

**Análise curricular da prova
e dos resultados da 1.^a chamada da 1.^a fase do exame
nacional da disciplina de Física do 12.^o ano (novos cursos),
realizado em 1996 (Ponto 115)**

Fevereiro de 1998

Vitor Duarte Teodoro
Jorge António Valadares
Alda Matos
Cremilde Caldeira

Examinations tell... our real aims (...). If we stress clear understanding and aim at a growing knowledge of physics, we may completely sabotage our teaching by a final examination that asks for numbers to be put in memorized formulas. However loud our sermons, however intriguing our experiments, students will judge by that exam—and so will next year's students who hear about it.

Eric Rogers, "Examinations: Powerful Agents for Good or Ill in Teaching", *American Journal of Physics*, 37 (10), 954-962, 1969.

- 1 Introdução 3
 - 1.1 A natureza do estudo 3
 - 1.2 As diversas partes do estudo 3
 - 1.3 Conclusão do estudo 3
- 2 A estrutura do teste 5
 - 2.1 Sobre os documentos que se referem ao teste 5
 - 2.2 Tipos de itens 6
 - 2.3 Itens e Unidades do programa 7
 - 2.4 Apresentação gráfica e identificação dos itens 7
 - 2.5 Instruções de correcção/cotação 8
 - 2.6 Análise das questões estruturadas e dos itens de cada questão 8
- 3 Sobre o programa da disciplina 14
 - 3.1 Do programa oficial ao «programa mínimo» 14
 - 3.2 Sugestões sobre a organização do programa 15
- 4 Os resultados dos alunos 17
 - 4.1 Resultados apurados pelo Conselho Nacional de Exames e na amostra utilizada neste estudo 17
 - 4.2 Sumário dos resultados 17
 - 4.3 Análise dos itens 18
 - 4.4 Distribuição das classificações no teste 20
- 5 Consistência da cotação entre vários avaliadores 21
 - 5.1 Introdução 21
 - 5.2 Diferenças entre avaliadores 21
 - 5.3 Conclusão 25
- 6 Sobre a prova-modelo 26
 - 6.1 A prova-modelo vs. o teste de exame 26
 - 6.2 Será útil a prova-modelo? 26
- 7 Comparação do teste com outros teste da década de 1980 e testes de exame do 1.º ano das Universidades 27
 - 7.1 Introdução 27
 - 7.2 Teste de 1983 27
 - 7.3 Exame de Física I e Física Geral I (FCTUNL, 20 de Junho de 1996) 27
 - 7.4 Exame de Física Geral (FCTUC, 15 de Julho de 1996) 28
 - 7.5 Uma questão a analisar 28
- 8 Conclusões e recomendações 29
 - 8.1 Introdução 29
 - 8.2 Adopção de «standards» 29
 - 8.3 Especificações dos testes 29
 - 8.4 Natureza das questões 29

- 8.5 Sobre a determinação da validade dos testes de exame 30
- 8.6 Sobre as cotações dos testes 30
- 8.7 Sobre as equipas de correcção 31
- 8.8 Sobre o formato gráfico do teste 31
- 8.9 Sobre a difusão de informação acerca dos exames 31
- 8.10 Sobre formação de professores 31

1 Introdução

1.1 A natureza do estudo

O presente estudo, desenvolvido no âmbito de um protocolo entre o Instituto de Inovação Educacional e a Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, visa, de acordo com o protocolo,

«a realização de uma análise curricular da prova e dos resultados da 1.^a chamada da 1.^a fase do exame nacional da disciplina de Física do 12.^o ano (novos cursos)»,

realizado em 1996 (Ponto 115). Este exame foi realizado pelos alunos da «Rede Escolar de Amostragem (Portaria n.º 782/90, de 1 de Setembro)» constituída por

1.2 As diversas partes do estudo

De acordo com o plano de trabalho referido no protocolo e sujeito posteriormente a diversos ajustes a solicitação dos serviços do IIE, fez-se:

1. a análise da estrutura da prova e da sua validade de conteúdo;
2. a resolução integral da prova em contexto semelhante a um exame;
3. a análise dos itens;
4. a reclassificação de uma amostra de 29 provas, por 3 correctores, e a análise das discrepâncias entre correctores;
5. a comparação entre o ponto 115 e provas de exame do 12.^o ano da década de 1980 e com provas de exame de disciplinas de Física Geral do 1.^o ano do ensino superior;
6. a elaboração de uma prova-exemplo, com base no ponto 115, mas tendo em conta o que os autores consideram adequado, quer em termos de validade de conteúdo quer em termos de apresentação e classificação de uma prova de exame;
7. a listagem de um conjunto de sugestões respeitantes ao processo de elaboração e validação da prova, de cotação da prova, de disponibilização de informação para alunos e professores sobre os resultados das provas de exame e sobre formação de professores.

1.3 Conclusão do estudo

A principal conclusão do estudo é a de que o teste utilizado no Exame de Física do 12.^o ano na 1.^a Fase, 1.^a Chamada (Ponto 115) é completamente inadequado para um teste de exame porque:

1. É extremamente longo (a sua resolução ocupa 13 páginas em processador de texto!), mesmo tendo em conta que os alunos dispuseram de 2 h em lugar da 1h 30 min que estava inicialmente prevista.
2. A maior parte das questões envolve cálculos que têm que ser realizados com

muita atenção e cuidado, incluindo resoluções de sistemas de equações com equações do 2.º grau. Note-se que algumas das soluções numéricas propostas na correção fornecida às escolas estão *erradas*(!).

3. Há um número muito reduzido de questões conceptuais, havendo apenas uma questão sobre representações não algébricas. Não há, por exemplo, qualquer questão sobre representações gráficas de grandezas em função do tempo, quando é sabido que a capacidade de interpretar gráficos é fundamental a nível cognitivo.
4. É quase certo que o teste não foi resolvido, em condições semelhantes às dos alunos, por qualquer professor, nomeadamente os autores do teste. Se o tivessem feito, facilmente concluiriam que o teste era excessivamente longo e difícil, como o comprovaram três professores com experiência de 12.º ano: nenhum o conseguiu resolver em 1h 30 min. Mesmo considerando o limite de tempo de 2 h, o teste só pode ser resolvido por alunos extraordinariamente competentes, em Física e nos mecanismos de cálculo, sem praticamente tempo para reanalisar as respostas.
5. O teste revela, logo em primeira análise, uma carência de validade de conteúdo, uma característica essencial de qualquer prova de exame.

2 A estrutura do teste

2.1 Sobre os documentos que se referem ao teste

Tanto quanto foi possível apurar, não foi elaborado qualquer conjunto de especificações do teste. Apenas é conhecido um documento (Informação 232/95, de 95/12/18, do DES) que estabelece algumas considerações muito gerais (algumas das quais completamente irrelevantes, e.g., «A cotação da prova é expressa numa escala de 0 a 200 pontos, à qual corresponde o valor máximo de 20 valores»; «A uma pergunta não respondida ou anulada é atribuída a cotação de zero pontos.»).

Alguns dos aspectos referidos nesse documento são discutíveis quanto à sua pertinência ou validade. Por exemplo:

1. «Se a resolução de uma pergunta apresenta erro **exclusivamente** imputável à resolução de uma pergunta anterior, deverá atribuir-se, a pergunta em questão, a cotação integral respectiva».

Sem mais indicações, esta referência pode originar situações confusas, como as devidas ao facto das questões poderem ser mutuamente dependentes quanto à sua natureza conceptual. De facto, por exemplo, que significado tem um aluno calcular correctamente o módulo de uma força num item se no item anterior nem sequer conseguiu identificar a natureza ou a orientação dessa força?
2. «É permitido o uso de máquina de calcular».

Como é sabido, actualmente há muitos tipos de máquinas, algumas das quais são, na realidade, pequenos computadores com software sofisticado (e.g., TI-92 ou alguns modelos da Casio e da HP). Deve ser clarificado que tipo de máquinas é permitido, uma vez que em algumas das máquinas mais potentes é praticamente possível incluir quase tudo o que é necessário o aluno conhecer, quer na forma de texto quer na forma de algoritmos e equações. (Note-se que é nossa opinião que tais máquina poderiam ser utilizadas no exame desde que fosse considerado material curricular obrigatório, a exemplo do que está a suceder no novo programa de Matemática do 10.º ano.)
3. Na tipologia das questões, fazem-se referências a «questões com objectivos centrados na capacidade de aplicação envolvendo cálculos não muito elaborados». Que significado pode ter «cálculos não muito elaborados»? Não seria preferível dar exemplos específicos de «cálculos muito elaborados» e «cálculos pouco elaborados»?
4. A duração prevista era de 90 minutos quando, na realidade, foi de 120 minutos.
5. «A prova avaliará, ainda, as seguintes competências:
 - selecção e análise de dados e actividades experimentais;
 - interpretação de tabelas e/ou gráficos;
 - inferir conclusões a partir de dados experimentais.»
 Nenhum dos itens da prova se refere a este tipo de competências.

2.2 Tipos de itens

Não havendo, pois, qualquer conjunto de especificações do teste, foi necessário inferir essas especificações *a posteriori*, a partir da análise do teste.

Admitiu-se que os autores pretenderam construir um teste com *questões estruturadas*, isto é, questões com uma base comum seguida de diversos itens referentes a essa base.

O Quadro seguinte sistematiza a estrutura do teste, quanto ao tipo de itens das 6 questões que constituem o teste.

Quadro 1: Tipo e cotação dos itens

Tipo	N(%)	Itens	Cotação (%)
Itens de explicação e fundamentação de um procedimento experimental	1 (5%)	3.1	20 (10%)
Itens de resolução de problemas numéricos	15 (62%)	1.2, 1.4 2.1, 2.2, 2.3 3.2 4.2, 4.3, 4.4 5.2, 5.3 6.1, 6.2, 6.3, 6.4	150 (75%)
Itens de interpretação de situações físicas	5 (14%)	1.1, 1.3 4.1 5.1 5.4	30 (15%)

Mais de 2/3 dos itens do teste obrigam à utilização de fórmulas memorizadas e à realização de cálculos, alguns dos quais extremamente longos, como se pode verificar no Anexo 2 (Resolução do teste).

A tabela anterior revela como os itens do teste são uma pobre amostra do universo de itens correspondentes aos conteúdos e às capacidades a avaliar. Há uma carência evidente de itens sobre aspectos conceituais, que permitam avaliar a compreensão da natureza das situações físicas, e um excesso de itens de resolução de problemas numéricos. Estes itens são, no teste, sistematicamente substituídos por itens de resolução de problemas numéricos.

2.3 Itens e Unidades do programa

O programa (apenas se considerou o chamado «Núcleo significativo de conteúdos») refere apenas duas Unidades. É a seguinte a classificação dos itens, nas duas Unidades:

Quadro 2: Classificação dos itens por Unidades do programa

Unidade	Sub-tema na Unidade	N(%)	Itens	Cotação (%)
1 — Forças e movimentos	Dinâmica de uma partícula material em movimento num plano	11 (52%)	1.1 3.1, 3.2 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 5.2 6.1, 6.3, 6.4	109 (54.5%)
	Dinâmica de um sistema de partículas materiais	3 (14%)	1.2, 1.3 6.2	28 (14%)
	Mecânica dos fluidos	1 (5%)	1.4	6 (3%)
2 — Interações e campos	Interação gravitacional e interação electrostática	4 (19%)	2.1, 2.2, 2.3 5.1	41 (20.5%)
	Campo gravitacional. Campo electrostático	1 (5%)	5.3	7 (3.5%)
	Campo magnético da corrente em regime estacionário	1 (5%)	5.4	9 (4.5%)
		15 (71%)		143 (71,5%)
		6 (29%)		57 (28,5%)

A principal ênfase do teste é, pois, no primeiro tópico da primeira Unidade. O teste resume-se, praticamente, a temas de Dinâmica.

2.4 Apresentação gráfica e identificação dos itens

A apresentação gráfica do teste é aceitável, apesar de haver vantagens em acompanhar algumas mais questões com esquemas auxiliares, a exemplo do que acompanha a questão 4. Esse tipo de esquemas auxiliam os alunos a compreender melhor a natureza das situações descritas no texto das questões, auxiliando, por

isso, a conceptualização do que é descrito. As ilustrações deveriam ter sempre, no entanto, características gráficas profissionais, o que não sucede com as três ilustrações que constam da prova.

A identificação dos itens numa numeração em que «n» identifica a base da questão e «n.n» um item a responder não levanta qualquer objecção, apesar de ser preferível a numeração sequencial de todos os itens, uma vez que assim fica mais evidente quantos itens constituem o teste (ver o exemplo de prova no Anexo 3) e facilita todo o processo de classificação da prova.

2.5 Instruções de correcção/cotação

Todos os exames deveriam ser acompanhados de resoluções integrais e não apenas de indicações mais ou menos breves de «Critérios de correcção/cotações». É muito comum, mesmo entre professores experientes, surgirem dúvidas quanto à resolução de certos itens. Além do mais, a resolução integral do teste auxilia a identificar a extensão do teste e a inferir sobre as intenções subjacentes a cada item. Deveria, ser, pois, sempre obrigatório o fornecimento de resoluções integrais, de preferência comentadas, a todos os correctores.

Note-se que algumas das respostas fornecidas como «correcção» estão incorrectas, o que é completamente inaceitável — ver o ponto seguinte.

Um outro aspecto que merece análise é a diversidade de cotação dos itens. Não se compreende uma diversidade tão grande de cotações para itens com o mesmo grau de dificuldade e o mesmo tempo de resposta. A necessidade de se cotar os itens de tal modo que a soma das cotações seja 200 pontos não faz qualquer sentido, numa época em que todos dispomos de calculadoras ou computadores. A cotação dos itens deveria, pois, ser atribuída em função de um critério uniforme (e.g., o tempo estimado de resposta) e não em função do ajuste para o total de 200 pontos.

2.6 Análise das questões estruturadas e dos itens de cada questão

Questão 1

Questão constituída por 4 itens verdadeiro-falso sem qualquer relação entre si. Não se trata, pois, em rigor, de uma questão estruturada.

Questão 1, item 1.1

Item claro e pertinente, uma vez que se refere à aceleração como uma grandeza vectorial, um aspecto fundamental da descrição do movimento.

As instruções de cotação são inadequadas, uma vez que atribuem 2 pontos para se referir que a aceleração tem duas componentes, normal e tangencial, o que não é absolutamente necessário.

Questão 1, item 1.2

Neste item há um conjunto de suposições que os alunos têm que realizar e que deveriam estar explícitas no enunciado do item. Por exemplo, não está dito que a

barra é homogénea e que ℓ representa o comprimento da barra, não a distância ao eixo de rotação.

As instruções de correção utilizam, inadequadamente, a mesma letra para o momento angular ($\vec{\ell}$) e para o comprimento da barra (ℓ). A representação

convencional¹ para momento angular é \vec{L} ou L sendo a primeira a mais utilizada no ensino secundário.

É curioso observar que, com certas grandezas vectoriais, há necessidade no teste de referir que se trata de um vector. Por exemplo, em 1.1 refere-se o «vector aceleração». Para outras grandezas, já não parece haver essa necessidade, como é o caso do momento angular. Deveria haver coerência em todo o teste neste tipo de linguagem. E essa coerência não exige que se mencione o «vector aceleração». Como grandeza vectorial que é, quando se fala de «aceleração» está-se a falar de um vector. Se se pretender referir apenas o seu módulo ou magnitude (ou *norma de ordem 2*, o que é absolutamente desnecessário), essa indicação deve ser explícita.

Questão 1, item 1.3

Este item exige apenas a explicitação do que é uma colisão inelástica. A sua formulação é adequada ao tipo de item (V-F).

Não se compreende que as instruções de correção diferenciem entre «as esferas seguem juntas» e «as velocidades de ambas as esferas são iguais».

Questão 1, item 1.4

Tal como está formulado, este item é inadequado para item do tipo verdadeiro-falso. De facto, ao se apresentarem as densidades da madeira e da água e as dimensões dos objectos, está-se a sugerir a realização de cálculos, que não são fundamentais para a resposta. No item, deveria apenas ser indicado que a madeira tem menor densidade que a água e que o diâmetro da esfera é igual à aresta do cubo. É, aliás, este tipo de raciocínio que é sugerido nas instruções de correção.

Questão 2

Um número elevado de alunos não compreendeu adequadamente um aspecto não fundamental implícito na base da questão: o facto da órbita inicial ter um raio três vezes superior ao raio da Terra, uma vez que se refere a *altitude* do satélite. Esta dificuldade criada pela base da questão é, apenas, um «truque» que dificulta a resposta e não tem qualquer interesse do ponto de vista da compreensão física do problema. A manter-se a opção por este «truque» no enunciado da questão, esta deveria vir acompanhada de um esquema. A existência deste tipo de pré-requisitos, que não fazem parte do objectivo a avaliar, é condenada por toda a literatura de avaliação educacional.

Por outro lado, ao se solicitar a «relação matemática» não fica completamente inequívoco o que é solicitado. Seria preferível utilizar termos como «estabeleça a relação de grandeza» ou «quantas vezes é maior ... na órbita inicial».

¹Ver International Union of Pure and Applied Physics (1987). *Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics*. Document I.U.P.A.P.-25.

O tema desta questão é especialmente adequado para se formularem questões conceptuais. No entanto, dois dos itens (2.2 e 2.3) apenas dizem respeito à aplicação de fórmulas, com um interesse muito relativo. Mesmo no item 2.1, no qual se pressupõe a análise conceptual da situação, não é colocada explicitamente qualquer interrogação desse tipo.

Questão 2, item 2.1

O termo *velocidade linear* não é referido nas normas internacionais da I.U.P.A.P. O item deveria referir-se, simplesmente, ao «módulo (ou magnitude) da velocidade»¹.

Questão 2, item 2.2

O programa refere por mais do que uma vez que a energia potencial diz sempre respeito a um sistema de partículas, não exclusivamente a uma partícula (o satélite, neste caso). Por isso, deveria ter sido utilizada uma formulação do tipo «energia potencial do sistema satélite-Terra».

Questão 2, item 2.3

Ao contrário do item 1.2, agora já se refere o «módulo do momento angular». As instruções de correcção apresentam apenas uma das várias soluções possíveis, precisamente a mais complexa.

Questão 3

Esta questão corresponde ao imperativo do programa que exige a realização de trabalhos experimentais (que, de acordo com o nosso conhecimento, não são em grande parte realizados nas escolas, apesar de obrigatórios).

A questão está insuficientemente estruturada. De facto, deveria ser solicitado como primeiro item a análise conceptual da situação, indicando o diagrama de forças. Esse aspecto, que é fundamental como representação, nem sequer é considerado nas instruções de cotação. Nestas, apenas são mencionadas as fórmulas para cálculo das diversas componentes ou magnitudes das forças em causa. Esta questão mostra que o teste privilegia as representações algébricas em detrimento das representações gráficas, actualmente consideradas de importância fundamental para a correcta compreensão das situações físicas.

Tal como noutras questões, não há uniformidade quanto à indicação de algarismos significativos nos dados das questões. Por exemplo, a massa é indicada como « $5,0 \times 10^{-1}$ kg» e o comprimento da régua como «um metro de comprimento».

Questão 3, item 3.1

Questão desadequada para uma prova de exame, apesar de adequada em contexto de trabalho na sala de aula, onde é possível ajudar os alunos a estruturar respostas a este tipo de questões. Nas instruções de correcção não é clara a afirmação

¹O programa da disciplina faz, incorrectamente, referência a este termo, como se refere na secção em que a analisamos o programa.

«Determinação da altura do plano... 1 ponto», isolada da «Descrição dos procedimentos... 6 pontos».

Apesar de utilizada em alguns livros, não é adequado nem está de acordo com as normas internacionais a utilização de símbolos diferentes para a mesma grandeza. Assim, as instruções de correcção (e o programa!) devem referir qualquer força por \vec{F} , utilizando índices quando adequado (e.g.: força normal ao plano, \vec{F}_N em vez de \vec{N} ; força de tensão, \vec{F}_T em vez de \vec{T}).

Questão 3, item 3.2

As instruções de correcção são excessivamente complexas, na medida em que referem que ao item pode ser atribuída parte da cotação do item anterior. Não haveria necessidade deste tipo de inter-relação entre itens, nem sempre evidente quando se está a corrigir provas, se a questão estivesse devidamente estruturada.

Questão 4

Questão 4, item 4.1

Nesta questão, a compreensão da situação física implica explicitar uma direcção aproximada para a resultante das forças (que não é tangente à trajectória). Como não é solicitado explicitamente, muitos alunos representaram as forças sem qualquer preocupação de escala, tendo os correctores considerado quase sempre como correcto o que, de facto, não está. Só assim se compreende que esta questão tenha uma cotação média de quase 90%. Seria muito útil e relevante que neste tipo de questões se atendessem também às escalas, nomeadamente escalas relativas, e às direcções e sentidos dos vectores (nomeadamente dos vectores resultantes).

Questão 4, item 4.2

Esta é uma das questões mais complexas, que envolve uma série de passos que poderiam ser facilitados se se incluíssem itens que permitissem testar a compreensão da relação entre as duas forças exercidas no pêndulo, a respectiva resultante, o sentido e a direcção dessa resultante e as componentes centrípeta e tangencial dessa resultante. Tal como apresentada, apesar de ter uma cotação média relativamente alta (41%), reforça-se a utilização de soluções-tipo (que são normalmente apresentadas rotineiramente) em detrimento da reflexão sobre a natureza da situação física.

Nas instruções de correcção menciona-se «energia mecânica» em vez de «variação de energia mecânica». Utilizar «variações de energia» em vez de «energia» é importante para compreender a natureza da grandeza energia. Deve-se, por isso, preferir abordar este tipo de problemas em termos de *variação de energia mecânica*.

Questão 4, itens 4.3 e 4.4

Estes itens deveriam anteceder o anterior, na medida que são mais acessíveis e ajudam a compreender a natureza do problema.

Questão 5

Questão 5, item 5.1

Esta pergunta conceptual é adequada como primeiro item da questão estruturada na medida em que auxilia o aluno a analisar a situação física descrita. As instruções de cotação não contemplam as várias respostas possíveis, na medida em que se referem à carga das placas que provocam a travagem do electrão e não ao seu potencial. De facto, ambas as placas poderiam ter o mesmo tipo de carga.

Questão 5, item 5.2

Este é um item sobre movimento com aceleração constante, integrado num contexto de campo eléctrico. Os cálculos envolvidos são demorados e exigem muita atenção na sua realização. Deveria ser o último item desta questão estruturada, sendo antecedido de uma questão conceptual sobre a *forma* como é resolvido.

Questão 5, item 5.3

Num contexto de exame, deveria ser evitado o uso de termos que se podem prestar a alguma ambiguidade. É o caso do termo «caracterize», utilizado neste item. Poderia ser substituído por algo do tipo «Caracterize (indicando o módulo, a direcção e o sentido) o vector campo eléctrico...».

Questão 5, item 5.4

Item adequado.

Questão 6

Este é um tipo de questões que nunca deveria ser realizado. De facto, pode afirmar-se que se trata de uma questão apenas sobre a *aplicação de modelos* e leis da Física, mas que não tem qualquer sentido de «realidade».

Todos os itens pedem apenas a resolução de questões numéricas, envolvendo cálculos muito demorados em alguns casos, encadeados uns nos outros. A resolução da questão 6.4 depende da 6.3, a 6.3 da 6.2 e a 6.2 da 6.1. Esta situação é inaceitável num teste de exame.

Na base da questão refere-se a grandeza «quantidade de movimento», em vez de «momento linear», designação actualmente mais utilizada. Numa prova de exame, sempre que se utilize uma designação em desuso, deve ser indicada também a designação actual.

Questão 6, item 6.1

Este item é irrelevante. Já na questão anterior se havia solicitado ao aluno a utilização da equação da energia cinética de uma partícula.

Questão 6, item 6.2

Item extremamente complexo, com imensos passos, completamente inaceitável num exame. A sua resposta ocupa duas páginas, envolve a resolução de várias equações e um sistema de equações (uma delas, do segundo grau)! A solução proposta nas instruções de correcção está errada (é 0.18 m em vez de 0.20 m)!

Questão 6, item 6.3

Este tipo de questões, que é normalmente resolvida sem grandes problemas pela maioria dos alunos, foi resolvida por um número relativamente pequeno, devido certamente ao facto de necessitar de dados dos itens anteriores. Não se pode compreender tal situação numa prova de exame.

A solução proposta está, também, errada, devido à dependência do erro no item anterior.

Questão 6, item 6.4

Tal como a anterior, esta solução também está errada, uma vez que depende das anteriores.

3 Sobre o programa da disciplina

3.1 Do programa oficial ao «programa mínimo»

A aprovação de programas que posteriormente são reduzidos sem qualquer critério explícito é uma tradição infeliz no ensino em Portugal. O «programa mínimo», actualmente designado por «Orientações de gestão dos programas» são, frequentemente, na prática, o *programa*. Não há qualquer razão para o programa oficial não ser claramente exequível. É evidente que isso implicaria um muito maior cuidado na sua elaboração, nomeadamente na especificação dos conteúdos, das actividades, dos objectivos, das aulas previstas para os diversos conteúdos e actividades, etc.

O programa lista uma série de tópicos como «facultativos». Não se compreende que esses tópicos sejam incluídos no programa, tendo em conta que os que não são facultativos já parecem exceder a capacidade de leccionação.

No programa existe um número elevado de «objectivos» e «sugestões de actividades» de validade, interesse ou exequibilidade muito discutível. Vejamos algumas.

1. «Expressar a aceleração em função das suas componentes tangencial e normal.» (p. 18).
Expressar é um termo ambíguo: pretende-se utilizar equações? Representações vectoriais? Note-se que, para além de algumas situações simples, as equações das componentes tangencial e normal da aceleração são bastante complexas, não sendo, por exemplo, abordadas na maioria dos livros universitários nos EUA.
2. «Identificar as características importantes da transformação de Galileu:
 - o carácter absoluto do tempo e a relatividade do espaço percorrido;
 - a invariância das distâncias espaciais.» (p. 18).
 Sem mais qualquer referência e tendo em conta que a maior parte dos professores que leccionam Física têm uma formação muito incompleta em Teoria da Relatividade, compreende-se que esta referência do programa não seja muito esclarecedora para a maioria dos professores.
3. «Leitura e análise de informação sobre a *lei do trabalho-energia* para um sistema de partículas (Por exemplo, University Physics - H. Benson).» (p. 23).
 A referência a um livro universitário, em inglês, só disponível em Portugal numa única livraria científica, para abordagem de um tema tão complexo – no próprio livro é considerado como tema complementar – não deixa de ser extremamente curioso e original.
4. «Análise e discussão de questões que envolvam a aplicação do conceito de momento angular, da lei da variação do momento angular, da lei de Newton do movimento de rotação, da lei da conservação do momento angular e conceito de energia cinética de rotação.» (p. 23).
 Que algo de diferente se pode fazer nestes temas? E pretende-se análise quantitativas, semi-quantitativas ou apenas qualitativas?

5. Nos quadros «Conteúdos/Objectivos/Sugestões de actividades» do programa surgem *sugestões de actividades* com a menção de «Actividade obrigatória». Trata-se, evidentemente, de uma contradição. Ou será uma «sugestão obrigatória»?

O programa oficial nunca foi considerado, de facto, o programa da disciplina. No ano de 1996, que abrangeu apenas os alunos da rede escolar de amostragem, apenas foram consideradas as Unidades 1 e 2. Nos anos de 1997 e de 1998 sucedeu o mesmo, apesar da Informação N.º 232/95 do DES, referente à prova de Física, afirmar explicitamente de que as restrições «não deveriam constituir referência para as provas de exame final nos próximos anos». A Unidade 3, um tema novo que já não é leccionado há muito tempo no ensino secundário («Fenómenos que envolvem campos electromagnéticos variáveis») não é leccionado e não é incluído no exame.

Comparando o programa português com programas de outros países europeus e americanos facilmente se conclui que em Portugal se aborda apenas uma fracção muito limitada dos temas estudados nesses países, mesmo considerando a totalidade do programa português e não apenas o que é considerado para exame. Este facto está, sem dúvida, relacionado com o nível de aprofundamento do programa português, em particular no que diz respeito a questões de índole numérica. Pode dizer-se, sem excesso, que muitos dos temas do 12.º ano estudados em Portugal são aprofundados a um nível superior ao que é apresentado nos livros de Física Geral universitária para os estudantes americanos¹. Há, sem dúvida, necessidade de analisar urgentemente a profundidade com que são abordados os temas de Física em Portugal.

Esta necessidade é evidenciada pelos livros de Física referidos na bibliografia do programa, uma bibliografia que não tem qualquer critério e que apresenta obras impossíveis de encontrar no mercado português e, até, americano². Misturam-se livros de divulgação, publicados no Brasil em 1970 (há mais de 25 anos!)³ com compilações sobre os avanços recentes em Física⁴, com manuais universitários americanos e com manuais escolares portugueses da década de 70, há muito fora do mercado.

3.2 Sugestões sobre a organização do programa

Tal como está organizado o programa, torna-se extremamente difícil a sua utilização pelos professores. Os temas seguem-se em quadros de difícil leitura, com objectivos tecnicamente mal definidos (um número muito elevado de objectivos refere-se a mais do que um objectivo) e muitas sugestões de actividades irrelevantes ou insuficientemente explícitas.

¹Compare-se, por exemplo, as questões do exame com as questões que surgem em Hans C. Ohanian (1994), *Principles of Physics*, NY: W. W. Norton, o livro adoptado em Física no 1.º ano na Universidade de Harvard.

²Por exemplo, refere-se o livro clássico de Eric Rogers, *Physics for the Inquiring Mind*, que nem na sede da respectiva editora, em Princeton, EUA, é possível encontrar!

³*Aprenda a Teoria da Relatividade Brincando*.

⁴*The New Physics*.

Deste modo, sugere-se que, no futuro programa, se considerem os seguintes aspectos, quanto à sua organização:

1. Identificação de Unidades pequenas, leccionáveis em 2 ou 3 semanas de aulas.
2. Identificação, sem ambiguidades, dos conteúdos e objectivos, devendo estes ser tecnicamente bem formulados.
3. Exemplificação do nível de aprofundamento com que os temas são abordados, indicando, se necessário, exemplos de questões que se espera que os alunos sejam capazes de responder.
4. Identificação das actividades experimentais obrigatórias mas exequíveis num laboratório escolar.

4 Os resultados dos alunos

4.1 Resultados apurados pelo Conselho Nacional de Exames e na amostra utilizada neste estudo

Os resultados apurados na amostra que nos foi fornecida são coerentes com os resultados constantes do Relatório do Conselho Nacional de Exames, apesar de superiores, em média, em 0,5 valores, conforme se pode observar no Quadro seguinte.

Quadro 3: Resultados apurados na amostra vs. resultados indicados no Relatório do Conselho Nacional de Exames

	Relatório do Conselho Nacional de Exames	Resultados apurados na amostra
N	496	477
Média	7.6	8.1
Desvio-padrão	5.3	5.4

4.2 Sumário dos resultados

O Quadro 4 sistematiza os resultados apurados na amostra.

Quadro 4: Resultados apurados na amostra, síntese

N	477
N.º de itens	21
Média	8.1
Desvio-padrão	5.4
Fidelidade ^a	0.907
Erro-padrão de medição	16.5
Discriminação média dos itens (correlação média item-teste)	0.590
Correlação média item-item	0,378

a. Alfa de Cronbach.

Como se pode observar no Quadro, as características técnicas do teste são bastante aceitáveis, apesar da média ser significativamente inferior a 50%.

4.3 Análise dos itens

O Quadro 5 apresenta a análise dos itens do teste.

A *facilidade* corresponde ao quociente entre a cotação média e a cotação máxima atribuída ao item.

O *desvio-padrão* é a raiz quadrada da variância das cotações no item. Traduz a variabilidade das respostas em cada item.

O *índice de discriminação* é o coeficiente de correlação entre as cotações no item e as cotações no total do teste, descontando a cotação no item.

A totalidade dos itens apresenta características técnicas aceitáveis. Há, no entanto, um défice de itens com facilidade elevada.

Quadro 5: Análise dos itens

Item	Cotação	Cotação média	Facilidade	Desvio-padrão	Discriminação
1.1	6	2.5	0.42	0.42	0.513
1.2	6	3.1	0.51	0.41	0.570
1.3	6	1.4	0.24	0.37	0.312
1.4	6	2.3	0.38	0.37	0.488
2.1	15	6.5	0.43	0.38	0.730
2.2	6	2.8	0.47	0.42	0.594
2.3	15	5.2	0.35	0.40	0.680
3.1	20	6.4	0.32	0.34	0.587
3.2	5	2.7	0.54	0.77	0.505
4.1	4	3.5	0.88	0.26	0.413
4.2	18	7.3	0.41	0.45	0.669
4.3	5	3.1	0.61	0.44	0.707
4.4	5	2.3	0.46	0.47	0.693
5.1	5	2.0	0.39	0.42	0.592
5.2	14	4.9	0.35	0.41	0.650
5.3	7	2.5	0.36	0.39	0.664
5.4	9	2.5	0.28	0.38	0.507
6.1	15	9.0	0.60	0.43	0.636
6.2	16	5.9	0.37	0.39	0.594
6.3	7	2.2	0.31	0.40	0.592
6.4	10	2.3	0.23	0.38	0.597

4.4 Distribuição das classificações no teste

Os gráficos seguintes mostram a distribuição de frequências, em intervalos de 1 valor.

Gráfico 1: Distribuição de frequências

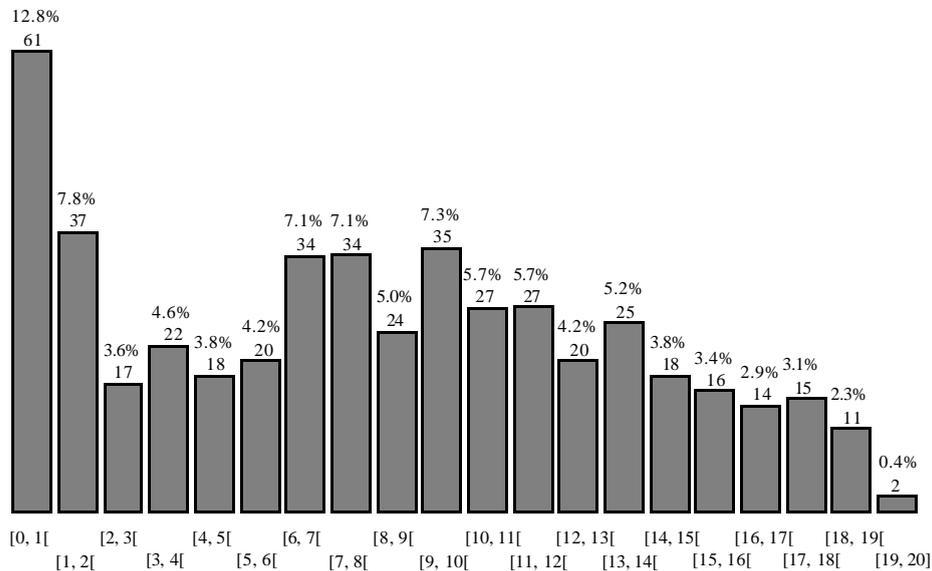
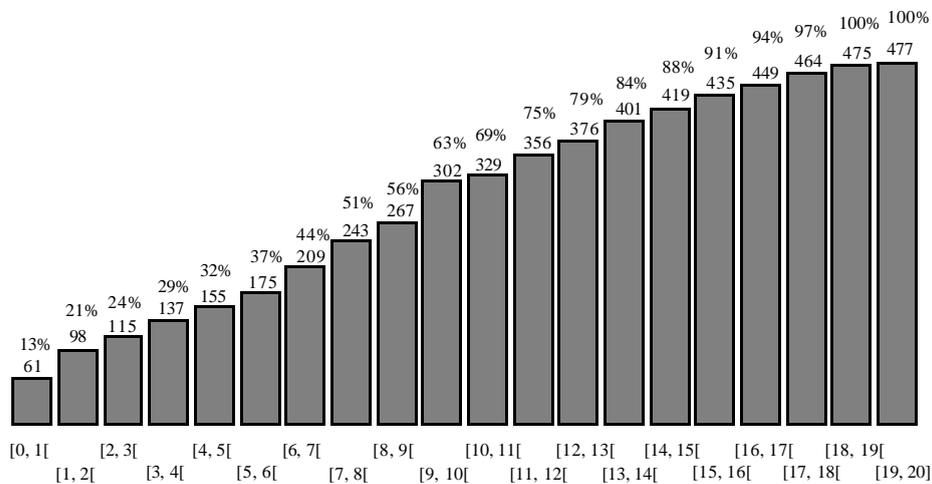


Gráfico 2: Distribuição cumulativa de frequências



Estas distribuições de frequência evidenciam um facto relativamente comum nos exames: há, na realidade, duas populações a fazer exame. Uma população com uma preparação muito deficiente (vejam-se as elevadas frequências no intervalo 0 a 3) e uma população «tradicional», medianamente preparada, com média no intervalo de 9 a 10 valores.

5 Consistência da cotação entre vários avaliadores

5.1 Introdução

Um dos problemas clássicos na cotação de provas de exame é a falta de consistência entre avaliadores. Neste exame, e nos exames portugueses em geral, não há qualquer preocupação de minimizar as inevitáveis diferenças entre avaliadores.

Feita a reclassificação de 29 provas por três professores experientes na correcção de provas de 12.º ano, determinou-se se havia ou não diferenças estatisticamente significativas entre os três novos correctores, e entre os três novos correctores e o corrector «oficial».

5.2 Diferenças entre avaliadores

O Quadro 6 apresenta as classificações, por aluno, do corrector «oficial» e dos três novos correctores.

Como se pode observar no Quadro, apesar de, em média, a diferença ser pequena e não significativa (ver Quadro 7), há 4 testes em que a diferença é sempre superior a 10 pontos, havendo inclusivamente um caso em que a diferença é de 43 pontos.

No Quadro 7 e no Quadro 8 mostram-se os resultados da análise de variância por item e no total do teste, com e sem o corrector oficial. Os resultados mostram que há diferenças significativas em menos de metade das questões e que as médias entre os três novos correctores diferem significativamente (apesar de, entre os quatro correctores tal não ocorrer).

Quadro 6: Cotações atribuídas pelo corrector «oficial» e pelos três novos correctores

Teste	corrector «oficial»	C1		C2		C3	
1	62	51	-11	54	-8	58	-4
2	75	71	-4	68	-7	72	-3
3	155	152	-3	148	-7	156	1
4	127	125	-2	107	-20	121	-6
5	136	108	-28	93	-43	103	-33
6	160	166	6	144	-16	158	-2
7	137	137	0	122	-15	124	-13
8	78	73	-5	75	-3	73	-5
9	100	100	0	90	-10	101	1
10	67	62	-5	60	-7	61	-6
11	67	63	-4	65	-2	70	3
12	87	93	6	75	-12	71	-16
13	105	99	-6	104	-1	97	-8
14	69	78	9	62	-7	62	-7
15	76	77	1	73	-3	70	-6
16	100	100	0	107	7	106	6
17	66	70	4	77	11	73	7
18	60	54	-6	62	2	55	-5
19	96	91	-5	78	-18	87	-9
20	65	60	-5	54	-11	63	-2
21	73	71	-2	56	-17	61	-12
22	69	65	-4	72	3	67	-2
23	139	148	9	145	6	151	12
24	141	148	7	158	17	146	5
25	109	144	35	134	25	140	31
26	113	117	4	116	3	105	-8
27	129	148	19	141	12	139	10
28	123	132	9	137	14	138	15
29	105	127	22	111	6	109	4
média	99.6	101	1.4	96.1	-3.5	97.8	-1.8

Quadro 7: Análise de variância, por item e total, factor «Corrector», incluindo o corrector «oficial»

Item	Cotação	ANOVA					Corrector			
		Efeito	Erro	F	p		Corrector «oficial»	C1	C2	C3
1.1	6	2.65	0.57	4.66	0.0046	s.	4.24	4.62	3.90	4.38
1.2	6	4.49	0.51	8.82	0.0000	s.	3.69	3.21	2.79	3.52
1.3	6	0.12	0.13	0.95	0.4184		0.93	0.79	0.93	0.90
1.4	6	1.02	0.94	1.09	0.3584		2.83	3.24	2.97	2.86
2.1	15	1.85	1.86	1.00	0.3985		8.21	8.07	7.90	7.62
2.2	6	1.72	0.43	4.04	0.0098	s.	3.07	3.17	3.38	2.79
2.3	15	23.23	7.84	2.96	0.0368	s.	6.66	6.59	4.76	5.66
3.1	20	4.03	8.56	0.47	0.7034		9.83	10.38	9.52	9.69
3.2	5	6.31	3.61	1.75	0.1631		3.90	3.00	3.97	3.31
4.1	4	0.71	0.11	6.39	0.0006	s.	4.00	3.83	3.62	3.86
4.2	18	2.51	1.17	2.15	0.1002		10.86	10.93	10.28	10.69
4.3	5	0.44	0.41	1.06	0.3716		3.83	3.72	3.79	3.55
4.4	5	0.31	0.76	0.41	0.7462		2.31	2.52	2.31	2.31
5.1	5	1.31	0.41	3.23	0.0264	s.	2.14	2.14	1.69	2.03
5.2	14	5.17	1.44	3.59	0.0170	s.	3.59	3.69	4.52	4.07
5.3	7	0.93	0.43	2.19	0.0952		2.97	3.07	3.07	2.69
5.4	9	2.54	2.06	1.23	0.3023		2.59	3.31	2.93	2.93
6.1	15	1.55	2.20	0.70	0.5529		11.17	11.66	11.41	11.66
6.2	16	1.45	4.09	0.35	0.7860		7.34	7.14	6.83	7.24
6.3	7	1.89	0.69	2.71	0.0500	s.	2.86	2.79	2.31	2.79
6.4	10	2.86	1.11	2.57	0.0594		2.62	3.17	3.28	3.28
Total		131.61	53.09	2.48	0.0667		99.62	101.03	96.14	97.83

Quadro 8: Análise de variância, por item e total, factor «Corrector», sem o corrector «oficial»

Item	Cotação	ANOVA					Corrector		
		Efeito	Erro	F	p		C1	C2	C3
1.1	6	3.94	0.66	6.00	0.0043	s.	4.62	3.90	4.38
1.2	6	3.83	0.64	6.01	0.0043	s.	3.21	2.79	3.52
1.3	6	0.15	0.10	1.47	0.2392		0.79	0.93	0.90
1.4	6	1.11	0.86	1.29	0.2836		3.24	2.97	2.86
2.1	15	1.48	0.99	1.49	0.2340		8.07	7.90	7.62
2.2	6	2.56	0.53	4.86	0.0113	s.	3.17	3.38	2.79
2.3	15	24.22	6.49	3.73	0.0301	s.	6.59	4.76	5.66
3.1	20	6.03	11.02	0.55	0.5815		10.38	9.52	9.69
3.2	5	7.05	3.81	1.85	0.1667		3.00	3.97	3.31
4.1	4	0.49	0.10	4.87	0.0112	s.	3.83	3.62	3.86
4.2	18	3.18	1.28	2.49	0.0921		10.93	10.28	10.69
4.3	5	0.45	0.44	1.03	0.3646		3.72	3.79	3.55
4.4	5	0.41	0.87	0.48	0.6227		2.52	2.31	2.31
5.1	5	1.60	0.45	3.51	0.0365	s.	2.14	1.69	2.03
5.2	14	4.98	1.22	4.10	0.0219	s.	3.69	4.52	4.07
5.3	7	1.39	0.47	2.93	0.0614		3.07	3.07	2.69
5.4	9	1.39	1.93	0.72	0.4903		3.31	2.93	2.93
6.1	15	0.56	0.30	1.87	0.1637		11.66	11.41	11.66
6.2	16	1.34	4.27	0.31	0.7313		7.14	6.83	7.24
6.3	7	2.25	0.81	2.77	0.0711		2.79	2.31	2.79
6.4	10	0.10	0.35	0.29	0.7474		3.17	3.28	3.28
Total		179.39	33.00	5.44	0.0070	s.	101.03	96.14	97.83

5.3 Conclusão

Estes resultados mostram a necessidade de criar procedimentos que diminuam as diferenças entre correctores e a incerteza na cotação dos exames. É difícil compreender que tal não seja prática corrente nos exames portugueses, ao contrário do que sucede em todos os restantes países. Na secção 8 deste relatório apresentamos algumas sugestões nesse sentido.

6 Sobre a prova-modelo

6.1 A prova-modelo vs. o teste de exame

A prova-modelo é constituída por 6 questões estruturadas, com um total de 19 itens. Desses, apenas 5 se referem à análise conceptual de situações físicas, sendo os restantes 14 itens de resolução de problemas numéricos.

O tipo de itens e o seu grau de dificuldade são comparáveis às do teste de exame. Praticamente todos os comentários realizados acerca do teste de exame são aplicáveis à prova-modelo. Por exemplo:

1. É excessivamente extensa para o tempo disponível.
2. Privilegia a resolução de questões numéricas, algumas com um número excessivo de cálculos encadeados.

Tal como o teste, também a prova-modelo corresponde a um certo estereoripo de questões de Física: todas as situações descritas são situações ideais, que resultam exclusivamente da aplicação de modelos matemáticos para situações ideais, nunca sendo discutido os limites e os contextos de validade desses modelos matemáticos. Este tipo de questões são sempre elaboradas a partir dos modelos matemáticos e não a partir da análise de situações reais, com as inevitáveis incertezas e limitações que tem a observação.

6.2 Será útil a prova-modelo?

Não há consenso generalizado sobre a utilidade de provas-modelo. De facto, argumentam alguns, que a prova-modelo condiciona excessivamente as práticas lectivas. Argumentam outros que, pelo contrário, a prova-modelo informa alunos e professores do nível de profundidade desejado e do tipo de teste.

Em princípio, não nos parece inadequado a existência de provas-modelo desde que essas provas **influenciem positivamente as práticas escolares**, o que não é nem tem sido o que tem acontecido. De facto, a prova-modelo, tal como o exame, reforça todo um conjunto de práticas escolares onde não há lugar à reflexão e à verbalização sobre a natureza dos fenómenos físicos, à representação e explicação do real e das limitações dessas representações e explicações, à análise de situações experimentais a partir de dados concretos e efectivamente obtidos em experiências.

A questão não está, pois, na existência ou não existência de provas-modelo mas sim de que tipo de prova se faz.

7 Comparação do teste com outros teste da década de 1980 e testes de exame do 1.º ano das Universidades

7.1 Introdução

Não foi possível ao Ministério da Educação fornecer testes de exames de anos anteriores. Seria de extrema utilidade comparar-se a evolução dos testes de exame de 12.º ano e das «provas específicas de acesso ao ensino superior» nos últimos 18 anos. De facto, a observação de alguns testes sugere que o nível de dificuldade dos testes e a sua extensão tem aumentado gradualmente. Muito provavelmente, isso é devido ao facto de ser ter constituído um corpo de professores na maior parte das escolas «especialistas» em 12.º ano, cada vez mais familiarizados com os temas do programa, o que lhes permite um maior aprofundamento dos assuntos, em detrimento da abordagem de novos temas ou de temas não constantes nos programas mínimos.

Apesar de não se ter realizado esse estudo, julgamos ser útil descrever brevemente um desses testes e dois testes do 1.º ano do ensino superior¹.

7.2 Teste de 1983

Ponto 49, 1.ª Fase, 1.ª Chamada, 12.º ano de escolaridade — Via de Ensino.

O teste consta de 11 a 13 itens (consoante as questões que se escolherem). Apenas cerca de metade das questões envolvem resolução de problemas numéricos. É mais vasta a lista de assuntos a que se referem as questões (envolve, por exemplo, também oscilações e ondas). Há maior concretização das questões, não se observando, praticamente, recurso a cálculos com equações literais.

7.3 Exame de Física I e Física Geral I (FCTUNL, 20 de Junho de 1996)

Teste constituído por apenas 4 questões estruturadas (9 itens no total) com a duração de 3 horas. Destinado a alunos de todas as licenciaturas em Engenharia. Uma das questões é específica para cada licenciatura. Todos os itens envolvem a resolução de problemas numéricos.

Com excepção de duas das questões específicas, todas as restantes questões são utilizáveis no 12.º ano. Um professor de 12.º ano não distinguiria se se tratariam de questões do ensino superior ou do ensino secundário.

¹Incluimos estas descrições devido ao seguinte comentário de alunos da licenciatura em Engenharia Física da FCTUNL quando observaram o teste de exame do 12.º ano: «oh professor, porque é que não sugere ao Ministério que utilize os exames de Física Geral para o 12.º ano? É que são muito mais fáceis!»

7.4 Exame de Física Geral (FCTUC, 15 de Julho de 1996)

Teste constituído por 1 questão teórica, 5 itens de escolha múltipla (4 exigindo a realização de cálculos) e 2 questões estruturadas (10 itens no total, com problemas numéricos). Duração do teste: 2 h 30 min.

Metade dos itens deste teste podem ser considerados como itens susceptíveis de serem utilizados no 12.º ano.

7.5 Uma questão a analisar

Como se referiu na introdução desta secção e na secção anterior, o programa e as práticas lectivas no 12.º ano parecem estar acima do nível de aprofundamento esperável para alunos do final do ensino secundário, numa escola que se pretende para todos. Como é sabido, com a generalização do ensino secundário, há cada vez mais alunos que não apresentam os pré-requisitos necessários ao estudo de temas tão complexos e com tão elevado grau de formalismo como são os temas actualmente estudados em Física nesse nível de ensino. Coloca-se, pois, legitimamente, a questão: deverá existir um único programa neste nível de ensino ou será preferível optar por programas (e exames) com níveis de complexidade diferente?

Uma solução adoptada nos EUA e que talvez fosse possível adoptar em Portugal é a distinção entre escolaridade normal, com um programa «para todos» e uma escolaridade «especial», com tópicos mais aprofundados e com um exame próprio (o *Advanced Placement*). Os alunos que têm classificações satisfatórias neste exame recebem, na maior parte das Universidades, créditos que lhes dispensam a frequência de certas disciplinas no 1.º ano.

8 Conclusões e recomendações

8.1 Introdução

Um estudo como o presente não poderia deixar de apresentar propostas sobre a elaboração dos exames e sobre questões referentes ao currículo e às práticas lectivas. Estamos, no entanto, convictos de que a mudança nos processos de desenvolvimento curricular e de elaboração, em bases mais científicas e profissionais, de materiais curriculares e exames é algo que enfrenta enormes dificuldades devido, principalmente, à nossa tradição de não ter organismos de desenvolvimento curricular e de elaboração e análise de provas de exame. A administração da educação em Portugal prefere, sempre, recorrer a grupos de trabalho ad-hoc, sem continuidade e sem estruturas de apoio e implementação de inovações¹.

Apesar deste reconhecimento das limitações da influência das recomendações que formulamos, não podíamos deixar de as formular.

8.2 Adopção de «standards»

Considera-se fundamental o estabelecimento de «standards» ou padrões de qualidade. Os *Standards for Educational and Psychological Testing*² poderiam servir de referência-base. Entre os 12 «standards» referentes aos testes educacionais, salientamos o quinto que estabelece a necessidade de disseminar guias e relatórios sobre os testes e os resultados nos testes.

8.3 Especificações dos testes

A publicação de especificações dos testes, incluindo a facilidade estimada para cada item, bem como os tempos estimados de resposta, é muito importante para se analisar a validade do teste.

8.4 Natureza das questões

Os testes tradicionalmente utilizados nos exames privilegiam a resolução de problemas numéricos, frequentemente com cálculos complexos e encadeados, referentes a situações físicas inventadas a partir dos modelos matemáticos, sem qualquer correspondência real (por exemplo, sem qualquer referência a medições!³). Deveria ser dada menor ênfase à resolução desse tipo de problemas e

¹Por exemplo, os actuais programas do 10.º ao 12.º ano foram elaborados por uma equipa que trabalhou durante três anos, como grupo de trabalho. Já as «orientações de gestão dos programas» foram elaboradas por outra pessoa que não era membro da equipa e que preconiza orientações distintas, como se pode facilmente concluir a partir dessas orientações.

²Elaborados pelas American Educational Research Association, American Psychological Association e pelo National Council on Measurement in Education e publicados pela APA.

³Nenhum dos itens da prova-modelo e do teste se refere a uma grandeza efectivamente medida!

à memorização das fórmulas utilizadas. Em substituição desse tipo de questões, deveriam ser introduzidas questões com base em situações físicas reais, envolvendo registos experimentais, tabelas de dados, gráficos, incertezas, etc., que permitissem ao aluno compreender que a Física cria modelos a partir de observações e não observações a partir de modelos. Deveria, igualmente, ser aumentada a ênfase na verbalização e na análise conceptual das situações físicas.

8.5 Sobre a determinação da validade dos testes de exame

É absolutamente imprescindível que se determine previamente a validade dos testes, face às respectivas especificações e à sua resolução integral. A técnica do painel de validação, referida em toda a literatura, deveria ser de uso obrigatório para todos os exames.

8.6 Sobre as cotações dos testes

Como foi já referido, não há qualquer razão para que a cotação total das questões do teste some 200 pontos, o que exige arranjos arbitrários nas cotações parciais. As cotações de cada item deveriam obedecer a um critério explícito, em princípio proporcional ao tempo estimado de resposta.

Para facilitar o processo de cotação, cada item deveria ter apenas uma cotação múltipla de 4 (de preferência, apenas 4 ou 8, consoante o tempo de resposta). As cotações resultariam sempre da apreciação global da resposta (método «holístico») e não da soma parcial de cotações, que exige mais tempo do corrector e limita o julgamento da qualidade das respostas. Sugere-se os seguintes critérios para as diferentes sub-cotações:

Quadro 9: Cotação de itens de testes

<i>cotação máxima de 4</i>	<i>cotação máxima de 8</i>	<i>significado</i>
0	0	resposta completamente inadequada/incorrecta
1	2	resposta incorrecta mas com alguns aspectos correctos, denotando certo conhecimento sobre o assunto
2	4	resposta parcialmente correcta, mas com importantes lacunas
3	6	resposta quase correcta, com poucas deficiências
4	8	resposta globalmente correcta e completa

Todos os testes deveriam ser acompanhados de resoluções completas para os correctores. Essas resoluções deveriam ser comentadas, sempre que necessário, de modo a orientar os correctores.

Para um certo número de itens, deveriam ser apresentados modelos de resposta correspondentes aos diversos níveis de cotação.

8.7 Sobre as equipas de correcção

A minimização da incerteza na classificação exige decisões urgentes e fundamentais, nomeadamente:

1. A correcção das provas deve ser realizada em equipas de 4 a 5 professores.
2. A correcção é feita em trabalho de grupo, num mesmo local, e sobre a orientação de um coordenador de equipa.
3. O coordenador de equipa deve ter formação específica e acesso directo por telefone ou outro meio à equipa central que elaborou o exame.
4. Cada corrector apenas deve corrigir uma parte do exame e sempre que tiver necessidade pode esclarecer-se com o coordenador da equipa e, ou, com os colegas de equipa.

8.8 Sobre o formato gráfico do teste

Os testes deveriam ser constituídos por um enunciado e um caderno de respostas, com espaços previstos e adequados para cada resposta (incluindo, ainda, no fim do caderno um espaço adicional para ser utilizado para completar alguma resposta, em caso de necessidade). Este formato, além de facilitar o processo de cotação, dá orientações importantes ao aluno sobre o tipo e extensão de resposta.

8.9 Sobre a difusão de informação acerca dos exames

É praticamente inexistente a difusão de qualquer informação respeitante aos exames. Não são publicadas as classificações médias por teste e por item. Não são publicadas as soluções oficiais dos testes. Não são realizados quaisquer estudos sobre as dificuldades dos alunos nos testes. Esta ausência quase total de informação sobre os exames não pode ser mantida.

8.10 Sobre formação de professores

A formação de professores é, sempre, a questão-chave nos processos de mudança. No entanto, as dificuldades gigantescas inerentes à formação de muitas dezenas de milhares de professores limitam sempre a identificação de recomendações. Pensamos, no entanto, que mais do que realização de centenas de acções de formação é necessário a criação de documentação facilmente disponível para todos os professores, nomeadamente através da Internet. Numa segunda fase, poder-se-á então criar cursos e sistemas de formação que combinem o ensino mediatizado através da Internet com seminários e círculos de formação.

Anexo 1

Prova da 1.^a chamada da 1.^a fase do exame nacional da disciplina de Física do 12.^o ano (novos cursos) (Ponto 115)

ENSINO SECUNDÁRIO

12.º Ano de Escolaridade (Decreto-Lei n.º 286/89, de 29 de Agosto)
 Rede Escolar de Amostragem (Portaria n.º 782/90, de 1 de Setembro
 e Despacho n.º 125/ME/92, de 9 de Julho)

Duração da prova: 1h e 30min
 1996

1.ª FASE
 1.ª CHAMADA

 PROVA ESCRITA DE FÍSICA

Todos os cálculos devem ser apresentados de modo claro e sucinto.

Note: 1º - as figuras não estão desenhadas à escala;

2º - o enunciado da prova termina com a palavra **FIM**.

$$\sin 53^\circ = 0,8 \quad \cos 53^\circ = 0,6 \quad g = 10 \text{ m s}^{-2}$$

1. Considere as seguintes proposições e indique se cada uma delas é verdadeira ou falsa, justificando.

1.1. Num movimento uniforme o vector aceleração, \vec{a} , é sempre nulo.

1.2. O momento angular de uma barra é maior quando roda em torno de um eixo que passa por uma das suas extremidades ($I = \frac{1}{3} m \ell^2$), do que quando roda, com igual velocidade angular, em torno do eixo que passa pelo seu centro ($I = \frac{1}{12} m \ell^2$).

1.3. Quando duas partículas, de massas diferentes, sofrem uma colisão totalmente inelástica, a partícula de menor massa adquire uma velocidade de maior módulo.

1.4. Quando dois corpos maciços de madeira, ($\rho_{\text{madeira}} = 8 \times 10^2 \text{ kg m}^{-3}$), um de forma cúbica com 2 cm de aresta e outro de forma esférica com 2 cm de diâmetro, são ambos mergulhados em água, ($\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$), o que fica com maior volume imerso é o de forma cúbica.

V.S.F.F.

2. Um satélite artificial, de massa m_s , descreve uma órbita circular a uma altitude igual a duas vezes o raio da Terra. Devido a uma avaria o raio da órbita do satélite diminuiu passando a descrever uma órbita circular a uma altitude igual ao raio da Terra. Estabeleça a relação matemática entre as seguintes grandezas:

2.1. Módulo da velocidade linear do satélite nas duas órbitas.

2.2. Energia potencial gravítica do satélite nas duas órbitas.

2.3. Módulo do momento angular do satélite nas duas órbitas.

3. Numa aula prática é-lhe proposto a planificação de uma experiência cujo objectivo é a determinação do coeficiente de atrito estático entre duas superfícies.

Dispõe do seguinte material: de uma calha articulada em que um dos braços é fixo e o outro é móvel com um metro de comprimento, de uma régua graduada e de um cubo de madeira de massa $5,0 \times 10^{-1}$ kg.

3.1. Descreva como procederia para atingir o objectivo proposto, referindo quais as grandezas físicas a medir e os cálculos a realizar.

3.2. Calcule o ângulo de inclinação mínima do plano para que o corpo inicie o movimento, se o coeficiente de atrito estático entre as duas superfícies for de 0,75.

4. Na figura 1, está representado um pêndulo gravítico constituído por uma esfera homogénea de massa $2,0 \times 10^{-1}$ kg, suspensa de um fio inextensível e de massa desprezável de um metro de comprimento.

A amplitude angular máxima do pêndulo é 60° .

4.1. Transcreva a figura para a sua prova e represente as forças que actuam sobre a esfera, quando esta se encontra na posição angular de 37° .

4.2. Calcule a tensão nas condições da pergunta anterior.

4.3. Calcule o módulo da velocidade com que a esfera passa pela posição de equilíbrio.

4.4. Calcule a tensão máxima do fio.

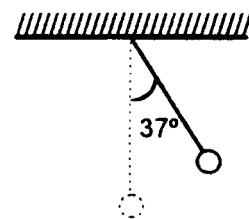


Fig. 1

5. A figura 2 representa um feixe de electrões a ser acelerado num tubo, TU, alcançando cada electrão a saída U do tubo com uma energia cinética de $1,16 \times 10^{-16}$ J. Em seguida, os electrões entram pelo orifício da placa C, num campo eléctrico uniforme, \vec{E} , criado pelas placas C e D que se situam à distância de $6,0 \times 10^{-2}$ m uma da outra, indo sair pelo orifício da placa D, com uma energia cinética de $2,91 \times 10^{-17}$ J. Ao saírem do campo eléctrico, os electrões entram num campo magnético, \vec{B} , sem sofrer desvio. Despreze as forças gravíticas e considere $q_e = -1,6 \times 10^{-19}$ C, e $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg.

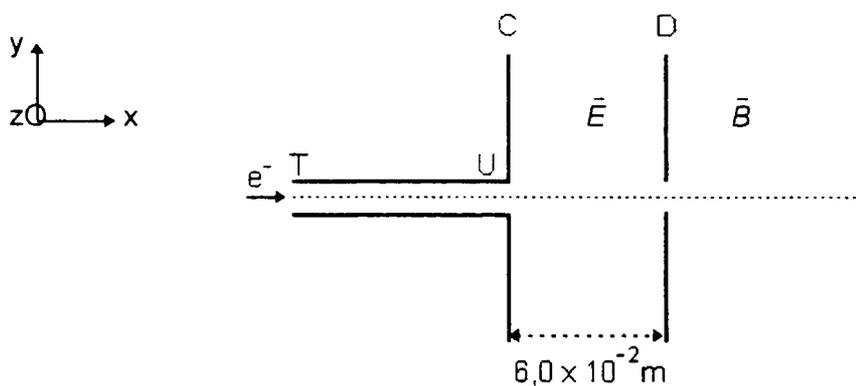


Fig.2

- 5.1. Indique o sinal de cada uma das placas, C e D. Justifique.
- 5.2. Calcule o tempo que o electrão leva a deslocar-se da placa C para a placa D.
- 5.3. Caracterize o vector campo eléctrico \vec{E} . Justifique.
- 5.4. Indique qual a direcção do vector campo magnético, \vec{B} . Justifique.

6. Observe a figura 3. A esfera A, de massa $5,0 \times 10^{-1} \text{ kg}$, que se comporta como uma partícula, encontra-se encostada a uma mola elástica que está comprimida. Posteriormente, distendeu-se a mola e a esfera foi projectada com uma energia cinética de $1,0 \text{ J}$, deslizando sem rolar, sobre uma superfície horizontal, indo colidir com uma esfera B, com a mesma massa da esfera A, que se encontrava em repouso. Considere a colisão entre as esferas, perfeitamente elástica. Após a colisão, a esfera B sobe o plano inclinado, abandonando-o no ponto P à altura de $1,5 \times 10^{-1} \text{ m}$, comportando-se a partir daí como projectil.

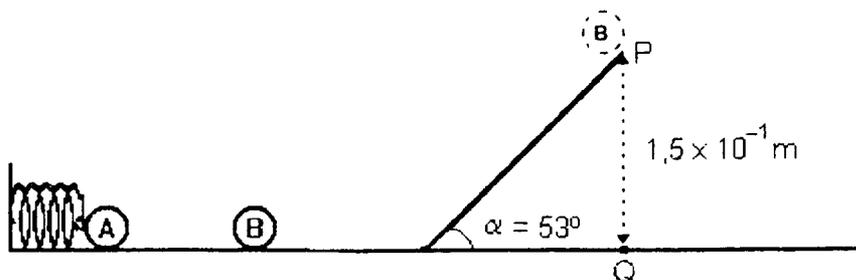


Fig.3

Considere desprezável o atrito entre qualquer das esferas e as superfícies em que se deslocam e a superfície horizontal como nível de energia potencial zero.

- 6.1. Calcule o valor da quantidade de movimento do sistema constituído pelas duas esferas, imediatamente antes da colisão.
- 6.2. Calcule o valor da altura máxima que a esfera B atingiu.
- 6.3. Calcule a distância entre o ponto Q e o ponto em que a esfera B atinge a superfície horizontal.
- 6.4. Caracterize o vector velocidade da esfera B, no instante em que esta atinge a superfície horizontal.

FIM

COTAÇÕES

1. (24 pontos)	
1.1.	6 pontos
1.2.	6 pontos
1.3.	6 pontos
1.4.	6 pontos
2. (36 pontos)	
2.1.	15 pontos
2.2.	6 pontos
2.3.	15 pontos
3. (25 pontos)	
3.1.	20 pontos
3.2.	5 pontos
4. (32 pontos)	
4.1.	4 pontos
4.2.	18 pontos
4.3.	5 pontos
4.4.	5 pontos
5. (35 pontos)	
5.1.	5 pontos
5.2.	14 pontos
5.3.	7 pontos
5.4.	9 pontos
6. (48 pontos)	
6.1.	15 pontos
6.2.	16 pontos
6.3.	7 pontos
6.4.	10 pontos

ENSINO SECUNDÁRIO

12.º Ano de Escolaridade (Decreto-Lei n.º 286/89, de 29 de Agosto)
Rede Escolar de Amostragem (Portaria n.º 782/90, de 1 de Setembro
e Despacho n.º 125/ME/92, de 9 de Julho)

Duração da prova: 1h e 30min
1996

1.ª FASE
1.ª CHAMADA

PROVA ESCRITA DE FÍSICA

CRITÉRIOS DE CORRECÇÃO / COTAÇÕES

1. A sequência de resolução apresentada para cada questão, nas páginas seguintes, deve ser interpretada como correspondendo a **uma** das resoluções possíveis. Deverá ser atribuída a mesma cotação se, em alternativa, for apresentada **outra resolução igualmente correcta**.
2. Se a resolução de uma alínea apresenta erro **exclusivamente** imputável à resolução de uma alínea anterior, deverá atribuir-se, à **alínea em questão**, a cotação integral.
3. As cotações parcelares só deverão ser tomadas em consideração, quando a resolução não estiver totalmente correcta.
4. A **ausência de unidades** ou a **indicação de unidades incorrectas**, relativamente às grandezas em questão, terá a penalização de um ponto.

Não deverá haver penalização, como é óbvio, caso o aluno indique unidades equivalentes no **Sistema Internacional**, às da resolução proposta.

1. (24 pontos)		
1.1. ....	.....	6 pontos
	$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$	2 pontos
	$\vec{a} = \vec{a}_n \Rightarrow$ Movimento circular uniforme	3 pontos
	Falsa	1 ponto
1.2. ....	.....	6 pontos
	$\vec{l} = I\vec{\omega}$	2 pontos
	$\frac{1}{3} m l^2 > \frac{1}{12} m l^2$	1 ponto
	$\vec{l}_1 > \vec{l}_2$	2 pontos
	Verdadeira	1 ponto
1.3. ....	.....	6 pontos
	Colisão totalmente inelástica \Rightarrow as	
	esferas seguem juntas	3 pontos
	$\vec{v}_{B_r} = \vec{v}_{A_r}$	2 pontos
	Falsa	1 ponto
1.4. ....	.....	6 pontos
	$V_{\text{cubo}} > V_{\text{esfera}}$	1 ponto
	$\vec{P}_{\text{cubo}} > \vec{P}_{\text{esfera}}$	1 ponto
	$\vec{I}_{\text{cubo}} > \vec{I}_{\text{esfera}}$	1 ponto
	$V_{\text{imerso cubo}} > V_{\text{imerso esfera}}$	2 pontos
	Verdadeira	1 ponto
2. (36 pontos)		
2.1. ....	.....	15 pontos
	$r_1 = 3 r_T$ e $r_2 = 2 r_T$	2 pontos
	$F_g = G \frac{m_s m_T}{r^2}$ e $F_c = m_s \frac{v^2}{r}$	6 pontos
	$F_g = F_c$	2 pontos
	$v_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} v_2$	5 pontos
	A TRANSPORTAR	39 pontos

TRANSPORTE 39 pontos

2.2. 6 pontos

$E_p = -G \frac{m_s m_T}{r}$ 3 pontos

$E_{p_1} = \frac{2}{3} E_{p_2}$ 3 pontos

2.3. 15 pontos

$\ell = I \omega$ 2 pontos

$F_c = m_s \omega^2 r$ 2 pontos

$F_c = F_g$ 1 ponto

$\omega_1 = \sqrt{\frac{8}{27}} \omega_2$ 3 pontos

$I = m r^2$ 1 ponto

$I_1 = \frac{9}{4} I_2$ 3 pontos

$\ell_1 = \sqrt{\frac{3}{2}} \ell_2$ 3 pontos

3. (25 pontos)

3.1. 20 pontos

Descrição dos procedimentos 6 pontos

Determinação da altura do plano 1 ponto

$F_g = m g$ 1 ponto

$F_{g_t} = m g \sin \alpha$ 2 pontos

$F_{g_n} = m g \cos \alpha$ 2 pontos

$F_{g_n} = N$ 1 ponto

$F_a = \mu N$ 2 pontos

$F_a = F_{g_t}$ 3 pontos

$\mu = \operatorname{tg} \alpha$ 2 pontos

A TRANSPORTAR 80 pontos

V.S.F.F.

115/C/3

	TRANSPORTE	80 pontos
3.2.		5 pontos
	$\mu = \text{tg}\alpha$	1 ponto
	$\text{tg}\alpha = 0,75$	1 ponto
	$\alpha = 37^\circ$	3 pontos
	Nota: se o aluno não resolveu a pergunta 3.1. mas deduziu as equações na pergunta 3.2., a cotação correspondente deve ser transposta.	
4. (32 pontos)		
4.1.		4 pontos
	2 forças	2 x 2 pontos
4.2.		18 pontos
	$\vec{F}_c = \vec{T} + \vec{F}_{gn}$	2 pontos
	Cálculo de $E_{p_{\max}}$ ($E_{p_{\max}} = 1,0 \text{ J}$)	2 pontos
	$E_m = E_{p_{\max}}$	2 pontos
	$E_m = E_c + E_p$ para $\alpha = 37^\circ$	2 pontos
	Cálculo de v^2 para $\alpha = 37^\circ$ ($v^2 = 6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$)	4 pontos
	Cálculo de F_{gn} ($F_{gn} = 1,6 \text{ N}$)	2 pontos
	Cálculo de F_c ($F_c = 1,2 \text{ N}$)	2 pontos
	Cálculo de T ($T = 2,8 \text{ N}$)	2 pontos
4.3.		5 pontos
	$E_m = E_{p_{\max}} = E_{c_{\max}}$	2 pontos
	Cálculo de v na posição de equilíbrio ($v = 3,2 \text{ ms}^{-1}$)	3 pontos
4.4.		5 pontos
	$\vec{F}_c = \vec{T} + \vec{F}_g$	2 pontos
	Cálculo de T ($T = 4,0 \text{ N}$)	3 pontos
	A TRANSPORTAR	117 pontos

		TRANSPORTE	117 pontos
5.	(35 pontos)		
5.1.	.....	.....	5 pontos
	$E_{c_D} < E_{c_C} \Rightarrow \vec{F}_{el}$ sentido de $D \rightarrow C$	1 ponto	
	$\vec{F}_{el} = q\vec{E}$	1 ponto	
	$q < 0 \Rightarrow \vec{E}$ no sentido de $C \rightarrow D$	2 pontos	
	Placa C positiva e placa D negativa	1 ponto	
5.2.	.....	.....	14 pontos
	$\Delta E_C = W(\vec{F}_{el})$	2 pontos	
	Cálculo de \vec{F}_{el} ($\vec{F}_{el} = -1,46 \times 10^{-15} \vec{u}_x$ (N))	2 pontos	
	$\vec{F}_{el} = \vec{F}$	2 pontos	
	$\vec{F} = m\vec{a}$	2 pontos	
	Cálculo de \vec{a} ($\vec{a} = -1,6 \times 10^{15} \vec{u}_x$ (ms ⁻²)	2 pontos	
	Cálculo de t ($t = 5,0 \times 10^{-9}$ s)	4 pontos	
5.3.	.....	.....	7 pontos
	$\vec{F}_{el} = q\vec{E}$	2 pontos	
	Cálculo de \vec{E} ($\vec{E} = 9,1 \times 10^3 \vec{u}_x$ (Vm ⁻¹))	5 pontos	
5.4.	.....	.....	9 pontos
	$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$	2 pontos	
	$\vec{F}_m = \vec{0} \Rightarrow \alpha = 0^\circ$ ou $\alpha = 180^\circ$	3 pontos	
	$\vec{B} = B\vec{u}_x$ ou $\vec{B} = -B\vec{u}_x$	4 pontos	
6.	(48 pontos)		
6.1.	.....	.....	15 pontos
	Cálculo de \vec{v}_A antes do choque ($\vec{v}_A = 2,0 \vec{u}_x$ (ms ⁻¹))	7 pontos	
	Cálculo da quantidade de movimento do sistema antes do choque: ($\vec{p}_i = 1,0 \vec{u}_x$ (kg ms ⁻¹))	8 pontos	
	A TRANSPORTAR		167 pontos

	TRANSPORTE	167 pontos
6.2. ....	.....	16 pontos
	$E_m = \text{constante}$	2 pontos
	Base do plano $E_m = E_{c_b}$	2 pontos
	Ponto P $E_m = E_{c_b} + E_{p_b}$	2 pontos
	Cálculo de v_p ($v_p = 1,0 \text{ ms}^{-1}$)	3 pontos
	Cálculo de \vec{v}_p ($\vec{v}_p = 0,6 \vec{u}_x + 0,8 \vec{u}_y$ (ms^{-1}))	2 pontos
	Cálculo do t_{subida} ($t_s = 8,0 \times 10^{-2} \text{ s}$)	2 pontos
	Cálculo de y_{max} ($y_{\text{max}} = 2,0 \times 10^{-1} \text{ m}$)	3 pontos
6.3. ....	.....	7 pontos
	Cálculo do t_{voo} ($t_{\text{voo}} = 2,8 \times 10^{-1} \text{ s}$)	4 pontos
	Cálculo do alcance x ($x = 1,7 \times 10^{-1} \text{ m}$)	3 pontos
6.4. ....	.....	10 pontos
	$\vec{v}_x = 0,6 \vec{u}_x$ (ms^{-1})	3 pontos
	Cálculo de \vec{v}_y ($\vec{v}_y = -2,0 \vec{u}_y$ (ms^{-1}))	5 pontos
	$\vec{v} = 0,6 \vec{u}_x - 2,0 \vec{u}_y$ (ms^{-1})	2 pontos
	TOTAL	200 pontos

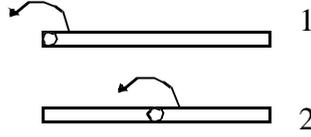
Anexo 2

Resolução do teste 115

1

1.1 Falsa. Se o movimento for curvilíneo, a aceleração nunca é nula mas sim dirigida para o interior da trajectória, pois possui sempre uma componente normal, $\vec{a}_n = \frac{v^2}{r} \hat{e}_n$ pelo facto da velocidade variar em direcção.

1.2



Tem-se:

$$I_1 = \frac{1}{3}m\ell^2 \text{ e } I_2 = \frac{1}{12}m\ell^2.$$

A magnitude do momento angular de cada barra é:

$$L_1 = I_1\omega = \frac{1}{3}m\ell^2\omega \text{ e } L_2 = I_2\omega = \frac{1}{12}m\ell^2\omega$$

Como $\frac{1}{3} > \frac{1}{12}$ vem $L_1 > L_2$.

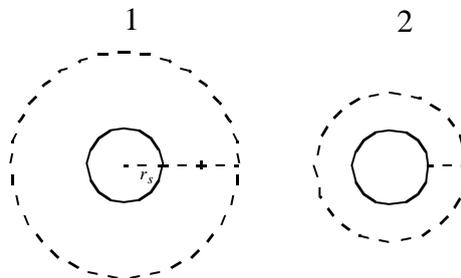
Portanto, a afirmação é verdadeira.

1.3 Falsa. Por definição de colisão perfeitamente inelástica, as partículas seguem juntas após a colisão. Logo, a velocidade de ambas as partículas é igual.

1.4 O volume do cubo é maior do que o da esfera, uma vez que esta pode ser inscrita no cubo. Como têm a mesma densidade, o cubo está sujeito a uma força gravítica maior.

Como, ao flutuarem em equilíbrio, $\vec{F}_g = -\vec{F}_f$, o cubo fica submetido a uma impulsão maior. Então, pela lei de Arquimedes, desloca maior volume de água. Logo, o cubo fica mais imerso que a esfera. Verdadeira.

2



2.1 Tem-se:

$$G \times \frac{m_T \times m_s}{r_s^2} = \frac{m_s \times v^2}{r_s}.$$

Donde:

$$G \times \frac{m_T}{r_s} = v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{Gm_T}{r_s}}$$

Como $v_1 = \sqrt{\frac{Gm_T}{3r_s}}$ e $v_2 = \sqrt{\frac{Gm_T}{2r_s}}$ vem:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{Gm_T}{3r_s}}}{\sqrt{\frac{Gm_T}{2r_s}}} \Leftrightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\frac{1}{2}}} \Leftrightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

2.2 Como

$$E_p = -\frac{Gm_T m_s}{r_s}$$

tem-se:

$$\frac{E_{p1}}{E_{p2}} = \frac{-\frac{Gm_T m_s}{3r_s}}{-\frac{Gm_T m_s}{2r_s}} \Leftrightarrow \frac{E_{p1}}{E_{p2}} = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{2}} \Leftrightarrow \frac{E_{p1}}{E_{p2}} = \frac{2}{3}$$

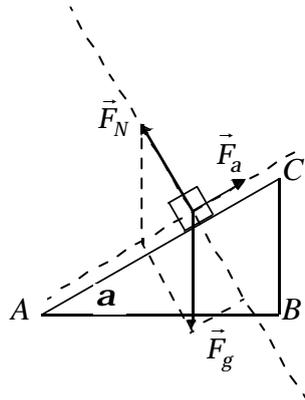
2.3 Como

$$L = m_s v r_s$$

vem:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{m_s v_1 3r_s}{m_s v_2 2r_s} \Leftrightarrow \frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{2} \times 3}{\sqrt{3} \times 2} \Leftrightarrow \frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$$

3



- 3.1** A figura acima representa a inclinação máxima possível da calha inclinada para que o bloco não arranque. Nestas condições tem-se, por definição de m , o coeficiente de atrito estático:

$$F_a = mF_N$$

A magnitude desta força de atrito é equilibrada pela resultante da força normal com a força gravítica:

$$F_g \sin a = mF_N$$

Como a componente da força gravítica segundo a direcção perpendicular ao plano equilibra a força normal, tem-se:

$$F_N = F_g \cos a$$

Substituindo, vem:

$$F_g \sin a = mF_g \cos a$$

$$\sin a = m \times \cos a$$

$$\frac{CB}{AC} = m \frac{AB}{AC}$$

$$m = \frac{CB}{AB}$$

Protocolo:

- 1 Montar a calha inclinada a uma certa altura, com o bloco na calha, sem escorregar.
- 2 Aumentar a altura gradual e lentamente, e procurar, por tentativas, a situação em que o bloco está na iminência de escorregar.
- 3 Anotar o valor de CB (altura) nessa situação.
- 4 Determinar o valor correspondente de AB .

5 Determinar $\frac{CB}{AB}$.

3.2

$$m = \frac{CB}{AB}$$

$$0.75 = \tan a$$

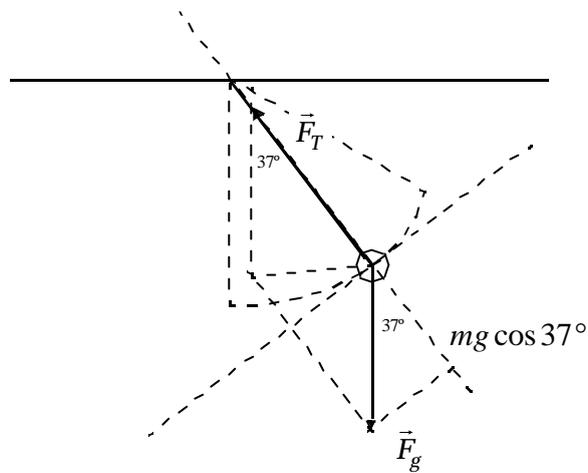
$$a = \arctan 0.75$$

$$a = 0.64 \text{ rad}$$

$$a = 37^\circ$$

4

4.1



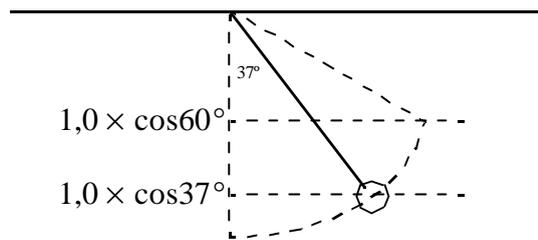
4.2 Calculemos a magnitude da resultante das forças na direcção radial, a direcção da força de tensão:

$$F_T - mg \cos 37^\circ = m \frac{v^2}{r}$$

Donde:

$$F_T = m \frac{v^2}{r} + mg \cos 37^\circ$$

Há, pois, que determinar v , a partir da conservação da energia mecânica quando o pêndulo desce da posição angular de 60° até à posição angular de 37° :



$$mg|\Delta y| = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

Como $|\Delta y| = 1,0 \times \cos 37^\circ - 1,0 \times \cos 60^\circ = 0,8 - 0,5 = 0,3 \text{ m}$, vem:

$$10 \times 0,3 = \frac{1}{2}v^2$$

Donde:

$$v = \sqrt{6} = 2,4 \text{ m/s}$$

Substituindo os valores, obtém-se:

$$F_T = 0,20 \frac{6}{1,0} + 0,20 \times 10 \times 0,8 = 1,2 + 1,6 = 2,8 \text{ N}$$

4.3 Pela conservação da energia mecânica tem-se:

$$mg|\Delta y| = \frac{1}{2}mv^2 - 0 .$$

Como $|\Delta y| = 1,0 - 1,0 \times \cos 60^\circ = 1,0 - 0,5 = 0,5 \text{ m}$, vem:

$$0,20 \times 10 \times 0,5 = \frac{1}{2} \times 0,20 \times v^2 .$$

Donde:

$$v = \sqrt{10} = 3,2 \text{ m/s} .$$

4.4 A tensão é máxima no ponto em que a amplitude angular é nula. Nesse ponto, a resultante apenas tem componente centrípeta. A magnitude da resultante é:

$$F_T - mg = m \frac{v^2}{r}$$

Tendo em conta que v já foi calculado em 4.3, vem:

$$F_T = 0,20 \times \frac{(\sqrt{10})^2}{1,0} + 0,20 \times 10 = 4,0 \text{ N} .$$

5

5.1 Placa C positiva e placa D negativa ou Placa D a menor potencial do que a placa C, independentemente do sinal. O campo tem que «travar» a carga, uma vez que esta diminui a sua energia cinética. Por isso, a força eléctrica tem que ser dirigida de D para C. Então, como $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ e a carga q é negativa, o campo \vec{E} tem de ter o sentido oposto ao da força, ou seja de C para D.

5.2 Tem-se:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 = 2,91 \times 10^{-17} \text{ e } \frac{1}{2}mv_1^2 = 1,16 \times 10^{-16} .$$

Donde:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \times 2,91 \times 10^{-17}}{9,1 \times 10^{-31}}} = 8,0 \times 10^6 \text{ m/s}$$

e

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times 1,16 \times 10^{-16}}{9,1 \times 10^{-31}}} = 16 \times 10^6 \text{ m/s} .$$

O movimento é uniformemente variado, com velocidade inicial de sentido oposto à aceleração. Assim:

$$x = v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 .$$

Substituindo valores, vem:

$$6,0 \times 10^{-2} = 16 \times 10^6 t + \frac{1}{2} \times \frac{8 \times 10^6 - 16 \times 10^6}{t} t^2 .$$

Donde:

$$6,0 \times 10^{-2} = 16 \times 10^6 t + \frac{1}{2} \times (8 \times 10^6 - 16 \times 10^6) t$$

$$6,0 \times 10^{-2} = 16 \times 10^6 t - 4 \times 10^6 t$$

$$6,0 \times 10^{-2} = 12 \times 10^6 t$$

$$t = 0,50 \times 10^{-8} = 5,0 \times 10^{-9} \text{ s} .$$

Em alternativa:

Pela lei do trabalho-energia, tem-se:

$$F_e |\Delta r| = |\Delta E_c|$$

Donde:

$$F_e \times 6,0 \times 10^{-2} = 1,16 \times 10^{-16} - 2,91 \times 10^{-17}$$

$$F_e = 1,45 \times 10^{-15} \text{ N}$$

Como o impulso desta força é igual à variação do momento linear, temos:

$$F_e t = m |\Delta v|$$

$$1,45 \times 10^{-15} \times t = 9,1 \times 10^{-31} \times |8 \times 10^6 - 16 \times 10^6|$$

$$t = 5,0 \times 10^{-9} \text{ s}$$

5.3 O vector campo eléctrico é dirigido de C para D (a carga é negativa e está a ser travada). A magnitude do vector campo é (e tendo em conta que $a = \frac{|\Delta v|}{\Delta t}$):

$$E = \frac{F_e}{|q_e|} = \frac{ma}{|q_e|} = 9,1 \times 10^{-31} \times \frac{16 \times 10^6 - 8 \times 10^6}{1,6 \times 10^{-19}} = 9,1 \times 10^3 \text{ N/C} .$$

Em alternativa (se se tiver produzido a alternativa à resposta ao item anterior):

Como

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

temos:

$$E = \frac{1,45 \times 10^{-15}}{1,6 \times 10^{-19}} = 9,1 \times 10^3 \text{ N/C (ou V/m)}$$

5.4 Como a força magnética é dada por

$$\vec{F}_m = q_e \vec{v} \times \vec{B}$$

os electrões só não sofrem desvio se o produto externo for nulo. Isto é, a velocidade e o campo magnético têm de ter a mesma direcção. Logo, o campo magnético tem a direcção TU.

6

6.1 A magnitude da velocidade da esfera A, antes da colisão, é tal que:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 .$$

Donde:

$$1,0 = \frac{1}{2}0,50v^2 \Leftrightarrow v = \sqrt{4} = 2,0 \text{ m/s} .$$

Antes da colisão, tem-se:

$$p = 0,50 \times 2,0 + 0 = 1,0 \text{ kg m/s} .$$

6.2 Como a colisão é perfeitamente elástica, há conservação de energia cinética, além de conservação do momento linear. Assim, tem-se, uma vez que a colisão é a uma dimensão:

$$\frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = \frac{1}{2}m_A v_A'^2 + \frac{1}{2}m_B v_B'^2 .$$

Donde:

$$\frac{1}{2}0,50(1,0^2) + 0 = \frac{1}{2}0,5v_A'^2 + \frac{1}{2}0,5v_B'^2 .$$

Tem-se, também:

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' .$$

Donde:

$$0,50(2,0) + 0 = 0,50v_A' + 0,50v_B' .$$

Há, pois, que resolver o sistema de equações:

$$\frac{1}{2}0,50(2,0^2) + 0 = \frac{1}{2}0,5v_A'^2 + \frac{1}{2}0,5v_B'^2$$

$$0,50(2,0) + 0 = 0,50v_A' + 0,50v_B'$$

Simplificando, vem, sucessivamente:

$$\begin{cases} 4 = A^2 + B^2 \\ 2 = A + B \end{cases}$$

$$\begin{cases} 4 = (2 - B)^2 + B^2 \\ A = 2 - B \end{cases}$$

$$\begin{cases} 4 = 4 - 4B + B^2 + B^2 \\ A = 2 - B \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 = -4B + 2B^2 \\ A = 2 - B \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 = B(-4 + 2B) \\ A = 2 - B \end{cases}$$

$$\begin{cases} B = 0 \vee B = 2 \\ A = 0 \end{cases}$$

Apenas a solução $B = 2$ e $A = 0$ tem significado físico. Assim, a magnitude da velocidade da esfera B, após a colisão, é $v'_B = 2,0 \text{ m/s}$.

A lei da conservação de energia permite escrever, sendo m a massa da esfera B:

$$\frac{1}{2}m2,0^2 + 0 = \frac{1}{2}mv_P^2 + mg(0,15).$$

Substituindo valores tem-se:

$$\frac{1}{2}2,0^2 = \frac{1}{2}v_P^2 + 10(0,15).$$

Donde:

$$4 = v_P^2 + 3$$

$$v_P = 1 \text{ m/s}.$$

As equações do movimento balístico, a partir do ponto P, são, então:

$$\begin{cases} x = 1,0 \times \cos 53^\circ \times t \\ y = 1,0 \times \sin 53^\circ \times t - \frac{1}{2} \times 10 \times t^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = 0,6t \\ y = 0,8 \times t - 5 \times t^2 \end{cases}$$

A altura máxima é atingida quando $v_y = \frac{dy}{dt} = 0$:

$$0 = 0,8 - 10t .$$

Resolvendo, vem:

$$t = 0,08 \text{ s} .$$

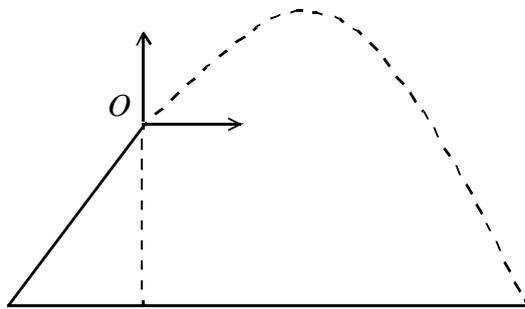
Substituindo na equação paramétrica, obtém-se:

$$y = 0,8 \times 0,08 - 5 \times 0,08^2 = 0,032 \text{ m} .$$

A altura máxima em relação ao nível de partida (o nível da mola) é, então:

$$0,032 + 0,15 = 0,182 \rightarrow 0,18 \text{ m} .$$

6.3 Esquema do movimento balístico e equações paramétricas:



$$\begin{cases} x = 0,6t \\ y = 0,8 \times t - 5 \times t^2 \end{cases}$$

Atinge a superfície horizontal quando:

$$-0,15 = 0,8t - 5t^2 .$$

Resolvendo, vem:

$$0 = 0,15 + 0,8t - 5t^2$$

$$t = \frac{-0,8 \pm \sqrt{0,8^2 - 4 \times (-5) \times 0,15}}{-10} .$$

Donde:

$$t = \frac{-0,8 \pm 1,9}{-10}$$

$t = 0,27 \text{ s}$ (apenas a solução positiva tem sentido físico).

Substituindo na equação paramétrica de x , vem, finalmente:

$$x = 0,6 \times 0,27 = 0,162 \rightarrow 0,16 \text{ m} .$$

6.4 Tem-se:

$$\begin{cases} x = 0.6t \\ y = 0.8 \times t - 5 \times t^2 \end{cases}$$

Donde:

$$\begin{cases} v_x = 0.6 \\ v_y = 0.8 - 10 \times t \end{cases}$$

No instante $t = 0.27$ s, instante em que atinge o solo, vem:

$$\begin{cases} v_x = 0.6 \text{ m/s} \\ v_y = -1.9 \text{ m/s} \end{cases}$$

Portanto, a velocidade é

$$\vec{v} = 0.6\vec{e}_x - 1.9\vec{e}_y \text{ (m/s)}.$$

Anexo 3

Um exemplo de prova de exame

PROVA ESCRITA DE FÍSICA

Um exemplo (a partir da adaptação da Prova 115)

Tempo limite de 2 h

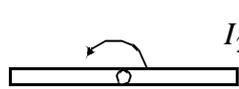
Questões 1 a 4

Analise se é falsa ou verdadeira cada uma das seguintes afirmações. Explique porque é verdadeira ou falsa.

1. Num movimento uniforme, a aceleração, \vec{a} , é sempre nula.
2. O módulo do momento angular, L , de uma barra de comprimento ℓ , é maior quando roda em torno de um eixo perpendicular à barra que passa por uma das suas extremidades, do que quando roda, com igual velocidade angular, em torno do eixo que passa pelo seu centro.



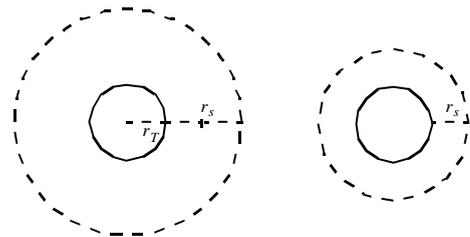
$I_1 = \frac{1}{3}m\ell^2$



$I_2 = \frac{1}{12}m\ell^2$
3. Quando duas partículas, de massas diferentes, sofrem uma colisão frontal totalmente inelástica, a partícula de menor massa adquire uma velocidade de módulo maior.
4. Um cubo maciço de madeira mergulhado em água fica com maior volume imerso do que uma esfera maciça de madeira igual, com um diâmetro igual à aresta do cubo.

Questões 5 a 9

Um satélite artificial passa de uma órbita circular a uma altitude igual a 2 vezes o raio da Terra para uma órbita a uma altitude igual ao raio da Terra. Admita que, em qualquer das órbitas, o módulo da velocidade é constante.



5. Represente a velocidade e a aceleração do satélite na primeira órbita, num instante qualquer. Justifique.
6. Obtenha uma expressão que permita calcular o módulo da velocidade do satélite, em função da massa da Terra e do raio da órbita.
7. Estabeleça a relação de grandeza entre a energia potencial gravítica do sistema Terra-satélite, nas duas órbitas.
8. Faça um *esboço* dos seguintes gráficos, para qualquer uma das órbitas: módulo de v em função do tempo, módulo da resultante das forças no satélite em função do tempo. Justifique.

9. Faça um esboço dos seguintes gráficos, tendo como referencial um sistema de eixos yOx com origem no centro da Terra (considera-se como instante $t = 0$ s, o instante em que o satélite está na abcissa x de maior valor): coordenada x do satélite em função do tempo, coordenada y do satélite em função do tempo.

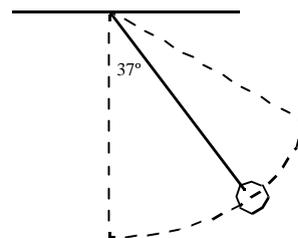
Questões 10 a 13

Pretende-se determinar experimentalmente o coeficiente de atrito estático entre duas superfícies de madeira. Dispõe-se de uma calha de madeira, articulada, de uma régua graduada e de um bloco de madeira, com a massa de 0,50 kg.

- Esquematize, numa escala que indicará, as forças no bloco de madeira, colocado sobre a calha articulada, quando esta está inclinada e o bloco parado.
- Em que condições é que se pode determinar a intensidade da força de atrito estático?
- Explique o procedimento para determinar o coeficiente de atrito estático.
- Que tipo de movimento adquiriria o bloco ao deslizar no plano inclinado, com uma força de atrito cinético constante? Justifique.

Questões 14 a 17

Na figura está representado um pêndulo gravítico constituído por uma esfera homogénea de 0,20 kg. O fio tem 1,0 m de comprimento, é inextensível e de massa desprezável. A amplitude angular máxima do pêndulo é 60° .

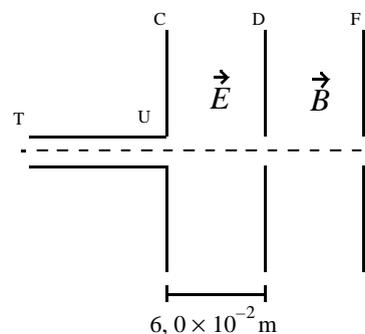


- Esquematize a resultante das forças que actuam a esfera. Justifique a orientação dessa resultante.
- Tendo em conta a magnitude relativa das várias forças na esfera, esquematize essas forças.
- Calcule o módulo da velocidade máxima que a esfera atinge.
- Mostre que o módulo da força de tensão na esfera, quando esta se encontra na posição representada na figura, se pode calcular através da

$$\text{equação } F_T - mg \cos 37^\circ = m \frac{v^2}{r} .$$

Questões 18 a 20

Na figura está representada a trajectória de um feixe de electrões num tubo TU, numa câmara CD, com um campo eléctrico uniforme, e numa câmara DF, com um campo magnético uniforme. Os electrões são projectados, através do tubo TU, na câmara CD. Consideram-se desprezáveis as forças gravíticas ($m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg ; $q_e = -1,6 \times 10^{-19}$ C).

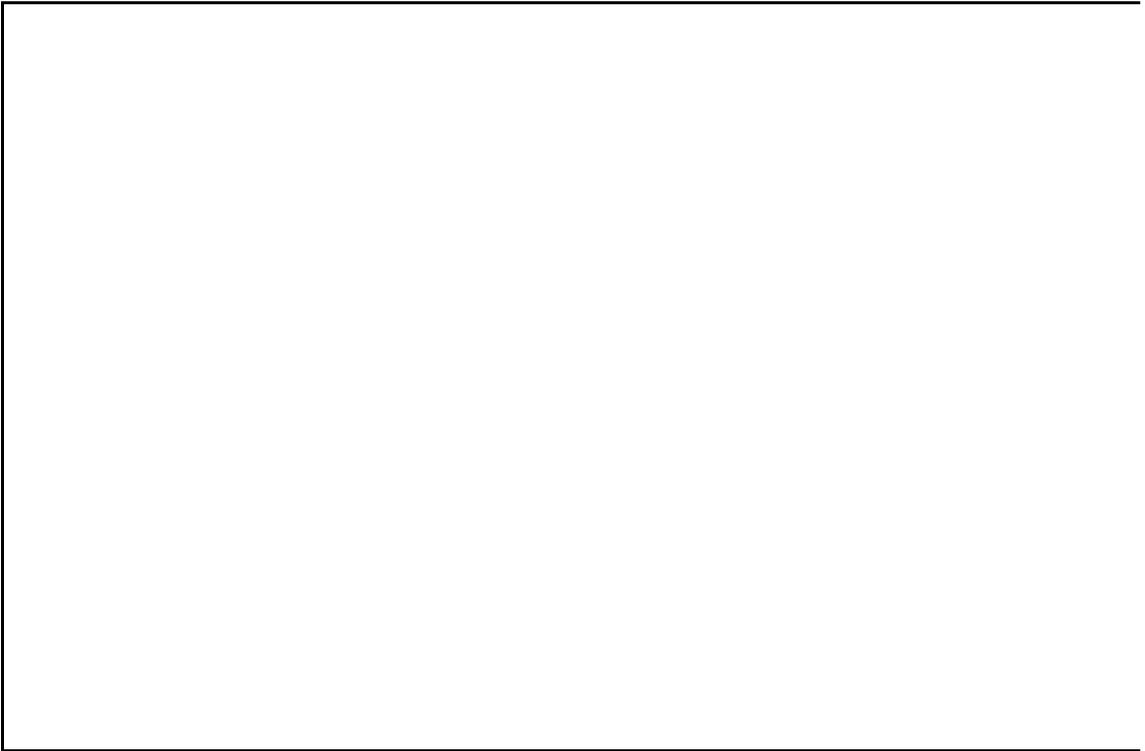


- Em que condições é que os electrões são «travados» entre as placas C e D? Justifique.
- Em que condições é que os electrões não sofrem qualquer alteração no seu movimento entre as placas D e F? Justifique.
- Qual é a intensidade do campo eléctrico na câmara CD se a energia cinética dos electrões à saída da placa D for $2,91 \times 10^{-17}$ J e à entrada na placa C for $1,16 \times 10^{-16}$ J?

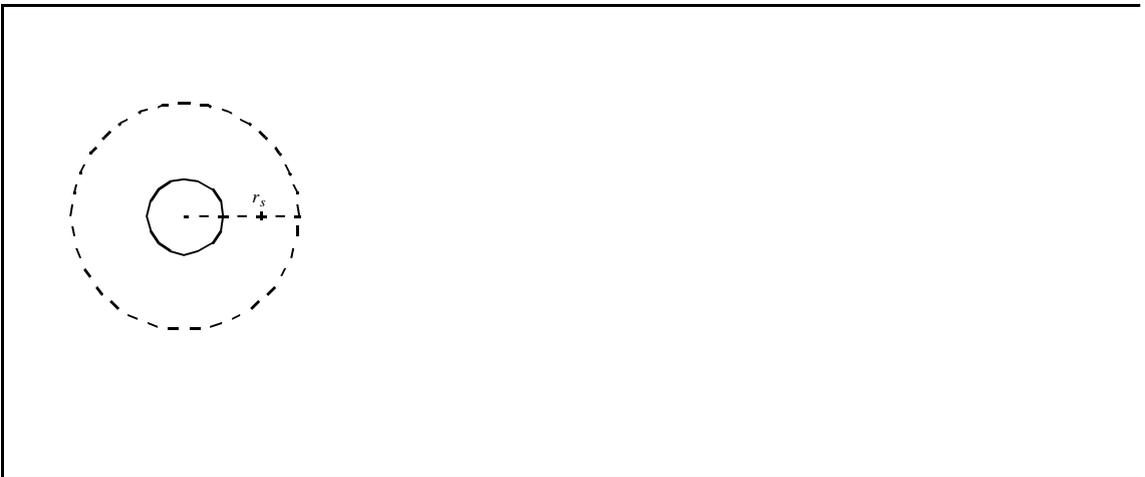
3.



4.

**Questões 5 a 9**

5.



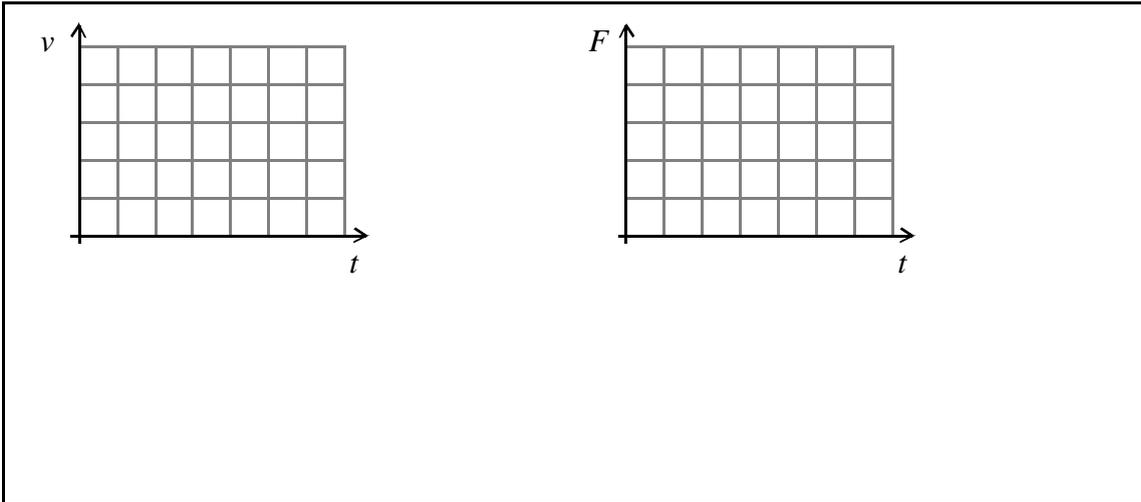
6.

A large empty rectangular box with a thin black border, intended for the solution to problem 6. The box is positioned to the right of the number '6.' and occupies the upper half of the page.

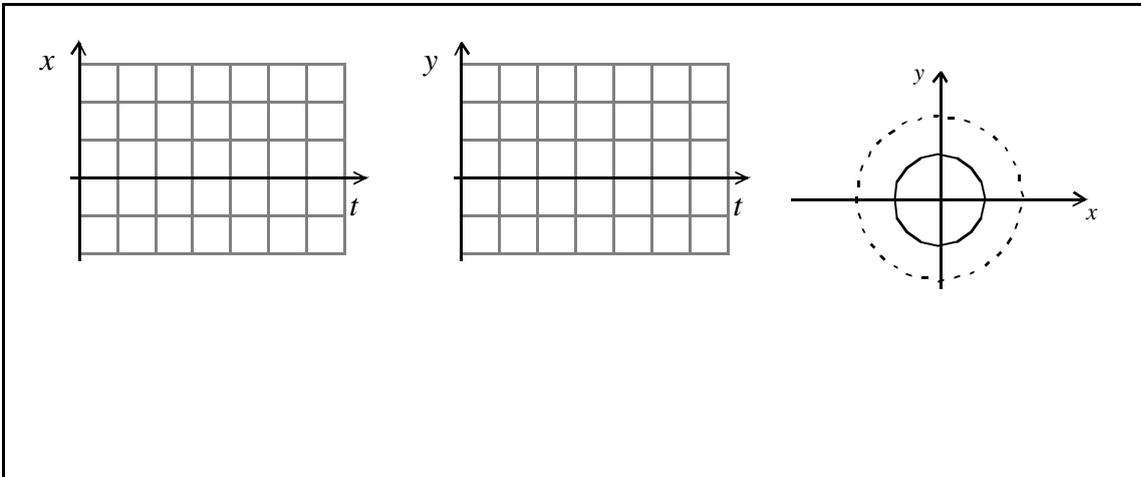
7.

A large empty rectangular box with a thin black border, intended for the solution to problem 7. The box is positioned to the right of the number '7.' and occupies the lower half of the page.

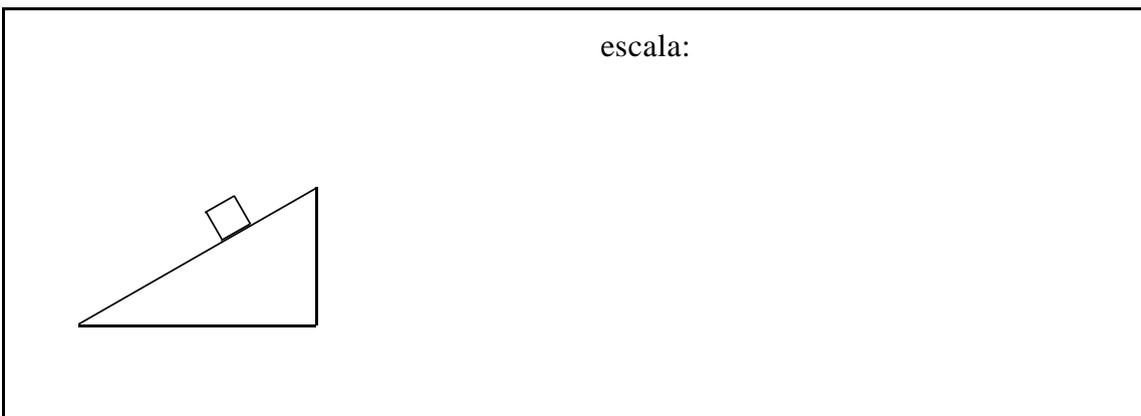
8.



9.

**Questões 10 a 13**

10.



11.



12.

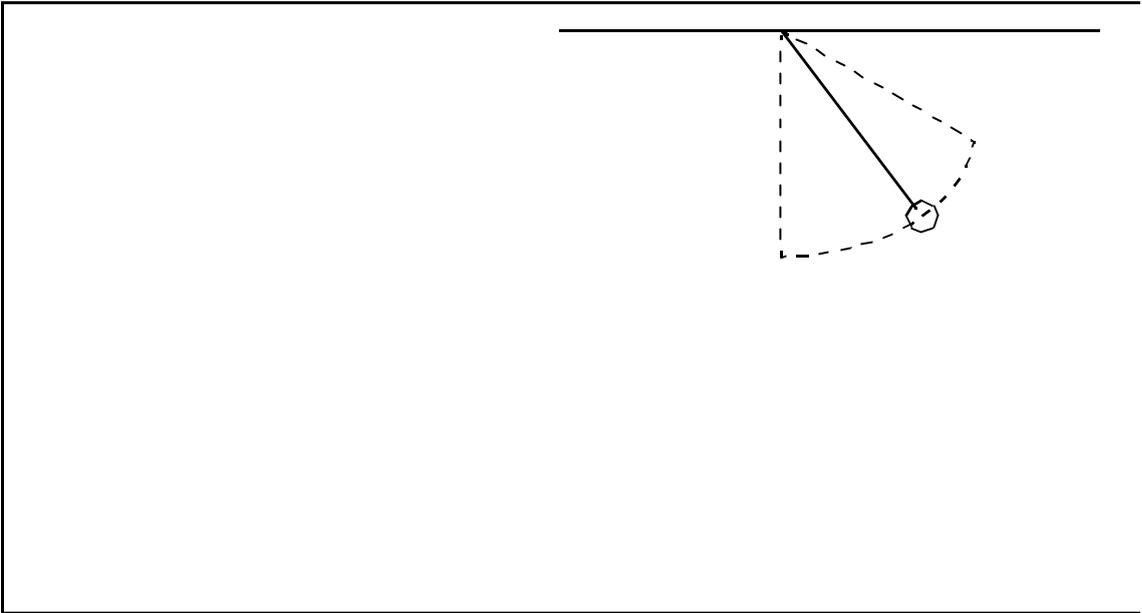
A large empty rectangular box with a thin black border, intended for the solution to problem 12. The box is oriented vertically and occupies most of the page's height.

13.

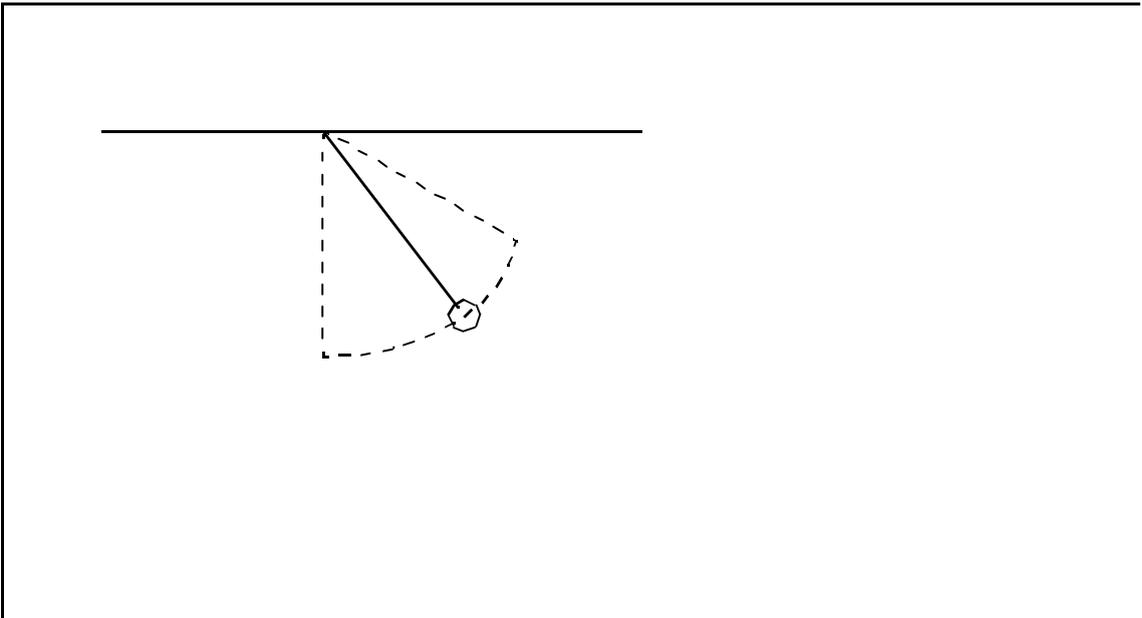
A large empty rectangular box with a thin black border, intended for the solution to problem 13. The box is oriented vertically and occupies most of the page's height.

Questões 14 a 17

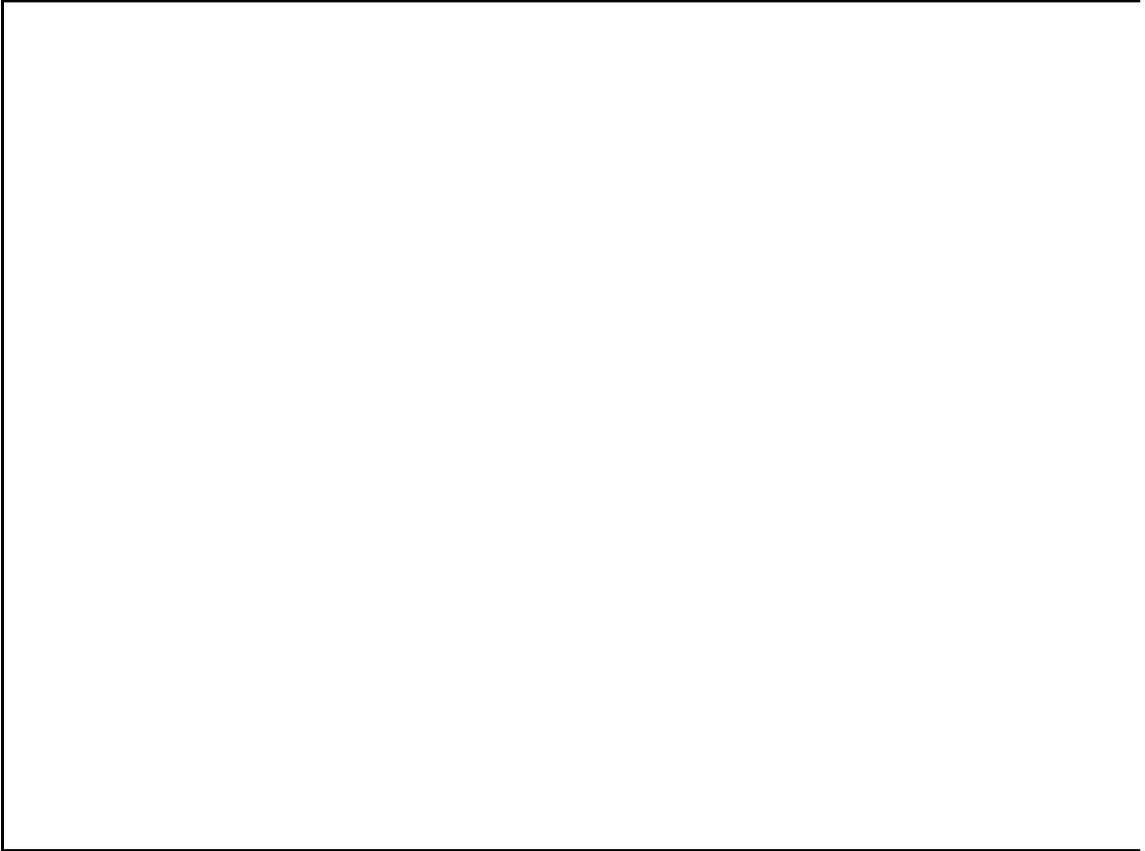
14.



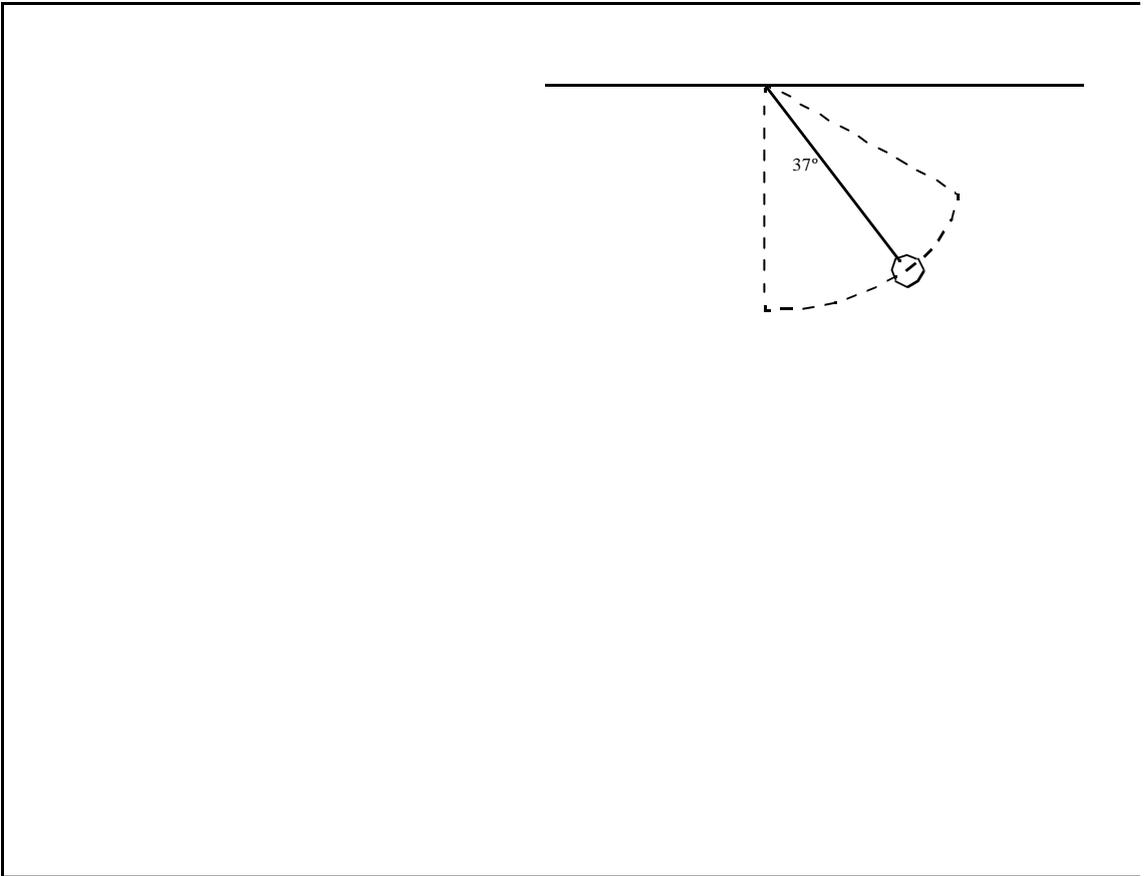
15.



16.



17.



Questões 18 a 20

18.

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the student's answer to question 18. It occupies the majority of the page's width and a significant portion of its height.

19.

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the student's answer to question 19. It is similar in size and layout to the box for question 18.

20.



(Espaço adicional. Identifique as questões).

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying most of the page below the text. It is intended for the student to identify the questions.

(Espaço adicional. Identifique as questões).

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying most of the page below the text. It is intended for the student to identify the questions.

PROVA ESCRITA DE FÍSICA

Caderno de Respostas (Exemplo e cotações)

Questões 1 a 4

1. 4 pontos

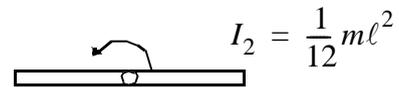
Falsa. Se o movimento for curvilíneo, a aceleração nunca é nula, mas sim dirigida para o interior da trajectória, pois possui sempre uma componente normal, $\vec{a}_n = \frac{v^2}{r} \vec{e}_n$ pelo facto da velocidade variar em direcção.

2. 4 pontos

A magnitude do momento angular de cada barra é:

$$L_1 = I_1 \omega = \frac{1}{3} m \ell^2 \omega \quad \text{e}$$

$$L_2 = I_2 \omega = \frac{1}{12} m \ell^2 \omega$$



Como $\frac{1}{3} > \frac{1}{12}$ vem $L_1 > L_2$.

Portanto, a afirmação é verdadeira.

3. 4 pontos

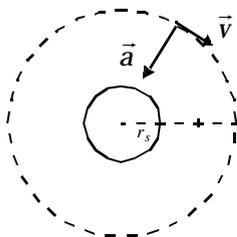
Falsa. Por definição de colisão perfeitamente inelástica, as partículas seguem juntas após a colisão. Logo, a velocidade de ambas as partículas é igual.

4. 4 pontos

O volume do cubo é maior do que o da esfera, uma vez que esta pode ser inscrita no cubo. Como têm a mesma densidade, o cubo está sujeito a uma força gravítica maior. Como, ao flutuarem em equilíbrio, $\vec{F}_g = -\vec{F}_f$, o cubo fica submetido a uma impulsão maior. Então, pela lei de Arquimedes, desloca maior volume de água. Logo, o cubo fica mais imerso que a esfera. Verdadeira.

Questões 5 a 9

5. 4 pontos



A velocidade é sempre tangente à trajetória e a aceleração é centrípeta, e de intensidade constante, uma vez que a trajetória é circular e o satélite move-se com rapidez constante submetido à força gravitacional, dirigida para o centro.

6. 4 pontos

Tem-se:

$$G \times \frac{m_T \times m_s}{r_s^2} = \frac{m_s \times v^2}{r_s} .$$

Donde:

$$G \times \frac{m_T}{r_s} = v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{Gm_T}{r_s}}$$

7. 4 pontos

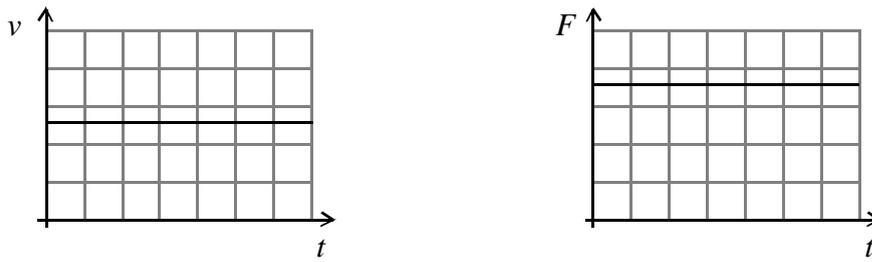
Como

$$E_p = -\frac{Gm_T m_s}{r_s}$$

tem-se:

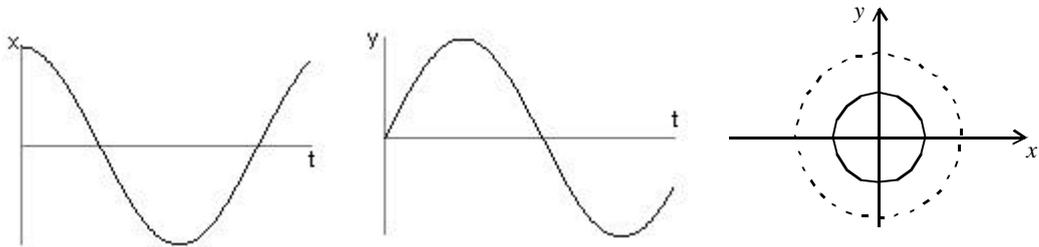
$$\frac{E_{p1}}{E_{p2}} = \frac{\frac{Gm_T m_s}{3r_s}}{\frac{Gm_T m_s}{2r_s}} \Leftrightarrow \frac{E_{p1}}{E_{p2}} = \frac{1}{3} \Leftrightarrow \frac{E_{p1}}{E_{p2}} = \frac{2}{3}$$

8. 4 pontos



Quer o módulo da velocidade quer o módulo da força gravitacional são constantes.

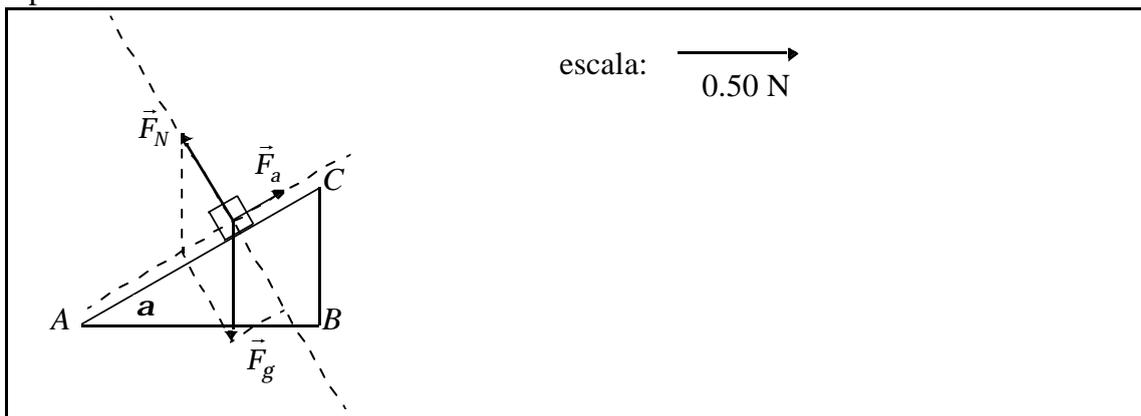
9. 4 pontos



O movimento é circular e uniforme. Logo, as coordenadas x e y são descritas por funções sinusoidais. No instante inicial, a coordenada x tem o valor máximo e a coordenada y valor nulo.

Questões 10 a 13

10. 4 pontos



11. 4 pontos

A força de atrito estático é a força de atrito que se exerce no bloco, na inclinação máxima possível da calha inclinada para que o bloco não arranque.

12. 8 pontos

Na inclinação máxima possível da calha inclinada para que o bloco não arranque, tem-se, por definição de m , o coeficiente de atrito estático:

$$F_a = mF_N$$

A magnitude desta força de atrito é equilibrada pela resultante da força normal com a força gravítica:

$$F_g \sin a = mF_N$$

Como a componente da força gravítica segundo a direcção perpendicular ao plano equilibra a força normal, tem-se:

$$F_N = F_g \cos a$$

Substituindo, vem:

$$F_g \sin a = mF_g \cos a$$

$$\sin a = m \cos a$$

$$\frac{CB}{AC} = m \frac{AB}{AC}$$

$$m = \frac{CB}{AB}$$

É, pois, necessário medir CB e AB no instante imediatamente antes do bloco arrancar.

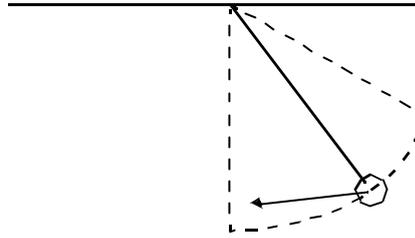
13. 4 pontos

Como a força de atrito cinético é constante, independente da velocidade, a resultante das forças (atrito, gravitacional e normal) é constante, paralela ao plano e dirigida para baixo. O movimento é, pois, uniformemente acelerado, para baixo.

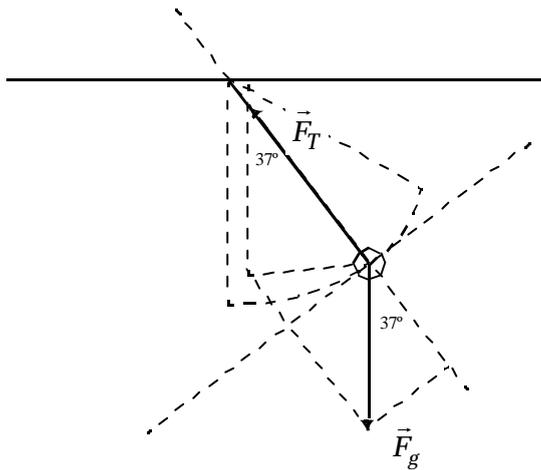
Questões 14 a 17

14. 4 pontos

A resultante tem de ser dirigida para o interior da trajectória, uma vez que, enquanto a esfera desce, a variação de velocidade é, também, dirigida para o interior da trajectória.



15. 4 pontos



16. 4 pontos

A velocidade da esfera é nula na posição de amplitude angular máxima e máxima na posição de equilíbrio, de menor energia potencial.
Pela conservação da energia mecânica tem-se:

$$mg|\Delta y| = \frac{1}{2}mv^2 - 0 .$$

Como $|\Delta y| = 1,0 - 1,0 \times \cos 60^\circ = 1,0 - 0,5 = 0,5$ m, vem:

$$0,20 \times 10 \times 0,5 = \frac{1}{2} \times 0,20 \times v^2 .$$

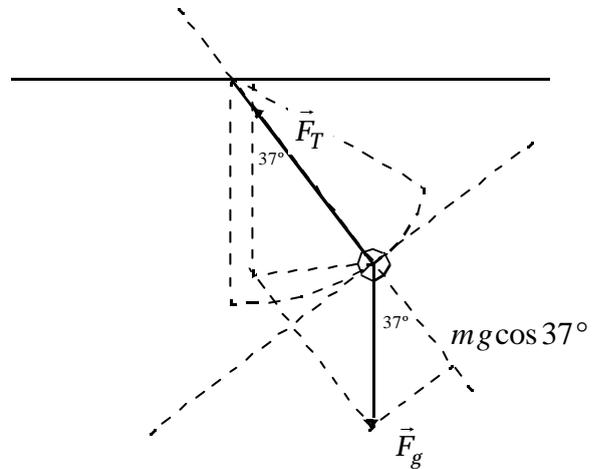
Donde:

$$v = \sqrt{10} = 3,2 \text{ m/s} .$$

17. 8 pontos

A intensidade da componente centrípeta da força é dada por mv^2/r .
A força de tensão apenas tem componente centrípeta. A força gravítica tem componente radial e componente tangencial.
A intensidade da componente radial da força gravítica é $mg \cos 37^\circ$. Como essa componente tem sentido oposto à força de tensão, a intensidade da componente radial das forças que actuam a esfera é $F_T - mg \cos 37^\circ$.

Esta intensidade tem que ser igual a mv^2/r , a intensidade da componente centrípeta da força (produto da massa pela componente centrípeta da aceleração, v^2/r).



Questões 18 a 20

18. 4 pontos

Quando a placa C for positiva e a placa D negativa ou, de um modo geral, quando a placa D estiver a menor potencial do que a placa C, independentemente do sinal. Para o campo «travar» os electrões, a força eléctrica tem que ser dirigida de D para C.

Então, como $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ e a carga q dos electrões é negativa, o campo \vec{E} tem de ter o sentido oposto ao da força, ou seja de C para D.

19. 4 pontos

Entre D e F os electrões ficam submetidos à força magnética exercida pelo campo magnético. Como a força magnética é dada por $\vec{F}_m = q_e \vec{v} \times \vec{B}$, os electrões só não sofrem desvio se o produto externo for nulo. Isto é, se a velocidade e o campo magnético tiverem a mesma direcção. Logo, o campo magnético tem de ter a direcção TU.

20. 4 pontos

Há que calcular a intensidade da força eléctrica. Pela lei do trabalho-energia, tem-se:

$$F_e |\Delta r| = |\Delta E_c|$$

Donde:

$$F_e \times 6,0 \times 10^{-2} = 1,16 \times 10^{-16} - 2,91 \times 10^{-17}$$

$$F_e = 1,45 \times 10^{-15} \text{ N}$$

Como

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

temos:

$$E = \frac{1,45 \times 10^{-15}}{1,6 \times 10^{-19}} = 9,1 \times 10^3 \text{ N/C (ou V/m)}$$