



Universidade Estadual de Campinas

F 609 – Tópicos do Ensino de Física I
Professor coordenador: José Joaquim Lunazzi - IFGW

Relatório Final:

Construção de um tubo de vácuo para estudo de queda livre.



Aluna: Regina Célia Batista Moretti – RA 019297

Professor Orientador: Dirceu Silva – FE

Resumo:

Esse trabalho teve como objetivo a construção de um tubo de vácuo para estudo de queda livre e a apresentação do experimento a alunos do Ensino Médio, de uma escola pública. O tubo é de vidro, com 80 cm de comprimento, 6 cm de diâmetro e com 3 mm de espessura, foi soldada uma torneira de vidro, própria para vácuo, em uma de suas extremidades e fechada a outra extremidade após colocação de uma pena e uma bolinha de borracha. O vácuo no tubo foi de $6,010^{-2}$ Torr, baixo vácuo, suficiente para observação do fenômeno. As condições de pressão no tubo ficaram mantidas por até 14 dias. Para verificar as concepções prévias dos alunos, um primeiro teste foi aplicado, após observarem simples experimentos de queda de objetos na presença de ar e terem uma exposição sobre as idéias de Aristóteles e de Galileu. Uma aula expositiva foi realizada, três semanas após aplicação desse primeiro teste, sobre a relação entre a área de superfície de contato com o ar dos objetos e a força de resistência do ar que faz oposição à força gravitacional, explicando os experimentos da aula anterior sob esse aspecto. Nesta aula também foram apresentadas quedas da pena, rolha e bolinha no tubo de vácuo construído e no tubo sem vácuo. Um segundo teste foi aplicado para verificar se houve mudança nas idéias dos alunos e quais foram essas mudanças.

Palavras chave: queda dos corpos, ensino construtivista, tubo de vácuo.

1. Introdução

1.1. Contextualização

Na Grécia Antiga, Aristóteles e seus discípulos, construíram teorias baseando-se na idéia que os corpos têm tendência a procurar o seu lugar natural, por exemplo, *“a água se espalha pelo chão como se tivesse sido derramada porque o lugar natural do elemento aquoso era a superfície da Terra.” Para Aristóteles corpos leves e pesados, quando abandonados de uma mesma altura, o mais pesado chegaria ao solo mais rápido.* (Ronan, 1987; *apud* Hülsendeger, 2004).

Galileu (sec. XVII) propõe uma Lei da Queda dos Corpos que se opõem às teorias dos antigos gregos. Para ele, corpos leves e pesados, abandonados de uma mesma altura, caem simultaneamente, chegando ao chão no mesmo instante. Se fosse possível a ausência de ar, ele teria como comprovar definitivamente sua lei. Historiadores afirmam que ele e seus discípulos realizaram inúmeros experimentos, tentando medir o tempo de queda dos corpos.

Isaac Newton (1642-1727) parece ter verificado a suposição de Galileu, afirmando *“...Pois pequenas penas caindo ao ar livre encontram grande resistência, mas num vidro alto bem esvaziado de ar elas caem tão rápido quanto o chumbo ou o ouro, como me foi dado a comprovar diversas vezes...”* (Newton, 1996 *apud* Lunazzi et Paula, 2008).

O primeiro experimento dos astronautas, David Scott e Jim Irwin, ao pisarem na lua foi deixar cair um martelo e uma pena, verificando que na atmosfera rarefeita da Lua chegavam ao solo, praticamente, ao mesmo tempo. (Woodfill, 2006 *apud* Lunazzi et Paula, 2008).

Ainda hoje, na sala de aula, a maioria dos alunos, tem as mesmas idéias de Aristóteles para a queda dos corpos. Apresentar as idéias de Galileu, em oposição a Aristóteles, pode colocar em conflito e levar os alunos a construírem novas formas de pensamentos. O ensino de ciências deve levar a pensar, refletir, criticar, buscar novas explicações, nunca colocar a ciência como uma verdade absoluta, intocável, com explicações fechadas e únicas transmitidas pelos mestres. (Medeiros et Bezzerra Filho, 2000).

Com objetivo de levar o experimento de corpos leves e pesados em um tubo de vácuo, como forma de colocar em conflito as concepções dos alunos do Ensino Médio de uma escola Pública é que foi realizado esse trabalho.

1.2. Tecnologia do vácuo

No século XVII para apoio ao raciocínio científico intensificaram-se o uso de experimentos e nesse contexto se dá o início da Tecnologia do vácuo. Existiam duas preocupações, a natureza do ar e a possibilidade de ter espaços sem ar, ou ao menos com uma quantidade muito pequena. Em 1640, Galileu tentando resolver um problema de elevar água, com auxílio de uma bomba, a alturas maiores de 10m, realizou experimentos com dois balões de vidro: um com ar e outro, que por aquecimento, reduziu a quantidade de ar, notou que apresentavam pesos diferentes e que, portanto, o ar tinha peso. Torricelli continuou as experiências de Galileu e interpretou que “o peso do ar”, ou pressão atmosférica era capaz de manter uma coluna de água maior de 10,3m.

Torricelli construiu um barômetro que consistiu em um tubo fechado em uma de suas extremidades e cheio de mercúrio com a extremidade aberta imersa em um recipiente contendo mercúrio. O nível de mercúrio desce até 76 cm entre o nível de mercúrio do tubo e do recipiente. Esse espaço desocupado de mercúrio não contém matéria, sendo, portanto, uma técnica para obter vácuo. Embora contenha uma pequena quantidade de vapor de mercúrio, tem-se um vácuo parcial de boa qualidade.

Em 1662 foram publicados trabalhos de Magdeburgia sobre espaço evacuado. Ele foi um dos primeiros a construir bombas de vácuo. A idéia era bombear toda a água contida em um recipiente, não restaria mais nada.

Outro experimentalista foi Otto Von Guericke, desenvolveu bombas de vácuo a pistão, comuns nos laboratórios de Física do século XVIII e XIX. Um pistão pressionado dentro de um cilindro provido de uma válvula para saída do ar, a válvula é fechada e o pistão retirado, reduzindo a pressão dentro do cilindro.

Outras técnicas foram desenvolvidas com o passar do tempo. Algumas bombas funcionam com pistão rotativo, mantendo o processo de retirada do ar. Em outras, o resíduo de ar é arrastado por fluxo de vapores (bombas difusoras). Nas bombas criogênicas o ar frio deixa de circular reduzindo o volume. As chamadas, turbo - moleculares, arrastam as moléculas de ar com palhetas como em uma turbina. (*Stempniak, 2002*).

Neste trabalho algumas dificuldades foram de encontrar especificações de materiais que podem ser utilizados como recipientes para vácuo. O vidro é sempre mencionado, porém como material didático talvez não fosse o mais adequado, por oferecer riscos de acidente com a quebra do tubo de vácuo. Mas, a maioria dos materiais polímeros, como acrílico, PVC,

degasam, não permitindo a estabilidade das condições de pressão necessárias para observação do experimento de queda livre.

1.3. Ensino construtivista

As pesquisas de Jean Piaget tinham como objetivo maior compreender o homem, não apenas aperfeiçoar métodos pedagógicos ou conhecer como pensam as crianças. A grande pergunta era: Como o homem chega ao conhecimento?

Piaget considerou que para compreender a natureza e o funcionamento dos mecanismos mentais do homem adulto seria necessário, primeiramente, estudar esses mecanismos mentais na criança. Embora tenha sido influenciado pela ciência positivista e experimental, seu trabalho em psicologia é uma epistemologia.

Sua obra é complexa e suas descrições e interpretações são estruturadas em seus conhecimentos nas áreas de biologia, matemática e física e por isso, algumas vezes mal compreendidas e interpretadas. A contribuição dos trabalhos de Piaget é de grande valor principalmente para a área de ensino e reconhecida mundialmente.

Silva (1990) afirma que embora haja dificuldade em se transferir à teoria de Piaget para sala de aula, ela pode ser utilizada como conhecimento que permite repensar o problema do ensino na visão tradicional. Para isso escolhe um trabalho do teórico e pensador construtivista piagetiano Garcia (1982) que mostra como essa teoria possibilita a mudança de postura dos educadores:

“Os avanços obtidos pela teoria do conhecimento e pela psicologia da inteligência permitem, hoje, considerar o problema do ensino das ciências a partir de uma perspectiva diferente da pedagogia tradicional”.(Garcia apud Silva, 1990).

No ensino tradicional o aluno é visto como sujeito passivo sem levar em consideração as estruturas já estabelecidas pelo sistema cognitivo do aluno:

“... A aprendizagem é reduzida a um repetir” onde a relação a interiorizar é apresentada na forma de discurso, de associação entre expressões verbais. Esta aprendizagem vai resultar no sistema cognitivo, de uma série de ligações por simples associações, não entre os conceitos correspondentes a compreensão do sistema de objetos em questão (compreensão que não pode ser construída senão pelo sujeito), mas entre os significantes dos conceitos e as palavras empregadas por quem ensina.” (Halbwachs, 1981 apud Silva, 1990).

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho foi:

- A construção de um tubo de vácuo para estudo de queda livre de corpos;
- A aplicação desse experimento como objeto de avaliação das concepções dos alunos de ensino médio sobre queda livre.

3. Materiais e métodos

3.1.1. Materiais para a construção do tubo de vácuo e atividades experimentais

Para construção do tubo de vácuo foram utilizados:

- Tubo de vidro com 80 cm de comprimento, 6 cm de diâmetro e 3 mm de espessura;
- Torno e forno vidraria;
- Torneira de vidro própria para vácuo;
- Pena (0,055g) e bolinha de borracha (9 g);
- Bomba de vácuo de palhetas.

O tubo foi construído na oficina de vidraria do IFGW, com a colaboração do Técnico Roberto. Após construção do tubo foi levado para o Laboratório de Vácuo e Criogenia para obtenção do vácuo no tubo. Nesse laboratório foram obtidas as informações técnicas necessárias a elaboração do projeto. A colaboração dos Técnicos Sales e Renato foi imprescindível à conclusão do trabalho. Na obtenção dos materiais tivemos também a colaboração do Técnico Costa, do laboratório de óptica.

Materiais para outros experimentos:

- Penas, rolhas e bolinhas de borracha;
- Garrafas PET transparentes;
- Livro e folhas de papel.

Experimentos apresentados:

- Queda de uma rolha e uma pena, abandonadas de uma mesma altura;
- Queda de um livro e uma folha, abandonados, de uma mesma altura, separados e queda do livro com a folha sobre ele;
- Queda de duas garrafas PET, iguais e transparentes, contendo distintos volumes de água;
- Queda de uma garrafa PET transparente, contendo uma pena e uma rolha.

3.1.2. Campo de ação

O projeto foi desenvolvido na EEPSG Prof. ^a Maria de Lourdes de Campos Freire Marques, à Avenida André Toselo, 65, Jardim Santa Terezinha, Campinas. As aulas foram nas turmas de 1º, 2º e 3º anos do Ensino Médio (noturno). A disciplina de física dessas turmas constitui-se de duas aulas de 45 minutos cada, sob responsabilidade da Professora Tatiana Cristina Orpinelli (professora tutora). A turma de 1º ano é composta por cerca de trinta e nove alunos, a de 2º ano de trinta alunos e a de 3º ano, quarenta e três alunos, todas as turmas com faixa etária dos 14-18 anos.



Figura 1. Foto alunos EEPSG Maria de Lourdes de Campos Freire.

Após autorização da diretora da escola, Professora Maria Helena, foi apresentado o projeto à professora de Física, Tatiana, e negociado como seriam desenvolvidas as atividades em sala de aula. A professora concordou com a realização do trabalho durante suas aulas e achou interessante os alunos terem aulas com experimentos, já que as aulas na escola são somente teóricas. No dia 29/09/08 o tema foi desenvolvido com as turmas dos 2º e 3º anos, utilizando uma aula para cada turma. No dia 30/09/08 foi com a turma do 1º ano. Nessa primeira aula foi aplicado o primeiro teste para verificação das concepções dos alunos sobre o tema e ser utilizado para o preparo da próxima aula, expositiva sobre queda livre.

No dia 3 e 4 de novembro, foram realizadas as aulas expositivas e apresentados os experimentos de queda de objetos (pena e rolha, pena e bolinha) nos tubos com ar (tubo de acrílico) e de vácuo (tubo de vidro). Para essa aula foi elaborado também um informativo (anexo I) e um segundo teste foi aplicado para verificar se houve mudanças nas idéias dos alunos e quais foram essas mudanças.

4. Resultados e discussão

4.1. Construção do tubo de vácuo

Pela disponibilidade de um tubo de acrílico, com 60 cm de comprimento, 9 cm de diâmetro e 5 mm de espessura, foi feita uma primeira tentativa de construção do tubo de vácuo com esse material.

Pesquisando sobre as propriedades do acrílico nada foi encontrado que impedisse a sua utilização para esse fim, porém, em pesquisas sobre materiais utilizados para recipientes de vácuo, foi encontrado somente de vidro.

Em uma consulta ao técnico do Laboratório de Vácuo e Criogenia (Sales), foi mencionada a possibilidade do uso de tubo de policarbonato. Como não houve oportunidade de uma nova consulta ao pessoal técnico do laboratório de vácuo, sobre uso de tubo de acrílico e estando de acordo o professor coordenador da disciplina, foi concluída a construção do tubo com esse material. O sistema é representado na figura 2.

Para vedação do tubo foram utilizados duas tampas de PVC, de 4 polegadas, e dois anéis de borracha, que foram colocados antes das tampas para melhor vedação.

Em uma das tampas foi feito um furo para colocação da torneira. Para furar a tampa, utilizou-se uma furadeira, com broca de 3/8 de polegadas, com a qual foram feitos vários pequenos furos e depois com uma faca feito um recorte para um furo de tamanho adequado.

A primeira torneira utilizada foi uma de plástico, depois essa torneira foi substituída por uma de metal, própria para gases. Antes de vedar foram colocadas dentro do tubo uma pena e uma rolha de borracha. As juntas foram vedadas com cola de silicone.

Como primeira tentativa para vácuo, utilizou-se uma bomba de vácuo de laboratório, tipo centrífuga (de palhetas), mas, a pressão final de vácuo não foi suficiente para observação de queda livre sem resistência do ar. Após essa tentativa o tubo foi levado para Laboratório de Vácuo e Criogenia do IFGW para testes.

Pela avaliação dos técnicos responsáveis do Laboratório de Vácuo (Sales e Renato) não foi possível vácuo no tubo construído, mesmo não havendo vazamentos e com a possibilidade de se atingir a pressão de vácuo necessária, a previsão para estabilidade das condições de pressão foi de um período de tempo de poucas horas ou até mesmo questão de minutos e não seria possível a utilização do tubo no local de apresentação do experimento, sala de aula, por exemplo. As justificativas foram:

- Material do tubo, acrílico, e das tampas, PVC, sofrerem constante degasagem (alta pressão de vapor), sendo mais crítico esse fenômeno no PVC;
- O tubo de acrílico tinha muitas ranhuras e impurezas, que dificultam a retirada de gases e podem danificar os equipamentos;
- A forma do tubo, não arredondada nas terminações (tampas), também dificulta a retirada de gases;
- Bomba de vácuo utilizada nos primeiros testes não ser eficiente para atingir pressão de vácuo final necessário (mínima de 10^{-1} torr) para observação de queda livre sem resistência do ar.

Após essa avaliação, decidiu-se pela construção de um novo tubo para vácuo, de vidro, fechado em uma das extremidades, sob temperatura, com uma torneira, também de vidro, soldada na outra extremidade e formas terminais arredondadas. Serviço solicitado para oficina de vidraria. O sistema é representado na figura 3.

Após conclusão do tubo foram feitas duas reformas. A primeira reforma foi devido à forma da pena que aderiu nas paredes do tubo por estática, foi necessário abrir o tubo e trocar a pena.

A segunda reforma foi devida essa segunda pena ser mais estreita que a primeira e ficar presa no orifício da torneira quando deixada cair nessa direção, para evitar isso, fez-se um estrangulamento no tubo próximo e antes de chegar à torneira. Os tubos estão também representados nas fotos da figuras 4 e 5.

No dia 29/10/08, foi feito vácuo no tubo, até o dia da apresentação do trabalho, 12/11/08, o fenômeno ainda era observável, portanto as condições de pressão se mantiveram por cerca de duas semanas. A pressão inicial foi de $6,0 \cdot 10^{-2}$ Torr.. As aulas, com apresentação do tubo, foram nos dias 3 e 4/11/08.

A Física Experimental nos reserva desafios que muitas vezes não são previstos pela teoria.

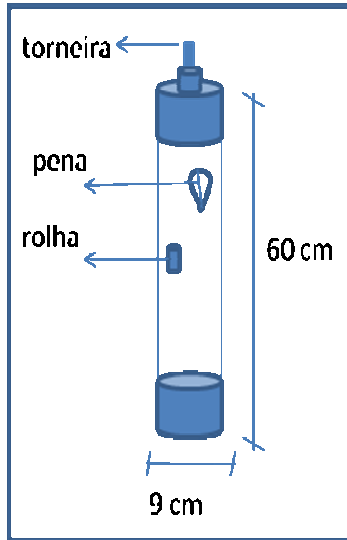


Figura 2. Esquema do tubo de acrílico.

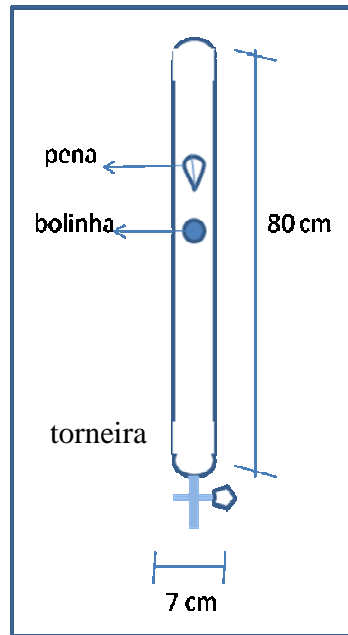


Figura 3. Esquema do tubo de vácuo de vidro.



Figura 4. Foto tubo de acrílico.



Figura 5. Foto tubo de vácuo de vidro.

4. 2. Desenvolvimento do tema queda livre com alunos do Ensino Médio.



Figura 6. Foto aula alunos do **primeiro ano** escola Maria de Lourdes, ao fundo sentada professora Tatiana.

Após as apresentações aos alunos pela professora, perguntei se já tinham ouvido falar sobre queda livre. Alguns alunos, do 2º e 3º anos, tinham assistido a uma palestra sobre o assunto, em um parque de diversões, os alunos, de 3º ano já tinham tido aula sobre o tema. Foi feita então a seguinte pergunta:

- Vou deixar cair uma pena e uma rolha de borracha no chão. Qual vai chegar ao chão primeiro? Por quê?

A maioria dos alunos afirmou que a rolha chegaria primeira, no primeiro ano 33 de 39 alunos, no segundo ano 26 de 30 alunos e no terceiro 34 de 43 alunos, tiveram essa opinião. A maioria justificou que seria porque a rolha é “*mais pesada*” que a pena, outros (em menor número) disseram que a rolha tinha “*maior densidade*”, no segundo ano, alguns mencionaram ainda “*mais massa*” e no terceiro ano “*mais volume*”.

A rolha e a pena eram soltas e eles viam que a rolha tinha maior velocidade de queda, como a maioria pensava.

A segunda experiência apresentada foi a do livro e da folha que eram deixadas cair separadamente e confirmava a primeira experiência da rolha e da pena, mas, quando a folha era colocada sobre o livro os dois caíam juntos. Foi o experimento que mais intrigou os alunos.

Foram questionados sobre o que acontecia. Primeiro achavam que estava sendo feito algum truque, depois de repetir várias vezes, começaram a justificar afirmando com frases do tipo:

“- Não tem gravidade entre a folha e o livro!”

“- A folha vai no vácuo!”

Durante a aula no segundo e terceiro anos, os alunos fizeram a experiência da folha aberta e da folha amassada, dizendo que estava provado que não era pelo peso. Tinham visto esta experiência na palestra do parque de diversões. Justificavam que era por causa da densidade ou do volume. Alguns mencionavam *“resistência do ar”*, mas mostravam idéias de que a resistência do ar acelerava a queda da folha amassada, por exemplo. Ou seja, apesar de terem ouvido falar sobre a resistência do ar, a maioria não entendeu o conceito de viscosidade do ar como uma força de oposição à queda dos corpos. Outros alunos que justificaram corretamente a resistência do ar como oposição a queda da folha aberta, mostraram não ter entendido o que isso significava, às vezes se contradizendo falando de densidade, volume ou peso para justificar outras experiências. Nenhum aluno mencionou *“área de superfície”*.

A terceira experiência foi deixar cair duas garrafas PET, iguais, contendo diferentes volumes de água. Quando indagados sobre qual chegaria primeiro ao chão, a maioria afirmou que seria a mais cheia. Mesmo depois de ver a queda das duas, que chegavam “juntas” ao chão, alguns alunos do 3º ano, acharam que a mais cheia caía um pouco antes e continuaram repetindo a experiência sem se convencerem do contrário!

A quarta e última experiência foi a da garrafa PET contendo a rolha e a pena. Antes da queda da garrafa foram questionados sobre o que aconteceria na queda. Muitos disseram:

“- A pena vai flutuar e a rolha vai continuar no fundo da garrafa!”

Ficaram bem intrigados com esse experimento também. Algumas justificativas foram:

“- A gravidade está só fora da garrafa”.

“- O ar de dentro da garrafa não se move!”

“- A velocidade da garrafa é que conta!”

Após essas experiências, foi explicado aos alunos que Aristóteles, na Grécia antiga, assim como seus discípulos, afirmava que o mais pesado sempre cai primeiro na queda livre e que alguma coisa atrapalhava o fenômeno quando isso não era observado. Por não ser possível se medir o tempo de queda com precisão, não tinha como comprovar, e poderíamos

as vezes pensar que dois corpos caem ao mesmo tempo. Já Galileu dizia que os corpos caem ao mesmo tempo, mas que a presença de ar impede que uma pena caia ao mesmo tempo em que a rolha, por exemplo, caso fosse possível fazer a experiência sem a presença de ar, poderia provar que estava certo. Alguns historiadores afirmam que ele e seus discípulos fizeram diversas experiências medindo o tempo de queda de corpos e afirmaram que os corpos caem sempre com mesma velocidade.

Após essa exposição sobre Aristóteles e Galileu, foi solicitado aos alunos que escrevessem em uma folha de papel, com qual dos dois eles concordavam, com Aristóteles que dizia que os corpos mais pesados caem com maior velocidade ou com Galileu que afirmavam que caem com mesma velocidade. Todos os alunos escreveram na folha.

As respostas foram avaliadas e utilizadas para preparação da próxima aula, quando foi exposta a explicação para queda dos corpos dada pela comunidade da Física, hoje, e apresentado o experimento de queda livre utilizando o Tubo de Vácuo construído. Nas tabelas 1, 2 e 3 estão representados os resumos das respostas desse primeiro teste para o primeiro, segundo e terceiro ano respectivamente. No resumo, foram apresentadas as idéias principais das respostas, para o que está sendo avaliado, que é a justificativa para diferença de velocidade na queda dos corpos.



Figura 1. Foto aula alunos do **segundo ano** escola Maria de Lourdes. Tubo de vácuo sobre a mesa.

Tabela1. Primeiro teste dos alunos de **primeiro** ano

Aluno	Aristóteles	Galileu	Justificativa primeiro teste (resumo)
1		x	Às vezes gravidade atrapalha
2	x	x	Depende se formas iguais ou diferentes
3	x	x	Depende se formas iguais ou diferentes
4	x		Vento bate no mais leve
7		x	Depende da forma objeto e do ar
8	x		Gravidade atrai mais pesada
9	x	x	Experimento das garrafas e rolha e pena
11	x		Força da gravidade é maior que coisas leves
12	x		Gravidade atrai mais pesada
13	x		O que tem mais massa cai primeiro
14	x	x	Depende da forma objeto
15	x		Mais pesado cai primeiro
16	x	x	Depende da forma objeto
17	x		Mais pesado cai primeiro
22	x		Mais pesado cai primeiro
24	x	x	Experimento das garrafas e rolha e pena
25	x		Mais pesado cai primeiro. A folha sobre livro, forma "vácuo" entre eles.
26	x	x	Depende da forma objeto
27		x	Depende da forma objeto. Densidade da pena
28	x		Mais pesado cai primeiro
29		x	Caem juntos. Gravidade e densidade sempre a mesma
30	x		Mais pesado cai primeiro, porque tem mais densidade.
31		x	Folha faz zig-zag no ar, caminho mais longo.
32	x		Mais pesado cai primeiro
33	x		Mais pesado cai primeiro. A folha sobre livro, forma vácuo entre eles.
34	x		Gravidade atrai mais pesada
35		x	Experimentos história, argumentos de Galileu.
36		x	Caem juntos. Formas diferentes objetos. Ilusão de óptica
37		x	Não basta ser mais pesado. Relação com volume, forma e gravidade.
39	x	x	Depende da situação. Experimentos livro e folha.
42		x	Ninguém consegue observar com os olhos qual cai primeiro
43	n	n	Vento atrapalha objetos mais leves. Mais pedados cortam o vento
44	x	x	Depende da situação. Como soltamos objetos, pressão do ar.
46		x	Ar faz flutuar (atrapalha)
48	x		Mais pesado cai primeiro
49	x		Mais pesado cai primeiro
50	x	x	Depende da situação (experimentos)
51	n	n	Depende da pressão do ar

Tabela2. Primeiro teste dos alunos de **segundo** ano.

Aluno	Aristóteles	Galileu	Justificativa primeiro teste (resumo)
1	x	x	Mais pesado cai primeiro. Se tivesse vácuo cairiam ao mesmo tempo
2	x	x	Depende da densidade. Mais denso cai primeiro
3		x	Caem ao mesmo tempo
5		x	Caem ao mesmo tempo
6	x	x	Mais pesado cai primeiro. Sem ar cairiam ao mesmo tempo
7	x	x	Tudo cai!
8		x	Caem ao mesmo tempo
9		x	O ar segura determinados objetos
17	x	x	Quando tem ar o mais pesado cai primeiro
19		x	Se não tivesse ar os dois cairiam ao mesmo tempo
24		x	Não é mais pesado é o mais denso que cai primeiro
25	x		Mais pesado cai primeiro
26	x	x	Depende do material que compõe objeto
29	x		Mais pesado cai primeiro
30	x	x	Modo de pensar diferente (Aristóteles e Galileu), mas, correto.
31	x	x	Não depende da massa, peso ou volume. No ar mais pesado.
33	x	x	Sem justificativa
35		x	Ar interfere na queda dos objetos
36	x	x	Se não tivesse ar os dois cairiam juntos. No ar o mais pesado cai primeiro
37	x	x	Aristóteles errou, pois não relacionou com o volume.
38	x	x	Depende da situação
42	x	x	O mais pesado cai primeiro, por outro lado, tudo depende da densidade.
43		x	Alguma coisa atrapalha que cheguem ao mesmo tempo no chão
44	x	x	Tudo cai!
46	n	n	Espera resposta técnica, científica. Não quer afirmar nada
47		x	Não é peso, mas formato que modifica velocidade de queda.
48	x		Mais pesado cai primeiro



Figura 7. Aula expositiva sobre queda livre.

Tabela 3. Primeiro teste dos alunos de **terceiro** ano.

Aluno	Aristóteles	Galileu	Justificativa primeiro teste (resumo)
1		x	Caem ao mesmo tempo
2		x	Há algum que impede de chegarem ao mesmo tempo no chão
3		x	Se não tivéssemos resistência atmosférica cairia ao mesmo tempo
4		x	Mais pesado cai primeiro
5		x	Galileu foi um grande cientista
6	x		Mais pesado cai primeiro
7	x		Mais pesado cai primeiro
8		x	Galileu foi um grande cientista
10		x	Maior o objeto, maior conflito com o ar.
11		x	Ar forma força contrária, material mais denso com superfície de contato menor.
13		x	Galileu foi um grande cientista
14		x	Galileu foi um grande cientista
15	x		Mais pesado cai primeiro
18	x	x	Mais denso cai primeiro e se estivesse no vácuo absoluto dois sujeitos à mesma força
20	x	x	Depende do objeto
21	x		Mais pesado cai primeiro
22		x	Galileu foi um grande cientista
24	x		Mais massa é mais fácil atravessar o ar
26	x		Mais volume e mais pesado cai primeiro
32	x		Mais pesado quebra a resistência do ar
35		x	Caem juntos (borracha e o lápis)
36	x	x	Depende do objeto
37	x		Mais pesado cai primeiro
39		x	Galileu fez estudos mais complexos que Aristóteles
43	x		Mais pesado cai primeiro
44	x		Mais pesado cai primeiro
46	x		Mais pesado cai primeiro
47	x		Mais pesado cai primeiro
48		x	Caem juntos (experimento garrafas com água)
49		x	Existe superfície de atrito com o ar

Pelas respostas apresentadas no primeiro teste, observamos que a maioria da turma do segundo ano concorda com Aristóteles, 68,4% dos alunos usaram peso, densidade, ou volume para justificar. Nas respostas escritas aparecem algumas mencionando resistência do ar (16%)



Figura 8. Alunos do **terceiro ano** escola Maria de Lourdes, aula expositiva.

Os alunos do segundo ano, 55,5%, disseram que concordam com os dois (Aristóteles e Galileu). Justificam que na presença de ar o mais pesado ou mais denso cai primeiro. No vácuo afirmam que os dois caem juntos, mas, não explicam por quê.

Na turma do terceiro ano as opiniões ficaram divididas, 50%, afirmou que concordava com Galileu. Alguns falam de Galileu como um grande cientista, demonstrando terem ouvido falar sobre Galileu e essa é a justificativa. O peso como justificativa para maior velocidade de queda é utilizado em 43% das respostas.

Para o segundo teste foi pedido para que explicassem porque, na presença de ar, a rolha cai primeiro (maior velocidade) e no vácuo a rolha e a pena caem juntas.

No segundo teste foi possível verificar que os alunos do primeiro ano ainda não assimilaram os conceitos introduzidos nas aulas. As respostas são menos elaboradas. O aluno 9, por exemplo, responde que *“a pena tem menos vácuo...”*. Porém, já aparecem nas respostas à interferência do ar como justificativa para diferença na velocidade de queda e não o peso, como ocorreu no primeiro teste.

Na turma do segundo ano as respostas foram mais objetivas, mas, não há mais justificativas utilizando massa, peso, densidade ou volume para diferença de velocidade de queda dos objetos, somente dois alunos justificam pela diferença de peso, vinte e seis (92,8%) justificam pela interferência do ar. No terceiro ano aparecem respostas bem elaboradas, como a do aluno 21:

“-Com a rolha e a pena no ar, a rolha caiu primeiro, porque, na queda a força de atrito do ar é contrária à força de atração dos corpos. Quanto maior for a superfície do objeto, mais ele demora em cair...”

Tabela 4. Segundo teste dos alunos de **primeiro** ano.

Aluno	Justificativa segundo teste (resumo)
1	Ar atrapalha movimento da pena
2	No vácuo o ar não produz impulso
3	Pena tem maior área de superfície que a rolha.
4	Resistência do ar atrapalha queda da pena
7	
8	O ar faz uma força contrária à da gravidade e faz a pena flutuar
9	A pena tem menor vácuo que a rolha
11	Força de resistência do ar impede queda da pena
12	Gravidade faz o mais pesado cair primeiro. No vácuo possuem mesmo peso
13	O ar influencia para que tenham mesma velocidade
14	A pena é mais leve, o ar impulsiona para cima.
15	No ar a pena tem maior contato, atrapalhando seu movimento.
16	Pena tem maior área de superfície que a rolha.
17	Ar tem maior contato com a pena
21	Pena cai por último por causa gravidade, rolha, primeira, porque é mais pesada.
22	Os corpos caem por causa da gravidade
24	Caem juntas se ar estiver vácuo
25	Ar empurra pena para cima porque tem massa menor
26	Por causa do ar
27	No vácuo as duas têm mesmo peso
28	Ar atrapalha movimento da pena
29	Rolha cai primeira porque é mais pesada
30	Área de superfície da rolha é menor, resistência do ar é menor.
31	Ar interfere na queda da pena
32	Resistência do ar atrapalha queda da pena
33	
34	Ar "prende" a pena
35	Resistência do ar atrapalha queda da pena
36	Gravidade, no vácuo, não consegue sustentar a pena.
37	Resistência do ar atrapalha queda da pena
39	Ar "prende" a pena
42	Resistência do ar atrapalha queda da pena
43	Ar "prende" a pena
44	O formato da pena e a resistência do ar, a rolha cai primeira.
46	No vácuo não tem lei da gravidade
48	No vácuo, influência do ar ajuda, caírem juntas.
49	
50	Área de superfície da pena é maior
51	

Tabela 5. Segundo teste dos alunos de **segundo** ano.

Aluno	Justificativa segundo teste (resumo)
1	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
2	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
3	
5	
6	Rolha sofre menor pressão do ar
7	
8	
9	Ar segura pena
11	Rolha é mais pesada que a pena
13	No vácuo não existe diferença de tamanho ou peso
17	Pena sofre maior resistência do ar
19	Pena tem mais massa que a rolha
20	Ar segura pena
21	Pena tem forma mais aberta, como um para quedas.
24	Ar segura pena
25	
26	Pena recebe vento
27	Pena tem mais massa
29	No vácuo não existe força entre ar-objeto
30	Ar segura pena
31	Pena tem contato maior com o ar
33	Ar segura pena
35	Rolha tem área menor para resistência do ar
36	Ar penetra na pena por ser mais aberta
37	Área de superfície da pena é maior
38	Resistência do ar age mais na pena Pena tem forma mais aberta, como um para quedas.
42	Ar segura pena
43	Pressão do ar atrapalha pena
44	Ar atrapalha pena Ar faz maior pressão na pena
46	Ar atrapalha pena
47	Área de superfície da pena é maior
48	

Tabela 6. Segundo teste dos alunos de **terceiro** ano.

Aluno	Justificativa segundo teste (resumo)
1	
2	Força de resistência do ar interfere na queda da pena
3	Superfície maior do objeto, maior atrito com o ar.
4	Força de resistência do ar interfere na queda da pena
5	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
6	Contato com o ar provoca resistência à queda
7	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
8	Área de superfície da pena é maio (mais resistência do ar)
9	Força de resistência do ar interfere na queda da pena
10	
11	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
12	Ar atrapalha queda da pena
13	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
14	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
15	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
18	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
20	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
21	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
22	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
24	Força de resistência do ar interfere na queda da pena
26	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
28	Ar atrapalha queda da pena
29	Quanto maior superfície do objeto, maior é atrito com o ar.
30	Ar atrapalha queda da pena
32	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
34	Força de resistência do ar interfere na queda da pena
35	
36	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
37	Área de superfície da pena é maior, maior influência da força de resistência do ar.
38	Força de resistência do ar interfere na queda da pena
39	Ar atrapalha queda da pena
43	Os dois têm mesma área de superfície no vácuo
44	
	Ar atrapalha queda da pena
46	Área de superfície da pena é maior (mais resistência do ar)
47	Área de superfície da pena é maior (mais resistência do ar)
48	
49	

5. Conclusão

O tempo para trabalhar os conceitos com os alunos foi pouco. Talvez em mais aulas fosse possível resultados mais satisfatórios, mas, foi possível determinar mudanças nas concepções dos alunos. Foi gratificante o trabalho, pois, eles colaboraram e participaram bem das atividades. A professora Tatiana também colaborou e foi bastante acolhedora.

A apresentação do experimento de queda dos corpos no vácuo foi importante, como forma de aproximar os alunos da comunidade científica e da Física experimental. O fato de saberem que muitos cientistas gostariam de ter visto este experimento, o próprio Galileu, e que pela falta de tecnologia não tiveram essa oportunidade, pode ter despertado nos alunos um maior interesse pela ciência.

Para construção do tubo de acrílico, houve dificuldade em encontrar informações técnicas sobre materiais utilizados para vácuo. O uso do tubo de acrílico era incerto, mas, somente confirmado como inadequado, pelo pessoal técnico do laboratório de vácuo, depois de já concluído. Havia a dúvida se, para o uso de experimento de queda livre, não seria possível sua utilização.

Várias questões surgiram, como:

Qual a pressão de vácuo necessária para o fenômeno ser observado? O tubo de acrílico seria eficiente para conservar as condições de pressão necessárias para o experimento? Quanto tempo essas condições ficariam preservadas?

- A pressão da ordem de 10^{-1} Torr é suficiente;
- O tubo de acrílico não pode ser usado para vácuo, por degasar;
- As condições se mantiveram por 14 dias, tempo suficiente para levar o tubo de vácuo até escolas ou ambientes de educação não formal, sem necessidade de levar uma bomba de vácuo.

6. Aprovação do Orientador

Meu orientador, o Professor Dirceu Silva, concorda com o expressado neste relatório final.
Comentário:

“ Acho que a experiência ficou excelente, bem como a condução da sua aplicação. Minha nota no seu trabalho é DEZ.”

7. Referências

D'AMORIM; M. A. M.; SILVA, P.S.L.. *Seis estudos de Psicologia*. Tradução da obra de Jean Piaget (1964). Rio de Janeiro, 1971.

HÜLSENDEGEER, M;. *Uma Análise das concepções dos alunos sobre queda dos corpos*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21, n.3: p. 377-391, dez 2004.

LUNAZZI, J.J.; PAULA, L. A . N. *Corpos no Interior de um Recipiente Fechado e Transparente em Queda Livre*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 3: p.319-325, dez.2007. Caminho na Web: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/549>

MEDEIROS, A; BEZERRA FILHO, S. *A Natureza da Ciência e a Instrumentação para o Ensino de Física*. Ciência & Educação, v. 6, n 2, p. 107-117, 2000.

SILVA, D.. *O Ensino Construtivista da Velocidade Angular*. São Paulo, Edusp, 1990.

STEMPNIAK, R. A. *A ciência e a Tecnologia do Vácuo*. Apostila Faculdade de Ciências aplicadas de são José dos Campos, SP, Sociedade Brasileira de Vácuo, 2002.

- [http:// www. quedalivrepqd.com.Br](http://www.quedalivrepqd.com.Br) (Junho 2, 2008 – Andréa Barreto M. da Poça).
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05_26.asp - Queda Livre no Vácuo (A bolinha e a pena) Prof. Luiz Ferraz Netto leobarretos@uol.com.br

- **Tubos de queda livre**

Instrumento de guinea e de pena

Para provar que o aceleração gravitacional e a duração da queda no vácuo é igual para todos os corpos, quando a resistência e a presença(*) forç...



Referência: U8422090
R\$ 315,43 incl. ICMS

Anexo I

Informativo Queda Livre

Aristóteles X Galileu

Os antigos gregos, Aristóteles e seus discípulos acreditavam que quanto maior fosse a massa de um corpo, menos tempo ele gastaria na queda. Será que os gregos estavam certos?

O italiano Galileu Galilei realizou uma célebre experiência, no início do século XVII, que desmentiu a crença dos gregos.

Conta-se que pediu a dois assistentes que subissem no topo da torre de Pisa e de lá abandonassem, cada um, um corpo de massa diferente do outro.

Para surpresa geral dos presentes, os dois corpos chegaram ao solo no mesmo instante.

Quer dizer então que o tempo de queda de um corpo não depende de sua massa?

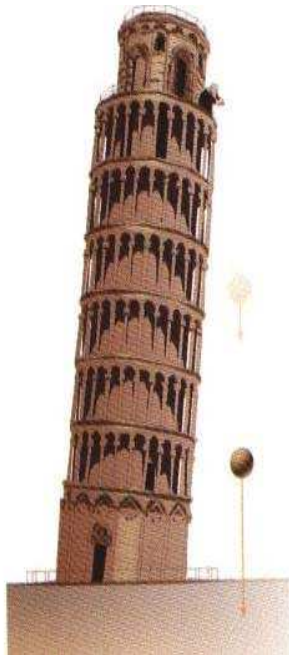
É exatamente isso: ao contrário do que a maioria das pessoas imagina, a massa de um corpo não influi no seu tempo de queda.

Quer dizer então que se eu soltar, ao mesmo tempo e de uma mesma altura, uma pena e um parafuso de ferro, os dois chegarão juntos ao chão?

Sim, se o experimento for feito no vácuo, sem a presença do ar, que vai atrapalhar muito o movimento da pena, que é leve.

Se você realizar o experimento, certamente a pena chegará ao chão depois do parafuso, mas se o experimento for repetido numa câmara de vidro bem fechada, e do interior dela for retirado todo o ar, certamente a pena e o parafuso chegarão juntos ao chão.

Você mesmo pode verificar esse fato. Solte uma folha de papel ao mesmo tempo uma borracha. A resistência do ar fará com que a folha de papel chegue depois da borracha. Agora amasse bem a folha de papel e solte-a mais uma vez junto com a borracha. Elas chegam praticamente juntas ao chão, pois nessa situação a resistência do ar tem pouca influência.



Curiosidades



É bem conhecido dos veterinários que a queda dos gatos tem piores conseqüências quando acontecem do primeiro piso do que do 2º ou 3º. A explicação é a seguinte: quando o gato nota a aceleração de queda, adota uma postura encolhida com as patas estiradas, o que lhe permite, ao chegar ao solo, amortecer o efeito do impacto. Se a queda ocorre desde o primeiro piso, o gato não tem tempo de adotar a mencionada postura.

Parece lógico pensar que a partir da altura em que o gato pode adotar a postura defensiva, quanto maior seja a altura maior será as conseqüências do choque. Surpreendentemente não é assim. Os danos produzidos pela queda aumentam com a altura até um certo ponto, a partir do qual se produz uma diminuição dos danos. A curiosa explicação é a seguinte:

O gato adota uma postura defensiva só quando nota a aceleração de queda. Quando ele alcança a velocidade limite ($\text{Força peso} = \text{Força de resistência do ar}$), deixa de haver aceleração e o gato relaxa sua postura que por ser menos encolhida, oferece maior superfície de contato com o ar. Este aumento de superfície traz consigo uma maior resistência do ar, freando a queda e conseguindo uma velocidade limite menor.

www.portalimpacto.com.br/docs/01Everton1ANOF3Aula14.pdf

Bola de golfe dribla a resistência do ar

Por que a bola de golfe não é lisa e sim cheia de pequenos buracos? Porque os sulcos, ou alvéolos, diminuem a resistência do ar. Assim, ela consegue atingir uma distância quase duas vezes maior que uma bola lisa do mesmo tamanho, feita com material idêntico (veja infográfico).

Quando uma esfera lisa ou perfurada é lançada, seu deslocamento provoca a formação de várias correntes de ar, que, por atrito, dificultam a movimentação para frente. No caso da bola de golfe, cada um dos cerca de 330 alvéolos criam uma pequena turbulência. São minicorrentes de ar que se somam e acabam empurrando a corrente principal, a maior e a que mais atrapalha, para trás. "Assim, a resistência do ar, que tende a frear a bola, passa a ser menor", diz o físico Cláudio Furukawa, da Universidade de São Paulo. "A bola pode, então, se deslocar por uma longa distância", explica Furukawa.

http://super.abril.com.br/superarquivo/1996/conteudo_39699.shtml

Formulário

Na queda livre a aceleração (a) é constante:

$$a = g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Como a força de atrito do ar é contrária a força gravitacional (atração dos corpos), pode-se atribuir sinal negativo para a aceleração. A queda livre, assim como o lançamento vertical é um caso do **MUV, movimento uniformemente variado**.

A força de resistência do ar não é considerada nos cálculos, já que ela é comum a todos os corpos na terra e para facilitar o estudo inicial. Em cursos de Física mais avançados ela aparece nas equações.

Formulário:

Equação horária espaço (x):

$$\Delta x = V_0 t + 1/2 a t^2$$

Equação horária velocidade:

$$V = V_0 + at$$

Equação de Torricelli:

$$V^2 = V_0^2 + 2 a \Delta x$$

Onde:

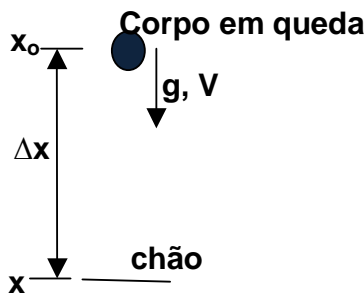
$\Delta x = (= x - x_0)$ distância percorrida pelo corpo

V = velocidade do corpo

V_0 = velocidade inicial (antes de começar cair)

$$a = g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

t = tempo



Exemplo

Um corpo é lançado para cima, a partir do solo, com velocidade inicial de 20 m/s, atinge uma altura máxima e cai no solo novamente. Desprezando a resistência do ar e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$ (para simplificar), determine:

- Altura máxima;
- O tempo gasto para subir;
- O tempo total, subir e descer;
- Quanto tempo depois de lançado estará a 15m do solo;
- Qual a velocidade ao passar neste ponto
- Sua velocidade ao retornar ao solo
- Gráficos de x em função do tempo e de V em função do tempo.

Solução:

- A altura máxima pode ser calculada pela equação de Torricelli:

$$V^2 = V_0^2 + 2 a \Delta x$$

$$V_0 = 20 \text{ m/s}$$

Quando o corpo atinge a altura máxima dá uma paradinha e começa a descer! Portanto $V = 0$.

Altura = Δx e $a = g = -10 \text{ m/s}^2$ (negativo na subida)

$$0^2 = 20^2 + 2 \cdot -10 \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = (0 - 20^2) / -20 = -400 / -20 = \underline{20 \text{ m}}$$

- Para tempo de subida usamos a equação horária da velocidade. Com $V = 0$, quando chega lá em cima (altura máxima).

$$V = V_0 + at$$

$$0 = 20 - 10t \quad \text{---} \quad 10t = 20 \quad \text{---}$$

$$t = 20/10 = \underline{2 \text{ s}}$$

- O tempo de descida é igual ao de subida, portanto para subir e descer leva 4s.

- Para $x = 15 \text{ m}$, usando a equação horária do espaço

$$\Delta x = V_0 t + 1/2 a t^2$$

$$15 = 20t - 1/2 \cdot 10 t^2 \quad \text{---} \quad -5t^2 + 20t - 15 = 0$$

Equação do segundo grau, podemos usar Baskara.

$$(-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2}) / 2a$$

$$[-20 \pm \text{raiz de } (20^2 - 4(-5)15)] / 2 \cdot (-5)$$

$$(-20 \pm 10) / -10 = -30 / -10 = 3 \text{ ou } -10 / -10 = 1$$

Passa duas vezes pela altura de 15m, subindo após 1 segundo e descendo após 3 s.

- Para determinar a velocidade em 15m usamos a equação horária da velocidade

$$V = V_0 + at$$

$$\text{Subida : Para } t = 1 \text{ s} \quad \text{---} \quad V = 20 - 10 \cdot 1 = 10 \text{ m/s}$$

$$\text{Descida : Para } t = 3 \text{ s} \quad \text{---} \quad V = 20 - 10 \cdot 3 = -10 \text{ m/s}$$

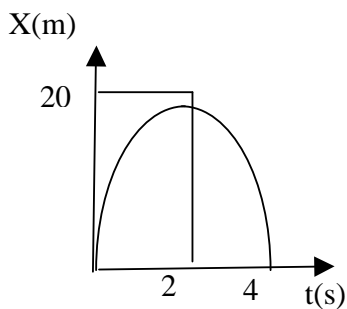
Note sinal da velocidade na subida e na descida.
A velocidade é a mesma por não haver resistência do ar.

- f) A velocidade final do corpo pode ser obtida pela equação de Torricelli usando o tempo de descida 2s. Considerando a partir do momento que atinge a altura máxima $V_0 = 0$ (descida)

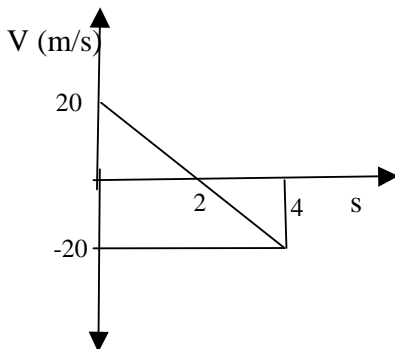
$$V^2 = V_0^2 + 2 a \Delta x$$
$$V^2 = 0^2 - 2 \cdot 10 \cdot 20 = 400$$
$$V = - 20 \text{ m/s}$$

g) Gráficos

Posição (x) em função do tempo



Velocidade (V) em função do tempo



Aluna:

Regina Célia Batista Moretti

r019297@dac.unicamp.br

Licenciatura em Física – IFGW - Unicamp

F 809- Tópicos no Ensino de Física I

Segundo semestre de 2008

Professor coordenador

Joaquim Lunazzi

Trabalho:

Construção de um tubo de vácuo para estudo de queda livre.