, ciências) N = 103	78%	53%	12%	54%

A leitura dos quadros revela a ineficácia do ensino formal no desenvolvimento do conceito de força. Para 90 % dos alunos após o ensino formal a força tem que ter a direcção do movimento (a explicação mais comum para Q<sub>1.1</sub> é — «a força é para cima porque essa é a direcção do movimento»).

Relativamente à questão Q<sub>1.2</sub>, 79 % considera que o corpo está parado, velocidade zero na sua posição de altura máxima, donde, para esses alunos, a força que actua nele é nula. No entanto em relação à mesma questão na situação Q<sub>2.2</sub> a percentagem de alunos que considera a força nula é muito menor do que a dos que consideram a força na direcção do movimento (53 %). Também o facto de 91 % dos alunos indicarem que, no movimento de queda, na questão Q<sub>1.3</sub>, a força tem o sentido de cima para baixo não revela necessariamente que a identifiquem com a força da gravidade. O significado desta resposta fica melhor esclarecido com a resposta à mesma questão relativamente à situação Q<sub>2.3</sub>, em que 54 % dos alunos indica a força com a direcção e o sentido do movimento, reforçando a identificação da força com a velocidade.

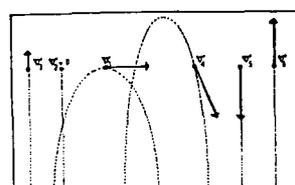
ii) *Dificuldades na identificação do movimento uniforme.*

Diversas investigações [3, 6] têm demonstrado que alunos de vários níveis etários e com diferente formação em Física têm a ideia de que para que um objecto se mova com velocidade constante tem que actuar sobre ele uma força com a mesma direcção e sentido de velocidade.

iii) *Dificuldades na associação da força com a aceleração do movimento.*

O quadro III apresenta os resultados das respostas a uma questão apresentada a alunos franceses do último ano do ensino secundário de cursos de ciências [1] e a alunos do 4.º ano da licenciatura em ensino de Física e Química [7]. Uma descrição desta questão é apresentada no apêndice 2.

QUADRO III—Percentagens de respostas dadas à situação  $Q_3$



As forças são diferentes	
Alunos franceses (último ano do ensino secundário, ciências) N = 29	55%
Alunos portugueses (4º ano da licenciatura em Física e Química) N = 33	45%

Como se vê da leitura do quadro, após cerca de 9 anos de ensino formal de Física, ainda 45 % dos alunos identifica a força com a velocidade, sendo a explicação mais comum — «as forças são diferentes porque  $F = ma$ , mas

a está relacionada com  $v$ . Como  $v$  é diferente  $a$  terá que ser diferente e portanto  $F$  também é diferente».

iv) *Dificuldades na identificação da causa do movimento circular.*

Numa situação apresentada a alunos universitários franceses (Viennot, 1977), em que se pedia aos alunos que representassem a força resultante que actua numa massa « $m$ » presa por um fio e animada dum movimento circular uniforme, um número considerável de alunos desenhou o diagrama representado na Fig. 1 revelando, mais uma vez, a identificação da força com a velocidade.

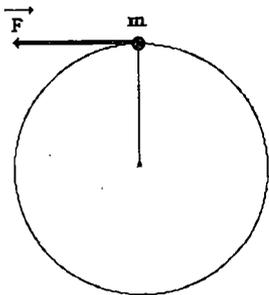


Fig. 1

v) *Dificuldades na distinção entre equilíbrio e repouso.*

Para não tornar muito extenso este artigo com a apresentação de mais exemplos basta reparar na resposta dada à questão Q<sub>1.2</sub> em que 79 % dos alunos consideraram que na posição de altura máxima a força é nula, sendo a explicação mais comum «a pedra está parada quando atinge a altura máxima, logo a força é nula», revelando a não distinção entre repouso e equilíbrio.

3. **Abordagem clássica e ideias intuitivas em Mecânica**

Nos currícula e manuais escolares actuais os tópicos de cinemática e dinâmica são abordados separadamente, iniciando-se o estudo da Mecânica por uma análise matemática do

movimento centrada apenas nos seus aspectos cinemáticos, ignorando as ideias intuitivas que os alunos poderão possuir acerca do movimento. Por exemplo, a introdução do conceito de aceleração é feita sem qualquer referência à existência de qualquer interacção, não havendo nenhuma preocupação em chamar a atenção para a/s causa/s da variação da velocidade. Uma análise de manuais escolares usualmente utilizados nas nossas escolas revela a não existência de situações em que, por exemplo, a identificação implícita que muitos alunos fazem entre velocidade e força seja posta em conflito.

A ênfase que nos currícula actuais se faz no estudo do movimento independentemente da sua causa, não permite uma mudança conceptual do aluno podendo até em algumas situações reforçá-la. Um exemplo desta situação está representado na Fig. 2. O esquema é vulgarmente representado no quadro da sala de aula ou em manuais escolares.

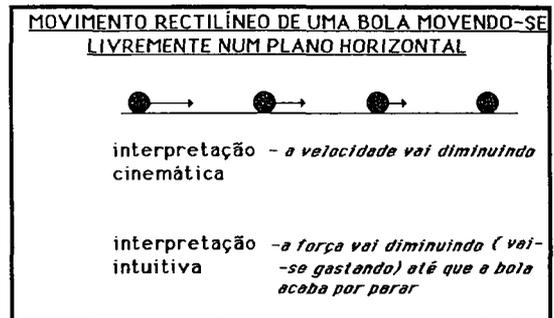


Fig. 2

Este tipo de abordagem está em franca oposição com um modelo construtivista para o ensino das ciências que vem sendo perfilhado por um grupo cada vez maior de educadores em Ciência. Neste modelo uma convicção básica é a de que o aluno é um indivíduo activo e determinado, que está continuamente a construir e a reconstruir os seus conceitos pessoais, por ele usados na interpretação dos fenómenos que o rodeia. Outra ideia fundamental deste modelo é a de que as mentes das crianças, dos jovens e adultos não se encontram vazias quando formalmente confrontadas pela primeira

vez com um dado conceito científico. Pelo contrário devido à sua interacção com o mundo construíram já uma «teoria» implícita através da qual explicam e interpretam aquilo que os cerca.

#### 4. Proposta alternativa

Baseada na identificação das dificuldades encontradas nos alunos após o ensino formal em Mecânica e perfilhando uma abordagem construtivista para o ensino das ciências elaborou-se uma proposta para o ensino de introdução à Mecânica no contexto do ensino secundário que se descreve em seguida.

##### 4.1. Princípios orientadores subjacentes à elaboração da proposta

Os princípios orientadores para a elaboração da proposta incidem principalmente sobre dois aspectos: i) *conteúdos e sua sequência* e ii) *metodologia para a abordagem dos conteúdos*.

###### i) *Conteúdos e sua sequência.*

Fundamentada nos resultados de investigação sobre dificuldades encontradas na aprendizagem de conceitos de Mecânica tais como velocidade, aceleração e força, propõe-se uma abordagem integrada da cinemática e da dinâmica numa tentativa de ajudar os alunos a relacionarem sempre o movimento com a causa que o produz. Pensa-se que uma abordagem deste tipo poderá resolver o problema da identificação de velocidade com força, bem como diluir o aspecto quase puramente matemático com que, pelos alunos, é vista a cinemática da partícula material.

###### ii) *Metodologia para a abordagem dos conteúdos.*

Numa perspectiva construtivista a metodologia sugerida faz ênfase na construção do

conhecimento feita pelo próprio aluno, actuando o professor como agente facilitador dessa construção. Partindo das ideias que o aluno já possui, o professor deverá criar situações que permitam aos alunos não só consciencializar as suas próprias ideias mas também entrar em conflito com elas, se for caso disso. Deste modo o próprio aluno terá necessidade de modificar essas ideias e, a pouco e pouco, irá desenvolvendo o seu conhecimento na direcção do conhecimento científico.

##### 4.2. Conteúdos e metodologia para a sua apresentação

Apresentar-se-ão de seguida os conteúdos e alguns aspectos metodológicos para a sua abordagem relativa apenas aos conceitos que se consideram introdutórios para uma abordagem do movimento e ao início do estudo do movimento duma partícula.

#### 5. Conceitos introdutórios e suas relações

##### 5.1. Grandezas físicas e suas medições, Dimensões e unidades, Sistemas de dimensões e sistemas de unidades, Homogeneidade dimensional

Ajudar os alunos a identificar grandezas físicas através da possibilidade da sua medição.

Levar os alunos a concluir sobre o que se entende por medição e criar oportunidades para que eles possam efectuar medidas de grandezas tais como medição de comprimentos (por exemplo, utilizando a craveira), volumes de líquidos, de sólidos regulares e irregulares, densidades, etc..

Consciencializar os alunos da necessidade de apresentar os resultados com a indicação dos erros de que vêm afectados.

Apresentar casos de grandezas fundamentais (massa, espaço e tempo) e de grandezas derivadas (volume, superfície, massa volúmica).

Introduzir o sistema de dimensões de base MLT e ajudar os alunos a escrever as equações de dimensão de algumas grandezas (as até então conhecidas).

Ajudar os alunos a caracterizar o Sistema Internacional e mencionar a existência de outros sistemas de unidades nomeadamente o c. g. s.. Levar os alunos a concluir o princípio da homogeneidade dimensional.

## 5.2. Relatividade do movimento

Apresentação de situações em que seja evidenciada a relatividade do movimento com a consequente noção de repouso ou movimento em relação a um determinado referencial. Introdução da noção de referencial definido por um sistema de eixos triortogonais e respectivos vectores unitários. Referência ao sistema de coordenadas polares no plano. Exemplos de movimentos rectilíneos, curvilíneos, de translação e de rotação. Nesta altura interessa apresentar apenas os aspectos qualitativos dos movimentos.

## 5.3. Partícula material

Ajudar os alunos a concluir das vantagens de utilização do conceito abstracto de partícula ou ponto material com exemplos concretos.

## 5.4. Posição de uma partícula material

Apresentar situações em que se evidencie a necessidade de definir a posição da partícula material e a sua relatividade. Introdução da noção de vector de posição e a sua representação em coordenadas cartesianas no plano e no espaço e em coordenadas polares no plano.

## 5.5. Trajectória de uma partícula material

Levar os alunos a definir por si próprios a trajectória duma partícula evidenciando a necessidade de identificar a linha definida pela sucessivas posições da partícula em relação a um dado referencial. Levar os alunos a dar exemplos de trajectórias rectilíneas e curvilíneas.

## 5.6. Deslocamento e espaço percorrido

Apresentando situações concretas ajudar os alunos a concluir da variação do vector de posição duma partícula em movimento. Introdução da noção de deslocamento. Com exemplos concretos levar os alunos a estabelecer a diferença entre deslocamento e espaço percorrido. Apresentar exemplos de movimentos rectilíneos e curvilíneos. Usar sempre a notação vectorial mesmo no movimento rectilíneo.

Ajudar os alunos a estabelecer as unidades em que é expresso o deslocamento.

## 5.7. Noção de velocidade. Velocidade média e instantânea

Ajudar os alunos a identificar a noção de velocidade que já possuem com a variação no tempo do deslocamento da partícula. Introduzir a noção de velocidade média e de velocidade instantânea. Breve referência à noção de rapidez. Levar os alunos a estabelecer as unidades destas grandezas no sistema S.I..

## 5.8. Noção de momento linear

Apresentar situações em que seja evidenciada a necessidade da existência duma grandeza física que, melhor do que a velocidade caracterize o estado dinâmico duma partícula (como exemplo de uma situação destas pode levar-se para a aula duas latas idênticas suspensas do mesmo suporte por dois fios idênticos estando uma cheia de areia e outra vazia. O professor pede aos alunos para preverem o que acontecerá a cada uma das latas quando lhes forem aplicadas pancadas iguais. Os alunos deverão então ter oportunidade para testar as suas hipóteses e daí tirar conclusões). Através de exemplos concretos ajudar os alunos a identificar o momento linear com essa grandeza e introduzir o seu nome. Levar os alunos a estabelecer as suas unidades no S.I..

## 5.9. Noção de força. Força como taxa de variação do momento linear no tempo

Relacionando com a noção de força estudada em anos anteriores ajudar os alunos a

concluir através de exemplos concretos que a variação no tempo do momento linear duma partícula é o resultado duma interacção com outra/s partícula/s e que essa interacção é representada por uma força.

Ajudar os alunos a identificar a direcção e sentido duma força. Através dum movimento curvilíneo geral ajudar os alunos a concluir sobre a direcção e sentido da força. Isso ajudará os alunos, que identifiquem força com velocidade a entrar em conflito com as suas próprias ideias. Através de vários exemplos ajudar os alunos a concluir da necessidade da existência duma força no sentido do centro de curvatura da trajectória para que haja movimento curvilíneo.

Referência aos quatro tipos fundamentais de interacção na natureza. Identificar fenómenos para cada uma dessas interacções. Particularizar o caso das interacções gravíticas e electrostáticas. A propósito da interacção gravitacional, com exploração da experiência de Cavendish, quantificar a lei da atracção universal. Relembrar a noção de peso estudada em anos anteriores e ajudar os alunos a concluir que ela é o resultado da interacção Terra-corpo.

Ajudar os alunos a interpretar o significado físico de massa gravitacional.

Como resultado da interacção gravitacional entre duas partículas ajudar o aluno a tirar conclusões quanto à variação do momento linear das duas partículas que interactuam (aspecto que será tratado com mais detalhe na dinâmica dos sistemas de partículas).

A propósito de interacção electrostática fazer a analogia com a interacção gravitacional, relembrando o tipo de interacções entre cargas; ajudar os alunos a enunciar a lei de Coulomb.

#### 5.10. Noção de campo

Partindo da discussão da interacção gravítica conduzir os alunos à noção de campo gravitacional. Relembrando outras interacções já estudadas, nomeadamente a electrostática, conduzir os alunos à noção de campo eléctrico e generalizar a noção de campo.

#### 5.11. Noção de aceleração. Lei de Newton do movimento

Considerando a massa constante, chamando a atenção para a gama de fenómenos em que isso pode ser considerado válido, relacionar a variação do momento linear no tempo (força que actua na partícula) com a variação da velocidade da partícula. Introdução de aceleração como a variação da velocidade no tempo.

Apresentação de exemplos em que os alunos possam identificar variações só da sua direcção e de ambas simultaneamente. Considerar apenas aspectos qualitativos. Ajudar os alunos a relacionar a existência duma aceleração com a existência duma interacção.

Ajudar os alunos a interpretar o significado físico de massa de inércia.

Fazer referência à evolução histórica do conceito de movimento e seu estudo (Aristóteles, Galileu e Newton) e enunciar a lei de Newton como traduzindo dados experimentais quantitativos. Fazer referência às condições em que as experiências foram feitas e as suas inerentes limitações (fazer referência a movimentos de corpos com velocidades próximas da luz).

Introduzir a noção de aceleração média e aceleração instantânea. Ajudar os alunos a estabelecer a equação de dimensões de aceleração e da força num sistema de base MLT e as suas unidades no S.I..

#### 5.12. Impulso de uma força. Variação do momento linear

Ajudar os alunos a concluir da necessidade duma grandeza que traduza o efeito da actuação de uma força numa partícula durante um certo intervalo de tempo. Introdução da noção de impulso. Com exemplos concretos (através de experiências realizadas ou pensadas) ajudar os alunos a concluir que o impulso de uma força que actua num certo intervalo de tempo é igual à variação do momento linear da partícula no mesmo intervalo de tempo.

Levar os alunos a escrever a equação de dimensão do impulso e deduzir as suas unida-

des no sistema S.I. e a verificar a homogeneidade dimensional da relação  $F\Delta t = mv$ .

## 6. Estudo do movimento duma partícula

### 6.1. Movimento de uma partícula livre (m. r. u.)

Ajudar os alunos a concluir que se o momento linear duma partícula não varia é porque não há qualquer interacção ou a resultante das interacções é nula. Introdução da noção de partícula livre. Apresentação de experiências em que possa ser ilustrado o comportamento duma partícula livre. Descrição da experiência de Galileu ajudando os alunos a tirar conclusões.

Depois dos alunos terem concluído da não variação da velocidade introduzir o nome de movimento rectilíneo uniforme. Levar os alunos a enunciar a lei da inércia.

Estudo do movimento rectilíneo uniforme baseado sempre na variação do vector de posição. Utilização do «ticker-timer» ou apresentação de fitas obtidas com o mesmo.

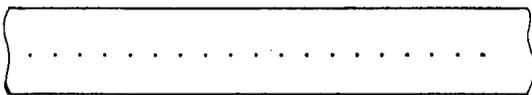


Fig. 3

Medição de módulos de velocidade a partir das fitas sabendo que o intervalo de tempo entre as marcas é de 0,01 s.

A partir de dados obtidos experimentalmente ou através de fitas marcadas ajudar os alunos a interpretar a representação gráfica da posição do móvel em função do tempo. Levar os alunos a concluir que a variação da posição corresponde ao espaço percorrido e que a área compreendida entre a recta  $v = c^{te}$  e o eixo do tempo num certo intervalo de tempo representa a variação da posição nesse intervalo de tempo. O uso do computador poderá ajudar o estudo deste movimento. Análise e discussão de situações concretas (por exemplo, o que é necessário para que um automóvel se desloque com velocidade constante?). Referência ao atrito.

### 6.2. Movimento de uma partícula sem velocidade inicial actuada por uma força constante (m. u. a. sem $v_0$ )

Ajudar os alunos, através de exemplos concretos (experiências realizadas ou pensadas), a concluir que a acção duma força constante vai provocar na partícula uma variação da sua velocidade e portanto uma aceleração.

Com a utilização do «ticker-timer», do computador ou de fitas marcadas criar oportunidades em que os alunos possam representar graficamente a posição da partícula em função do tempo.

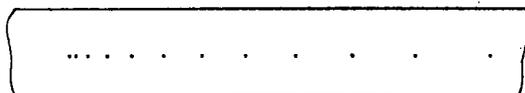


Fig. 4

Por analogia com o m. r. u. levar os alunos a concluir que a variação do espaço percorrido pela partícula num intervalo de tempo  $t$  é igual à área compreendida entre a recta  $v(t)$  e o eixo do tempo no mesmo intervalo de tempo.

Ajudar os alunos a concluir que pela acção duma força constante uma partícula que estava inicialmente em repouso adquire uma aceleração constante e uma velocidade cujo módulo varia linearmente no tempo e cuja direcção e sentido são, neste caso particular, coincidentes com a direcção e sentido da força.

Como aplicação duma força constante actuando sobre uma partícula sem velocidade inicial, fazer o estudo da queda livre.

Fazer a representação gráfica da variação da força no tempo e relacionar essa variação com o impulso da força, no mesmo intervalo de tempo.

### 6.3. Movimento de uma partícula com velocidade inicial actuada por uma força constante com a mesma direcção e sentido da velocidade inicial (m. u. a. com $v_0$ )

Partindo das previsões dos alunos sobre o que acontecerá a uma partícula que se desloca num dado sentido com um movimento recti-

líneo uniforme e que passa a ser actuada por uma força com a mesma direcção e sentido, ajudá-lo a chegar à equação do movimento e da velocidade através de exemplos concretos (por exemplo, usando fitas marcadas).

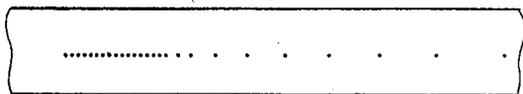


Fig. 5

Ajudar os alunos a construir os gráficos da aceleração, da velocidade e da posição da partícula em função do tempo e levá-los a interpretá-los fazendo sempre referência à força que está a actuar.

Partindo dos gráficos ajudar os alunos a concluir a relação entre as áreas debaixo das curvas com as variações da velocidade e da posição.

Como aplicação tratar o caso em que a origem do tempo não coincide com a origem dos espaços. O movimento pode ser estudado com a ajuda dum computador.

**6.4. Movimento duma partícula com velocidade inicial actuada por uma força constante com a mesma direcção mas sentido oposto ao da velocidade inicial (m. u. r.)**

Partindo das previsões dos alunos sobre o que acontecerá a uma partícula que, encontrando-se em movimento retilíneo uniforme, passa a ser actuada por uma força constante com a mesma direcção mas sentido oposto ao da velocidade inicial e de exemplos desta situação dados pelos alunos, levá-los a chegar às equações do movimento uniformemente retardado.

Com exemplos concretos (por exemplo, com o uso de fitas marcadas) obter dados para a representação gráfica das variações da posição e da velocidade de partículas em função do tempo.

No gráfico da posição em função do tempo ajudar o aluno a interpretar o significado físico do sentido da concavidade da curva.

Do gráfico da velocidade em função do tempo, por analogia com o que foi feito nos casos anteriores, ajudar os alunos a concluir que a área compreendida entre a recta  $v(t)$  e o eixo do tempo representa a variação da posição da partícula no intervalo de tempo.

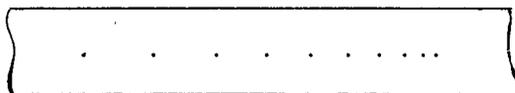


Fig. 6

Ajudar os alunos a concluir que a partir do instante  $t = v_0/a$  o movimento da partícula passa a ser um m. u. a. sem velocidade inicial tendo agora a força o mesmo sentido que a velocidade.

Como aplicação duma força com o sentido oposto ao da velocidade inicial fazer o estudo do movimento ascensional dum corpo.

**6.5. Movimento duma partícula com velocidade inicial actuada por uma força: (i) constante em módulo e (ii) constante em módulo e em direcção, fazendo esta um determinado ângulo com a velocidade**

Ajudar os alunos a concluir, através de exemplos concretos, que, para que a trajectória duma partícula seja curvilínea, é necessário que ela seja actuada por uma força com direcção diferente da direcção da velocidade inicial.

Através da decomposição da força nas componentes tangencial e normal ajudar os alunos a identificar o seu sentido físico identificando a componente tangencial como a responsável pela variação do módulo da velocidade (fazer o paralelismo com o movimento retilíneo uniformemente acelerado ou retardado) e a componente normal como a responsável pela variação da direcção da velocidade.

Ajudar os alunos a concluir que uma força constantemente perpendicular à velocidade não altera o seu módulo mas apenas a sua direcção.

Como aplicação desta última situação estudar o movimento circular uniforme chamando sempre a atenção para a força responsável pelo movimento.

Como aplicação duma força constante em direcção e em módulo fazer o estudo do movimento dum projectil.

6.6. Movimento duma partícula actuada por uma força variável no tempo ( $m, v$ )

Como síntese do que foi tratado nas secções anteriores levar o aluno a concluir o tipo de trajectória duma partícula actuada por uma força variável no tempo chamando a atenção para as componentes tangencial e normal da força e consequentemente para as da aceleração. Levar os alunos a interpretar o significado físico dessas componentes.

6.7. Movimento duma partícula actuada por várias forças (i) sucessivamente e (ii) simultaneamente

Através de exercícios de aplicação ajudar os alunos a analisar diferentes situações contemplando os casos de actuação sucessiva de diferentes forças que produzem os diferentes movimentos e actuação simultânea de forças (por exemplo, o movimento no plano inclinado, o movimento do pêndulo, etc.).

7. Nota final

A continuação deste trabalho necessita a aplicação da proposta em situações de sala de aula. A análise dos resultados permitirá proceder aos ajustes necessários para maior eficiência na aprendizagem da Mecânica.

As autoras expressam aqui a sua disponibilidade e o maior interesse no acompanhamento de colegas que queiram implementar a proposta, bem como agradecem todas as críticas, sugestões e apresentação de resultados das experiências realizadas.

APÊNDICE 1

Neste apêndice apresentam-se dois itens dum questionário sobre o conceito de força aplicado a alunos ingleses antes do ensino formal e a alunos portugueses do 1.º ano da universidade em cursos de ciências.

Atira-se uma pedra ao ar, para cima. Ela deixa a mão da pessoa, passa na posição  $A$ , sobe até  $B$  e volta para baixo através de  $A$ .

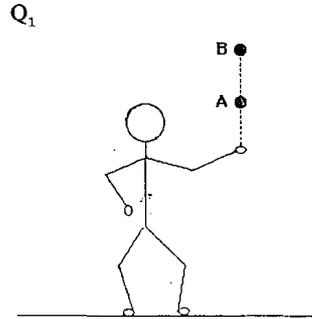


Fig. a

As três alíneas seguintes referem-se a essa situação.

Q<sub>1.1</sub> — As setas nas figuras pretendem representar o *sentido da força* que actua sobre a pedra.

Qual das figuras pensa que melhor representa a força que actua na pedra na posição  $A$ , quando ela se desloca para cima?

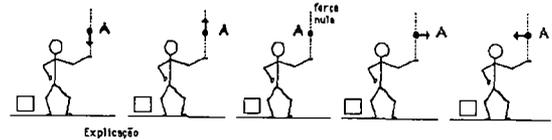


Fig. b

Q<sub>1.2</sub> — Agora que figura pensa que melhor representa a força que actua na pedra quando ela atinge o ponto  $B$  (altura máxima)?

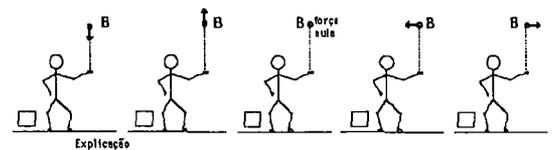


Fig. c

Q<sub>1.3</sub> — E agora que figura pensa que melhor representa a força que actua na pedra quando ela passa no ponto  $A$  ao deslocar-se para baixo?

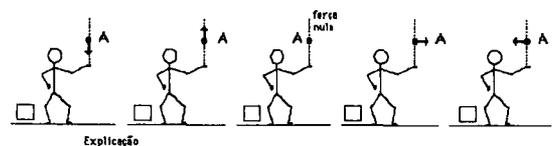


Fig. d

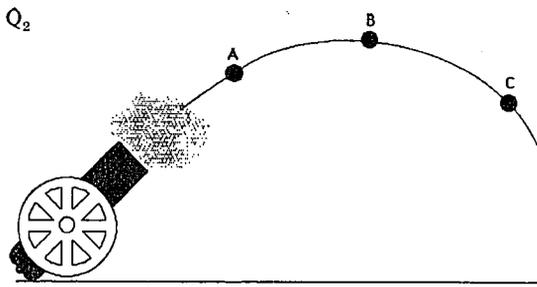


Fig. e

É disparada uma bala dum canhão. Os pontos *A*, *B* e *C* são três posições diferentes de trajectória da bala.

As três alíneas seguintes referem-se a esta situação.

Q<sub>2.1</sub>— As setas nas figuras pretendem representar o sentido da força que actua na bala.

Qual figura pensas que melhor representa a força na bala quando ela passa no ponto *A*?

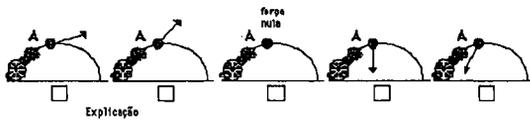


Fig. f

Q<sub>2.2</sub>— Agora que figura pensas que melhor representa a força que actua na bala quando esta passa no ponto *B* (o ponto mais alto da trajectória)?

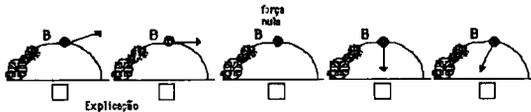


Fig. g

Q<sub>2.3</sub>— E agora que figura pensas que melhor representa a força na bala quando ela passa no ponto *C*?

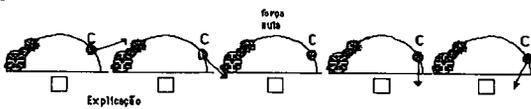


Fig. h

## APÊNDICE 2

Neste apêndice apresenta-se um dos itens dum questionário aplicado a alunos franceses após o ensino formal.

Q<sub>3</sub>— Um jogador joga com seis bolas idênticas.

No instante *t*, as seis bolas estão no ar à mesma altura, nas trajectórias indicadas a ponteados na figura abaixo. Nela estão também representados os vectores velocidade das seis bolas nesse instante *t*.

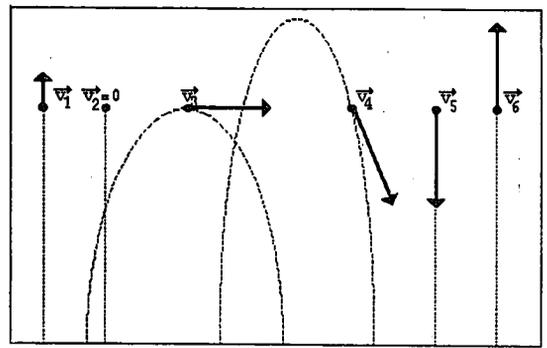


Fig. i

As forças exercidas sobre as bolas, nesse instante são

... iguais para as seis?	
... diferentes para cada uma das seis?	
... iguais para algumas (quais)?	
... diferentes para outras (quais)?	

Fig. j

Justifica a tua resposta. (Considera-se desprezável a existência de ar).

## REFERÊNCIAS

- [1] VIENNOT, L. — «Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire, Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris VII (1977).
- [2] TROWBRIDGE, D. e MCDERMOTT, L. C. — «Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension», American Journal of Physics, **49** (3), 242-253 (1980).
- [3] THOMAZ, M. F. — «Inquérito sobre a compreensão do conceito de força», 3.ª Conferência Nacional de Física, Coimbra, Março 1982 (1982).
- [4] VASCONCELOS, N. — «Motion and Forces: a view of students' ideas in relation to physics teaching», Ph. D. Thesis, University of London (1987).
- [5] ALTÉS, A. S. e MERCÉ, M. M. — «The scientific method used in physics», International Journal of Science Education, **10** (1), 111-120 (1988).
- [6] WATTS, D. M. e ZYLBERSZTAJN, A. — «A survey of some children's ideas about force», Physics Education, **16**, 360-365 (1981).
- [7] VASCONCELOS, N. e LOUREIRO, J. — «Conceitos alternativos em Física: sua implicação na formação de professores», Acta do 1.º Encontro Nacional de Didácticas e Metodologia de Ensino, Universidade de Aveiro, 104-123 (1988).