



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Uma abordagem para os conceitos de velocidade e
aceleração no ensino médio**

Paulo Victor S. Souza

Material instrucional associado à dissertação de
mestrado de Paulo Victor S. Souza, apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
2011

UMA ABORDAGEM PARA OS CONCEITOS DE VELOCIDADE E ACELERAÇÃO NO ENSINO MÉDIO

Paulo Victor Santos Souza*

Instituto de Física

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Caixa Postal 68.528; CEP 21941-972 Rio de Janeiro, Brasil

2 de outubro de 2011

*e-mail: pvictor@if.ufrj.br.

Sumário

1	Prolegômenos filosóficos: O que? Por quê? Como? Para que?	1
2	Pré-requisitos	2
3	O problema da miniatura	3
4	As velocidades da vida real - Aprofundando o conceito de velocidade	16
4.1	O problema da largada	17
4.2	A velocidade instantânea - A serventia dos livros de física	23
4.3	O problema da ultrapassagem	28
5	Descendo a ladeira e construindo o conceito de aceleração	37
6	Câmeras digitais entre outras coisas	47
7	O virtual Dub	48
8	Aplicativos em Flash	49
9	O Freez Screen Video Capture	49
10	Produção de fotos estroboscópicas	50

1 Prolegômenos filosóficos: O que? Por quê? Como? Para que?

...a cinemática, um dos primeiros tópicos tratados neste contexto (do ensino tradicional de Física no ensino médio). Ele é destinado ao estudo do movimentos de corpos e inicia-se invariavelmente com o estudo do ponto material. Porém, quem já teve a oportunidade de observar o movimento de um ponto material no seu cotidiano? Na verdade, os pontos mais conhecidos aparecem nos livros e geralmente encontram-se parados! Os alunos devem se perguntar: “Mas que coisa é esta que meu professor quer que eu aprenda? Para que estudar o movimento de uma coisa que na realidade sequer existe? [1]

As palavras acima, de Maurício Pietrocola, evidenciam um dos aspectos de um problema bem amplo: O ensino de física, em particular, o ensino de cinemática. Gradativamente, a cinemática tem ocupado um lugar cada vez mais modesto no currículo de física no ensino médio. A desilusão de professores e alunos com a cinemática se deve, pelo menos em parte, pela forma como seus conceitos são tradicionalmente apresentados: distantes da realidade e exageradamente matematizados. De fato, a distância da realidade e os excessos matemáticos têm destruído a capacidade de raciocínio dos alunos e tem contribuído para formação de uma imagem ingênua da física, de que esta é um acúmulo de fórmulas a serem decoradas e aplicadas em situações evidentemente artificiais.

Nós, entretantes, pensamos de uma forma diferente. De fato, acreditamos que a cinemática tem uma significativa função propedêutica. Deveras, a consideramos fundamental para compreensão da dinâmica, das leis de Newton e suas aplicações, do eletromagnetismo, etc. Além disso, o estudo do movimento fora a raiz da física, como a própria história da ciência testifica¹. Concordamos também, embora o foco de nosso trabalho não seja este, com a importância da cinemática na caracterização do papel da linguagem matemática no desenvolvimento e estudo das ciências físicas, como muito bem aponta A. Gaspar [2]. Acreditamos também que a distância entre a cinemática e a realidade é desnecessária e injustificável haja vista que vivemos num mundo de carros, bolas, bicicletas, aviões, etc.

Concordemente, apresentamos neste texto uma possível abordagem para os conceitos de velocidade e aceleração no ensino médio. Consiste numa proposta de intervenção, uma fração da pesquisa desenvolvida por nós junto ao programa de pesquisa em ensino de física da Universidade Federal do Rio de Janeiro [3].

Nossa proposta é subsidiada pelo Construtivismo de Jean Piaget aplicado por meio de atividades investigativas. Neste viés, pretendemos que nossa abordagem, entre outras coisas, (1) reconceitualize e/ou resgate o papel da intuição no ensino-aprendizagem de ciências. Por conta do próprio processo de escolar-

¹De fato, o movimento foi o foco de discussão de antigos filósofos como Eráclito de Éfeso, que acreditava que a natureza está em constante transformação, ou movimento, e Parmênides de Elea, que defendia a impossibilidade do movimento.

ização, a utilização da intuição e do raciocínio lógico sucumbe diante de infinitas fórmulas e procedimentos a serem decorados; (2) estimule o desenvolvimento de competências e atitudes adequadas para o estudo de ciências; (3) confronte concepções ingênuas dos alunos e (4) estimule a conduta ativa dos alunos na produção de seu próprio conhecimento.

As atividades estão divididas em três grandes blocos que compreendem, respectivamente, à construção do conceito de velocidade, ao refinamento do conceito de velocidade e à construção do conceito de aceleração. As atividades são apresentadas por meio das perguntas que conduzem a discussão. Comentários pertinentes foram incluídos depois de cada pergunta para assinalar algum aspecto que consideramos relevante. Antes de apresentar os questionários, no entanto, discutimos os pré-requisitos necessários para implementação de nossa proposta.

2 Pré-requisitos

Existem, naturalmente, alguns pré-requisitos para implementação de nossa proposta, ou seja, para se beneficiar de nosso trabalho, os alunos precisam estar familiarizados com alguns conceitos preliminares. Citamos a seguir que conceitos consideramos imprescindíveis. Fornecemos também uma breve definição destes conceitos, da forma como nós os apresentamos aos alunos. Perceba o leitor que algumas destas definições são imprecisas ou incompletas. Na realidade, algumas das definições são apenas funcionais, ou seja, permitem que os alunos atribuam algum significado aos conceitos. Como a precisão não é objetivo pétreo nos primórdios do curso no ensino médio, pensamos em algumas destas definições como um “mal” necessário cuja utilidade é momentânea. Ademais, não intentamos discutir, muito menos esgotar, este assunto (os pré-requisitos) porque acreditamos que esta empreitada escapa o escopo desta tese. Em nossas aulas nos baseamos em duas referências principais, a saber: No livro de Arnold Arons sobre o ensino de física introdutória [4] e no volume um do curso de física para o ensino médio dos prof.(s) Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga [5]. Sem mais, apresentamos ao leitor os conceitos com os quais os alunos precisam estar familiarizados para o bom desenvolvimento de nossa proposta:

Tempo: Aquilo que medimos com o relógio².

²De fato, esta é apenas, e nada além disso, uma definição operacional do tempo. Lembramos ao leitor que nosso humilde desejo é que ao pensar em tempo, os alunos possam associar a esta palavra algo, neste caso, uma ação concreta, o ato de medir com o relógio. Consideramos que fazer isso é melhor do que deixar este e outros conceitos no limbo da indefinição na mente dos

Distância: Aquilo que medimos com a régua³.

Ponto: Uma distância tão pequena que considera-se que não se estende ao longo do espaço, antes, ocupa um único lugar, tão pequeno e bem definido quanto pudermos imaginar.

Posição: Ponto em que se encontra um corpo em relação a origem da régua⁴.

Intervalo de tempo: O tempo que passa entre duas marcações do relógio.

Instante de tempo: Um intervalo de tempo tão pequeno quanto pudermos imaginar, tal que durante um instante, considera-se que o tempo não passa. Condordemente, o tempo avança de instante em instante.

Deslocamento: A variação da posição de quem se move, i.e., a diferença entre a posição ocupada finalmente e a posição ocupada inicialmente.

Trajetória: Um desenho que representa as posições ocupadas por quem se move.

Referencial: O ponto de vista através do qual o problema será estudado.

Observador: Símbolo de nossa capacidade de medir distância e tempo, uma vez escolhido o referencial.

Embora tenhamos apresentado ao leitor tais definições, lembramos, em manifestação de nossa humildade, que esta é apenas a forma como, particularmente, trabalhamos estes conceitos. Não é imprescindível, embora seja aconselhável, que o tema seja trabalhado de um modo tal que a imagem que os alunos construam destes conceitos seja a acima descrita. Se mais, passemos a proposta de intervenção.

3 O problema da miniatura

Este conjunto de atividades, o primeiro a ser realizado pelos alunos, tem por objetivo principal a construção do conceito de velocidade a partir da consideração de um problema concreto a ser investigado. Começamos propondo um problema cuja solução, esperamos, leve os alunos a construir o conceito de velocidade. Subseqüentemente, propomos algumas atividades que denominamos complementares, não porque tenham importância secundária mas, por serem flexíveis no que diz respeito à implementação.

Inicialmente mostramos aos alunos um carrinho na caixa. O carrinho utilizado, uma miniatura de uma Ferrari F248 licenciada pela própria marca, pode ser observada na figura 1. Ele pode ser adquirido na internet e na época em que comprado, no segundo semestre de 2010, custou cerca de R\$300,00.

alunos.

³Novamente, definimos um conceito em termos de uma ação concreta.

⁴Note o leitor que esta definição só é útil enquanto lidamos com movimentos unidimensionais e que nossa régua tem valores positivos e negativos, de modo que esta definição dá conta de movimentos em uma dimensão que podem corresponder a posições positivas ou negativas.



Figura 1 - A miniatura

A caixa do carrinho apresenta um símbolo, 1:10, que representa a proporção entre a Ferrari real e a miniatura. Depois de mostrar a caixa aos alunos passamos a primeira pergunta, a saber:

1.1) Observem a expressão 1:10 na caixa. O que significa?

Esta pergunta que, em nossa primeira experiência, foi respondida com facilidade por um grande percentual dos alunos (cerca de 80%), pretende trazer a tona a proporção entre o carro real e a miniatura. A expressão 1:10 reforça a pertinência da linguagem matemática para expressar certas idéias. A importância da matemática na descrição do “mundo” pode ser brevemente discutida sem perda de foco.

1.2) Será que o carrinho também é tão rápido quanto o carro real na escala 1:10? Ou seja, será que o carrinho é 10 vezes menos rápido do que o carro real?

Nosso intuito é chamar atenção a possibilidade da escala se aplicar também à rapidez do carrinho. Neste momento evitamos utilizar a palavra velocidade mesmo que algum aluno a use. Pretendemos que o conceito seja construído antes que um nome seja dado ao conceito, como enfatiza A. Arons [4]. Logo, preferimos utilizar o termo rapidez.

1.3) Se uma Ferrari F248 real anda a 300km/h nas retas, quantos metros anda em uma hora? Quantos metros anda em um minuto? Quantos metros anda em um segundo?

Nesta questão os alunos farão a primeira estimativa quantitativa em nossas atividades. Este é um momento muito oportuno para estudar transformações de unidades. Neste respeito desejamos acrescentar que diferente do que acontece na maioria dos livros didáticos, acreditamos que as transformações de unidades podem ser mais eficazmente trabalhadas quando inseridas num contexto, quando imersas num problema real, tal como este. Ademais, acreditamos que a mudança de unidade quando trabalhada e realizada paulatinamente, passo-a passo, evita que o aluno se esforce em “decorar” um procedimento pois remete os alunos a estudos preliminares realizados sobre o assunto no ensino fundamental. Em suma, nosso desejo é que o aluno entenda a transformação de unidades na física como uma coisa nova, porém, composta de coisas que ele já conhece e com as quais já está familiarizado. Salientamos a importância de tratar a mudança de unidades desta forma pois, aparentemente, há um preconceito geral por parte dos alunos contra qualquer coisa que use matemática porque, segundo acreditamos, isso lhes remete, muito provavelmente, às dificuldades e insucessos vividos anteriormente. Logo, a apreciação da atividade depende em muito da disposição dos alunos em realizá-la, o que pode ser fortemente influenciado pela crença de que a mudança de unidades é fácil e está “ao alcance deles”.

1.4) Para que o carrinho seja 10 vezes menos rápido do que o carro real, aproximadamente, quantos metros ele teria de andar em um segundo? Podemos verificar se isso é realmente assim? Lembre-se que o carrinho não tem velocímetro.

É de responsabilidade dos alunos propor um método para determinar quantos metros a miniatura anda em um segundo. A ausência do velocímetro direciona a atenção para o fato de a estimativa precisar ser realizada por eles mesmos diretamente. Neste respeito, revelamos ao leitor que o envolvimento dos alunos nesta parte da atividade varia de turma para turma: Por um lado, nas turmas em que pelo menos alguns alunos questionadores eram questionadores, a tendência é que estes sugiram como realizar a estimativa e os demais os acompanhem sem dificuldades e até interfiram fazendo ponderações. Por outro lado, nas turmas em que não havia este aluno “precursor”, fez-se necessário que o professor oferecesse dicas e/ou perguntas que demonstrem aos alunos a plausibilidade e naturalidade do problema. Com isso, obteve-se uma participação razoável da maioria. Em suma, de algum modo, os alunos precisam perceber que é possível resolver o problema, que não é algo além da capacidade deles.

1.5) Como poderemos medir as distâncias? E o tempo?

Esta pergunta é óbvia para alguns mas não trivial para outros. Temos por objetivo reforçar que atividade está “ao alcance de todos” (e este é um aspecto essencial) e refere-se a um problema real, concreto. Por isso, lembramos aos alunos que a distância e o tempo podem ser medidos com objetos comuns tais como régua, trena, relógio, celular, etc. Quando esta atividade foi desenvolvida, a distância foi medida com uma trena de 3 metros e o tempo com cronômetros de celulares dos próprios alunos.

1.6) Como faremos para verificar se medimos corretamente? Como podemos saber se não erramos na medida? Por exemplo, como saber se não erramos uma conta de multiplicar?

Desejamos conscientizar os alunos da existência de erros intrínsecos ao processo de medição. Todavia, apresentamos também uma possível solução para minimizar os erros: repetir e comparar. Uma forma de fazê-lo, em nosso caso, é sugerir que o tempo seja marcado por mais de um aluno e que as medidas sejam comparadas. Em nossa aplicação teste, cinco alunos realizaram a medição e o tempo que usamos foi a média dos tempos encontrados por eles. A mensagem desta questão é: toda vez que medimos, erramos; se repetimos, diminuímos a possibilidade dos erros acontecerem. Assim, ao utilizarmos a média aritmética dos valores, minimizamos os erros.

1.7) Qual o tamanho ideal para pista?

O tamanho ideal da pista está atrelado a quantos metros o carrinho teria de andar por segundo se a escala fosse aplicável a rapidez da miniatura numa situação idealizada. Os alunos conseguiram afirmar com certo conforto que o carrinho precisaria andar 30km/h para que a escala fosse aplicável a rapidez. Eles perceberam também que trabalhar nestas unidades inviabiliza a realização de qualquer estimativa e que por isso, é preciso modificá-las. O resultado obtido após a mudança de unidade é $8,3\text{m/s}$ e sugeri que a pista tenha pelo menos este tamanho. A pista que contruímos tinha 10 metros, segundo os próprios alunos, um valor “redondo” foi, inicialmente, obtida demarcando o chão com giz. Em seguida, por razões que esperamos que se tornem óbvias logo, demarcamos a pista com suportes para fixação de bexigas, de

metro em metro. A segunda versão da pista assim como os objetos que utilizamos para demarcá-la podem ser observados nas figuras abaixo.



Figura 2 - A pista construída na quadra do colégio



Figura 3 - Objetos para marcação da pista: Suportes para bexiga

1.8) Queremos determinar a quantidade de metros que o carrinho percorre por segundo para comparar com o resultado que obtivemos na questão 1.3. Já temos uma medida de distância, por meio das referências da pista, e já sabemos como medir o tempo, por meio do cronômetro do celular. No entanto, como calcularemos a quantidade de metros que o carrinho percorre por segundo?

Inicialmente reafirmamos que o método é simples e factível. A pergunta que se segue pretende integrar a discussão os alunos que por ventura ainda não perceberam o que fazer com as informações obtidas. Entrementes, observou-se que a maioria percebeu como proceder para estimar a quantidade de metros que

o carrinho anda em um segundo logo após a coleta de dados.

1.9) Vamos nos inspirar: Suponha que após um ano guardando dinheiro da mesada, Carlos juntou 3000 reais. Em média, quanto poupou por mês?

Este é o primeiro momento em que utilizamos analogias com situações envolvendo dinheiro⁵. Acreditamos, o que se verificou de fato, que exemplos com dinheiro são aceitos pelos alunos de forma bem natural porque correspondem a questões que direta ou indiretamente fazem parte de seu dia-dia. Em particular, a questão proposta acima, facilmente resolvida pela maioria dos alunos, sublinha a idéia de que a quantidade de dinheiro que ele ganha por mês pode ser obtida dividindo o total que ganhou pelo tempo que demorou para reuni-lo.

1.10) No exercício anterior, tomamos o valor total poupado por Carlos e dividimos pelo tempo, em meses, que ele demorou para reuni-lo. O resultado nada mais é do que a relação R\$ /mês, ou seja, a quantidade de dinheiro que, em média, ele guardou a cada mês. Se ao invés de dinheiro (R\$) tivéssemos a distância percorrida pelo carrinho (metros), qual será o significado de dividir essa distância pelo tempo? Vamos explorar esta questão.

Este é o momento que escolhemos para realizar o experimento: Marcamos a pista; colocamos o carrinho para funcionar e medimos o tempo. Com esta informação nas mãos, passamos à próxima pergunta.

1.11) Qual é a relação metros/segundos para o movimento do carrinho? Lembre-se do que fizemos na questão 1.9. O que representa esta relação? Em outras palavras, o que nós calculamos? Ou ainda, que informação do carrinho está contida na relação metros/segundos?

Haja vista o que realizamos na pergunta 1.9, esperávamos que os alunos encarassem esta questão com naturalidade, o que, de fato, se verificou; os alunos são impelidos a calcular a relação metros/segundos tal como fizeram anteriormente com o problema envolvendo dinheiro. As perguntas subsequentes, que compõem a questão, pretendem remeter os alunos a “o que estão fazendo”. O objetivo é forçá-los a atribuir

⁵O uso de analogias no ensino de física é amplamente discutido na literatura. Veja, por exemplo, [10–12]

um significado a relação calculada. Ao fim desta etapa, o conceito de velocidade é apresentado de forma tão particular quanto possível. Consiste apenas em **nomear** algo com que os alunos já se familiarizaram. Eles devem perceber que aquilo que buscaram e encontraram mediante a consideração das perguntas precedentes foi a velocidade do carrinho. Esta forma de contruir o conceito de velocidade é, segundo pensamos, uma resposta apropriada às considerações que fizemos nos capítulos dois e três desta tese. Concordemente, resolvemos que “a quantidade de metros que o carrinho anda em um segundo” se chama velocidade. Ademais, adjetivamos esta velocidade de **média** porque é calculada para a totalidade do percurso e não para algum ponto específico, considerando que, em geral, a velocidade varia ao longo de um movimento. Acreditamos fortemente que a introdução deste conceito deste modo facilita a atribuição de um significado ao significante que lhes surgiu (aos alunos) durante a discussão das questões precedentes.

1.12) A Ferrari real e a miniatura alcançam, dentro da escala informada pelo fabricante, a mesma velocidade numa situação ideal?

Pretende-se com esta pergunta apenas ratificar a conclusão a que alguns alunos já chegaram ao responder o item anterior.

1.13) Como podemos verificar a confiabilidade do procedimento que realizamos? Como se faz isso nos esportes em geral, como por exemplo, no atletismo?

A confiabilidade da experimentação é um aspecto importante de nossa investigação. O sucesso da atividade depende em muito dos alunos “acreditarem” e confiarem no que estão fazendo por si mesmos. Saiba o leitor, no entanto, que o erro na marcação do tempo é inerente ao experimento⁶. Isto fez-nos crer que um experimento adicional, capaz de corroborar ou não com o resultado do anterior, se fez necessário e é desejável. Pretendemos com esta pergunta voltar a atenção dos alunos à possibilidade de utilizar recursos eletrônicos e/ou áudio visuais para testar a veracidade do resultado obtido tal como se faz no esporte profissional quando há dúvidas sobre quem ganhou uma corrida, se uma bola entrou ou não, etc.⁷.

⁶A precisão de cada celular é diferente, alguns são mais sensíveis ao toque, alguns alunos “dão bobeira” e disparam ou param o cronômetro com retardo, etc.

⁷A utilização de recursos eletrônico-visuais no ensino é explorada por exemplo em [6–8].

1.14) Como podemos utilizar recursos eletrônicos e/ou audiovisuais para verificar a confiabilidade de nosso experimento?

Pretendemos com esta questão dar aos alunos a liberdade de confabular sobre como os recursos eletrônicos e/ou audiovisuais podem ser utilizados. Naturalmente, temos uma idéia em mente e, no momento oportuno, esta deve aparecer através de uma pergunta mediadora: **“Se nosso problema é com a marcação do tempo, que recurso nos poderia ser útil para que tivéssemos uma marcação confiável do tempo?”** Esta pergunta conduzi-nos inescapavelmente à utilização de uma câmera digital e à gravação de um vídeo didático. O aparato utilizado para realização do vídeo é descrito na seção 6. A gravação foi realizada no mesmo local da experimentação inicial. No entanto, a pista precisa de marcações de metro em metro (esperamos que o motivo desta especificação fique claro a seguir).

1.15) Utilizando o programa VirtualDub, analise o vídeo. Quanto tempo o carrinho demora para percorrer cada metro? Em média, quanto tempo demora o carrinho para percorrer um metro?

Depois de confeccionado, o vídeo foi transferido para o notebook e teve o seu conteúdo analisado pelo software livre VirtualDub⁸. Este software nos possibilita analisar o vídeo produzido quadro a quadro e construir uma tabela com o intervalo de tempo correspondente a cada metro de nossa pista⁹. Salientamos, entretanto, que os alunos não sabem, a priori, que construir uma tabela é a melhor forma de registrar os dados com objetivo de compará-los. Concordemente, recomendamos, tal como se fez em nosso caso, que os alunos não sejam orientados sobre como registrar os dados. A percepção do valor de registrar os dados em tabelas é reforçada se percebida diretamente pelos alunos, com o mínimo de ajuda. Uma breve discussão sobre a organização de dados talvez seja necessária. Com a tabela montada os alunos são capazes de informar com facilidade quanto tempo o carrinho demorou para percorrer cada metro. Esta é uma boa oportunidade também para que eles recapitem o conceito de média aritmética, abordado no começo do ensino fundamental mas talvez já “esquecido”. Esclarecemos ao leitor que a utilização do aplicativo permiti-nos, além de estimar com precisão os tempos associados ao movimento do carrinho, apresenta aos alunos um novo modo de encarar o estudo de física, uma nova ferramenta que, pela facilidade de manipulação, poderá

⁸Detalhes a respeito do VirtualDub podem ser encontrados na seção 7.

⁹Os alunos precisarão estimar as distâncias realizando medições diretamente na parede ou na tela de projeção. Em nosso teste pedimos que cada aluno realizasse uma medida. Seu resultado era, em seguida, conferido por um colega.

ser utilizada em ocasiões posteriores. Assim, os alunos estudam o movimento do carrinho e ganham de “brinde” a familiarização com uma formidável ferramenta didática cujo uso é trivial e cujas aplicações são inúmeras. Embora seja opcional, desejamos relatar ao leitor que a transição entre esta pergunta e a próxima foi realizada através de um questionamento, a saber: **Os dados presentes em nossa tabela se harmonizam com o experimento que realizamos anteriormente?** Como discutiremos posteriormente, poucos alunos se arriscaram a opinar. Contudo, alguns poucos, mediante pensamento proporcional, se esforçaram em construir e espessar uma compreensão, ainda que errada, entre as informações obtidas diretamente e por meio do VirtualDub. Os demais alunos, contudo, têm na próxima pergunta uma oportunidade adicional e mais óbvia de relacionar os dados.

1.16) Ainda utilizando o VirtualDub, você consegue estimar que distância o carrinho anda, em média, por segundo?

Neste momento os alunos são confrontados diretamente com um método capaz de permitir-lhes comparar os dados. Por meio do VirtualDub, os alunos são capazes de, movimentando o cursor da barra de tempo no aplicativo, verificar quanto anda o carrinho em cada segundo. Naturalmente, quando o “timer” do aplicativo indica um segundo, o carrinho não está sobreposto a nenhuma das marcas da pista. Uma pergunta intermediária pode ser feita: **Como vamos saber quando mede este pedacinho?** Muitas sugestões surgiram, dentre as quais escolhemos uma: Aproveitar que a imagem está projetada na parede e medir diretamente na figura, com uma régua, o tamanho do “pedaço” assim como a distância entre duas marcas na pista (que na realidade distam um metro) e fazer uma “regra de três”. Com este processo, os alunos foram capazes de obter as informações requisitadas e foram, mais uma vez, estimulados a registrá-las por meio de uma tabela e estimar quantos metros o carrinho em cada segundo (em nosso caso, por conta do tamanho que escolhemos para pista, são possíveis apenas cerca de três cálculos).

1.17) Os dois métodos oferecem o mesmo resultado?

Esta pergunta solicita a mera comparação entre os resultados obtidos.

1.18) Quantos quilômetros o carrinho andaria em um hora?

Nesta questão pede-se dos alunos que traduzam os dados obtidos em uma unidade diferente. Isto constitui um processo inverso ao realizado anteriormente. Acreditamos, ademais, que este é um momento oportuno, nem precoce nem tardio, de generalizar o conceito de velocidade. O contato que os alunos já tiveram com o conceito leva-nos a crer que não se surpreenderão em saber que assim como podemos medir o tempo e a distância em diferentes unidades, a velocidade também pode “aparecer” medida em diferentes unidades. Concordemente, dali para diante, a velocidade foi apresentada como a distância percorrida no intervalo de tempo considerado **independente das unidades**. Pensamos esta generalização como um aprofundamento natural e necessário do conceito. No entanto, ressaltamos a importância de apresentar o conceito paulatinamente aos alunos. Ser impreciso sem mentir é “um mal necessário”. Por exemplo, quando conhecemos alguém por encontrá-lo pela primeira vez, nos apresentamos e dificilmente falamos nosso nome todo. Parece-nos razoável que o primeiro nome seja o suficiente num primeiro contato. Não mentimos, apenas fornecemos a informação incompleta ou imprecisa porque acreditamos que naquele momento, ela basta. A intimidade torna necessária uma apresentação mais completa. O mesmo acreditamos ser para o estudo de física, em particular, para o estudo da cinemática e dos conceitos de velocidade e aceleração. Assim, o conceito amadurece e se torna mais preciso a medida que o contexto e os problemas exigirem isso. Deveras, para um agricultor, pensar que o Sol orbita em torno da Terra é mais do que suficiente para lidar com os problemas que a vida lhe impõe diariamente.

1.19) Vamos explorar um pouco mais este ponto: A que velocidade em km/h corresponde uma velocidade de 35m/s? Vamos nos inspirar: Uma pessoa ganha 3000 por mês, quanto ganha por dia? E por hora, se trabalha cinco dias por semana, oito horas por dia? Quanto ganha em dólares? E em euros? Consulte as taxas de conversão na internet.

Não desejamos que nosso trabalho vos pareça prolixo. Entrementes, nossa experiência indica que a abordagem das transformações de unidade que fizemos até agora podem não ter sido satisfatórias para todos os alunos. Esta suposição se apoia fortemente na literatura [4, 9]. Estamos convencidos de que a reconsideração do problema das transformações de unidade por meio de uma analogia com dinheiro mostra aos alunos a importância e amplitude do problema em questão. Desejamos que os alunos pensem nas transformações de unidade como parte essencial de um todo, como dificuldade natural de um mundo em que

se falam diferentes línguas, usam-se diferentes moedas e mede-se com diferentes unidades. Gostaríamos também de ressaltar que a principal inspiração para o que acabamos de afirmar reside nos exercícios que nós professores “passamos” vez após vez aos alunos, que são tão abundantes nos livros didáticos, sobretudo do nono ano, e que são desprovidos de significado¹⁰. Acreditamos que no ambiente de estudo da física não há lugar para “contas injustificadas”, descontextualizadas e, porque não, extremamente “chatas”.

Atividades complementares. Propomos a seguir atividades que resolvemos por denominar “complementares” por não estarmos certos sobre como devem ser aplicadas. A aplicação depende, em nossa humilde opinião, principalmente, da carga horária semanal disponível para que se trabalhe com física. Nosso teste foi realizado na rede pública estadual do Rio de Janeiro de modo que dispomos de apenas dois tempos de 50 minutos para trabalhar física no ensino médio por semana. Por isso, decidimos realizar apenas as primeiras três questões na escola e designar as demais para casa. Ressaltamos que estas atividades foram propostas de um modo tal que possam ser ajustadas ao contexto de cada instituição de ensino, turma, carga horária, etc. Estas atividades, embora sejam ditas complementares representam uma parte importante da atividade 1, e, sob nenhuma justificativa, devem ser ignoradas ou relegadas à segundo plano. Ademais, mostrou-se eficaz que os alunos trabalhem, se possível, em pequenos grupos na realização destas questões. Passemos a elas.

1.20) Montem grupos de quatro alunos e estimem a velocidade de uma pessoa andando a pé (você podem utilizar o cronômetro do celular e própria área do colégio). Apresente seus resultados em m/s e km/h. Qual a velocidade máxima alcançada por um homem correndo? Consulte a internet se necessário. Qual a razão entre as duas velocidades?

Neste questão, incorporamos idéias outrora trabalhadas. Para realizar a estimativa, os alunos precisam marcar tempo e distância. Naturalmente, esta é uma oportunidade de utilizar as competências que começaram a ser desenvolvidas na realização do experimento com o carrinho. Esta é também uma oportunidade dos alunos trabalharem novamente o problema das unidades de medida e estimarem velocidades presentes no cotidiano. Acreditamos que o movimento de uma pessoa é o mais elementar que existe. Quando uma criança pensa em algo que se move, pensa num homem se movendo! Acreditamos também

¹⁰Referimo-nos a exercícios do tipo: Transforme 34556 m em cm.

que calcular a razão entre as velocidades de um homem andando e correndo pode estimular o desenvolvimento do raciocínio proporcional. É comum observarmos alunos ainda no ensino médio com dificuldades de fazer estimativas como comparar a massa de um adulto e de uma criança. O medo e o receio, geralmente desenvolvidos durante o ensino fundamental, muitas vezes por causa de insucessos sucessivos, desmotiva os alunos a se “arriscarem” a comparar grandezas. Um dos objetivos desta questão é começar a desmistificar e exorcizar este fantasma. Os alunos precisam perceber que, com um pouco de cuidado, podem comparar grandezas com sucesso.

1.21) Estime a velocidade de uma formiga. Como você pode fazer isso utilizando apenas uma trena e um cronômetro? Dica: Use açúcar! Compare a velocidade da formiga com a velocidade de uma pessoa andando.

Novamente nossa intenção é revisar o método anteriormente trabalhado e impelir o desenvolvimento do raciocínio voltado a comparação entre as velocidades de um homem e de uma formiga, cuja diferença de escala é bem grande. Uma possibilidade interessante que verificamos durante a realização desta atividade consiste em estimular os alunos a comparar, inicialmente, as dimensões do homem e da formiga antes de comparar as velocidades. Mostrou-se apreciável comparar as razões entre as dimensões e as velocidades de um homem andando e de uma formiga.

1.22) Estime a velocidade de um carro de passeio trafegando numa via pública utilizando, novamente, apenas uma trena e um cronômetro.

Esta atividade, que necessariamente precisa ser realizada fora escola, consiste numa extrapolação daquilo que já fizemos antes, i.e., a aplicação do método num contexto um pouco mais sofisticado. Particularmente, a atividade foi realizada em volta do colégio. Os alunos mediram cuidadosamente o tamanho da rua e, ainda trabalhando em grupos, marcaram o tempo que alguns carros demoraram para cruzar a rua. Pareceu-nos, entretanto, que envolver toda turma ao mesmo tempo nesta atividade é um desafio. Os alunos tendem a dispersar-se e a prestar atenção em outras coisas. Por isso, é preciso ter cautela e pensar na melhor maneira de desenvolver esta tarefa.

1.23) Estime a velocidade média de um carro de passeio trafegando numa rodovia. Como é possível medir as distâncias? Qual a razão entre as duas velocidades do carro numa via pública e numa rodovia?

O movimento de um carro ainda é o foco de nossa investigação. A sofisticação desta atividade é, sem dúvida maior uma vez que é necessário que os alunos realizem medições de carros em alta velocidade, perto de uma rodovia, etc. Ainda assim, consideramos que esta estimativa seja relevante para sedimentação do conceito de velocidade. Logo, temos algumas considerações acerca da atividade que precisam ser salientadas: A atividade pode ser facilitada se os alunos tiverem uma visão panorâmica do movimento, ou seja, se coloquem numa posição suficientemente distante da rodovia para garantir a segurança e minimizar o efeito da paralaxe nas medições. As marcações indicativas da própria pista podem ser utilizadas, talvez a distância entre duas placas. Naturalmente, esta atividade pode ser realizada tanto diretamente, por meio do cronômetro e da trena, quanto indiretamente, por meio da câmera fotográfica. Ressaltamos que atividades extras devem, e não titubeamos em dizer isso, ser ajustadas à realidade de cada cidade, classe, aluno, etc. Estas atividades extras foram pensadas de uma maneira tal que podem ser facilmente ajustadas a contextos diferentes; os alunos podem estudar o movimento de cavalos, bicicletas, barcos, etc. Lembramos que isso é fundamental haja vista que precisam oportunizar que os alunos lidem com o mundo que o cerca, mesmo que este seja um mundo de barcos no interior do Amazonas ou um mundo de metrô de uma metrópole no Sudeste.

1.24) Seja c o comprimento de um móvel. Por exemplo, o comprimento de um carro de passeio como o Gol é de $c=3,83$ m. Assim, se o carro trafega numa rodovia à velocidade de 100km/h , qual será sua velocidade em m/s e c/s? Estime a velocidade média da formiga em m/s, km/h e comprimento/s. Faça o mesmo para pessoa andando e correndo. Consulte a internet, se necessário.

As velocidades dos móveis em relação ao seu próprio comprimento são nosso alvo de estudo agora. Involuntariamente, os alunos são estimulados a refletir sobre a rapidez dentro de uma escala apropriada. Durante a discussão desta questão, pretendemos que os alunos percebam que comparar se um objeto é mais rápido que outro só tem sentido se considerarmos as dimensões de cada um, ou seja, se os dois estiverem na mesma escala.

1.25) Há uma regra de trânsito incorporada a concepção de direção defensiva que recomenda, como medida de segurança, que um carro mantenha um distância igual a (velocidade em km/h / 10) comprimentos do carro entre si e o carro da frente. Verifique se esta relação para um carro como Gol, sabendo que o motorista trafega 1,5s antes de acionar os freios após perceber a diminuição da velocidade do carro da frente. Com isso em mente, discuta qual seria a distância mínima entre dois carros para que esta norma de segurança seja observada

Neste momento apresentamos aos alunos um problema que justifica aquilo que discutimos na questão anterior. Nunca é demais dizer que pensamos estas atividades como um elo entre o aluno, a realidade vivida e observada por ele e a física estudada na escola. Por isso, consideramos esta última questão mui pertinente pois conecta a velocidade em relação ao comprimento à segurança no trânsito.

4 As velocidades da vida real - Aprofundando o conceito de velocidade

Nesta seção propomos o aprofundamento do conceito de velocidade. A atividade está dividida em três grandes blocos: O primeiro discute a velocidade aplicada ao contexto das corridas o que envolve o estudo da influência da largada numa corrida idealizada; o segundo aborda o conceito de velocidade instantânea; o terceiro discute o problema da ultrapassagem, enfatizando a idéia de ultrapassagem segura e oportunizando a gestação da idéia de velocidade relativa e da relatividade galileana. Os alunos serão confrontados com questões típicas em que o conceito de velocidade, tal como fora apresentado anteriormente, é reforçado e o limite da utilização da intuição na solução de questões é explorado. Pretendemos também que as questões exponham as fragilidades das concepções espontâneas dos alunos na interpretação dos fenômenos físicos.

No primeiro bloco, propomos a discussão da importância da largada numa corrida idealizada, ou seja, curta o suficiente para que a posição de partida seja relevante. Nesta corrida idealizada não consideramos a perícia dos pilotos, as condições e o formato da pista, que geralmente privilegiam alguém, como fatores importantes. Propomos questões que podem ser resolvidas “de cabeça”, apenas com uso do raciocínio lógico mas, propomos também questões que só podem ser resolvidas por meio da utilização da definição formal de velocidade. Um aplicativo construído na linguagem Flash é utilizado por nós na proposição de algumas

das perguntas. Este aplicativo foi gentilmente desenvolvido pelo prof. Geraldo Felipe de Souza Filho¹¹. a seção 8 descreve detalhadamente as possibilidades atreladas à utilização de aplicativos construídos com Flash no ensino de física.

No segundo bloco, discutimos um método de estimativa da velocidade instantânea, conceito este tão massacrado nos livros didáticos do ensino médio que se reduzem, quando o fazem, a apresentar a idéia de velocidade instantânea como um limite. No entanto, lembramos ao leitor, que alunos da primeira série do ensino médio estão começando a estudar funções e não têm, a priori, como dimensionar e “digerir” uma ferramenta matemática tão sofisticada. Por meio da consideração de um problema análogo, envolvendo o cálculo da média de altura de um conjunto de livros, propomos um método de estimativa da velocidade instantânea, segundo imaginamos, bem razoável e factível.

No último bloco, discutimos o costumeiro problema da ultrapassagem. No entanto, o fazemos tendo como norte a construção da idéia do que seria uma ultrapassagem segura em situações cada vez mais próximas da realidade. A literatura destaca a importância de explorar as implicações sociais daquilo que se ensina [9, 13]. Ademais, no ínterim desta discussão, desviamos nossa atenção e também a dos alunos, segundo imaginamos, para alvo secundário, a saber: a utilização da intuição na construção do conceito, ou pelo menos do protoconceito, de velocidade relativa. Desejamos também apresentar aos alunos a plausibilidade e naturalidade das velocidades negativas, cuja compreensão é difícil e cuja aceitação encontra enorme resistência entre os alunos¹².

4.1 O problema da largada

2.1) Sejam dois carrinhos de corrida, um vermelho e um azul. Os dois partem do mesmo ponto, lado a lado. O carro vermelho percorre o trajeto da pista em 10 segundos e o carro azul em 11 segundos. Que carro foi o mais rápido, ou seja, que teve maior velocidade média?

Esta questão, trivial para grande maioria dos alunos, evidencia que a velocidade depende do intervalo de tempo. Reforça a idéia de que numa corrida em que todos os competidores percorrem a mesma distância, é o mais rápido o carro que termina o trajeto em menor tempo.

¹¹E-mail: geraldofelipe.rj@uol.com.br.

¹²É comum ouvir algum aluno perguntar: “A velocidade pode dar negativo?”. Isso ocorre justamente porque velocidades negativas não fazem parte do cotidiano dos alunos.

2.2) Consideremos novamente os dois carrinhos. Numa nova corrida, o carro vermelho parte um metro a frente do carro azul. No entanto, os dois recebem juntos a bandeirada no ponto final da prova. Que carro apresentou maior velocidade média?

Novamente, a maioria dos alunos resolveu a questão com facilidade. A pergunta salienta que a velocidade depende também do deslocamento considerado. Reforça a idéia de que numa corrida em que o tempo de duração é o mesmo para ambos competidores, é mais rápido o carro que percorreu a maior distância. Apregoamos a importância de os alunos expressarem “como” chegaram a conclusão apresentada. Deveras, a maioria esmagadora dos alunos foi capaz de apontar com facilidade que carro foi o mais rápido. No entanto, uma boa parcela dos alunos também demonstrou dificuldades em explicar como chegaram a esta conclusão. Este fato enfatiza a importância de exigir dos alunos que expliquem verbalmente e por escrito sua forma de pensar. Esta importância é corroborada pela literatura [14].

2.3) Eis um problema desafiador: veja a corrida ilustrada pela animação que se segue e aponte que carrinho foi o mais rápido. Justifique sua resposta.

O aplicativo que embasa a questão permite alterar os parâmetros posição inicial, velocidade e aceleração e nos informa a distância percorrida e o tempo decorrido. Mais detalhes a respeito do aplicativo são apresentados na seção 8. Na animação vista pelos alunos, os parâmetros foram ajustados de modo que o carrinho vermelho parta 8m a frente do azul mas vença a corrida por uma pequena vantagem. Mais precisamente, o carrinho vermelho vence por uma vantagem comparável a 8m. Logo, a priori, não é possível afirmar que carrinho foi o mais rápido. A solução do problema só é possível por meio da consideração das informações de distância e tempo oferecidas e da aplicação do conceito discutido na atividade anterior. Esta questão reforça o caráter não apriorístico do conceito de velocidade. A intuição que guiou muito bem os alunos nas duas primeiras perguntas não é suficiente agora. Com as perguntas que se seguem pretendemos orientar os alunos e ajudá-los a criar um critério de ponderação acerca das informações fornecidas e do que se pode fazer com elas para determinar que carrinho foi o mais rápido. Vide a figura abaixo.

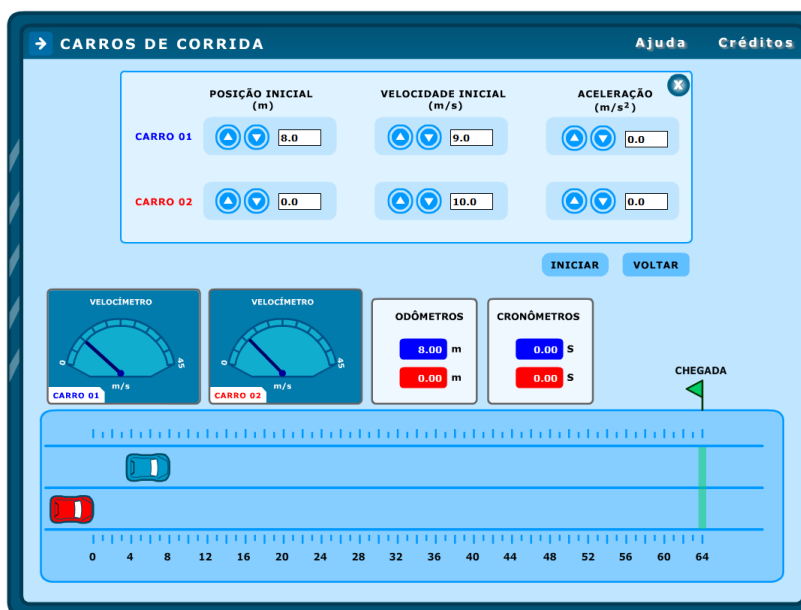


Figura 4 - O aplicativo flash e os parâmetros utilizados na questão 2.3.

2.4) Estimar que carro foi o mais rápido neste caso é mais complicado. Será que existe um critério confiável para determinação de qual foi o mais rápido? Vamos nos inspirar: Carlos tinha 2000 reais. Após um ano guardando dinheiro, passou a ter 3500 reais. Antônio também poupou dinheiro. Inicialmente, tinha 1800 reais. Após um ano poupando, obteve 3400 reais. Qual deles poupou mais por mês, ou seja, qual a relação R\$/mês de cada um?

Novamente, nosso desejo é voltar a atenção dos alunos para existência de um método por meio do qual é possível resolver a primeira questão. Fazemos isso, novamente (e o faremos sempre que possível), através de uma analogia com situações que envolvem dinheiro. Reportamos ao leitor que temos sido muito bem sucedidos com o uso das analogias e que as analogias podem e devem ser ajustadas as circunstâncias de cada unidade escolar e clientela¹³. O ponto alto da analogia tem que ver com a forma como é recebida e entendida pelos alunos. Estes precisam perceber que o problema proposto como ilustração é análogo ao proposto inicialmente. Assim, uma discussão sobre as similaridades entre os problemas é imprescindível.

2.5) Quanto tempo leva o carrinho Vermelho para cruzar a linha de chegada? E o carrinho Azul?

A partir de agora, começamos a analisar o problema do ponto de vista formal. O tempo de corrida

¹³Deveras, observamos alguns de nossos alunos utilizando analogias para argumentar sobre algumas das questões.

de cada carrinho pode ser obtido diretamente do cronômetro do aplicativo. Vide a figura abaixo.

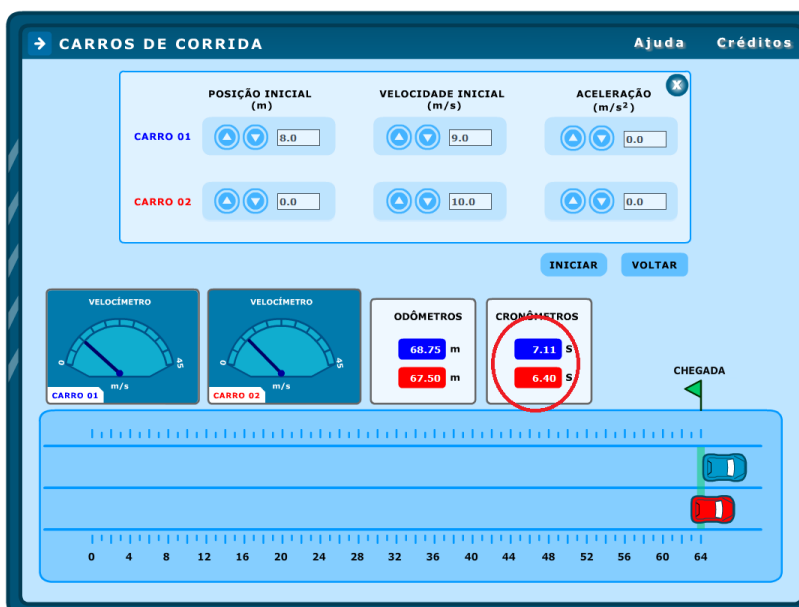


Figura 5 - O aplicativo flash e o cronômetro que permite a medição direta do tempo.

2.6) Qual a distância percorrida pelo carrinho Vermelho? E pelo carrinho Azul?

Uma vez que os carrinhos dividem a pista, a distância percorrida por eles é a mesma. Ademais, esta informação pode ser obtida diretamente do aplicativo. Vide a figura abaixo.

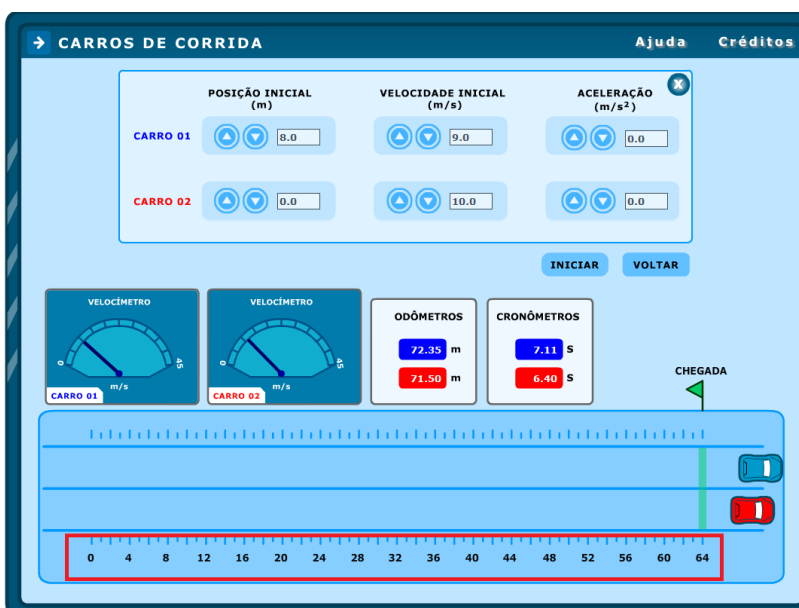


Figura 6 - O aplicativo flash e a régua que permite a medição direta da distância.

2.7) Qual a velocidade média de cada carrinho?

Neste momento, desejamos que o aluno estime a velocidade da forma como realizado na atividade anterior. Desejamos reforçar o conceito de velocidade tal como apresentado. Eles precisam enxergar, e há uma diferença entre ver e enxergar, que é **possível** obter os resultados com o exercício do discernimento. Este é um aspecto fundamental haja vista que os alunos criam um rótulo de que física é difícil, impossível, isso ou aquilo. E, infelizmente, este estereotipo é, muitas vezes, geminado pelo próprio sistema escolar. Esta imagem precisa ser desfeita a qualquer custo. Ao aplicarem as idéias trabalhadas anteriormente, os alunos determinaram que carro foi o mais rápido.

2.8) O mais rápido venceu a corrida?

Nosso objetivo neste caso é enfatizar que “quem chega primeiro” não é um critério fidedigno para determinação de “quem é mais rápido”. Passamos adiante à consideração de um outro problema ligado à largada, o retardo de um carro em partir.

2.9) Consideremos novamente a corrida entre o carro vermelho e o azul. Eles partem do mesmo ponto. No entanto, o carro vermelho parte cerca de 2s depois do azul, chegando o vermelho primeiro a linha de chegada. Que carro foi o mais rápido?

Assim como antes, começamos com uma questão fácil. Como o vermelho vence a corrida, nenhum aluno duvidou que o vermelho tenha sido o mais rápido. Todavia, as discussões revelaram que a maioria dos alunos não considerou que o tempo que o carrinho vermelho ficou parado como “fazendo parte de seu movimento”. Ou seja, para eles, os dois segundos que ele permaneceu em repouso não fazem parte do seu movimento. Para combater esta forma de pensar, sublinhamos, vez após vez, que o cronômetro foi disparado, a corrida começou mas, por algum motivo que não vem ao caso, o vermelho ficou parado; ele, no entanto, “faz uma corrida de recuperação”. Esta tendência por parte dos alunos pôde ser contornada com a discussão da seguinte questão de transição: **Os dois segundos que o carrinho permanece parado afetam sua velocidade média?** Depois desta discussão, a maioria dos alunos aceitou (o que foi expresso por escrito; uma justificativa à pergunta foi requisitada) o fato de a velocidade média do carrinho envolver

os dois segundos que o carrinho permanece em repouso.

2.10) Suponhamos as mesmas condições da questão anterior. No entanto, os dois chegam juntos a linha de chegada. Que carro foi o mais rápido?

Verificamos agora se os alunos realmente compreenderam a importância do tempo perdido por um dos carrinhos no começo da corrida. Então, propomos três questões de transição: **Que distância percorreu cada carrinho? Quanto tempo demorou cada carrinho para cruzar a linha de chegada? Considerando a idéia que construímos para velocidade anteriormente, que carrinho desenvolveu maior velocidade média, ou seja, foi o mais rápido?** Com isso, de acordo com resultados que obtivemos, esperávamos, o que deveras se verificou, que a maioria dos alunos compreendesse o ponto.

2.11) Eis um problema desafiador: Veja a corrida ilustrada pela animação que se segue e aponte que carrinho foi o mais rápido. Justifique sua resposta.

Novamente uma questão será proposta por meio do aplicativo flash que descrevemos e utilizamos anteriormente. Desta vez, o aplicativo descreverá um movimento em que o carrinho vermelho parte, ainda desta vez, algum tempo depois do carrinho azul mas, o carrinho azul vence por uma pequena vantagem. O efeito é conseguido escolhendo 1m/s como velocidade inicial para o carrinho vermelho e 10m/s para o carrinho azul. Deixamos a animação se desenvolver durante cerca de 1s. Em seguida, começamos a aumentar a aceleração do carrinho vermelho em tempo real de modo que no fim, o carrinho vence por uma pequena vantagem.

2.12) Estimar que carro foi o mais rápido neste caso é mais complicado. Será que existe um critério confiável para determinação quantitativa de qual foi o mais rápido? Vamos nos inspirar: Carlos e Antônio tinham 2000 reais cada. A partir de Janeiro, Carlos começou a poupar dinheiro. Antônio, por sua vez, começou a poupar a partir de Março. No final do ano Carlos tinha poupado 3500 reais enquanto Antônio tinha poupado 3450 reais. Qual deles poupou mais por mês no ano?

Assim como antes, pretendemos discutir um problema sobre dinheiro análogo ao proposto com os car-

rinhos. Talvez, uma única dentre as duas discussões sobre dinheiro seja necessária uma vez que seu objetivo é meramente ilustrar o raciocínio que pode ser aplicado ao problema principal, da corrida. seja Algumas perguntas de transição foram feitas, a saber: **Quanto cada um poupou em um ano? Quanto cada um poupou em Janeiro? Em Fevereiro? Monte uma tabela. Quanto cada um poupou então por mês?** Com estas considerações introduzimos o raciocínio que se segue.

2.13) Quanto tempo leva o carrinho Vermelho para cruzar e linha de chegada? E o carrinho Azul?

Passamos a partir daqui a analisar o problema do ponto de vista formal. O tempo de corrida de cada carrinho pode ser obtido diretamente do cronômetro do aplicativo diretamente assim como antes.

2.14) Qual a distância percorrida pelo carrinho Vermelho? E pelo carrinho Azul?

Uma vez que os carrinhos dividem a pista, a distância percorrida por eles é a mesma. Ademais, esta informação pode obtida diretamente do aplicativo.

2.15) Qual a velocidade média de cada carrinho? E qual foi o mais rápido então?

Com as informações que foram obtidas anteriormente, desejamos que os alunos calculem a velocidade média de cada carrinho e percebam, por meio de uma estimativa quantitativa, que o tempo que o carrinho vermelho permanece em repouso retarda seu movimento, reduz sua velocidade média e implica na perda da corrida.

4.2 A velocidade instantânea - A serventia dos livros de física

2.16) Veja animação que se segue e determine a velocidade média de cada um dos carrinhos.

O que os alunos veem na animação é o carrinho vermelho ultrapassando o carrinho azul como mostra a figura abaixo.

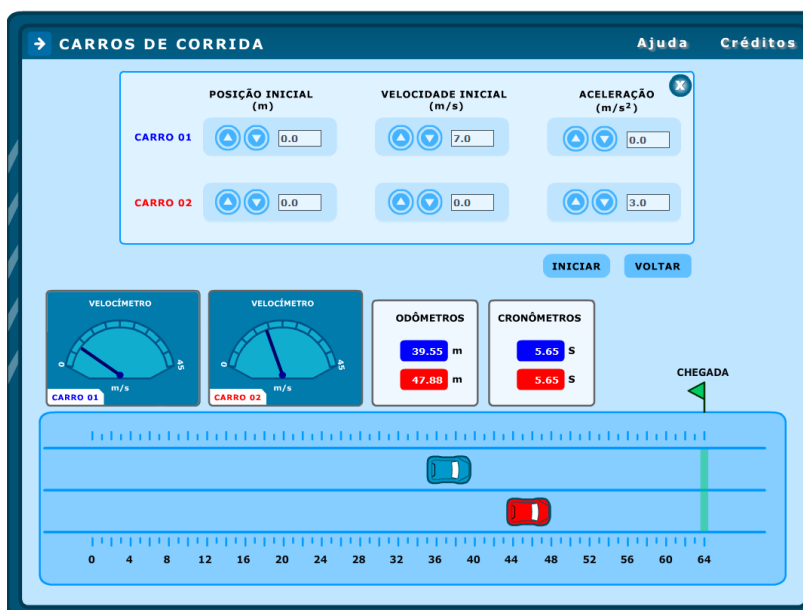


Figura 7 - A animação flash e os parâmetros utilizados na questão 2.16.

Tal como já fizeram antes, os alunos devem calcular a velocidade média dos carrinhos a partir dos dados fornecidos pelo aplicativo. No entanto, como se verifica na figura acima, o carrinho vermelho tem aceleração maior que zero e, embora tenha velocidade inicial menor que a do carrinho azul, o ultrapassa em algum momento.

2.17) A velocidade do carrinho vermelho é a mesma durante todo o percurso? Exatamente no momento em que os carrinhos estão emparelhados, que carrinho se movimenta mais rápido? Quanto mais rápido? Justifique.

A experiência adquirida nas atividades anteriores permitiu a maioria dos alunos afirmar sem titubear que a velocidade do carrinho vermelho aumenta durante a corrida pois, embora partam do mesmo ponto e o carrinho azul deixa o vermelho para trás mas é, posteriormente, ultrapassado pelo vermelho. A experiência diária dos alunos lhes impulsiona a afirmar que durante uma ultrapassagem, quem ultrapassa está mais rápido do que quem é ultrapassado, mas quando frisamos que a pergunta refere-se exatamente ao instante que os carrinhos estão emparelhados, a certeza deles dá lugar a uma enorme e explícita interrogação. O aspecto não trivial da questão fica evidente o que nos impele a procurar um método de estimar a velocidade do carrinho num momento específico. Neste momento, dissemos aos alunos que para determinar quem é o mais rápido exatamente no momento em que os carrinhos estão alinhados, eles precisariam determinar a

velocidade instantânea dos carrinhos neste momento. Desta forma, introduzimos o conceito de velocidade instantânea tal como imaginamos ser razoável para aqueles que se deparam com o conceito pela primeira vez: A velocidade num dado instante! Sem deltas, sem limites, sem fórmulas, etc. Em seguida, propomos um método de estimativa da velocidade instantânea dos carrinhos.

Para isso, inicialmente, mostramos aos alunos um fileira de livros de tamanhos diferentes, um ao lado do outro, alinhados como mostra a figura abaixo e pedimos que calculem a média de altura dos livros que compõem a fileira¹⁴.



Figura 8 - A fileira de livros utilizada no segundo bloco da atividade 2.

Deveras, mostrou-se prático trazer os livros de casa com as alturas já medidas e etiquetas coladas informando a altura. Em nosso caso, realizar esta parte da atividade com auxílio dos alunos foi contraproducente, um desvio de proposta porque demandou muito tempo. A seguir, dizemos aos alunos, sem fornecer detalhes desnecessários, que o problema que propusemos sobre a altura dos livros é análogo ao da esmativa de velocidade instantânea e que o método que vamos utilizar para um serve para o outro.

¹⁴Note o leitor que ao observar a figura 8, que ilustra a fileira de livros, tendemos a tentar correspondê-la a um gráfico Velocidade *versus* Tempo que descreve um movimento uniformemente variado. Esta comparação, contudo, tem um problema inerente: Durante o processo de estimativa da velocidade instantânea, os alunos podem ser impelidos a associar a velocidade média à média das velocidades, o que seria desastroso. Assim, recomendamos que, pelo menos inicialmente, não tente o professor comparar a figura 8 a qualquer gráfico correspondente a velocidade de um móvel. Para nossos propósitos neste momento, basta que os alunos entendam que o método realizado no problema com os livros é também útil no problema com velocidades.

2.18) Qual a média de altura dos livros?

A média das alturas pode ser obtida por meio da média aritmética das alturas, ou seja, somamos as alturas e dividimos pelo número de livros. A maioria dos alunos conseguiu obter o resultado com facilidade.

2.19) O resultado mudaria se tirássemos alguns livros da fileira? Qual seria o menor valor possível para a média? E o maior?

Neste momento pretendemos estimular os alunos a refletir sobre as propriedades da média aritmética. Este conceito é muito importante para os alunos dentro da escola, no ínterim da vida acadêmica, como fora dela, em canteiros de obras, oficinas mecânicas, cozinhas, etc. Acreditamos que raciocinar logicamente sobre esta ferramenta é tão importante quanto o conceito que por meio dela desejamos construir. Por ocasião da aplicação da atividade, consideramos pertinente a discussão de uma segunda questão, a saber: **Que livros teríamos de retirar e quais deveríamos deixar para que a média fosse máxima? E mínima?** Embora esta questão não seja imprescindível para o desenvolvimento do método, acreditamos que representa um ótima oportunidade para que os alunos aprofundem seu conhecimento sobre esta ferramenta matemática.

2.20) Qual a média de altura dos onze livros localizados mais no centro da fileira? Repita o procedimento para os nove, sete, cinco livros localizados mais ao centro da fileira.

A partir de agora, pedimos que os alunos refaçam a média de altura dos livros considerando cada vez menos deles. Parece-nos ser um bom momento também para enfatizar a importância de utilizar tabelas na organização de informações. Uma pergunta adicional facilita a discussão dos resultados: **De quanto variou a média entre o cálculo com todos os livros e os cálculos com onze, nove, sete e cinco.** É digno de nota que a maioria dos alunos utilizou tabelas por iniciativa própria. Humildemente, reconhecemos que isso não ocorreu apenas porque os incentivamos a fazê-lo anteriormente. Ressaltamos, todavia, a importância de incentivar os alunos a utilizar tabelas como uma forma de organizar e comunicar dados.

2.21) Conforme tiramos livros, a média se modificou? Aumentou ou diminuiu? Repita o procedimento para os três livros localizados mais ao centro da fileira. A média mudou novamente? Aumen-

tou ou diminuiu?

Neste momento, os alunos devem perceber que, a medida que retiramos os livros dos extremos da fileira, a média se modifica. Em particular, se aproxima de um valor, da altura do livro do meio.

2.22) Deveras, à medida que restringimos o número de livros, a média se aproxima da altura do livro que está no meio. Qual seria a média se cortássemos longitudinalmente os dois livros que estão em volta do livro central em dois pedaços, de modo que seu “peso” estatístico no cálculo da média fosse reduzido à metade?

Neste caso, o cálculo deve ser repetido considerando que o “peso” estatístico dos livros que estão em volta do livro que está no centro foi reduzido à metade.

2.23) Repita o procedimento, considerando agora apenas 1/4 e, em seguida, 1/8 dos livros nas bordas da fileira. Qual o valor da média neste caso?

O procedimento é repetido e a média se aproxima ainda mais do livro central.

2.24) Perceba que a média se aproxima da altura do livro que está no meio. Esta afirmação independe do livro está no meio? Modifique o livro do meio e verifique realizando novamente o procedimento descrito acima.

É mais que natural, assim como pensamos, que os alunos suponham que o procedimento foi proposto especificamente para “aquele” livro que estava no meio. A aplicação mostrou a veracidade deste pensamento: Apenas alguns poucos alunos reconheceram, inicialmente, que o procedimento independe do livro que está no centro da fileira. Assim, propomos que o procedimento seja repetido com uma outra disposição aleatória dos livros. No entanto, se o tempo disponível para implementação da proposta, como foi o nosso caso, for pouco, sugerimos que a segunda realização da tarefa ocorra em casa. Estamos convencidos de que isso não interfere no desenvolvimento do resto da atividade.

2.25) Igualmente, ao estimarmos a velocidade média de móvel por meio do VirtualDub, obtemos a média a partir de informações de vários instantes. No entanto, se nos restringirmos aos instantes próximos daquele que queremos estudar (tão próximos quanto possível), nos aproximamos do valor da velocidade no instante desejado! Teste este método para tentar resolver a questão 2.17.

Uma vez construído o arcabouço teórico e o ferramentário matemático necessário, retornamos ao problema da velocidade instantânea. Produzimos um vídeo a partir da animação que aparece na tela. Rodamos a animação assim como antes. Produzimos o vídeo e o analisamos com o virtualDub. A idéia a ser ressaltada é a necessidade que temos de considerar o movimento do carrinho apenas nos instantes em torno do desejado, em que a ultrapassagem ocorre. Ademais, as animações do Flash foram convertidas em vídeo por meio de aplicativo livre, o Freez Screen Video Capture, capaz de gerar um arquivo de vídeo a partir do que é exibido na tela do computador¹⁵.

2.26) Repita o procedimento anterior. No entanto, considere dois, três e quatro instantes em volta do desejado. O que ocorre com a valor da velocidade?

Ao realizarem o método inverso, os alunos verificaram que quanto mais instantes consideraram, mais impreciso é o resultado. Esta idéia pode ser sublinhada pela reconsideração do problema dos livros. Lembremos ao leitor que neste caso, a altura do livro do meio já era conhecida desde o começo da atividade. Desta forma, a aproximação dos valores na medida em que restringimos a quantidade de livros considerados, medidos diretamente com a régua e calculados por meio do método, apenas confirma a validade do método. Esta é uma importante oportunidade de para salientar que este método é tão eficaz quanto mais “próximos conseguirmos chegar” do instante desejado.

4.3 O problema da ultrapassagem

2.27) A segurança de uma ultrapassagem depende em muito do tempo que esta demora. Quanto menor o tempo de ultrapassagem, mais segura é a manobra. Como podemos estimar o tempo de uma ultrapassagem?

¹⁵Para mais detalhes sobre o Freez Screen Video Capture, veja a seção 9.

Desejamos que os alunos se confrontem com uma situação que só pode ser corretamente entendida à luz daquilo que estudamos. Problemas envolvendo o trânsito, em particular, uma ultrapassagem, demonstram as implicações sociais daquilo que estamos estudando, afinal, quantos acidentes de trânsito não são causados anualmente por imprudência ou imperícia. A literatura confirma a relevância de questões envolvendo tráfego e trânsito no ensino de cinemática [15–17]. Desejamos com esta pergunta que os alunos percebam que a questão não é trivial e é inerente à realidade vivida por todos eles.

2.28) Por exemplo, um carro de 5 metros viaja a 70km/h e começa a ultrapassar um caminhão de 22m de comprimento que viaja a 60km/h. Supondo que a ultrapassagem se inicia quando a dianteira do carro alcança a traseira do caminhão e termina quando a traseira do carro passa pela dianteira do caminhão, quanto tempo demora a ultrapassagem? Vejamos.

Começamos a consideração do problema por meio de uma questão envolvendo um carro e um caminhão. Há um consenso bem razoável entre aqueles que dirigem ou andam de carro com frequência de que ultrapassar caminhões compridos é uma das manobras mais arriscadas que existem. Além disso, propomos o problema com valores que se harmonizam com os reais. Notavelmente, quando esta questão foi proposta, alguns, os de mais iniciativa, já começaram a fazer “contas” para tentar estimar a duração da ultrapassagem. Não consideramos isto ruim, muito pelo contrário, elogiamos a atitude dos alunos e os estimulamos a prestar atenção a consideração que faríamos a seguir, que poderia elucidar como a estimativa pode ser feita e corroborar com as respostas deles.

2.29) Quais são as velocidades do carro e do caminhão em m/s?

Inicialmente, os alunos devem compatibilizar as unidades. Esta é mais uma oportunidade que eles têm de trabalhar a mudança de unidade dentro de um contexto bem definido.

2.30) Quanto o carro se adianta em relação ao caminhão em um segundo?

Pretendemos com esta pergunta que os alunos percebam que o carro se adianta em relação ao caminhão

exatamente a diferença entre as velocidades. A dificuldade demonstrada por alguns alunos para perceber este conceito foi minimizada com a construção de uma tabela comparativa dos deslocamentos de cada um em relação ao tempo. Este é um momento apropriado para endereçar este “adiantamento” do carro em relação ao caminhão como a **velocidade de ultrapassagem**.

2.31) Qual é a distância mínima que o carro tem que adiantar ao caminhão para completar a ultrapassagem?

Para responder corretamente esta questão os alunos precisaram recorrer àquilo que definimos como limite de ultrapassagem, na questão 2.31. A maioria conseguiu perceber com certa facilidade que a distância corresponde à soma dos comprimentos.

2.32) Quanto tempo, no mínimo, demora o carro para completar a ultrapassagem ?

Uma vez definidas a velocidade de ultrapassagem e a distância a ser percorrida, os alunos devem aplicar o conceito de velocidade para estimar o tempo de ultrapassagem.

2.33) Quanto tempo demoraria o carro para completar a ultrapassagem com uma margem de segurança? Por exemplo, considerando que a ultrapassagem se inicia quando a distância entre eles é de 15 metros e só termina nas mesmas condições, quanto tempo demoraria a ultrapassagem?

Neste caso, consideramos condições ligeiramente diferentes: O tempo de ultrapassagem deve ser calculado considerando uma margem de segurança.

2.34) Que distância percorre o carro enquanto executa a manobra de ultrapassagem neste caso?

Pretendemos oportunizar com esta pergunta que os alunos revelem explicitamente se perceberam que a distância de ultrapassagem é acrescida a margem de segurança de 30 metros.

2.35) Quanto tempo demora a ultrapassagem com margem de segurança? Qual a diferença entre

os tempos de ultrapassagens?

Os alunos devem, neste momento, calcular o novo tempo e comparar os tempos de ultrapassagem “na risca” e com segurança.

2.36) A distância calculada no item 2.37 é a mínima que o condutor do carro tem de visualizar livre para realizar a ultrapassagem com segurança. Naturalmente, quanto maior o tempo que o carro permanece na contramão, maior o risco de acidentes. No entanto, como diminuir este tempo de exposição na contramão? Vejamos.

Desejamos explorar um pouco mais que este problema por proporcionar que os alunos refaçam as estimativas para situações ligeiramente diferentes. Nosso intuito é que destes reencontros brotem generalizações por parte dos alunos.

2.37) Refaça os cálculos anteriores e estime o tempo de exposição na contramão em três outras situações: (1) O caminhão trafegando a uma velocidade de 60km/h e o carro a 80km/h, (2) o caminhão trafegando a uma velocidade de 60km/h e o carro a 90km/h e (3) O caminhão trafegando a uma velocidade de 60km/h e o carro a 100km/h.

Ao refazer os cálculos, pretendemos que os alunos consigam perceber que quanto maior a velocidade do carro que ultrapassa, menor é o tempo de exposição na contramão e, conseqüentemente, mais segura é a ultrapassagem. Ressalvamos que este pode ser um momento pertinente para um interlúdio em que se pode discutir outros fatores que possam interferir na segurança da ultrapassagem como a qualidade da pista, por exemplo. A potência do carro também pode ser alvo de discussão: Embora os alunos ainda não saibam o que é potência, trabalho, força ou aceleração, todos pareceram, pelos menos em nossa amostra, saber que a ultrapassagem é mais “fácil” se o carro for um “2.0” do que se um “1.0”. Assim, acreditamos que este problema pode ser profícuo no estudo de outros conceitos físicos.

2.38) Voltemos à situação descrita na questão 2.31. Contudo, considere que, ao começar a ultrapassagem vemos um carro, vindo no sentido contrário na outra pista. Alguma coisa muda? Vejamos.

Suponhamos que o carro é idêntico ao primeiro, move-se a 50km/h e está a 50m do caminhão quando é avistado pelo motorista que deseja ultrapassar. Qual a velocidade do carro no sentido contrário em m/s?

Mais uma vez, os alunos precisarão transformar unidades para considerar este novo problema. Note o leitor que a grau de sofisticação das questões que propomos aumenta gradativamente. Nosso objetivo, tal como descrevemos outrora, é provocar conflitos cognitivos com questões que cada vez mais, incorporem elementos que os alunos reconheçam como pertencentes à sua realidade. Consideramos que esta dificuldade gradual é necessária para que os alunos se “sintam” capazes de encontrar as soluções. Cada acerto reforça a idéia de que a próxima solução pode ser encontrada.

2.39) Em quanto diminui a distância entre os carros por segundo?

Será esta a primeira vez em que os alunos encaram movimentos em sentidos diferentes. Os alunos que não reconheceram de imediato que a **velocidade de aproximação** é obtida pela soma das velocidades foram ajudados a chegar a esta conclusão, novamente, com o auxílio de uma tabela que eles mesmos construíram constando as posições ocupadas por cada um ao longo do tempo

2.40) Que distância será percorrida pelos dois carros até que um eventual choque ocorra? Quanto tempo levará para que este suposto choque ocorra?

A distância entre os carros foi apontada pela maioria dos alunos com facilidade. No entanto, alguns só reconheceram os 50 metros depois que um desenho esquemático foi apresentado no quadro. Pareceu-nos interessante, então, pedir aos alunos que desenhem em seu caderno um esquema da situação antes de realizar qualquer estimativa, i.e., logo depois da questão 2.31. Naturalmente, o esquema deve ser feito após a questão 2.41. Os alunos podem então comparar o desenho que fizeram com aquele que o professor fez. O tempo em que ocorreria a colisão pode ser calculado utilizando a velocidade de aproximação obtida anteriormente. Um pergunta de transição pode ser útil ou talvez até necessária: **Quanto os carros se aproximam a cada segundo?**

2.41) Compare o tempo de ultrapassagem (segura) com o tempo encontrado na questão anterior.

A “cereja do bolo” é saber se a ultrapassagem tem ou não sucesso. Esta questão tem este objetivo.

2.42) A que distância mínima o motorista do carro deveria avistar o outro carro, no sentido contrário, para que a ultrapassagem fosse possível? A que velocidade máxima deveria se mover o carro que vem no sentido contrário ao do caminhão para que a ultrapassagem fosse possível?

Neste momento, propomos a situação inversa: Sabendo quanto no mínimo deve demorar a ultrapassagem para que a colisão não ocorra, os alunos devem, inicialmente, calcular a que distância mínima de afastamento entre os carros e, em seguida, a velocidade máxima que pode ter o carro que vem no sentido contrário ao do caminhão para que a colisão não ocorra.

2.43) Estime esta distância mínima para um carro que se move no sentido contrário com velocidade de 70km/h, 90km/h e 110km/h.

Os alunos devem repetir o procedimento para típicas velocidades das rodovias do Brasil. A idéia com a repetição, novamente, é promover a construção de uma idéia geral sobre o que seria uma ultrapassagem segura em condições bem próximas da realidade.

2.44) Suponha agora que um caminhão trafegue a 50km/h. 200 metros atrás dele está um carro (1) movendo-se a 60km/h. 200 metros a frente do caminhão, porém na pista contrária, movendo-se no sentido contrário, está um carro (2) idêntico ao primeiro movendo-se a 60km/h, no entanto, no sentido contrário ao do caminhão. Que carro alcançará o caminhão primeiro? Explique.

Começamos, a partir daqui, a mudar o enfoque da atividade. Desejamos começar a construir a idéia, ou pelo menos uma protoidéia, de velocidade relativa. Naturalmente, a solução desta questão demanda uma boa compreensão das idéias de velocidade de ultrapassagem e aproximação, outrora construídas.

2.45) Então, se nosso referencial fosse solidário ao caminhão, ou seja, se o movimento fosse obser-

vado pelo motorista do caminhão, qual seria a velocidade do carro (1)? E do carro 2?¹⁶

A realização desta questão demanda uma compreensão clara do conceito de referencial. Como dissemos anteriormente, este conceito é imprescindível para o desenvolvimento de toda nossa proposta. No entanto, durante a aplicação da atividade mostrou-se produtivo reforçar a idéia de que para o motorista do caminhão, o caminhão está em repouso. Este momento é apropriado para introduzir duas idéias que, segundo esperamos, já estejam “no forno”, na mente dos alunos: Com o referencial fixo no caminhão, a velocidade do carro (1) é a velocidade de ultrapassagem e a velocidade do carro (2) é a velocidade de aproximação. Concordamos que a construção desta idéia seja uma das mais difíceis dentro do todo de nossas atividades. Concordemente, sugerimos a construção de duas tabelas apresentando as informações do movimento relativo entre o caminhão, o carro (1) e o carro (2) nos dois referenciais, solidário à rodovia e solidário ao caminhão. As tabelas devem conter pelo menos cinco colunas abarcando os instantes de tempo, as posições ocupadas por cada um dos móveis, quanto o caminhão e o carro (1) se aproximam em cada instante e quanto o caminhão e o carro (2) se aproximam em cada instante. Cada tabela deve ser construída considerando um referencial. As similaridades entre os dados nas duas tabelas mostram aos alunos que as duas descrições são equivalentes e correspondem à mesma física. A análise das tabelas nos permite também ratificar a validade da **relatividade galileana**. No entanto, acreditamos que este aspecto precise ser trabalhado um pouco mais. Propomos isto em seguida.

2.46) Vamos explorar um pouco mais este ponto. Suponha que você esteja no interior de um carro (1) movendo-se a 80km/h. Ao ultrapassar outro carro (2) movendo-se a velocidade de 75km/h, com que velocidade e em que sentido você vê o movimento do carro (2)?

A idéia agora é que os alunos percebam que ao ultrassar o carro (2), o que se vê é o carro (2) se movendo para trás com a velocidade de ultrapassagem. Mostrou-se produtivo sugerir que um desenho fosse feito para expressar o sentido do movimento pois alguns alunos demonstraram dificuldades em descrever o movimento do carro (2).

¹⁶Lembramos ao leitor que ao fixar o referencial no caminhão, o caminhão passa a ocupar uma posição fixa, a origem, enquanto o carro (1) encontra-se na posição $-200m$ e o carro (2) na posição $200m$. Deveras, estas idéias podem ser reforçadas com a realização de um desenho na lousa. Lembramos, ademais, que a linguagem visual tem um forte efeito, muitas vezes, mais substancial e prolongado do que a linguagem verbal, sobre os alunos.

2.47) Se for ultrapassado por um carro (3) se movendo a 85 km/h, e você continua no carro (1) a 80 km/h, com que velocidade e em que sentido você vê o movimento do carro (3)?

Nesta questão, os alunos precisam perceber que ao ser ultrapassado pelo carro (3), o que se vê é o carro (3) se movendo para frente com a velocidade de ultrapassagem.

2.48) Como podemos diferenciar estes dois movimentos, ultrapassar e ser ultrapassado, sem precisar informar o sentido em que o movimento ocorre?

A partir daqui, introduzimos um novo problema. A priori, a diferenciação entre os movimentos pode ser feita de qualquer modo e aos alunos é concedida a liberdade cabal de sugerir como se pode fazê-lo. Contudo, no final da discussão, chamamos a atenção dos alunos para possível existência de um modo de diferenciar os movimentos que seja o “natural” e simples. Isto é possível com a proposição da seguinte pergunta de transição: **Embora tenhamos liberdade para escolher a forma como diferenciamos os movimentos, será que existe um modo natural de fazê-lo, i.e., será que existe um modo, evidentemente mais simples do que os outros para diferenciá-los?**

2.49) Vamos refletir um pouco. Se o referencial é solidário ao carro (1), nossa régua e nosso relógio viajam também a velocidade de 80km/h. Assim, a origem da régua, i.e., o ponto zero da régua, está em movimento. Quando as ultrapassagens ocorrem, a posição de partida é sempre zero, porque localizamos o referencial solidário ao carro. No entanto, em relação a este referencial, em que posição se encontrarão os carros (2) e (3) após uma hora?

As implicações de fixarmos o referencial no carro (1) são lembradas novamente. Em seguida, os alunos devem utilizar as velocidades relativas entre os carros para calcular em que posição se encontrarão os carros (2) e (3) depois de uma hora. Naturalmente o carro (2) estará na posição -5km enquanto o carro (3) estará na posição 5km. Lembramos que nesta escala, o comprimento dos carros é irrelevante para o problema.

2.50) Quais serão os seus respectivos deslocamentos? E suas velocidades médias?

Os alunos devem utilizar seus conhecimentos prévios para calcular o deslocamento e a velocidade de cada carro. Um dos deslocamentos dá resultado negativo. Isso gerou, por ocasião da aplicação da proposta um “clima tenso” entre alguns alunos. Embora eles já tivessem sido instruídos sobre isso anteriormente (a possibilidade de termos deslocamentos negativos), alguns apresentaram-se relutantes em aceitar este resultado. Para contornar esta dificuldade, a seguinte pergunta foi proposta: **Qual o significado deste deslocamento negativo?** A idéia é fazer os alunos perceberem ou recordarem que um deslocamento negativo ocorre toda vez que um movimento é contrário ao sentido de crescimento de nossa régua de referência¹⁷. Com a idéia dos deslocamentos bem sedimentada, passamos ao cálculo das velocidades. Neste momento, subimos mais um grau de sofisticação no entendimento do conceito de velocidade. Dizemos aos que, rigorosamente, a velocidade é a razão entre o deslocamento e o intervalo de tempo. Logo, a velocidade média concatenada ao deslocamento negativo será também negativa. A pergunta “**Qual o significado desta velocidade negativa?**” serviu de base para discussão subsequente. Apregoamos que a velocidade negativa deve ser entendida **simplesmente** como a velocidade que corresponde a um deslocamento negativo, i.e., um movimento no sentido contrário ao definido por nossa régua de referência.

2.51) Que sinal seria então o mais apropriado para diferenciar os dois movimentos? Perceba que o sinal de menos aparece naturalmente e é, logicamente, o mais simples para expressar a idéia de um movimento que ocorre no sentido contrário ao da régua de referência. Suponha agora que nosso referencial seja solidário a pista e que suas marcações de quilometragem definam o sentido da régua no referencial. Se um carro parte do km200 e depois de 1h passa pela placa que indica o km150, qual foi seu deslocamento e velocidade neste intervalo de tempo?

Desejamos, finalmente, ratificar o conceito proposto anteriormente, a saber, que o sinal de menos é ideal para sinalizar movimentos que ocorrem no sentido contrário àquele que escolhemos como positivo.

¹⁷A capacidade do observador de medir posições, deslocamentos e distâncias é, segundo entendemos, bem expressa pela existência de um objeto imaginário que, em nossa instrução, nos acostumamos a chamar de “régua de referência”.

5 Descendo a ladeira e construindo o conceito de aceleração

Em nosso terceiro conjunto de atividades, propomos a discussão da diferença entre um movimento plano e um movimento de descida. Com isso, pretendemos promover a construção do conceito de aceleração. Por isso, escolhemos como tônica desta atividade a discussão dos agentes físicos responsáveis pela aceleração. Além disso, dedicamos especial atenção aos movimentos acelerados em que ocorre inversão.

3.1) Quais as diferenças entre o movimento de um carrinho descendo uma ladeira e o movimento plano que estudamos?

Neste novo tópico, desejamos que os alunos construam o conceito de aceleração. Acreditamos que a melhor forma de fazê-lo é por meio da investigação de um problema, a saber, quais são as diferenças entre o movimento plano e o movimento de descida. Parece-nos que este seja o caminho mais natural para abordagem do tema uma vez que a maioria, senão todos, já desceram uma ladeira e verificaram que existem diferenças entre as sensações percebidas por nosso corpo quando nos movimentamos no plano e quando descemos uma ladeira. Este é também, muito provavelmente, o movimento acelerado mais fácil de ser reproduzido e estudado.

3.2) Utilizando o VirtualDub, estude o movimento do carrinho descendo uma ladeira.

Os alunos observaram um carrinho tal como aparece na figura 9 descendo uma pista tal como se vê na figura 10. A pista que contruimos consiste de uma chapa de compensado com cerca de 220cm de comprimento. Nela delimitamos, por meio de três pedaços de ripa, duas pistas, uma que foi lixada e envernizada e uma na madeira crua. A ripa do meio apresenta marcações de 10cm em 10cm. A pista foi elevada para que o movimento ocorresse num plano inclinado. A inclinação foi obtida por meio da colocação de pedaços de madeira em baixo da pista e foi escolhida de um modo tal que o movimento durasse pelos menos três segundos. O carrinho que utilizamos é da marca Hot wheels. Este tipo de carrinho mostrou-se muito adequado aos nossos propósitos pois é pequeno (cerca de 6cm) e é estável¹⁸. O movimento do carrinho foi

¹⁸Uma grande dificuldade por nós encontrada foi manter o carrinho movendo-se em linha reta. A maior parte dos carrinhos que não tem controle tendem a se movimentar em trajetória curva depois de uma pequena distância. Assim, depois de testarmos alguns carrinhos, verificamos que este apresentava a maior estabilidade, ou seja, mantém-se em linha reta por mais tempo. Além disso, as marcações da pista limitam o movimento do carrinho. Eventualmente, colisões aconteceram entre o carrinho e as ripas,

gravado e analisado por meio do VirtualDub. A análise foi compartilhada por todos os alunos por meio da utilização do projetor de slides. Acrescentamos que nas últimas medições, como focalizamos a filmagem para acompanhar o carrinho, as marcas na ripa apareceram borradas. Ainda assim isto não atrapalha o método uma vez que tomamos o ponto médio do borrão. Uma forma de contornar este problema, que verificamos posteriormente, é realizar a filmagem focalizando a pista, um tipo de filmagem panorâmica, e/ou diminuindo a inclinação da pista para que as velocidades finais não sejam tão grandes.



Figura 9 - O carrinho



Figura 10 - A pista de madeira

3.3) Qual a velocidade média do carrinho? Qual sua velocidade entre $t=0s$ e $t=1s$? Entre $t=1s$ e $t=2s$? Entre $t=2s$ e $t=3s$? Lembre-se que ao calcularmos a velocidade do carrinho entre $t=0s$ e $t=1s$, nos aproximamos da velocidade instantânea no instante $t=0,5s$ e assim sucessivamente. Qual a diferença entre a média e cada uma destas velocidades?

aumentando o atrito. Todavia, o desenho do carrinho e preparação que fizemos das ripas (lixando e lubrificando) atenuaram este efeito e o tornaram insignificante para os nossos propósitos.

Começamos por requisitar que os alunos realizem procedimentos com os quais já estão familiarizados, a saber: O cálculo da velocidade média e a estimativa da velocidade instantânea. Em seguida, pede-se que calculem as diferenças entre as velocidades instantâneas e a média. Desejamos que os alunos comecem a perceber as diferenças entre este movimento e o movimento plano que estudamos anteriormente. Em particular, o movimento analisado na primeira atividade, em que a miniatura do carrinho de corrida se move praticamente com velocidade constante.

3.4) A velocidade do carrinho está variando com o tempo? Diminuindo ou aumentando? Qual a diferença entre a velocidade instantânea entre $t=0,5s$ e $t=1,5s$? E entre $t=1,5$ e $t=2,5s$? Utilizando as variações calculadas, estime quanto, em média, a velocidade varia a cada segundo?

A verificação de que a velocidade está aumentando é imediata. Deve-se dar ênfase que as diferenças calculadas correspondem a quanto a velocidade varia durante o intervalo considerado. A coincidência dos resultados (das diferenças) precisa ser enfatizada; os alunos precisam perceber que esta diferença nos remete a uma característica peculiar daquele movimento, que denominamos aceleração. Consideramos este o momento ideal para definir **aceleração como a quantidade de m/s que a velocidade varia em um segundo**. É prudente salientar também que é costumeiro chamar esta aceleração de **média**, justamente, porque fora estimada em média.

3.5) Assim, podemos dizer que, no movimento do carrinho, a velocidade muda porque o carrinho acelera. No entanto, o que cria esta aceleração no caso de nosso carrinho? Vejamos.

Nosso desejo, a partir de agora, é direcionar a discussão para os agentes físicos que podem acelerar os corpos. Esta escolha define a diretriz desta atividade. Consideramos que aceleração é um conceito físico abstrato demasiadamente. Assim, acreditamos que enfocar os agentes físicos capazes de acelerar os corpos seja o melhor modo de tornar evidentes algumas peculiaridades deste conceito. Concordemente, colocamos um dos carrinhos no meio da pista e pedimos que os alunos respondam as perguntas que se seguem.

3.6) Por conta própria o carrinho pode deixar o repouso?

Embora os alunos ainda não tenham estudado a dinâmica dos corpos, em nossa aplicação da atividade, a maioria esmagadora dos alunos aceitou confortavelmente a idéia de que, por conta própria, o carrinho não se move donde se obtém que o movimento só é possível por meio da intervenção de algum agente externo¹⁹.

3.7) Veja agora o que acontece quando o ligamos o secador de cabelo perto do carrinho (este é um novo carrinho, no qual foi instalada uma vela). Ele pode ser visto na figura 11. O carrinho estava parado e começou a se mover. Logo, foi acelerado, vocês concordam? O que fizemos para acelerá-lo?

Ao ligarmos o secador de cabelo na frente do carrinho, este se move. Deve-se frizar que uma aceleração ocorreu uma vez que, inicialmente, o carrinho está em repouso e, em seguida, começa a se mover. Facilmente, todos os alunos associaram esta aceleração ao ato de ligar o secador. Todavia, desejamos que os alunos percebam que o fator preponderante é o **vento** e não o ato de ligar o secador, o secador, etc. O enfoque correto pode ser reforçado demonstrando que o mesmo ocorre se soprarmos o carrinho. Como o efeito é o mesmo, enfatiza-se que o vento é o agente físico responsável pela alteração da velocidade do carrinho, ou seja, por sua aceleração.



Figura 11 - O carrinho à vela

3.8) De fato, o vento é o agente físico responsável por acelerar o carrinho. Qual seria o agente físico responsável pela movimento acelerado ladeira abaixo? Você imagina a existência de outros agentes físicos que poderiam acelerar o carrinho?

¹⁹Inicialmente, este agente não foi qualificado. Nos restringimos a dizer que este agente é "qualquer coisa" que possa fazer o carrinho se mover.

Alguns alunos esboçaram uma resposta à primeira pergunta. Embora nenhuma resposta articulada tenha sido oferecida, a palavra “gravidade” apareceu na boca de alguns alunos ainda que de forma tímida. Acreditamos que este seja um momento oportuno para indicar aos alunos a existência de atração entre a Terra qualquer corpo próximo dela. Esta atração se verifica na forma de “puxão” semelhante aquele que se observa quando aproximamos um metal de um ímã²⁰. Ressaltamos, contudo, que não desejamos dedicar tempo e atenção excessiva e indevida a questão da atração gravitacional. Tão logo que os alunos aceitem a idéia, deve-se passar adiante. Lembramos ao leitor que a ação da força gravitacional será reconsiderada posteriormente, talvez, até em mais de uma situação, de modo que entendemos que dar atenção exacerbada a este ponto configura-se um desvio de proposta. Com a segunda pergunta, nosso interesse é reforçar a idéia de que um corpo só é acelerado se há um agente físico capaz de acelerá-lo.

3.9) Veja esta foto onde aparecem as posições ocupadas por uma bolinha caindo livremente. Na queda, a velocidade se modifica? Aumenta ou diminui? Como você pode afirmar isso? Com base nesta figura, você é capaz de estimar qual a aceleração do movimento?

Neste momento apresentamos aos alunos a figura 12, extraída de [18]. Como em nossa instrução, esta é a primeira vez que os alunos se deparam com uma foto estroboscópica, talvez, uma explicação sobre as características da foto seja necessária. Com o entendimento da foto bem sedimentado, as perguntas subsequentes tem sentido. É possível fazer medições diretamente da foto donde, segundo aquilo que já fizemos antes, podemos estimar a aceleração da gravidade. As perguntas a seguir conduzem a estimativa. No artigo de onde a foto abaixo foi extraída, os autores a utilizaram para estimar o valor da aceleração da gravidade e obtiveram resultados bem satisfatórios ($9,74 \pm 0,05m/s^2$). Na imagem abaixo, as posições foram tomadas a cada $1/30$ s. Note também o leitor que para aplicar o método, precisamos saber a proporção entre o tamanho da figura projetada e o tamanho real da imagem. Para isso, é necessário apenas que saibamos a altura de onde a bolinha é solta para que estimemos a proporção.

²⁰Pode-se demonstrar a atração entre um ímã e um metal “ao vivo” caso se perceba que o fenômeno não é familiar aos alunos.

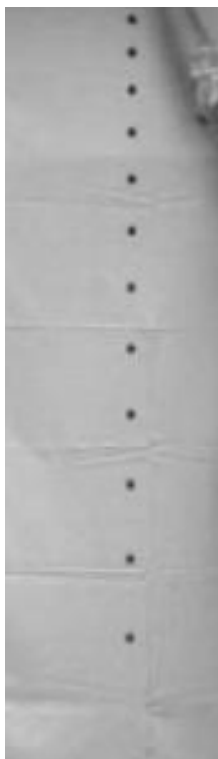


Figura 12 - A foto estroboscópica que utilizamos.

3.10) Qual a velocidade média entre duas leituras sucessivas? Por exemplo, qual a velocidade média entre $t=0$ e $t=1/30$ s, i.e., uma aproximação da velocidade instantânea em $t=1/60$? Qual a velocidade média entre $t=11/30$ s e $t=12/30$? Estime qual foi a variação da velocidade em um segundo?

Descrevemos por meio desta questão o procedimento que permite a estimativa da aceleração da gravidade. Nosso objetivo neste momento não é discutir um método preciso de estimativa da aceleração da gravidade tal como proposto por M. A. Dias *et al.* [18] porque isso demandaria um tempo que não temos. Desejamos apenas que os alunos se familiarizem com o movimento de queda livre, percebam que é acelerado e que, dentro de uma incerteza razoável, esta aceleração é constante.

3.11) De fato, a aceleração pode ser entendida com a divisão ou a razão entre a variação da velocidade e o intervalo de tempo em que esta variação ocorre. Retorne aos dados que você obteve e verifique a validade desta afirmação, ou seja, tome quaisquer outros pares de valores de velocidade e tempo e estime a aceleração. Verifique se o resultado é o mesmo.

Nossa tentativa com esta questão é apresentar uma definição um pouco mais rigorosa do conceito de aceleração. Em seguida, os alunos devem retornar ao dados da questão anterior e refazer as contas com quaisquer pares de velocidades instantâneas. Deve-se enfatizar que a aceleração que impele os corpos que caem livremente tem um valor “fixo”, o que é corroborado pela coincidência entre os resultados obtidos nos itens 3.10 e 3.11 dentro de uma margem aceitável.

3.12) Vocês já prestaram atenção no que acontece com um carrinho de fricção? Inicialmente está em repouso mas, depois de solto, dispara acelerando. Na opinião de vocês, que agente físico é responsável por esta aceleração?

Como desejamos chamar atenção para os agentes físicos capazes de acelerar um corpo, sublinhamos que há um destes agentes num carrinho de fricção. Se necessário, pode-se levar um carrinho de fricção para sala e demontá-lo para que os alunos possam “ver” a mola no seu interior e discutir seu funcionamento.

3.13) Notavelmente, quando empurramos um carrinho que está parado ele ganha velocidade mas, por fim, volta ao repouso. Rigorosamente, se o carrinho tem alguma velocidade e, em seguida, para, ocorreu uma variação da velocidade e como vimos antes, esta variação de velocidade é, em todos os casos que consideramos, causada por um agente físico. Neste caso o que temos é uma aceleração negativa, concordam?²¹ Qual seria o agente físico responsável por esta desaceleração?

Continuamos focalizando nossa atenção nos agentes físicos responsáveis pela aceleração. No entanto, neste caso, temos uma desaceleração. Nosso objetivo é que os alunos percebam que entre o chão e as rodas do carrinho há algum tipo de “agarramento”, que em algum momento podemos denominar atrito, que desacelera o carrinho, ou seja, diminui sua velocidade até que se encontre em repouso. Pode-se também destacar a ação deste agente em situações envolvendo automóveis reais. Isso pode ser feito através das seguintes perguntas: **Por que mantemos nosso pé no acelerador do carro para que sua velocidade permaneça constante? Se, ao pisarmos no pedal, aceleramos o carro, a velocidade não deveria aumentar continuamente enquanto nosso pé permanecesse pressionando o pedal? Por que isto não acontece?**

²¹Pode-se frizar que assim como a velocidade é negativa quando o movimento ocorre no sentido contrário ao que definimos como positivo, o mesmo ocorre com a aceleração. Entrementes, lembramos ao leitor que o termo desaceleração deve ser evitado. Este termo é dúbio uma vez que corresponde a uma diminuição do módulo da aceleração.

Por meio destas perguntas, pode-se discutir o papel do atrito no movimento.

3.14) De fato, uma desaceleração pode frear o carrinho e fazê-lo parar. Mas será que pode fazer mais que isso? Vejamos.

Pretende-se, doravante, explorar a inversão de movimentos acelerados. Para isso, novamente, mostramos aos alunos o carrinho equipado com a vela descendo um plano inclinado, tal como fizemos no começo da atividade. Contudo, no íterim da descida o carrinho é confrontado com o secador de cabelo que inicialmente faz com que o carrinho pare e, posteriormente, inverta seu movimento. Uma série de perguntas pretende explorar melhor este experimento.

3.15) Suponhamos que o carrinho com a vela tenha sido empurrado e atingido certa velocidade. Se ele movimenta-se numa região perfeitamente lisa, haveria algum agente físico capaz de freá-lo? Se não há nenhum agente físico capaz de acelerar ou desacelerar o carrinho, o que ocorre com sua velocidade?

Retornamos aqui à ação do atrito. Por meio deste experimento virtual, desejamos que os alunos se conscientizem que na ausência do atrito ou de qualquer agente físico capaz de acelerar ou desacelerar o carrinho, sua velocidade permaneceria constante por tempo indefinido. Como esta é uma situação imaginária, talvez seja necessário detalhar melhor o problema. Numa das aplicações da proposta, pedimos aos alunos que imaginassem um movimento numa pista de gelo infinita. Embora esta analogia tenha suas limitações, mostrou-se eficaz para nossos intuítos.

3.16) Qual seria então o movimento esperado para o carrinho?

Pretendemos reafirmar aos alunos que o movimento seria perpétuo e com a mesma velocidade.

3.17) Assim, naturalmente, o carrinho se moveria perpetuamente com a mesma velocidade, certo? Baseado naquilo que você observou antes, descreva o movimento do carrinho se o confrontássemos com o secador assim como fizemos com o carrinho descendo a ladeira?

Basicamente, com a discussão desta questão, os alunos precisam se convencer de que uma inversão do movimento ocorreria se um carrinho movimentando-se numa pista infinita e perfeitamente lisa fosse confrontado com um secador de cabelo tal como eles observaram que ocorreu na demonstração anterior.

3.18) O que acontece com a velocidade do carrinho daí para diante?

Os alunos precisam apenas descrever o movimento subsequente do carrinho.

3.19) Exatamente no momento em que inverte o movimento, qual é a velocidade do carrinho? E a aceleração?

A maioria dos alunos admitiu sem dificuldade que a velocidade é nula no momento da inversão do movimento. Alguns até argumentaram que esta seria uma condição para que a inversão ocorresse. Em relação a aceleração, nenhum dos alunos desejou argumentar. Apenas alguns, “chutaram”, como era de se esperar, que a aceleração fosse nula também.

3.20) Para não ficarmos com dúvidas sobre a aceleração neste momento, consideremos o seguinte: Qual o agente físico que desacelera o carrinho e faz o movimento se inverter? Nós desligamos o secador em algum momento?

Neste momento, voltamos a atenção dos alunos para o vento, qual agente físico que provoca a aceleração, e para o fato de não termos desligado o secador em nenhum momento.

3.21) Perceba que a aceleração inverteu o movimento do carrinho. Vocês conhecem algum outro movimento onde uma inversão similar acontece?

Desejamos que os alunos reflitam sobre a existência de movimentos em que a velocidade se inverte. Durante a realização da atividade apareceram alguns exemplos interessantes cuja discussão pode, de acordo com o tempo e o desejo do professor, ser pertinente como: O movimento do brinquedo língua de sogra, o

movimento de uma cadeira de balanço, o movimento de uma bóia, etc.

3.22) Observe o movimento a seguir (lançamos uma bolinha para o ar e observamos o movimento completo de subida e descida). Vamos definir a posição zero de nosso referencial no chão com valores crescentes na direção ascendente. Em que intervalo de tempo e/ou instante a velocidade é positiva? E negativa? E nula?

O lançamento vertical não representa nenhuma novidade para nossos alunos. A dificuldade reside em estudá-lo de forma eficiente e natural. Se a idéia de referencial já estiver bem maturada nos alunos, eles não terão dificuldades em aceitar as considerações preliminares que fizemos. Caso seja necessário, sugerimos que o professor coloque uma régua perpendicular ao chão para os alunos visualizem a escolha da origem do nosso sistema de eixos assim como a orientação que escolhemos como positivo. Se necessário, pode-se lembrar aos alunos quando consideramos que nossa velocidade seja positiva e negativa.

3.23) E a aceleração, em que intervalo de tempo e/ou instante é positiva? E negativa? E nula? Vamos raciocinar comparando o lançamento vertical ao movimento do carrinho impelido pelo vento.

Neste momento remetemos os alunos ao movimento do carrinho impelido pelo vento. Os alunos precisam perceber que a comparação entre os dois movimentos delinea o caminho a ser seguido na análise. Cabe ao professor então, reforçar as similaridades entre os movimentos para que os alunos entendam que a comparação é a vereda a ser seguida.

3.24) A medida que a bolinha sobe, sua velocidade aumenta ou diminui? Justifique. Perceba que o mesmo ocorre com a velocidade do carrinho quando se aproxima do secador. O que isso indica sobre a aceleração da bolinha?

Durante a subida a bolinha reduz o módulo da velocidade. Esta redução na velocidade indica aceleração no sentido contrário ao da velocidade na subida. De acordo com nossa escolha do referencial, esta aceleração será negativa na subida.

3.26) A medida que a bolinha desce, sua velocidade aumenta ou diminui? Perceba que o mesmo ocorre com a velocidade do carrinho quando se afasta do secador. O que isso indica sobre a aceleração da bolinha?

Durante a descida a bolinha aumenta o módulo da velocidade. Este aumento na velocidade indica aceleração no mesmo sentido da velocidade na subida. De acordo com nossa escolha do referencial, esta aceleração será ainda negativa na subida.

3.27) Sua resposta sobre a aceleração nos dois itens anteriores foi diferente ou não? Exatamente quando o movimento se inverte, qual a aceleração da bolinha? Justifique lembrando que no movimento impelido pelo vento, não modificamos nada no agente físico (o vento produzido pelo secador) tanto na aproximação quanto no afastamento.

Os resultados anteriores devem ser discutidos para que fique claro para os alunos que em movimentos em que há inversão, a aceleração é a mesma antes e depois da inversão. Por fim, lembramos aos alunos que no movimento do carrinho impelido pelo vento, não se observa nenhuma modificação no agente físico responsável pela aceleração em nenhum momento do movimento e este (o movimento do carrinho à vela) é idêntico ao observado no lançamento vertical. Nosso desejo é que os alunos, ao final da atividade, percebam que no momento da inversão a aceleração é a mesma de todo o resto do movimento porque nada alteramos no agente físico responsável por ela.

6 Câmeras digitais entre outras coisas

Em duas de nossas atividades, a utilização de uma câmera digital assim como um tripé apropriado é imprescindível. A câmera que utilizamos foi uma ES60 da Samsung e um tripé do modelo Tr60n da D-concepts. A câmera é capaz de gravar com áudio em alta qualidade e pode ser facilmente acoplada ao tripé que, por sua vez, pode alcançar uma altura de 1,80m. Ademais, o tripé apresenta uma alavanca, fundamental para nossos propósitos, que permite a gravação de vídeos em movimento com uma atenuação da vibração. A câmera e o tripé podem ser visualizados abaixo.



Figura 13 - A câmera



Figura 14 - O tripé

7 O virtual Dub

O VirtualDubMod é um aplicativo livre que permite a edição e conversão de vídeos. Ademais, é muito útil e popular como encoder, ou seja, para aplicar legendas em vídeos. Pode ser obtido diretamente no sítio <http://www.virtualdub.org/>, acessado em 17/06/2011, 16H20. O arquivo de vídeo pode ser acessado diretamente, por meio da opção “file” e, em seguida, “open”; uma janela que permite procurar o arquivo se abre imediatamente. Uma vez carregado, o vídeo pode ser visto “frame a frame” por meio de um cursor interativo que reage aos movimentos do mouse. A figura abaixo mostra o layout do programa.

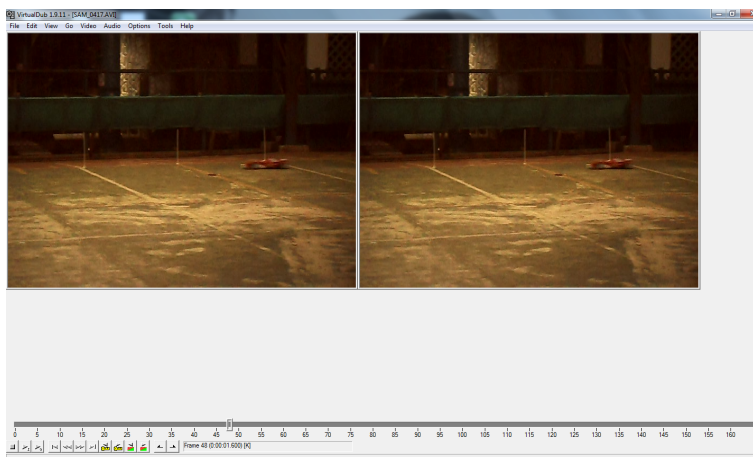


Figura 15 - Layout do VirtualDub

8 Aplicativos em Flash

A utilização de aplicativos Flash nos foi muito útil, sobretudo no desenvolvimento da segunda atividade. O aplicativo em flash que utilizamos foi produzido exclusivamente para este trabalho pelo professor Geraldo Filipe Souza Filho, a quem somos muito gratos pela prontidão e generosidade. O trabalho do professor Geraldo, em colaboração com a prof.ª Marta Barroso, é bem amplo, abarca quase todas as áreas da física e resultou numa série de bons trabalhos [19–21].

Os aplicativos criados por este grupo assim como outros trabalho produzidos pelo programa de pós graduação em ensino física da UFRJ podem ser acessados na home do programa dentro do sítio www.if.ufrj.br.

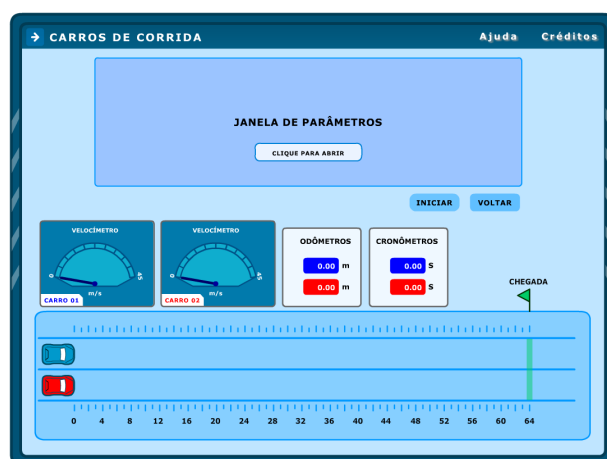


Figura 15 - Aplicativo Flash para o estudo de cinemática.

9 O Freez Screen Video Capture

O aplicativo Freez Screen Video Capture é um software livre capaz de converter em vídeo aquilo que aparece no desktop do computador. Em nosso caso, o utilizamos na segunda atividade para produzir o vídeo que, posteriormente, será analisado com o VirtualDub uma animação do flash. A interface do software traz apenas três controles: Iniciar, pausar e deter a gravação. Para realizar captura de vídeo, basta clicar em “Record” e definir a área que deve ser registrada. Depois de apertar a tecla “Stop”, é possível salvar o arquivo no formato .avi. O aplicativo pode ser obtido no sítio <http://freez-screen-video-capture.softonic.com.br/>, acessado em 17/06/2011, 16H00. O layout do aplicativo pode ser visualizado na imagem abaixo.

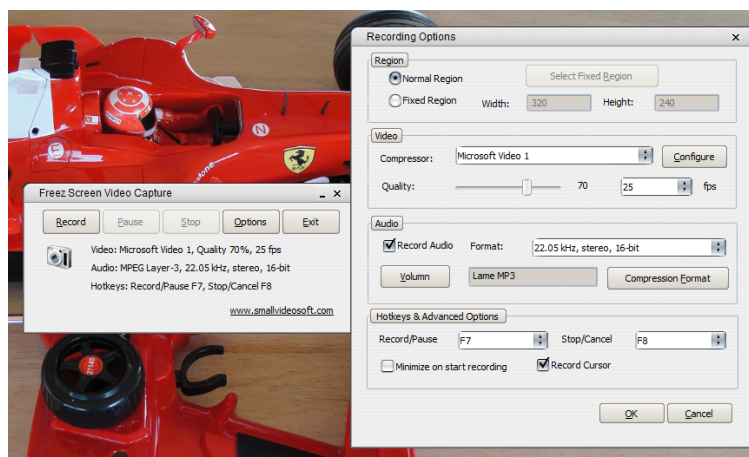


Figura 16 - Layout do Freez Screen Video Capture

10 Produção de fotos estroboscópicas

Na terceira atividade de nossa proposta utilizamo-nos de uma imagem estroboscópica produzida sem o uso de uma lâmpada estroboscópica por Dias *et al.* [22]. A produção e utilização de fotos estroboscópicas no ensino é discutida também em outro trabalho do mesmo grupo [18]. A figura abaixo retrata uma imagem produzida pelo prof. Marco Adriano Diaz para o estudo do movimento do centro de massa de um halter lançado horizontalmente.

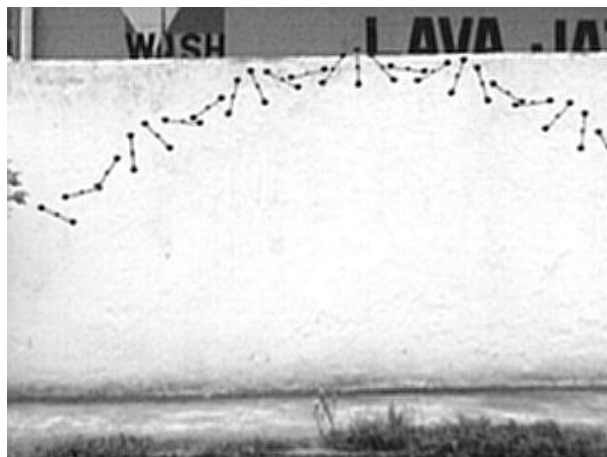


Figura 17 - Foto estroboscópica produzida sem lâmpada estroboscópica

Referências

- [1] M. Pietrocola. *Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo*. Ensino de Física, Conteúdo, metodologia e epistemologia no concepção integradora, 2ª edição, organizador: Maurício Pietrocola, Editora da UFSC. Florianópolis: 2005;
- [2] A. Gaspar. *O "R" de retilíneo*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.11, n.1, p.7-10, abril, 1994;
- [3] P.V.S Souza, *Uma abordagem para os conceitos de velocidade e aceleração*. Tese (Mestrado em ensino de física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011;
- [4] A. Arons. *Teaching Introductory Physics*. John Wiley & Sons, INC. 1997;
- [5] A. Máximo e B. Alvarenga. *Curso de Física*; Volume 1. Editora: Scipione. São Paulo: 2011;
- [6] F. Catelli, J. A. Martins e F. S. da Silva. *Um estudo de cinemática com câmara digital*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 1, 1503 (2010);
- [7] E.P. Moraes Corveloni *et al.* *Utilização de máquina fotográfica digital (multi-burst) para aulas experimentais de cinemática - queda livre*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 3, 3504 (2009);
- [8] B.N. Sismanoglu *et al.* *A utilização da filmadora digital para o estudo do movimento dos corpos*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1501 (2009);
- [9] L. C. McDermott, *Guest comment: how we teach and how students learn - amismatch?*, American Journal of Physics 61(1), Abril, 1993;
- [10] C.A. de Souza e Silva e M. I. Martins. *Analogias e metáforas nos livros didáticos de física*, Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 27, n. 2: p. 255-287, ago. 2010;
- [11] L.L. da Silva, E.A. Terrazzan e C.D. Gazola. *Familiaridade de alunos do ensino médio com situações análogas* Atas do IX ENPEF;
- [12] M.R. Otero. *Como usar analogías en clases de física?* Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.14, n2: p.179-187, ago.1997;

- [13] A. I. Vannucchi. *A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino de Ciências.*, In: A.M.P. Carvalho (org.), *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*, p. São Paulo: Thomson, 2004;
- [14] M. C. M. Cappechi. *Argumentação numa aula de física.*, In: A.M.P. Carvalho (org.), *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*, São Paulo: Thomson, 2004;
- [15] H.O. Di Rocco. *Cinemática elemental aplicada a cuestiones de seguridad del tráfico en rutas.* Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 26, n. 2: p. 342-354, ago. 2009;
- [16] A.A. Kleer, M.R. Thielo e A.C.K. dos Santos. *A física utilizada na investigação de acidentes de trânsito.* Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.14,n2: p.160-169, ago.1997;
- [17] F.L. da Silveira. *Inclinações das ruas e das estradas.* Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007;
- [18] M.A. Dias, H.S. do Amorim e S.S. Barros. *Produção de fotos estroboscópicas sem lâmpada estroboscópica.* Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 26, n. 3: p.492-513, dez. 2009.
- [19] G. F. de Souza Filho. *Simulações computacionais para o ensino de Física: uma discussão sobre produção e uso.* Tese (Mestrado em ensino de física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011;
- [20] R. Neumann e M. Barroso. *Simulações computacionais e animações no ensino de oscilações.* Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física - Rio de Janeiro, RJ, 2005;
- [21] G. F. de Souza Filho, M. Barroso e C.M. Porto. *Simulações computacionais no ensino de relatividade restrita.* Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física - Rio de Janeiro, RJ, 2005;
- [22] M.A. Dias. *Utilização de fotografias estroboscópicas digitais para o estudo da queda dos corpos.* Tese (Mestrado em ensino de física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.