

## H<sub>2</sub> - CONSISTÊNCIA DAS RESPOSTAS DE ALUNOS A UM TESTE DE FÍSICA (\*)

VILLANI, A.; CUPERTINO, A. L. M.; RADDI, A. M. G.; PIMENTEL, F. J.; SUYAMA, J. A.; DUARTE, J. L. M.; VIANNA, S. S.; SALÉM, S.; SOARES, V. L. L. e HOSOUME, Y,  
Instituto de Física da USP

Foi elaborado e aplicado a uma amostra de aproximadamente 150 alunos do IFUSP, durante o segundo semestre do ano letivo de 1975, um teste de Física com o objetivo de focalizar a atitude dos alunos, após o primeiro ano básico de Física. Em particular desejávamos verificar em que medida o aluno tem o hábito de verificar as respostas que emite, comparando-as. Esta atitude de o aluno verificar a consistência é um dos comportamentos que consideramos fundamental e, ainda mais, ela deve ser exigida e reforçada.

O teste (de múltipla escolha) foi estruturado da seguinte forma:

- oito questões de conhecimento para verificar se o aluno conhece as definições, relações e operações envolvidas no teste;
- um problema cujo conteúdo físico fundamentalmente consiste em leis de conservação da quantidade de movimento e energia. Cinco questões focalizam os pontos cruciais do problema e outras nove, a análise gráfica das grandezas envolvidas em função do tempo;
- as alternativas foram escolhidas de tal modo que o aluno, coerente nas suas respostas, mas que parta de premissas "erradas", é forçado a reanalisar as alternativas anteriormente escolhidas;

- um questionário sobre o teste, focalizando o comportamento do aluno durante a sua resolução.

Serão analisados:

- correlação entre as questões de conhecimento e de aplicação.
- consistência em vários sub-conjuntos.
- consistência global.
- correlação entre as respostas do questionário e os resultados do teste.

Consideramos este trabalho como uma contribuição para que objetivos comportamentais sejam valorizados na avaliação do desempenho do aluno.

Quando se tem em vista objetivos comportamentais, a programação de um curso torna-se bem mais complexa devido às dificuldades que surgem quanto à definição explícita dos objetivos, à programação de atividades e à elaboração de um instrumento de avaliação.

Do exposto acima, nos propusemos a enfrentar a dificuldade quanto ao instrumento de avaliação, construindo um teste que procurasse medir comportamentos dos alunos.

Sendo esta uma primeira tentativa, nos restringimos em medir a consistência interna das respostas, ou seja, se o aluno tem o hábito de verificar as respostas que emite, comparando-as. A escolha foi feita, não só pelo fato de ser este comportamento o menos difícil de medir, como também, de o julgarmos bastante relevante.

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de elaboração de um instrumento de avaliação que meça a consistência interna das respostas dos alunos e, através dele, verificar se os alunos, que terminaram o primeiro ano básico de 1975, apresentam este comportamento, embora o curso não tenha sido programado com este objetivo.

## ELABORAÇÃO DO TESTE

Baseado no objetivo descrito na introdução, o teste foi elaborado segundo a seguinte sequência:

- 1) *Escolha* do conteúdo: sistema de partículas, leis de conservação da energia mecânica e quantidade de movimento. Consideramos estes conteúdos os mais relevantes do primeiro semestre. Não foi escolhido o conteúdo do segundo semestre devido ao fato de apresentar maiores dificuldades aos alunos quanto aos pré-requisitos, trazendo problemas na análise dos resultados.
- 2) *Escolha da situação física*: lançamento de projéteis. A situação foi escolhida de modo a simplificar ao aluno o reconhecimento do fenômeno.
- 3) *Formulação* do problema: um único problema de quatorze questões, onde cinco focalizam os pontos cruciais e nove analisam graficamente as grandezas envolvidas no fenômeno, em função do tempo. (Para ilustrar, apresentamos o enunciado e 6 questões no anexo 1).
- 4) *Alternativas* de cada questão: foram escolhidas de tal forma que:
  - o aluno consistente em suas respostas mas que parta de premissas "erradas", seja forçado a reanalisar as alternativas escolhidas anteriormente, pois numa determinada questão não lhe são apresentadas alternativas consistentes com as anteriores;
  - certos conjuntos de questões apresentem consistência interna nas respostas, mas não necessariamente descrevam corretamente o fenômeno físico. Consideramos como relevantes os onze sub-conjuntos. (Para ilustrar apresentamos um dos sub-conjuntos na pág. anexo
  - o aluno não seguro nas relações e conceitos envolvidos no problema, tem a possibilidade de evocar outras situações semelhantes à apresentada e fazer a opção

por uma alternativa errada. (Vide como exemplo a questão n<sup>o</sup> 15, apresentada no anexo 1.);

- 5) *Pré-requisitos*: para verificar se os alunos conhecem as definições, relações e operações envolvidas no problema, Foram formuladas oito questões de conhecimento.

### **APLICAÇÃO DO TESTE**

O teste assim elaborado foi aplicado a um grupo de 148 alunos do ano básico, no segundo semestre de 1975.

Utilizando o método estatístico da prova de hipótese nula das diferenças de média das notas de teoria de Física 1 e 2, concluímos que o grupo submetido ao teste é equivalente ao grupo não submetido, ao nível de 5%.

### **MÉTODO DE ANÁLISE**

Dividimos a nossa análise em duas partes:

parte 1: análise global do teste

parte 2: análise da consistência das respostas do problema.

#### *Parte 1: Análise global do teste*

Para se verificar quais eram as falhas mais marcantes nas questões de pré-requisitos, bem como nas questões descritivas, fizemos uma tabulação do número de alunos que escolheram cada alternativa para cada questão do teste. Des-tes dados, observamos que:

- a) Nas questões de pré-requisitos, a maior incidência de erros se deu nas questões relativas a:
- soma de vetores, onde 21% dos alunos erraram;
  - definição da quantidade de movimento de um sistema de duas partículas, onde 19% erraram;
  - definição da energia cinética de um sistema de duas partículas, onde 22% erraram.
- b) Em cada questão descritiva, aproximadamente 40% dos alunos não responderam corretamente. É mostrado ainda que 84% dos alunos erraram a conservação da quantidade de movimento,

aplicada a uma questão que dava os vetores velocidade antes e após uma colisão, bem como a razão das massas.

c) Em cada questão gráfica, a partir de Q15, apenas 30%, aproximadamente, dos alunos acertaram. Estando as respostas bem distribuídas nas diversas alternativas, podemos considerar estas questões como difíceis para os alunos do 1º ano básico.

#### Parte 2: *Análise de consistência das respostas dos alunos*

Passaremos agora a analisar a consistência das respostas apresentadas pelos alunos, respondendo a perguntas como:

- qual a proporção de alunos que responderam consistentemente a cada sub-conjunto de questões descritas no anexo 2?
- como estão distribuídos os alunos segundo os sub-conjuntos respondidos consistentemente, independentemente do nível da consistência?
- uma das características do teste é a de que o aluno, que parte de premissas "erradas", mas consistente em suas respostas, é obrigado a reanalisar as questões anteriormente respondidas. Devido a esta característica, os alunos que apresentam alto índice de acerto também irão apresentar alto índice de respostas consistentes nos sub-conjuntos?
- se usarmos o critério tradicional de correção, fazendo corresponder uma nota ao número de questões respondidas corretamente, estaria o objetivo comportamental implicitamente avaliado?
- se a resposta da pergunta acima for negativa, qual seria uma proposta de nota que correspondesse um pouco melhor ao desempenho do aluno?

Para se obter respostas às questões levantadas acima, consideramos como sendo um aluno sem pré-requisitos aquele que optou por uma alternativa considerada absurda nas questões de pré-requisitos.

Somente 69 alunos da amostra foram considerados como tendo os pré-requisitos. Os alunos sem pré-requisitos foram considerados como não apresentando, em suas respostas, consistência de nenhum dos níveis definidos (no anexo 2).

Na tab I (pág. do anexo 2), apresentamos:

- $n =$  n? de alunos, dentre os 69 com pré-requisitos, que responderam consistentemente cada sub-conjunto;
- $\hat{p} =$  proporção de alunos, dentre os 69, que responderam consistentemente cada sub-conjunto;
- $P =$  proporção de alunos, na amostra de 148, que responderam consistentemente cada sub-conjunto;
- $i =$  intervalo de confiança para a proporção de alunos que responderam consistentemente cada sub-conjunto, com probabilidade de 0.95.

Na tabela II (pág. anexo 2), encontramos as proporções dos 69 alunos e dos 148 da amostra que responderam consistentemente um certo número de sub-conjuntos.

Na tabela III (pág. anexo 2), encontramos as proporções dos 69 alunos e dos 148 da amostra que responderam corretamente um certo número de questões.

Para verificar se a correlação entre a consistência das respostas e o número de questões corretas, é significativa ou não, demos duas notas a cada aluno:  $n_T$  e  $n_C$ , onde:

$$n_T = \frac{10}{14} \times n? \text{ de questões corretas}$$

$$n_C = \frac{10}{12} \times n? \text{ de sub-conjuntos consistentes}$$

Pondo em prova a hipótese de que as notas  $n_T$  e  $n_C$  são iguais, ao nível de 5%, concluímos que elas são diferentes.

Este resultado nos mostra que a nota dada ao aluno, baseado somente no número de questões corretas deixa de levar em conta eficazmente o comportamento dos alunos de serem

consistentes em suas respostas.

Consideramos o comportamento de haver consistência nas respostas do aluno muito importante, mas por outro lado, sabemos que nas questões respondidas corretamente estão implícitos vários outros comportamentos: os de conhecimento de relações, atendimento de conceitos, compreensão da situação física, etc. Tendo isto em vista, adotamos o seguinte critério: damos a cada aluno uma nota  $n' = n'_T + n'_C$ , onde:

$$n'_T = \frac{6}{14} \times n? \text{ de questões corretas}$$

$$n'_C = \frac{4}{12} \times n? \text{ de sub-conjuntos consistentes}$$

Isto significa que, para a nota  $n_T$  que leva em conta o número de questões corretas, damos um peso de 60% e para a nota  $n_C$ , que leva em conta o número de sub-conjuntos consistentes damos um peso de 40%. A nota final do aluno é, portanto, a média ponderada dessas duas notas.

Pondo à prova a hipótese de que as notas  $n_T$  e  $n_C$  são iguais, chegamos ao resultado de que ao nível de 5% elas são diferentes.

Deste resultado, concluímos que, embora levando em conta a consistência das respostas com um peso de 40%, a nota final é diferente daquela em que não a consideramos.

## CONCLUSÕES

Uma finalidade deste trabalho foi a de avaliar em que nível os alunos são consistentes em suas respostas. Apesar das dificuldades apresentadas na elaboração de um instrumento que meça os objetivos comportamentais, propusemos um teste que julgamos fornecer indicações sobre o comportamento do aluno de verificar se suas respostas são consistentes.

Baseado no resultado deste teste, foi verificado que:

- para cada sub-conjunto de duas questões relacionadas através de um mesmo conteúdo mas apresentadas de diferentes formas, uma descritiva e outra gráfica, aproxima-

- damente 35% dos alunos que apresentam todos os pré-requisitos necessários para resolver o problema proposto, foram consistentes em suas respostas;
- para cada sub-conjunto de duas questões gráficas, relacionadas através de uma relação simples entre duas grandezas, a porcentagem de alunos diminuiu para aproximadamente 20%;
- no sub-conjunto de três questões gráficas, relacionadas através de uma relação simples e lembrada no enunciado, somente 7% dos alunos foram consistentes em suas respostas;
- nenhum aluno apresentou todas as suas respostas consistentes.

Estes dados nos mostram que uma grande proporção dos alunos, que terminam o 1º ano do curso básico de Física, não, apresenta consistência em suas repostas quando o curso não tem este comportamento por objetivo.

Se julgamos importante este comportamento, salientamos a necessidade de que se programe atividades que levem o aluno a atingi-lo, bem como, de que seja avaliado sistematicamente.

Além do nível de consistência das respostas apresentadas, o teste nos forneceu dados para outras conclusões, tais como:

- apesar das questões de pré-requisitos envolverem simples definições e relações de conteúdos mais importantes do 1º ano básico, o resultado obtido nos deixa preocupados. Aproximadamente 50% dos alunos não souberam respondê-las corretamente, aliado ao fato de que em vários casos escolheram alternativas absurdas, principalmente no que se refere ao conceito do centro de massa;
- em algumas questões é notória a falta de discriminação entre problemas resolvidos durante o curso e o novo problema de uma mesma situação física;

- tendo em vista que, uma nota dada ao aluno, somente a partir de respostas emitidas corretamente, não leva em conta eficazmente a consistência de suas respostas, propusemos um critério de correção que considerasse também este comportamento.

Embora este trabalho tenha dado ênfase somente ao comportamento de consistência das respostas, julgamos importante que numa avaliação do desempenho do aluno, todos os comportamentos relevantes requeridos para resolver um problema sejam considerados.

### AGRADECIMENTO

Ao prof. Nagib Lima Feres, do Instituto de Matemática e Estatística da USP, agradecemos a assessoria dada quanto ao método de análise.

(\*) Este trabalho apresenta-se incompleto devido à limitação de páginas imposta pela S.B.F. Se algum colega quiser o trabalho por completo, escreva para os autores.

## ANEXO I

O enunciado deste problema refere-se às questões Q9 a Q22.

Uma granada de massa  $M$  é presa num tipo de "estilingue", cujo elástico de constante  $K$  e comprimento de repouso  $\ell_0$  tem um comportamento ideal. A forquilha do estilingue está fixa na beira de uma rocha, cuja altura em relação à planície é  $y=H$ .

Um rapaz estica o elástico com a granada até a distância  $d=3\ell_0$  da beira da rocha. Faz isto deslocando a granada sobre uma pista especial plana, com espessura desprezível em relação à altura  $H$  da rocha e muito bem polida, colocada horizontalmente sobre a rocha.

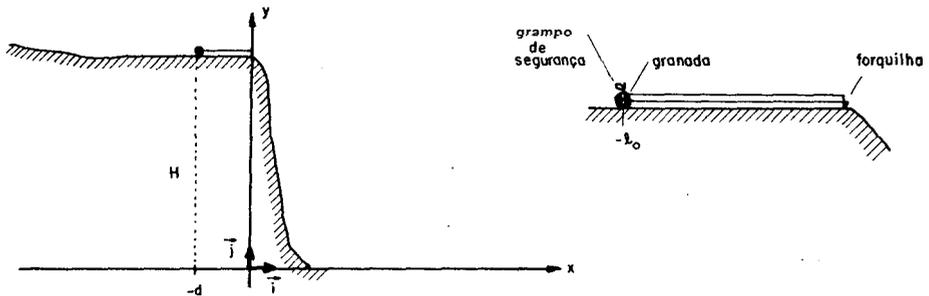
É solto o sistema elástico-granada e a granada deixa a beira da rocha com velocidade  $\vec{v}=v_0\vec{i}$ . Como em qualquer estilingue, o projétil (nossa granada) solta-se do elástico e este fica não distendido, pronto para ser usado novamente.

A granada, para o nosso azar, perdeu, durante o trajeto horizontal sobre a rocha, o grampo de segurança que não permitia a sua explosão. Na altura  $y=\frac{3}{4}H$ , com uma velocidade  $\vec{v}=\vec{v}_g$ , ela explode praticamente em dois fragmentos de massas  $m_1$  e  $m_2=2m_1$ .

O rapaz observa que  $m_1$ , logo após a explosão, ao invés de descer, sobe verticalmente com velocidade  $\vec{v}_1=v_g\vec{j}$  e também observa que  $m_2$  sai da explosão com velocidade  $\vec{v}_2$ .

Depois de algum tempo  $m_2$  atinge o solo, numa colisão totalmente inelástica, e aí fica. Um pouco depois,  $m_1$  também atinge o solo, numa colisão totalmente inelástica, permanecendo aí.

Serão ainda desprezados: a resistência do ar, a distância entre os braços da forquilha do estilingue comparativamente a  $R$  e o tempo de duração da explosão.



Considere os seguintes instantes significativos:

$t_0$  = a granada é largada a uma distância  $d=3l_0$  da beira da rocha.

$t_1$  = a granada atinge a distância  $d_1 = R_1$  da beira da rocha.

$t_2$  = a granada deixa a beira da rocha.

$t_3$  = a granada explode a altura  $y = \frac{3}{4}H$ .

$t_4$  = o fragmento de massa  $m_2$  atinge o solo e aí fica.

$t_5$  = o fragmento de massa  $m_1$  atinge o solo e aí fica.

Q9. Considerando a energia mecânica ( $E_M$ ) do sistema (elástico + granada ou seus fragmentos) como a soma das energias cinética, potencial elástica e potencial gravitacional, qual das afirmações abaixo é correta para energia mecânica?

- a) diminui instantaneamente em  $t_3, t_4$  e  $t_5$ .
- b) diminui instantaneamente em  $t_3$  e aumenta instantaneamente em  $t_4$  e  $t_5$ .
- c) aumenta instantaneamente em  $t_3, t_4$  e  $t_5$ .
- d) aumenta instantaneamente em  $t_3$  e diminui instantaneamente em  $t_4$  e  $t_5$ .
- e) cresce linearmente de  $t_0$  a  $t_5$ .

f) -mantem-se constante de  $t_0$  a  $t_5$ .

Q10. Sobre a energia cinética do sistema ( $E_c$ ) podemos afirmar que:

As mesmas alternativas de Q9.

Q11. A respeito da coordenada  $x$  do CM do sistema ( $x_{CM}$ ), é correto afirmar que:

a) cresce instantaneamente em  $t_3$  e  $t_4$ .

b) cresce instantaneamente em  $t_3$  e diminui instantaneamente em  $t_4$ .

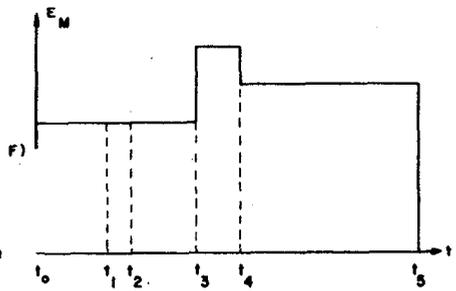
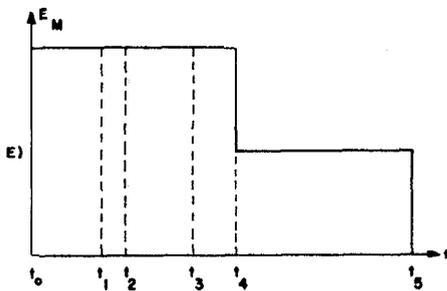
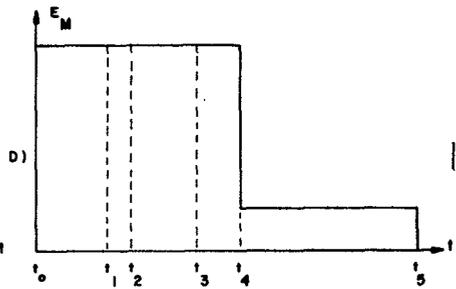
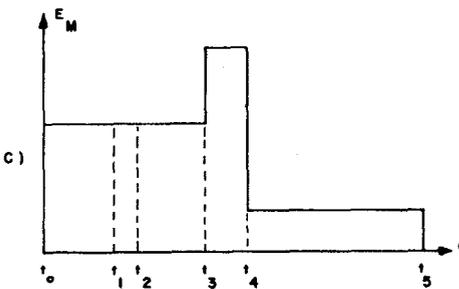
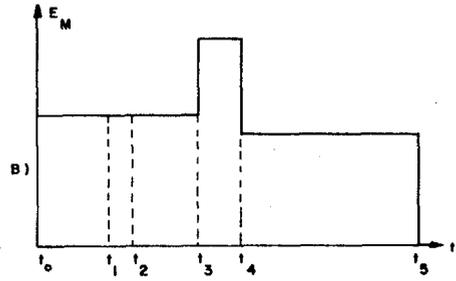
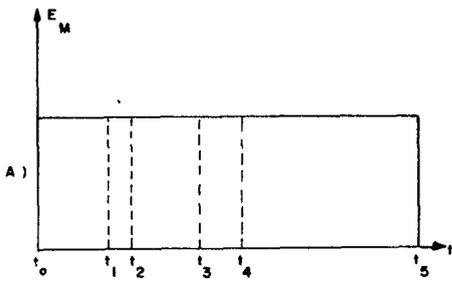
c) diminui instantaneamente em  $t_3$  e  $t_4$ .

d) diminui instantaneamente em  $t_3$  e aumenta instantaneamente em  $t_4$ .

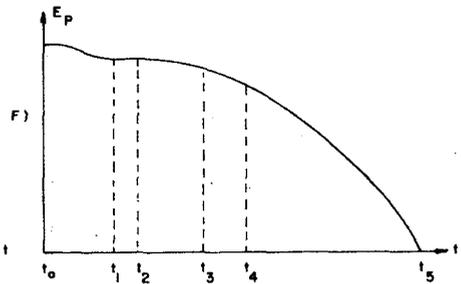
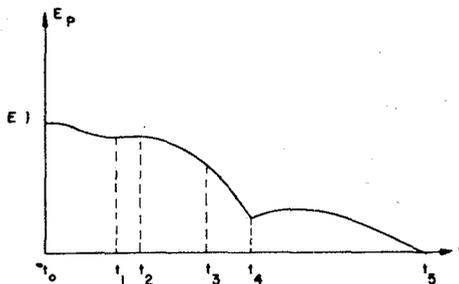
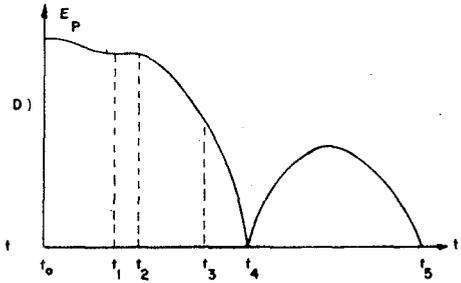
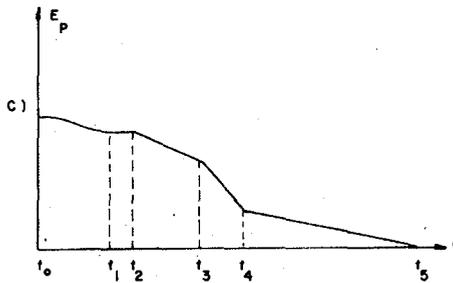
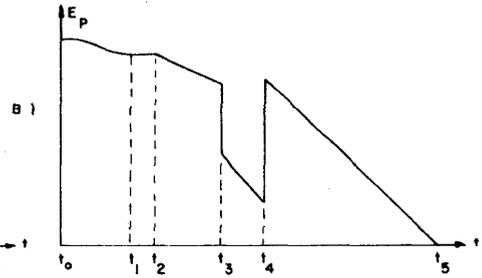
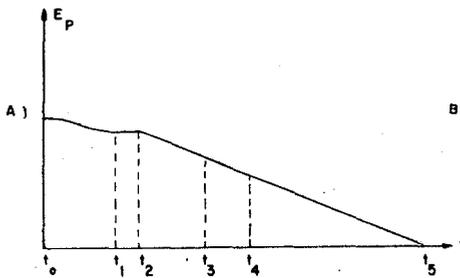
e) cresce linearmente com o tempo de  $t_2$  a  $t_4$ .

f) mantém-se constante de  $t_2$  a  $t_4$ .

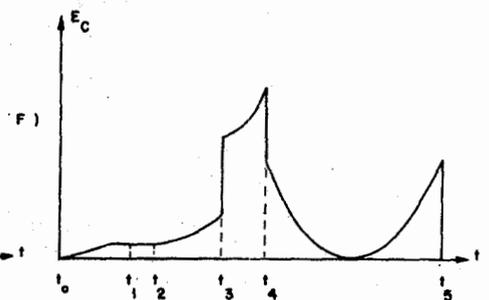
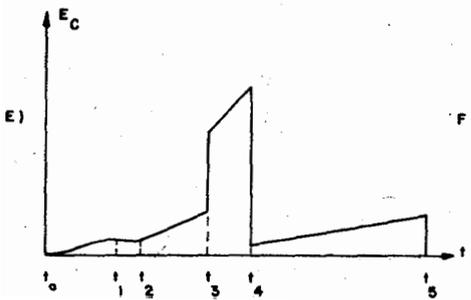
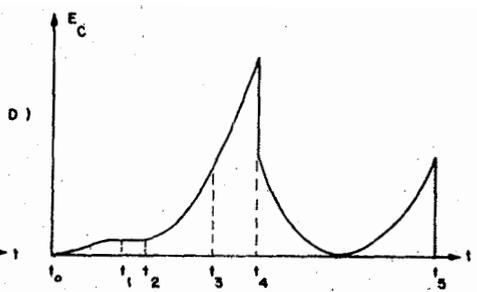
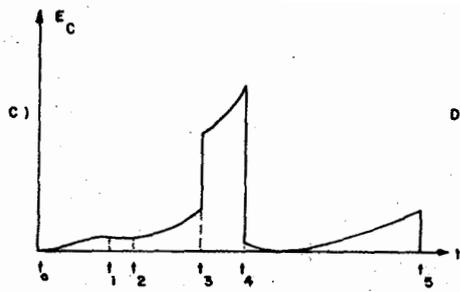
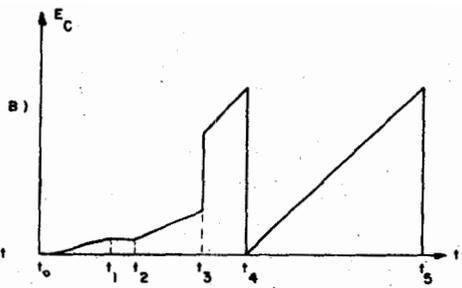
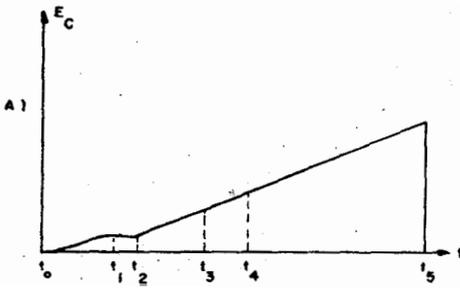
Q15. Qual dos gráficos abaixo melhor representa a Energia Mecânica do sistema ( $E_M$ ) em função do tempo? (Lembre-se que a Energia Mecânica do sistema é a soma de energia cinética, energia potencial elástica e energia potencial gravitacional.)



Q16. Qual dos gráficos abaixo melhor representa a Energia potencial do sistema ( $E_p$ ) em função do tempo? (Energia Potencial do sistema é a soma da energia potencial elástica e energia potencial gravitacional.)



Q17. Qual dos gráficos abaixo melhor representa a Energia Cinética do sistema ( $E_c$ ) em função do tempo?



## ANEXO 2

### SUB-CONJUNTOS RELEVANTES

O conjunto de questões do problema apresentado no teste tem a característica de que, se o aluno for consistente em todas as suas respostas, ele deverá acertar todas as questões.

Podemos dividir o conjunto de questões do problema em vários sub-conjuntos, em função das relações existentes entre as questões. Estes sub-conjuntos são os seguintes:

- 1) sub-conjunto de nível 1: formado de uma questão descritiva e de uma gráfica, ambas envolvendo certos conceitos em comum.
- 2) sub-conjunto de nível 2,3 ou 5: formado, respectivamente de 2,3 ou 5 questões gráficas relacionadas através de relações simples, dadas ou admitidas como conhecidas pelos alunos.

O aluno que tem todos os pré-requisitos relevantes para solução do problema e que escolhe as respostas consistentes, dentro de cada sub-conjunto, apresenta em suas respostas consistência de nível do sub-conjunto definido.

Se todas as respostas apresentadas são consistentes entre si, então dizemos que o aluno apresenta consistência total. Este aluno apresenta, implicitamente, as consistências de níveis 1,2,3 e 5 em suas respostas. O aluno que apresenta consistências de níveis 1,2,3 e 5 pode não apresentar consistência total em suas respostas.

Os onze (11) sub-conjuntos relevantes são:

sub.conjuntos	nível	questões relacionadas	conceitos ou relações físicas
A	1	Q.9 e Q.15	$E_T(t)$
B	1	Q.10 e Q.17	$E_C(t)$
C	1	Q.11 e Q.19	$X_{CM}(t)$
D	1	Q.12 e Q.21	$V_{YCM}(t)$
E	1	Q.13 e Q.22	$I_{PCM}(t)$
F	2	Q.14 e Q.17	$P_{CM}$ e $E_C$
G	2	Q.19 e Q.20	$X_{CM}$ e $V_{XCM}$
H	2	Q.18 e Q.21	$Y_{CM}$ e $V_{YCM}$
I	2	Q.16 e Q.18	$E_p$ e $Y_{CM}$
J	3	Qs.15,16,17	$E_T, E_p$ e $E_C$
K	5	Qs.15/18 e 21	$E_T, E_p, E_C, X_{CM}$ e $V_{YCM}$

Exemplo de um sub-conjunto:

- sub-conjunto J

pré-requisitos: o aluno deve ser capaz de somar gráfico ponto a ponto.

tipos de respostas consistentes:

tipo	alt.Q15	alt.Q16	alt.Q17
I	a	a	a
II	c	e	e
III	e	d	d
IV	c	e	c

TABELAS:

TABELA I

Nível	sub-conjunto	n	$\hat{p}$	$\hat{p}$	i
1	A	58	0,84	0,39	0,35 0,43
1	B	44	0,64	0,30	0,26 0,34
1	C	43	0,62	0,29	0,25 0,33
1	D	47	0,68	0,32	0,28 0,35
1	E	53	0,77	0,36	0,32 0,40
2	F	40	0,58	0,27	0,23 0,31
2	G	36	0,52	0,24	0,20 0,28
2	H	25	0,36	0,17	0,14 0,20
2	I	20	0,29	0,14	0,11 0,16
3	J	10	0,14	0,07	0,05 0,09
5	K	5	0,07	0,03	0,02 0,04
consistência total		0	0	0	0

TABELA II

Nº de sub-conjuntos consistts.	Nº de alunos	Proporção em 148	Proporção em 69
0	79	0,53	-
1	1	0,00	0,01
2	6	0,04	0,09
3	13	0,09	0,19
4	8	0,05	0,12
5	10	0,07	0,14
6	10	0,07	0,14
7	10	0,07	0,14
8	6	0,04	0,09
9	0	0,00	0,00
10	3	0,02	0,04
11	2	0,01	0,03
CT	0	0,00	0,00

TABELA III

Nº de respostas incorretas	Nº de alunos	Proporção em 148	Proporção em 69
0	0	0,00	0,00
1	1	0,00	0,01
2	4	0,03	0,06
3	1	0,00	0,01
4	7	0,05	0,10
5	9	0,06	0,13
6	7	0,05	0,10
7	11	0,07	0,16
8	8	0,05	0,12
9	5	0,03	0,07
10	6	0,04	0,09
11	7	0,05	0,10
12	1	0,00	0,01
13	2	0,01	0,03
14	0	0,00	0,00