



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

**As forças de atrito e freios ABS numa  
perspectiva de Ensino Médio**

Leonardo R. F. Abeid

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Leonardo R. F. Abeid, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
2010

# Sumário

1	Introdução	1
2	Tema de física abordado	2
3	O conhecimento prévio dos alunos	3
4	A dinâmica das atividades	4
5	Materiais utilizados	5
6	O acompanhamento das atividades	6
7	1ª atividade - a corrida de carrinhos	7
8	2ª atividade - por que a caixa não cai?	14
9	3ª atividade - atrito estático e atrito cinético	20
10	4ª atividade - a força de atrito é constante?	22
11	$F_{at} = \mu N$	24
12	5ª atividade - a força de atrito é sempre contrária ao movimento?	25
13	6ª atividade - os freios ABS	29
	13.1 1ª Etapa . . . . .	30
	13.2 2ª Etapa . . . . .	35
14	A dinâmica da frenagem	38
15	Os freios ABS numa perspectiva em CTS	43

## 1 Introdução

Apresentamos um conjunto de atividades que visam propiciar aos alunos uma melhor compreensão das forças de atrito, e dos freios ABS (*Antiblockier-Bremssystem*), projetado para evitar o travamento das rodas e otimizar a frenagem dos automóveis. Além de descrevê-las também apresentamos algumas sugestões sobre como o professor pode atuar em algumas situações, que imaginamos possam acontecer. Devemos ressaltar que não se trata de um roteiro rígido, ou de uma fórmula mágica para o sucesso, mas apenas de algumas orientações, e sugestões, que devem ser adaptadas pelo professor às especificidades de cada turma.

Ao longo de nossa experiência profissional, tendo trabalhado em escolas, e com alunos, de perfis diferentes, temos identificado algumas de suas dificuldades e concepções não-científicas. Baseado nisso é que apontamos algumas ideias, e comportamentos, que esperamos dos alunos, nas diversas situações que se apresentam em cada atividade.

O referencial teórico utilizado para desenvolvê-las foi a metodologia de ensino de ciências por investigação, e pode ser encontrado na dissertação de mestrado que defendemos, em dezembro de 2010, na Universidade Federal do Rio de Janeiro [1]. Na última atividade, seção (15), propomos um enfoque em CTS, com o objetivo não só de mostrar ao aluno como a ciência, e a tecnologia, podem ser utilizadas, em prol da sociedade, e sua importância, mas também como o conhecimento científico e tecnológico é importante no momento em que o cidadão precisa fazer escolhas. No nosso caso em especial, o que pretendemos é mostrar que o consumidor, cidadão, deve estar atento à outros fatores não menos importantes, além do preço do produto, ao tomar sua decisão.

## 2 Tema de física abordado

Neste trabalho abordamos as forças de atrito entre dois corpos sólidos, planejando atividades diferentes para trabalhar seu módulo, direção e sentido, baseadas nas seguintes questões:

1. O módulo da força de atrito depende:
  - (a) do peso dos corpos em contato;
  - (b) do tamanho dos corpos;
  - (c) da forma dos corpos;
  - (d) do material do qual os corpos são feitos;
  - (e) da força de contato entre os corpos (força normal).
2. Qual será a direção da força de atrito?
3. O sentido da força de atrito é:
  - (a) contrário ao movimento;
  - (b) a favor do movimento;
  - (c) contrário à tendência de movimento relativo entre as superfícies.
4. A força de atrito tem um valor fixo, ou seja, ela é constante?
5. Há diferenças, na força de atrito, quando há, e quando não há, movimento relativo entre as superfícies em contato?
6. Como distinguir em uma determinada situação se o atrito é estático ou cinético?

Além disso também propomos uma atividade a fim de possibilitar aos alunos perceber como a ciência e a tecnologia podem contribuir para o desenvolvimento da sociedade, e a melhoria da vida dos cidadãos. Nela abordamos o funcionamento e as vantagens do sistema de freios ABS, um equipamento de segurança com o qual apenas uma parte dos automóveis comercializados no Brasil está equipada.

### **3 O conhecimento prévio dos alunos**

Antes de começar a descrever as atividades que propomos é preciso ressaltar o conhecimento prévio que os alunos devem ter, afim de que elas possam ser realizadas com êxito. Como o tema abordado nas atividades são as forças de atrito, é necessário que tenham sido trabalhados com a turma os seguintes assuntos:

1. Vetores.

- (a) o que são vetores;
- (b) diferença entre direção e sentido;
- (c) soma vetorial.

2. Leis de Newton.

- (a) 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> lei de Newton;
- (b) aplicações da 2<sup>a</sup> lei.

Em particular achamos importante abordar a aplicação da 2<sup>a</sup> lei de Newton, sem no entanto falar das forças de atrito, em algumas situações simples, e em especial num plano inclinado.

## 4 A dinâmica das atividades

Agora vamos descrever a dinâmica das atividades. Em todas as etapas é importante que o professor observe a linguagem utilizada pelos estudantes, procurando aproximá-la da linguagem científica. As atividades são divididas nas seguintes etapas:

### 1. O professor divide a turma em grupos, de 4 ou 5 alunos, e apresenta o problema

O professor deve pedir que os alunos se dividam em grupos, e eles devem fazê-lo de acordo com seus próprios interesses. Ele deve evitar influenciá-los na escolha dos grupos, pois é importante que cada aluno se sinta bem dentro do seu grupo, e tenha toda liberdade para conversar com seus colegas. Após os grupos estarem formados o problema é apresentado à turma, e o professor orienta os grupos a buscarem a solução.

### 2. Os alunos debatem e procuram as soluções com seus colegas de grupo

Nesta etapa os alunos devem trabalhar dentro dos seus respectivos grupos. Eles devem levantar hipóteses e pensar em como confirmá-las ou não, além de buscar argumentos a fim de convencer seus colegas de grupo de que suas ideias estão corretas, e ao final chegar a uma conclusão de consenso dentro do grupo.

O professor deve circular pela sala e acompanhar os trabalhos de cada grupo. Cabe a ele estimular o debate e cooperação dentro dos grupos, e orientá-los na busca da solução, sem no entanto dar as respostas, sem dizer se as hipóteses levantadas estão certas ou erradas, mas incentivando-os a testá-las e avaliá-las.

Caso o professor perceba que algum grupo não consegue chegar a conclusão alguma ele pode sugerir como eles podem testar suas hipóteses, e havendo opiniões diferentes pedir que cada um exponha suas ideias aos colegas, e o porquê de acreditar que elas

estejam corretas.

**3. A turma toda é reunida novamente, cada grupo expõe suas conclusões e os processos utilizados pra obtê-las**

Aqui cada grupo deve expor suas conclusões a cerca do problema proposto, e com chegaram até elas. O professor deve estimular o debate entre os grupos, com o cuidado de ao mesmo tempo não dizer a resposta e orientá-los de tal maneira que, ao final, a turma tenha uma opinião de consenso.

## **5 Materiais utilizados**

Para realização das atividades sugerimos materiais de baixo custo, e de fácil acesso, de tal forma que sua aquisição não se torne mais um problema a ser enfrentado pelo professor.

São eles:

- Carrinhos de brinquedo.

Os carrinhos devem ter formas, tamanhos e massas diferentes, e é preciso que uma parte tenha rodinhas de plástico e outra parte rodinhas de borracha.

- Rampa de alumínio ou madeira.

A rampa pode ser feita de alumínio, madeira, ou algum outro material liso. Caso ela seja feita de madeira é preciso lixar sua superfície, o que além de alisá-la, elimina o risco de ela soltar farpas. Ela deve ter entre 1,0m e 1,5m de comprimento e sua largura depende do tamanho dos carrinhos, que nela vão deslizar. Por isso é importante que ela tenha abas nas laterais, para evitar que eles caiam por ali.

- Lixa d'água .

- Caixas de sapato.
- Bicicleta.

Na seção (13), descrevemos uma atividade onde abordamos os freios de um automóvel. Como o sistema de freios desse tipo de veículo é difícil de ser visualizado sugerimos o uso de uma bicicleta.

## 6 O acompanhamento das atividades

O acompanhamento de todas atividades pode ser feito de três formas diferentes:

### 1. Gravação da aula em vídeo

A gravação da aula em vídeo permite uma avaliação posterior da turma, ou de um grupo particular de alunos. O professor pode observar com mais calma o comportamento e as estratégias utilizadas pelos alunos na resolução do problema.

Outro aspecto a se destacar é que, ao rever sua aula, o professor pode avaliar seu próprio comportamento, reavaliando e aprimorando suas práticas. Para Silva e Schnetzler [2] reflexões críticas, por parte do professor, sobre a própria prática pedagógica são indispensáveis para a melhoria efetiva do processo de ensino-aprendizagem.

### 2. Gravação do áudio

O áudio da aula pode ser gravado colocando-se um gravador próximo de cada grupo. A análise do que foi dito, dentro dos grupos, permite ao professor acompanhar o desempenho dos mesmos. Outro ponto importante é que a partir disso ele pode avaliar a linguagem utilizada pelos alunos, o que é importante a fim de pensar em como aproximá-la da linguagem científica.



### 3. Confecção de relatórios

O professor pode pedir, ao final de cada atividade, que os alunos descrevam num relatório tudo o que fizeram, o que pode ser feito em grupo, ou individualmente. Esse relatório deve conter as hipóteses levantadas pelo grupo, as estratégias utilizadas para testá-las e as conclusões obtidas.

## 7 1ª atividade - a corrida de carrinhos

Para realização desta atividade dispomos de duas rampas iguais, Figura (1), e carrinhos de massas, tamanhos e formas diferentes, alguns com rodinhas de borracha, e outros com rodinhas de plástico, Figura (2). O tempo necessário para que ela seja realizada é de aproximadamente 90 minutos.

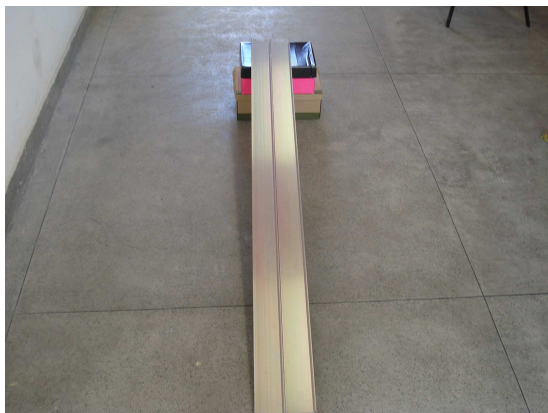


Figura 1: duas rampas iguais.



Figura 2: carrinhos de massas, tamanhos e formas diferentes, alguns com rodinhas de borracha, e outros com rodinhas de plástico.

A atividade tem dois objetivos:

1. Verificar que da interação entre dois corpos resulta, além da força normal, a força de atrito.
2. Proporcionar aos alunos a compreensão de que a força de atrito depende do material das superfícies que estão em contato.

Ela consiste em soltar simultaneamente, Figura (3), dois carrinhos e ver qual chega primeiro ao final da rampa. Deve-se ter o cuidado de não colocar as rampas muito inclinadas, o que faria com que os carrinhos descessem muito rápido, dificultando a observação.



Figura 3: os carrinhos devem ser seguros por uma mesma pessoa, com apenas uma das mãos, para garantir que eles serão soltos ao mesmo tempo.

Os alunos estão divididos em grupos e para motivá-los pedimos que cada grupo escolha um carrinho para apostar uma “corrida” e ver qual ganha. Após realizar as corridas o professor faz à turma as seguintes perguntas:

- Por que alguns carrinhos ganham dos outros, e alguns chegam empatados?

- Quais são as forças que atuam nos carrinhos?
- Estas forças são feitas por quem?

Após a discussão nos grupos, o professor deve reunir a turma e pedir que cada grupo exponha suas conclusões. Esperamos que eles concluam que além da força peso e da força normal, alguma outra força deve estar atuando nos carrinhos, pois como dissemos antes de realizar esta atividade as leis de Newton já devem ter sido trabalhadas com a turma, portanto imaginamos que os alunos saibam aplicar a 2ª lei em um plano inclinado.

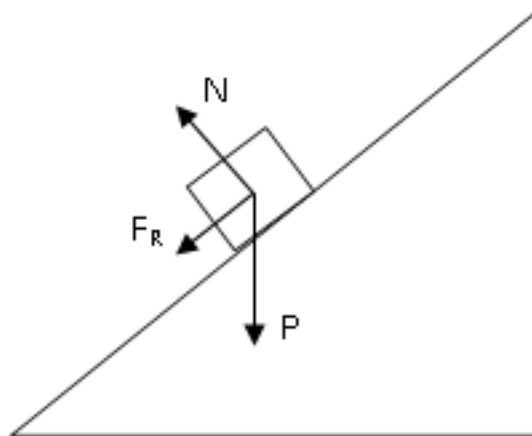


Figura 4: diagrama de forças que atuam em uma caixa sobre um plano inclinado sem atrito.

Se um corpo desce um plano inclinado, sem atrito, as forças que atuam sobre ele são a força normal,  $N$ , e a força peso,  $P$ . A força resultante,  $F_R$ , representada na Figura (4) neste caso é dada por:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{P} + \mathbf{N}. \quad (1)$$

A força resultante, e conseqüentemente a aceleração,  $a$ , estão atuando na direção do plano, e seus módulos são dados por:

$$F_R = mg\tilde{\text{sen}}\theta, \quad (2)$$

$$a = g\tilde{\text{sen}}\theta, \quad (3)$$

onde  $m$  é a massa do corpo, e  $g$  é a aceleração da gravidade.

A Eq. (3) mostra que neste caso a aceleração do objeto depende apenas da aceleração da gravidade, e da inclinação do plano, não dependendo, portanto, do objeto em si. Assim é esperado que os alunos percebam que além da força normal e da força peso alguma outra força deve estar atuando nos carrinhos, pois caso contrário todos deveriam chegar empatados, uma vez que a aceleração seria igual para todos. Antes mesmo do professor, é provável que alguns alunos chamem essa força de força de atrito, caso contrário, à essa altura ele já pode denominá-la.

Outra conclusão esperada é que essa força deve ser feita pela rampa, pois além da Terra, responsável pelo peso, é com ela que os carrinhos estão interagindo, além disso ela deve estar na direção do plano, da superfície de contato. Como os carrinhos realizam um movimento retilíneo na direção do plano, a força resultante tem esta mesma direção. Uma vez que a soma da força peso com a força normal, e está nesta direção, para que uma terceira força seja somada à elas e o resultado continue nesta direção, esta força deve ter a direção do plano.

Caso o professor perceba que estas conclusões não estejam sendo atingidas, ele pode pedir a algum aluno voluntário para desenhar no quadro o diagrama das forças que estão atuando nos carrinhos, e então orientar a discussão para que em conjunto a turma chegue a um denominador comum.

Depois de fazer um apanhado das ideias colocadas, e das conclusões obtidas, o professor pede que os alunos se reúnam em seus grupos e coloca outra questão:

- Essa outra força que está atuando, depende de que?

A partir daí eles devem começar a buscar a resposta. Algumas hipóteses devem ser levantadas pelos grupos, tais como:

- A influência do peso.

Ao longo de nossa experiência como professores, percebemos que os alunos tendem a imaginar que os corpos mais pesados “caem mais rápido”.

- A influência do tamanho, e da forma dos carrinhos.
- A influência do material das rodinhas.

É importante que nesta etapa as rampas e os carrinhos estejam à disposição dos alunos. O que desejamos é que eles comecem a manipulá-los, repetindo as corridas e tentando verificar, e convencer seus colegas de grupo, que suas hipóteses são verdadeiras.

O professor tem um papel fundamental, ele deve estimular o debate entre os integrantes de cada grupo, sem dizer se as hipóteses estão certas ou erradas, mas orientando-os a testá-las e avaliá-las. Por exemplo, se alguém perguntar: *professor, o mais pesado chega primeiro, não é?* Ele pode responder: *não sei, faça o teste. Pegue carrinhos de pesos diferentes e veja se é isso mesmo que acontece.* Também pode acontecer de algum aluno, que já tenha visto a “fórmula”, diga: *eu já sei, a força de atrito é  $\mu N$ .* Ao que o professor pode responder: *tudo bem, mas, que força é essa? O que quer dizer  $\mu N$ ? A força de atrito é sempre dada por  $\mu N$ ?*

Ao perceber que algum grupo não consegue chegar a conclusão alguma ele pode sugerir como eles podem testar suas hipóteses, e havendo opiniões diferentes pedir que cada um exponha suas ideias aos colegas, e o porquê de acreditar que elas estejam corretas.

O que desejamos é que após algum tempo os grupos comecem a perceber que o que faz com que os carrinhos ganhem ou percam as corridas é o material de que são feitas

suas rodinhas (carrinhos com rodinhas de borracha ganham dos carrinhos com rodinhas de plástico) e que portanto a força que atua no carrinho depende do material que está em contato com a rampa.

Caso o professor note que isso não está acontecendo, para auxiliar os alunos, ele pode colocar sobre as rampas duas borrachas, Figura (5), uma com capa de plástico e outra sem, e ir aumentando a inclinação até que elas comecem a deslizar. A borracha com capa de plástico desliza primeiro, e como elas têm, aproximadamente, o mesmo peso, a mesma forma e o mesmo tamanho fica mais evidente que o faz com que isso aconteça é o material, borracha ou plástico, que está em contato com a rampa.

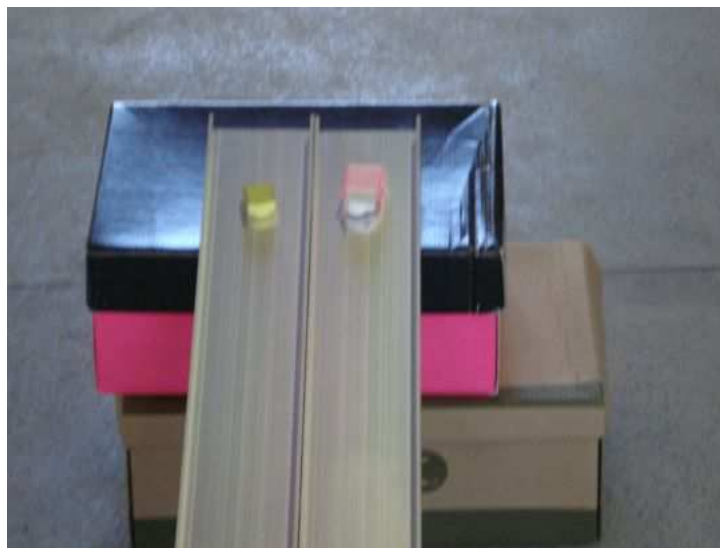


Figura 5: duas borrachas, uma com capa de plástico e outra sem.

Depois de algum tempo o professor reúne a turma toda novamente e pede para que cada grupo exponha suas resposta para a questão e como chegaram a tais conclusões. Opiniões e argumentos diferentes são confrontados, e o professor deve ter o cuidado de não dar as respostas, e, ao mesmo tempo, conduzir o debate entre os grupos, a fim de chegar à resposta desejada.

Concluído que a força de atrito depende do material das rodinhas dos carrinhos, o professor deve colocar a seguinte pergunta:

- Quando os carrinhos estão descendo a rampa, além da força normal e da força peso, atua sobre ele a força de atrito. Essa força depende do material das rodinhas, mas será que ela depende também da superfície da rampa?

Para verificar essa dependência sugerimos uma atividade rápida. O professor deve colocar uma lixa sobre uma das rampas, e uma borracha sobre cada uma, como mostra a Figura (6). A inclinação das rampas deve então ser ajustada de tal forma que as borrachas comecem a deslizar. O que observamos é que a borracha que está sobre a rampa com a lixa precisa de uma inclinação maior para que isso ocorra, ou seja, ao aumentarmos a inclinação a borracha que está sobre a rampa sem a lixa começa a deslizar, enquanto a outra continua parada.



Figura 6: uma borracha sobre a rampa, e outra sobre a rampa coberta com uma lixa.

Os alunos devem discutir sobre a questão dentro dos seus grupos, e depois novamente

expor suas conclusões para o restante da turma num debate orientado pelo professor. O que esperamos é que eles cheguem à conclusão de que a força de atrito também depende da superfície da rampa.

Para finalizar deve ser feito um apanhado de todas as ideias, das conclusões obtidas e dos processos utilizados para obtê-las.

## 8 2ª atividade - por que a caixa não cai?

Esta atividade pode ser desenvolvida também em aproximadamente 90 min, e para realizá-la utilizamos algumas caixas de sapato e alguns livros de física. Seus objetivos são:

1. Reforçar a atuação da força de atrito;
2. Estabelecer a ideia de que a força de atrito também depende da força normal entre as superfícies em contato.

Ao iniciar a atividade, o professor deve solicitar que os alunos se dividam em grupos e pede para que um ou mais alunos, de grupos diferentes, empurrem uma caixa de sapato contra a parede, Figura (7), de tal forma que ela não caia.

Durante toda atividade o professor deixa as caixas disponíveis para os alunos, e faz a seguinte pergunta:

- Por que a caixa não cai?

Esperamos que alguns alunos digam que ela não cai porque está sendo empurrada contra a parede, e outros digam que a força de atrito “anula” o peso.

Para orientar melhor a discussão podemos pedir que cada grupo faça um diagrama das forças que atuam sobre a caixa. Nesta etapa acreditamos que os alunos consigam apontar na direção horizontal, porém com sentidos contrários, a força que a mão faz na





Figura 7: a caixa é empurrada contra a parede.

caixa ( $F_1$ ) e a força normal ( $N$ ) entre a caixa e a parede, além da força peso ( $P$ ) vertical para baixo, em virtude delas já terem sido trabalhadas com a turma em aulas anteriores.

Como o atrito ainda será uma novidade, imaginamos que alguns grupos podem não citar a força de atrito ( $F_{at}$ ) entre a caixa e a parede, que é vertical para cima, ou fazê-lo de maneira incorreta. Caso perceba que isto está acontecendo, o professor deve orientar a discussão, a fim de se estabelecer que, para que a caixa não caia, é necessário que entre ela e a parede atue também a força de atrito, e que ela deve ser vertical para cima.

Neste sentido ele pode pedir que cada grupo desenhe o diagrama das forças que estão atuando sobre a caixa, e fazer a seguinte pergunta:

- Qual é a soma de todas as forças que atuam na caixa?

Acreditamos que eles façam diagramas como os da Figura (8), e como a 2ª lei de Newton já foi trabalhada anteriormente, em respostas do tipo: *a soma é nula. Se a caixa*

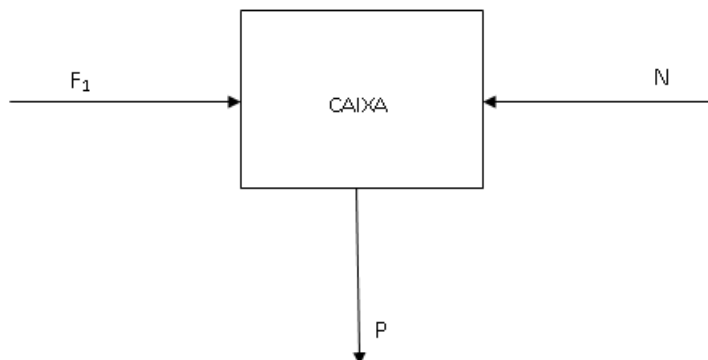


Figura 8: diagrama de forças incorreto, sem a força de atrito.

*está parada, sua aceleração é zero, portanto a força resultante é nula.*

Caso algum grupo tenha feito o diagrama de forças corretamente, como na Figura (9), o professor pode pedir que ele explique aos demais porque o fez daquele jeito, e o que o leva a acreditar que esteja correto. Nesta situação o professor deve apenas coordenar o debate, confrontando a resposta correta com a obtida por outros grupos, e encaminhando a discussão para uma solução única.

Se isto não acontecer, ou seja, se nenhum grupo desenhar o diagrama de forças corretamente, ele deve fazer aos grupos a seguinte colocação e pergunta:

- Se a força resultante que atua sobre a caixa é nula, a soma de todas as forças que atuam sobre ela deve ser zero. Se somarmos a força que a mão faz na caixa, e a força normal entre a caixa e a parede, que estão na direção horizontal, com a força peso que é vertical e para baixo, essa soma pode dar zero?

A representação gráfica permite uma compreensão mais fácil de que, para que a força resultante seja nula, é preciso que sobre a caixa atue uma força vertical para cima, que é

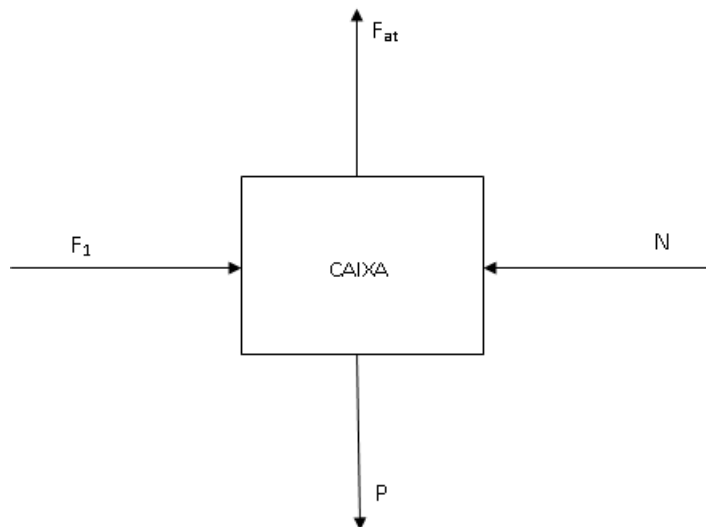


Figura 9: diagrama de forças incorreto, sem a força de atrito.

a força de atrito. Como na primeira atividade o processo se repete, o professor incentiva o debate dentro dos grupo, e após um tempo para as discussões sobre as perguntas, ele pede que cada grupo coloque para a turma suas repostas e como chegaram à elas.

Estabelecido que a força de atrito é vertical para cima, começamos uma nova etapa, agora a fim de concluir que a intensidade da força depende da força normal. Novamente o professor solicita que um ou mais alunos, de grupos diferentes, empurrem uma caixa contra a parede de tal forma que ela não caia, Figura (7). Ele então coloca um livro dentro de cada caixa, e pede para os alunos segurá-las novamente contra a parede e faz a seguinte pergunta:

- O que vocês tiveram que fazer para que as caixas não caíssem?

Eles devem responder que tiveram que empurrá-las com mais força contra a parede.

A seguir o professor relembra o que foi feito e as conclusões tiradas na primeira etapa e pergunta:

- Quando colocamos o livro dentro da caixa, considerando os dois como um corpo só, o diagrama de forças muda?

As forças que atuam sobre a caixa<sup>1</sup> são as mesmas, entretanto suas intensidades mudam, e o que desejamos é concluir que um aumento da força normal entre as superfícies provoca o aumento da força de atrito. Imaginamos que os grupos percebam que o diagrama de forças não se altera, embora com relação ao aumento das intensidades possa haver alguma dificuldade. Caso algum grupo responda que ele muda, o professor deve pedir que ele diga que forças atuam sobre a caixa e quem faz cada força. De novo ele orienta o debate até concluir que o diagrama de forças não se altera.

Devemos, então, argumentar que ao colocar o livro dentro da caixa o peso aumentou, e perguntar o que acontece com as outras forças. Naturalmente esperamos que, após repetir o experimento os grupos afirmem que  $F_1$  aumentou uma vez que foi necessário empurrar a caixa com mais força contra a parede. Para  $N$  e  $F_{at}$  acreditamos que possa haver alguma dificuldade. Para superá-la, o que pode ser feito é, circulando entre os grupos, orientá-los a separar as forças que estão na direção horizontal das que estão na vertical, e escrever a equação da 2ª lei de Newton para cada direção, lembrando que como a caixa está parada, em ambas a aceleração é nula, o que resulta que:

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{N} = 0, \quad (4)$$

$$\mathbf{F}_{at} + \mathbf{P} = 0. \quad (5)$$

E em módulo temos:

$$F_1 = N, \quad (6)$$

$$F_{at} = P. \quad (7)$$

---

<sup>1</sup>Considerando a caixa e o livro como um corpo só.

A Eq. (6) mostra que o aumento da força feita sobre a caixa, provoca o aumento da força normal. Com o livro dentro da caixa, para que ela não caísse, foi necessário empurrá-la com mais força contra a parede, logo a força normal também aumentou. Por outro lado a Eq. (7) mostra que se o peso aumenta e a caixa permanece parada, como aconteceu quando o livro foi colocado dentro dela, significa que a força de atrito também aumentou.

De novo os grupos são reunidos e expressam suas conclusões. Depois de concluir que todas as forças aumentaram outra questão deve ser colocada:

- O que provocou o aumento da força de atrito?

Os alunos debatem dentro dos seus grupos enquanto o professor circula pela sala. Imaginamos que eles repetirão a experiência, e algumas hipóteses, como o aumento da  $F_{at}$  ter sido provocado pelo aumento de  $F_1$ , de  $N$ , ou de  $P$ , serão levantadas. Caso se verifique que as conversações não estão avançando, podemos levantar algumas questões, tais como:

- A força peso é devida à interação entre a caixa e a Terra, ela pode influenciar a força de atrito que é devida à interação entre a caixa e a parede?
- A interação entre a mão e caixa,  $F_1$ , pode influenciar a interação entre a caixa e a parede?
- A força normal é devida à interação entre a caixa e a parede, ela pode influenciar a força de atrito, que também é devida à interação entre a caixa e a parede?

Para finalizar repete-se o processo, cada grupo expõe suas conclusões e como chegaram até elas. O professor conduz o debate, faz uma síntese e uma recapitulação do que os grupos disseram, até se chegar na resposta desejada.

## 9 3ª atividade - atrito estático e atrito cinético

Agora planejamos uma atividade para verificar que há diferença entre o atrito estático e o cinético. Ela pode ser realizada em aproximadamente 30 minutos, e os materiais necessários são as mesmas rampas e borrachas, uma com capa de plástico e outra sem, utilizadas anteriormente.

O professor deve mostrar aos alunos duas situações diferentes, e pedir que eles verifiquem o que está acontecendo em cada uma delas. Na primeira ele deve colocar uma borracha em cima de uma rampa e a outra borracha com capa de plástico em cima da outra rampa, Figura (5), que não deve estar muito inclinada, de maneira que as borrachas não deslizem imediatamente.

Ele deve começar a elevar as rampas lentamente, o que fará com que em uma determinada inclinação, a borracha com capa de plástico comece a deslizar, enquanto a outra continuará parada, e então colocar a seguinte questão aos grupos:

- O que podemos dizer com relação às forças de atrito que atuam nas duas borrachas, nesta situação?

Os alunos devem dizer que a força de atrito que atua na borracha sem capa de plástico é maior que a força de atrito sobre a outra, uma vez que ela permaneceu parada, enquanto a outra começou a deslizar, ou seja, nela a força de atrito foi suficiente para “segurar seu peso”, enquanto que na outra não. Essa resposta é esperada uma vez que esse fato já foi trabalhado na 1ª atividade.

A seguir o professor deve colocar as rampas bastante inclinadas, de tal forma que ao serem colocadas sobre elas as duas borrachas deslizem imediatamente. O que acontece é que nesta situação as duas borrachas, com e sem capa de plástico, chegam ao final da rampa praticamente juntas. Os grupos devem então reponder à mesma pergunta feita anteriormente:

- O que podemos dizer com relação às forças de atrito que atuam nas duas borrachas, nesta situação?

Escrevendo a equação da 2ª lei de Newton para as duas borrachas obtemos:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{P} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_{at} \quad (8)$$

Elas chegam juntas ao final das rampas, o que nos permite concluir que ambas têm a mesma aceleração. Como elas têm a mesma massa, têm também o mesmo peso, e conseqüentemente a força normal sobre elas também têm a mesma intensidade, portanto, de acordo com a Eq. (8), as intensidades das forças de atrito que atuam sobre elas devem ser as mesmas.

Imaginamos que os alunos tenham mais dificuldades em chegar a esta conclusão, devendo o professor estimular novamente o debate entre os colegas de grupo. Ele pode também sugerir que os alunos relembrem o que foi feito, e as conclusões obtidas, nas atividades anteriormente, principalmente com relação à aceleração das borrachas quando estão descendo a rampa. Outra atitude que pode ajudar é pedir que eles escrevam no papel a equação da 2ª lei de Newton para cada borracha, uma vez que em muitos casos, eles conversam, debatem, mas têm dificuldade em representar o pesamento de maneira mais formal.

Concluído que nesta situação as borrachas têm a mesma aceleração, a próxima etapa é comparar as duas situações, o que pode ser feito, fazendo aos grupos a seguinte pergunta:

- O que podemos dizer das forças de atrito nas duas borrachas, comparando a 1ª situação com a 2ª?

O que desejamos é comparar as duas situações, para que ao final os estudantes percebam que quando as borrachas estão em repouso as forças de atrito que atuam sobre elas têm intensidades diferentes, e quando elas estão deslizando as forças de atrito têm a mesma

intensidade, ou seja, que as forças de atrito quando não há movimento relativo entre as borrachas e as rampas são diferentes das forças de atrito quando há movimento relativo.

Mais uma vez o professor deve deixar as rampas e as borrachas disponíveis para que os alunos repitam as duas situações se acharem necessário. Ele deve estimular o debate e o confronto das ideias divergentes, e após reunir a turma toda, cada grupo expor suas conclusões e como chegaram até elas, conduzir o debate a fim de se chegar à conclusão esperada.

## 10 4ª atividade - a força de atrito é constante?

Nesta atividade utilizaremos as mesmas rampas da anterior, e algumas borrachas. O tempo necessário para que ela seja realizada é de aproximadamente 30 minutos, e seu objetivo é verificar se a intensidade da força de atrito estático tem um valor fixo ou não.

Após a realização da 1ª atividade os alunos já estão aptos a analisar as forças que atuam sobre um corpo que está parado em cima plano inclinado. Como mostra a Eq. (??), a força de atrito estático não tem um valor fixo, podendo variar de zero até um valor máximo, dado por  $\mu N$ . Como o corpo se encontra em repouso, sua aceleração é nula, portanto temos:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{P} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_{at} = 0 \quad (9)$$

E segue que, em módulo,

$$F_{at} = mg\text{sen}\theta \quad (10)$$

Como vemos na Eq. (10) a força de atrito neste caso depende da inclinação ( $\text{sen}\theta$ ) da reta, portanto ao aumentá-la, a força de atrito também aumenta, sendo este um exemplo de que a força de atrito estático não tem um valor constante. Ao longo de nossa experiência profissional, o que verificamos, entretanto, é que a maioria dos estudantes



tem muita dificuldade em lidar com isso, acreditando que seu valor é sempre  $\mu N$ , assim propomos uma atividade simples a fim de auxiliá-los na superação desta dificuldade.

Ela consiste em colocar uma borracha, Figura (5), sobre a rampa, e ir aumentando e diminuindo sua inclinação, sem que, entretanto, a borracha deslize. O professor, então faz a seguinte pergunta aos grupos:

- O que acontece com a força de atrito?

A resposta esperada é que quando aumentamos a inclinação da rampa, a força de atrito aumenta, e quando diminuimos a inclinação ela diminui. Caso os grupos tenham dificuldade em chegar à essa conclusão o professor pode fazer a seguinte pergunta:

- Quando a rampa está muito inclinada, a força de atrito tem o mesmo valor que quando ela está pouco inclinada, ou em algum caso ela é maior?

Novamente, a rampa e a borracha devem estar à disposição dos alunos. Imaginamos que alguns acreditem que em qualquer situação a força de atrito tenha o mesmo valor, e que alguns possam desenvolver o seguinte raciocínio: *quando a inclinação da rampa aumenta, a força que puxa a borracha para baixo também aumenta, logo para que ela não caia é preciso empurrá-la com mais força para cima, então podemos concluir que a força de atrito também aumenta.*

Este raciocínio não está completamente errado, mas precisa ser melhorado. Cabe ao professor acompanhar as discussões nos grupos, procurando adequar a linguagem dos alunos à linguagem científica, sempre procurando incentivar o confronto de ideias divergentes, e a participação de todos os alunos dentro de cada grupo. É importante que ele fique atento, procurando identificar as dificuldades dos alunos, e dando sugestões, de como superá-las. Neste caso, por exemplo, pode-se sugerir que eles façam o diagrama das forças que estão atuando sobre a borracha, além de escrever a 2ª lei de Newton para ela,

ou perguntar o que aconteceria com a borracha caso ela estivesse num plano inclinado sem atrito, e comparar essa situação com a borracha que está parada sobre a rampa.

Novamente a turma toda é reunida, cada grupo expõe suas conclusões e como chegaram até elas, e o professor conduz o debate a fim de se chegar à resposta desejada.

## 11 $F_{at} = \mu N$

Ao final destas atividades o professor pode lembrar todas as conclusões obtidas:

1. A força de atrito depende das superfícies em contato (1ª atividade) e da força normal (2ª atividade).
2. A força de atrito quando não há movimento relativo entre as superfícies em contato é diferente da força de atrito quando há movimento relativo (3ª atividade).
3. A força de atrito estático não é constante (4ª atividade)

Neste momento ele já pode introduzir a “fórmula” da força de atrito,  $F_{at} = \mu N$ , procurando relacioná-la às atividades desenvolvidas. Esperamos que assim essa equação não pareça algo tão abstrato para o aluno, mas que ela venha carregada com todo significado trabalhado anteriormente. Nesse sentido, algumas relações diretas podem ser feitas, tais como:

- O parâmetro  $\mu$ , chamado de coeficiente de atrito, depende das superfícies que estão em contato.

Isso implica que  $F_{at}$  tem a mesma dependência, como pode ser constatado durante a realização da “corrida” de carrinhos.

- O parâmetro  $\mu$  tem valores diferentes quando há movimento relativo entre as superfícies em contato e quando não há movimento relativo.

Ao colocarmos as borrachas, com e sem capa de plástico, sobre a rampa, em inclinações diferentes, constatamos que as forças de atrito têm valores diferentes quando há, e quando não há, movimento relativo entre as superfícies. Como a força normal não varia de uma situação para a outra, podemos concluir que o que varia é o coeficiente de atrito. Assim quando não há movimento relativo entre as superfícies ele é chamado de *coeficiente de atrito estático*, e representado por  $\mu_e$ , e quando há movimento relativo entre as superfícies ele é chamado de *coeficiente de atrito cinético*, sendo representado por  $\mu_c$ .

- A força de atrito estático varia de zero até um valor máximo dado por  $\mu_e N$ , ou seja  $0 \leq F_{at} \leq \mu_e N$ .

Quando colocamos a borracha sobre a rampa, percebemos que mesmo aumentando sua inclinação ela permanecia parada, até que para uma determinada inclinação máxima ela começava a deslizar, ou seja se a rampa está na posição horizontal a força de atrito é nula, quando aumentamos a inclinação ela aumenta até atingir  $\mu_e N$ , aumentando mais ainda a inclinação, a borracha começa a deslizar.

- A força de atrito cinético é constante, sendo seu módulo dado por  $\mu_c N$ .

## 12 5ª atividade - a força de atrito é sempre contrária ao movimento?

Esta atividade pode ser feita em aproximadamente 45 min. Nela desejamos responder à seguinte pergunta:

- A força de atrito é sempre contrária ao movimento?

Consideramos ser o senso comum entre os alunos, que a força de atrito é sempre contrária ao movimento, sendo muitas vezes difícil fazê-los compreender que ela não é contrária ao movimento, mas sim à tendência de movimento relativo entre as superfícies em contato. À esse respeito, Caldas e Saltiel [3] analisaram alguns livros de física utilizados no ensino superior e concluíram que:

*A escolha de um quadro restritivo para falar sobre as leis do atrito, talvez na tentativa de simplificar e tornar mais acessível um assunto, que não é tão evidente assim, omite pontos importantes, quando não deixa outros tantos ambíguos ou aparentemente contraditórios, levando muitas vezes a incorreções ou interpretações que poderiam ser evitadas.*

*Desta forma, os livros analisados não dão a contribuição que poderiam dar para ajudar a colocar em causa o status adquirido pelas forças de atrito, no que diz respeito ao sentido destas forças, e mesmo, muitas vezes, contribuem para reforçá-lo.*

Assim acreditamos ser importante a realização de uma atividade apenas com o objetivo de superar essa concepção. Para realizá-la, utilizamos duas caixas de sapato, e ela consiste em colocar uma caixa sobre a outra, Figura (10), e depois empurrar a caixa de baixo, Figura (11), de tal forma que as duas caixas “caminhem” juntas. Então, com a turma dividida em grupos, fazemos a seguinte pergunta:

- Quais são as forças que atuam sobre a caixa de cima?

Com já dissemos as leis de Newton vêm sendo trabalhadas junto à turma desde antes das primeiras atividades, sendo por elas reforçadas. Assim, a força peso e força normal devem ser apontadas por todos corretamente, inclusive a direção e o sentido. No entanto com relação à força de atrito, os alunos devem ter maior dificuldade.



Figura 10: as caixas devem ser colocadas uma sobre a outra, e caso necessário, para uma melhor visualização, podem ser colocadas sobre uma mesa.



Figura 11: a caixa de baixo pode ser empurrada de tal forma que as duas “caminhem” juntas.

Além disso alguns podem citar a força que a mão, que está empurrando a caixa de baixo, faz na caixa de cima. Com relação a isso podemos fazer algumas perguntas a fim de levar o aluno a refletir sobre a resposta dada, tais como:

- A mão está interagindo com a caixa de cima?

Caso algum grupo responda de maneira afirmativa, a pergunta seguinte pode ser:

- A mão não está em contato com a caixa de cima, então de que maneira elas interagem?

O que desejamos é concluir que a mão não interage com a caixa de cima, para então concluir que ela não a empurra, o que pode ser feito colocando-se a seguinte questão:

- Se elas não interagem, como a mão pode estar empurrando a caixa de cima?

Mais uma vez, devemos destacar que ao longo dessas etapas o professor não deve dar as respostas, mas apenas servir como um guia, para que os próprios alunos cheguem às suas conclusões.

O professor deve então pedir aos grupos que retomem a discussão com relação às forças que estão atuando sobre a caixa de cima. Novamente ele orienta o debate entre os alunos, e imaginamos que agora todos já serão capazes de chegar à conclusão de que as forças que atuam sobre a caixa são a normal, o peso e o atrito.

Contudo, como foi dito anteriormente, o sentido da força de atrito muitas vezes não é bem compreendido, dessa forma acreditamos que muitos grupos ainda o apontem como sendo contrário ao sentido do movimento que a caixa adquiriu ao ser empurrada pela caixa de baixo, portanto achamos importante insistir nesse ponto, pedindo que os grupos apontem a direção e o sentido das forças que estão atuando sobre a caixa de cima.

Como já dissemos, em relação ao peso e à normal não deve haver problemas, contudo a maioria dos grupos deve concluir que a força de atrito é horizontal para trás, considerando-se que ao empurrarmos a caixa de baixo, as duas se movimentaram para frente. A opinião de que o atrito é sempre contrário ao movimento é muito forte entre os alunos. Essa questão pode ser enfrentada fazendo à eles a seguinte provocação:

- A única força que atua sobre a caixa na direção horizontal, a força de atrito, vocês disseram que é para trás. Pode acontecer de empurrarmos uma caixa para trás e ela andar para frente?

Após isso esperamos que alguns alunos continuem dizendo que o atrito é para trás e outros que ele é para frente. Alguns podem utilizar o seguinte argumento: *a força de atrito é horizontal para trás, no entanto ela anda para frente pois está sobre a caixa de baixo, que é empurrada para frente pela mão*, ou seja, a caixa de cima é “obrigada” a andar para frente por estar sobre a caixa de baixo. Para ajudar a superar essa ideia podemos pedir que um aluno de um empurrão bem forte na caixa de baixo, o que faz com que ela se movimente para frente, enquanto a caixa de cima permanece praticamente em repouso.

Devemos então sugerir que os alunos refaçam a experiência, e que cada um dicuta com seus colegas se o atrito é para trás ou para frente. Depois de um tempo para o debate

intragrupos, a turma toda é reunida e repete-se a sistemática, cada grupo coloca suas opiniões e em que elas estão fundamentadas. Após conduzir o debate entre os grupos podemos citar situações diferentes, algumas onde o atrito é contrário ao movimento, e outras onde o atrito é a favor do movimento, para então concluir que na verdade ele é contrário a tendência de movimento relativo entre as superfícies.

## **13 6ª atividade - os freios ABS**

A função do sistema de freios ABS é evitar o travamento das rodas durante a frenagem, sendo o uso desse dispositivo importante na medida em que é muito difícil, até mesmo para um motorista experiente, fazê-lo apenas com sua sensibilidade ao pisar no pedal.

Com as rodas rolando sem deslizar, o atrito entre os pneus e a pista é estático, e com as rodas travadas, deslizando na pista, é cinético. Como o coeficiente de atrito estático é maior que o cinético, a força de atrito máxima também o é, sendo assim, ao evitar o travamento das rodas, os freios ABS otimizam a frenagem, tornando-a mais segura e diminuindo a distância necessária para parar o veículo. No entanto a maioria das pessoas acredita justamente no contrário, que para parar o carro mais rapidamente, o melhor a fazer é travar as rodas.

Nesta atividade, que dividimos em duas etapas, estas questões são abordadas, e temos por objetivo responder às seguintes perguntas:

1. Ao pisarmos no pedal do freio, o que faz um automóvel parar?
2. Quando o atrito entre os pneus e a pista é estático, e quando é cinético?
3. Se quiséssemos otimizar a frenagem, criando um dispositivo que possibilitasse minimizar a distância necessária para parar o veículo, o que o motorista poderia fazer?

### 13.1 1ª Etapa

Esta etapa pode ser feita em aproximadamente 50 min, e nela utilizamos uma bicicleta, e também um dispositivo de vídeo, que pode ser um computador com datashow, ou mesmo uma televisão com aparelho de DVD.

O que pretendemos é analisar o sistema de freios de um automóvel, que, no entanto, fica escondido em baixo da carroceria do veículo. Assim achamos mais interessante analisar os freios de uma bicicleta, com o qual a maioria dos estudantes está familiarizado, e que além de ser mais simples, e ter o mesmo princípio básico de funcionamento, está bem à vista.

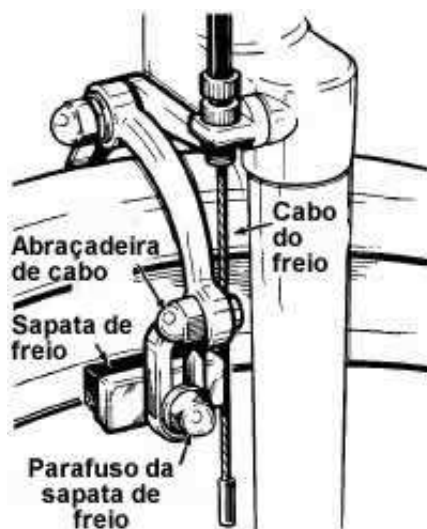


Figura 12: sistema de freio de uma bicicleta. (adaptado de <http://viagem.hsw.uol.com.br/como-reparar-uma-bicicleta4.htm>)

No início da atividade, o professor pede que os alunos formem seus grupos, e sentem-se, deixando um corredor livre no meio da sala de maneira que possa passar com a bicicleta e ser visto por todos. Ele deve mostrar um esquema do sistema de freios de um automóvel, Figura (13), e da bicicleta, Figura (12), descrevendo o que acontece ao acionarmos cada



um. No automóvel as pastilhas são pressionadas contra os discos de freio, e na bicicleta as borrachinhas são pressionadas contra os aros das rodas, e em seguida perguntar:

- Imaginem que eu esteja andando numa rua plana e horizontal, de bicicleta, ou de carro, e visse um sinal vermelho. Ao acionar o freio, o que faria o meu veículo parar?

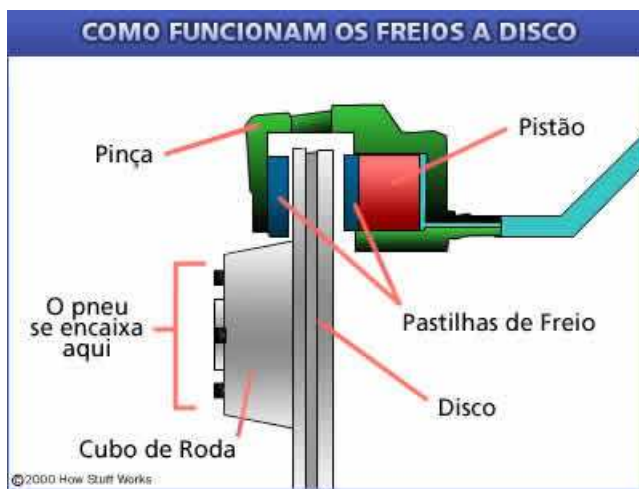


Figura 13: sistema de freio de um automóvel

Como a única força externa ao veículo é a força de atrito entre os pneus e a pista, ela é a responsável por pará-lo. No entanto o que imaginamos é que a maioria dos grupos dirá que o faz com que ele pare é o atrito entre o sistema de freios e a roda. Ainda que essa ideia seja muito forte entre eles, devemos lembrar também que este é um assunto presente em nosso cotidiano, assim todos sempre ouvimos falar, por exemplo, que em pista molhada, devemos diminuir a velocidade, portanto alguns grupos devem citar também a força de atrito entre os pneus e a pista.

Neste momento o professor deve deixar a bicicleta à disposição dos estudantes, sem o entanto permitir que qualquer aluno tente andar nela dentro da sala, o que poderia causar

acidentes. Novamente ele deve apenas orientá-los em seus debates. Para isso podem ser feitas algumas perguntas, tais como:

- O que faz a bicicleta parar é o atrito entre as borrachinhas e os aros, então se não apertarmos o freio ela não parará nunca?
- A força de atrito entre a borrachinha e o aro é uma força interna, ou externa à bicicleta?

Como esses conceitos, de força externa e força interna, já foi trabalhado anteriormente, esperamos que os alunos respondam corretamente que esta é uma força interna.

- Pode uma força interna, como essa, parar o veículo?

Após dar algum tempo para que os grupos cheguem às suas conclusões, ele pede para que cada um as exponha para o resto da turma, e antes de promover o debate entre os grupos sugerimos que mostre aos alunos dois pequenos vídeos, ambos disponíveis na internet.

O primeiro vídeo<sup>2</sup> tem 36s de duração e mostra um carro que fica descontrolado ao passar por uma rua com uma fina camada de gelo. Nele é possível perceber que embora esteja em baixa velocidade e com as rodas travadas o veículo não pára.

O segundo vídeo<sup>3</sup> tem 72s de duração, e mostra um motorista tentando arrancar com um veículo em uma pista também com uma camada de gelo. Ao assistí-lo podemos perceber que embora, em alguns momentos, as rodas girem com grande velocidade, o carro praticamente não sai do lugar.

A escolha desses dois vídeos foi feita a fim de mostrar o que parece ser uma contradição. No primeiro o automóvel continua em movimento, embora as rodas estejam travadas, e no

---

<sup>2</sup>Disponível em [www.youtube.com/watch?v=0ZPq8DmVYBE](http://www.youtube.com/watch?v=0ZPq8DmVYBE), acessado em 30/08/10.

<sup>3</sup>Disponível em [www.youtube.com/watch?v=5S\\_NzD5Pzx0](http://www.youtube.com/watch?v=5S_NzD5Pzx0), acessado em 30/08/10.



Figura 14: O primeiro vídeo mostra um carro tentando parar numa rua coberta com uma fina camada de gelo.

segundo ele permanece parado, embora as rodas estejam girando. Após sua apresentação, esperamos que todos cheguem à conclusão desejada, de que é o atrito entre os pneus e a pista que param os veículos.

Agora o professor deve pedir que todos prestem atenção, e empurrar a bicicleta de duas maneiras, primeiro sem apertar os freios, de tal forma que as rodas possam rolar sem deslizar, depois apertando os freios, de maneira que as rodas permaneçam travadas, sem rolar, apenas deslizando, e aí fazer a seguinte pergunta:

- Em qual situação o atrito entre os pneus e a pista é estático, e em qual ele é cinético?

Na seção (9) propusemos uma atividade a fim de verificar que a força de atrito é diferente quando há, e quando não há, movimento relativo entre as superfícies em contato. O que pretendemos agora é mostrar que para saber se o atrito é cinético, ou estático, devemos observar se há ou não movimento relativo entre as superfícies.

Quando as rodas estão travadas, a superfície do pneu desliza em relação à pista, o atrito é cinético, e quando elas rolam sem deslizar o atrito é estático. O que percebemos,



Figura 15: O segundo vídeo mostra um carro tentando arrancar em uma rua coberta com uma fina camada de gelo.

entretanto, é que em situações como esta a maioria dos estudantes pensa exatamente de forma contrária, e uma resposta comum é a seguinte: *quando as rodas estão travadas elas estão paradas, logo o atrito é estático, e quando elas rodam, estão em movimento, logo o atrito é cinético.*

Novamente aqui o professor deve ter o cuidado de não dar a resposta, mas apenas conduzir os grupos até ela. Sem dar respostas, e nem dizer se as respostas dadas pelos alunos estão corretas, o professor pode repetir as duas situações, salientando que o que deve ser observado, em cada uma, é se há ou não movimento relativo entre as superfícies do pneu e da bicicleta.

Na situação em que a roda está travada podemos auxiliá-los à perceber que o atrito é cinético com as perguntas a seguir:

- A superfície do pneu está em movimento em relação ao chão?

Imaginamos que a maioria dirá que não, que ela está parada.

- Um objeto parado pode se deslocar?

- A roda permanece o tempo todo na mesma posição, em relação ao solo?

O que desejamos é que eles percebam que embora as rodas não estejam rolando, elas estão em movimento em relação ao solo.

Para mostrar que quando as rodas estão rolando, sem deslizar, o atrito é estático, o que sugerimos é abordar situações semelhantes para que os alunos possam refletir sobre elas, como por exemplo uma pessoa caminhando. Podemos pedir que alguém caminhe pela sala e perguntar:

- A força de atrito entre a sola do sapato e o chão é estático ou cinético?
- A sola do sapato está deslizando em relação ao solo?

Com essa comparação acreditamos seja mais fácil perceber que, assim como ao caminharmos a parte do sapato que toca o chão não desliza no solo, embora estejamos em movimento, quando a superfície do pneu toca o solo ela não desliza, embora a bicicleta também esteja em movimento.

Novamente repete-se o processo, com cada grupo expondo suas conclusões e como chegaram até elas e o professor conduz o debate.

## 13.2 2ª Etapa

Esta etapa pode ser feita também em aproximadamente 30 min, e antes de iniciá-la o professor deve lembrar as seguintes conclusões obtidas anteriormente:

- Quando acionamos o freio o que faz com que o carro pare é a força de atrito entre os pneus e a pista.
- A força de atrito estático máxima, é maior que a força de atrito cinético.

- Quando as rodas rolam sem deslizar o atrito entre os pneus e o solo é estático, e quando as rodas estão travadas ele é cinético.

Nosso objetivo agora é que os alunos percebam que para que a frenagem seja mais eficiente é preciso que o atrito entre os pneus e a pista seja estático, ou seja que as rodas rolem sem deslizar. No entanto esta não é a única condição, como vimos anteriormente a força de atrito estático varia de zero até  $\mu_e N$ , quando as rodas estão na iminência de começar a deslizar, enquanto a força de atrito cinético é constante e dada por  $\mu_c N$ , ou seja em determinadas condições a força de atrito estático pode ser menor que a força de atrito cinético. Assim o desejável é que não só o atrito seja estático, mas também que sua intensidade esteja entre  $\mu_c N$  e  $\mu_e N$ , ou seja:

$$\mu_c N < F_{at} < \mu_e N \quad (11)$$

Entretanto é difícil para o motorista controlar a freada a fim de que isso aconteça, fazendo com que a roda role sem deslizar, o mais próximo possível da situação limite onde ela está na iminência de começar a deslizar, e ao mesmo tempo impedir o travamento das rodas. Assim podemos propor aos grupos o seguinte problema:

- Lembrando das conclusões obtidas anteriormente, em que situação a frenagem seria mais eficiente?

Com esta pergunta esperamos concluir que o melhor é frear evitando o travamento das rodas, e assim, tendo atrito estático entre as mesmas e o solo. No entanto é possível que de imediato os alunos não cheguem à essa conclusão, pois imaginamos que muitos ainda acreditem que o melhor a ser feito é “pisar fundo” no pedal do freio, o que acaba provocando o travamento das rodas. Nessa situação, assumindo o papel de apenas conduzir o debate, podemos fazer mais algumas perguntas para auxiliá-los, tal como:

- Já concluímos que o que pára o automóvel é a força de atrito entre os pneus e a pista, assim sendo, para que ele pare numa distância menor, essa força deve ser a maior, ou a menor possível?

Queremos levá-los a pensar que para parar o carro na menor distância, a força de atrito tem que ser a maior possível, neste caso tem que ser atrito estático, próximo à situação limite. Após terem chegado à essa conclusão, o professor pode retomar a primeira pergunta, sobre em que situação isso ocorre.

Dado um tempo para que os grupos discutam, o professor deve reuní-los novamente, e mais uma vez escutar todas as suas opiniões. Provavelmente nem todos chegarão à resposta desejada, sendo assim necessário conduzir o debate, pedindo para que cada um coloque seus argumentos e confrontando as opiniões divergentes.

Concluído que a frenagem mais eficiente ocorre quando se evita o travamento das rodas, podemos fazer as seguintes perguntas:

- Imagine que vocês estejam andando de bicicleta, quando, de repente, avistam uma criança atravessando a rua e precisam frear bruscamente. Vocês conseguiriam controlar a força aplicada nos freios, e evitar o travamento das rodas?
- E um motorista dirigindo um automóvel, consegue?

Embora essa seja uma experiência apenas imaginária, acreditamos que, senão todos, a maioria dos alunos já deva ter passado por uma situação semelhante, tendo assim condições de responder à pergunta. O que queremos é que eles percebam que essa é uma tarefa difícil de ser realizada pelo motorista.

Uma outra questão deve ser levantada:

- Para otimizar a frenagem, diminuindo a distância necessária para parar o veículo, basta evitar o travamento das rodas?

Queremos levá-los à conclusão de que não basta evitar o travamento das rodas, sendo preciso também mantê-las o mais próximo possível da situação limite, na iminência de começar a deslizar.

Mais uma vez deve ser dado um tempo para o debate tro dos grupos, após o que o professor deve reunir a turma e repetir o processo, pedindo que cada grupo coloque suas conclusões.

## 14 A dinâmica da frenagem

Neste momento o professor pode começar a discutir com os alunos o funcionamento dos freios ABS, e a dinâmica da frenagem, abordada por Abeid [1], procurando adequar o conteúdo às especificidades de cada turma. Ou seja, a critério do professor essa discussão pode ser mais qualitativa ou quantitativa, mais ou menos aprofundada. Esse pode ser um bom momento para abordar alguns conceitos, como torque, momento angular e momento de inércia, entre outros, que normalmente não são trabalhados no Ensino Médio.

Um aspecto que deve ser enfatizado é o modelo que utilizamos. Acreditamos que possa ser trabalhadas a utilização de modelos, abordando os seguintes aspectos:

- O que é um modelo?
- Por que construir um modelo?
- Qual é a sua validade?

A partir daí pode ser feita uma discussão específica em relação ao modelo que adotamos, procurando, responder à algumas perguntas, tais como:

- Consideramos que durante a frenagem o peso do veículo estava igualmente distribuído nas quatro rodas. O que aconteceria caso isso não fosse verdadeiro?



O que esperamos é que eles reflitam sobre o assunto, e percebam que se o peso não estiver igualmente distribuído, a força normal, e conseqüentemente a força de atrito entre o pneu e o solo, terá valores diferentes em cada roda. Dessa forma a tarefa de evitar o travamento das mesma será ainda mais difícil, assim os sistemas ABS mais modernos possuem sensores em cada roda, sendo capaz de detectar, e evitar, o bloqueio de cada uma separadamente.

- Com as rodas estão rolando usamos o atrito estático, e com elas deslizando usamos o atrito cinético. Podemos garantir que não acontece das rodas rolarem com deslizamento?

O que queremos é levantar uma discussão com relação ao coeficiente de atrito, para que os alunos percebam que essa separação entre atrito cinético e estático é apenas um modelo.

Ainda que se faça uma abordagem mais qualitativa, é importante que se compare as distâncias de frenagem nas seguintes situações:

- Rodas rolando sem deslizar, sem o sistema ABS.
- Rodas travadas, deslizando.
- Rodas com sistema ABS.

Como mostramos em todas as situações a força de atrito entre os pneus e a pista, e a distância de frenagem, são dadas por:

$$F_{at} = \mu N, \quad (12)$$

$$d = \frac{1}{\mu} \frac{v_0^2}{2g}, \quad (13)$$

com  $\mu = \mu_e$  quando as rodas rolam sem deslizar, sem o sistema ABS. Quando falamos das rodas rolando sem deslizar, devemos sempre fazer a ressalva de que a força de atrito neste caso varia de zero até  $\mu N$ , portanto quando dizemos que  $F_{at} = \mu N$ , estamos tratando da situação limite, quando as rodas estão na iminência de começar a deslizar.  $\mu = \mu_c$ , quando as rodas estão travadas, deslizando; e  $\mu = \mu_{abs}$ , quando o veículo possui ABS.

Como foi mostrado  $\mu_{abs} = \mu_e - \frac{\Delta\mu_e}{2}$ , assim acreditamos que algumas perguntas podem ser feitas, tais como:

- Qual é o valor máximo que  $\Delta\mu_e$  pode assumir?

Durante a frenagem, o ideal é que a força de atrito estático fique entre  $\mu_e N$  e  $\mu_c N$ , pois caso ela seja menor que  $\mu_c N$  a frenagem será menos eficiente do que com as rodas travadas, ainda que o atrito seja estático. Assim a variação máxima que o coeficiente de atrito deve ter é dada por:

$$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c. \quad (14)$$

- Qual seria seu valor ideal?

O desejável é que a força de atrito se aproxime o máximo possível de  $\mu_e N$ , assim o ideal é que  $\Delta\mu \approx 0$ , na prática o sistema busca o menor valor possível.

É interessante que os alunos façam estimativas para o valor de  $\mu_{abs}$ , uma vez que seus valores reais não são disponibilizados pelos fabricantes, assim sugerimos que sejam feitas as seguintes hipóteses:

- $\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$

$$\mu_{abs} = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$$

- $\Delta\mu = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$

$$\mu_{abs} = \frac{3\mu_e - \mu_c}{4}$$

Vale ressaltar que deve ser aberta aos estudantes a possibilidade de sugerir outras maneiras, diferentes das apresentadas pelo professor, para se calcular  $\Delta\mu$ , como por exemplo  $\Delta\mu = 10\%$  de  $\mu_e$ .

Um aspecto que pode ser explorado é se o uso do sistema ABS tem as mesmas vantagens, em situações diferentes, e comumente enfrentadas pelos motoristas, como trafegar em pista seca e molhada. Assim propomos que os alunos alunos, divididos em grupos, procurem os valores de  $\mu_e$  e  $\mu_c$  na internet, para estas situações, possibilitando assim calcular o valor de  $\mu_{abs}$  para cada uma delas, o que pode ser feito como “trabalho de casa”.

É importante que o professor não dê aos alunos os valores de  $\mu_e$  e  $\mu_c$ , mas que cada grupo os procure, caso contrário todos os grupos encontrarão as mesmas distâncias de frenagem, o que esvaziaria o debate. Também seria interessante que os grupos utilizassem diferentes metodologias para o cálculo de  $\Delta\mu$ .

Cada grupo pode, então, substituir os valores de  $\mu_e$ ,  $\mu_c$  e  $\mu_{abs}$  na Eq. (13), possibilitando que sejam construídas tabelas com as distâncias de frenagem encontradas, como na tabela (1).

Tabela 1: as distâncias de frenagem

comparação das distâncias de frenagem (m) para uma velocidade inicial $v_0 = 72$ km/h						
Pista	$\mu_e, \mu_c$	rodas rolando ( $d_e$ )	rodas travadas ( $d_c$ )	$\Delta\mu$	ABS ( $d_{abs}$ )	$d_{abs}/d_c$
asfalto seco	$\mu_e = 0.90$ $\mu_c = 0,70$	22.22	28.57	$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$	25.00	0.87
				$\Delta\mu = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$	23.53	0.82
asfalto molhado	$\mu_e = 0.70$ $\mu_c = 0.50$	28.57	40.00	$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$	33.33	0.83
				$\Delta\mu = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$	30.77	0.77

Os grupos podem comparar e debater sobre os resultados obtidos em diferentes condições de pista e para diferentes metodologias para o cálculo de  $\Delta\mu$ . Comparando os dados da

tabela (1) vemos que, nas duas metodologias para calcular o  $\Delta\mu$ , os freios ABS provocam uma diminuição mais acentuada das distâncias de frenagem com a pista molhada.

Como destacamos os valores precisos de  $\Delta\mu$  são difíceis de serem encontrados, já que não disponibilizados pelos fabricantes, no entanto comparando os dados obtidos por nós com os dados obtidos por outros modelos podemos verificar a validade do nosso. Na tabela (2) as distâncias de frenagem calculadas com o nosso modelo (N.M.), onde usamos  $\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$ , são comparadas com o modelo proposto por Denny [4] e com os dados experimentais apresentados em Toresan [5].

Tabela 2: comparação das distâncias de frenagem

comparação das distâncias de frenagem				
Asfalto	$\mu_e$ e $\mu_c$	modelo	$v_0$ (km/h)	$d_{abs}$ (m)
-	$\mu_e = 0.50$ $\mu_c = 0,30$	N.M.	72	50,0
-	$\mu_e = 0.50$ $\mu_c = 0,30$	Denny	72	51,0
seco	$\mu_e = 0.90$ $\mu_c = 0.70$	N.M.	66	21,0
seco	-	Toresan	66	22,7
molhado	$\mu_e = 0.43$ $\mu_c = 0.31$	N.M.	53	29,3
molhado	-	Toresan	53	28,0

Comparando os valores apresentados na tabela (2), vemos que os resultados obtidos com o nosso modelo são bastante próximos dos apresentados por Denny<sup>4</sup> [4] e Toresan<sup>5</sup> [5], o que mostra que a metodologia utilizada para calcular o valor de  $\Delta\mu$  é válida. Para comparar nossos dados com os valores obtidos por Denny, atribuímos a  $\mu_e$  o valor máximo de  $\mu$  calculado por ele e a  $\mu_c$  o valor mínimo. Para a comparação com os dados apresentados por Toresan utilizamos no caso do asfalto seco os valores de  $\mu_e$  e  $\mu_c$  que encontramos nas referências supracitadas. No entanto, na situação de asfalto molhado o valor

<sup>4</sup>Denny apresenta apenas o valor máximo, e o mínimo de  $\mu$ , não especificando as condições da pista.

<sup>5</sup>Toresan não apresenta o valor de  $\mu_e$ , apresenta apenas  $\mu_c = 0,75$  para o asfalto seco e  $\mu_c = 0,31$  para o asfalto molhado, e as distâncias de frenagem medidas.

apresentado por Toresan era cerca de 60% dos valores de  $\mu_c$  que encontramos. Assim para  $\mu_c$  adotamos o valor proposto por ele e para  $\mu_e$  adotamos um que é aproximadamente 60% dos valores que encontramos.

## 15 Os freios ABS numa perspectiva em CTS

Na última atividade procuramos mostrar como a ciência e a tecnologia podem ser utilizadas na busca de soluções de problemas que enfrentamos no nosso dia a dia, neste caso desenvolvendo um dispositivo, freios ABS, que otimiza a frenagem dos automóveis. Agora propomos que alunos façam um trabalho de pesquisa a fim de avaliar os impactos do uso dessa tecnologia.

Neste trabalho cada grupo, entre 4 ou 5 alunos, deve ter um tema diferente para ser pesquisado, e apresentá-lo ao resto da turma, numa data reservada pelo professor. Essa deve ser uma apresentação oral, que pode ser feita com o auxílio de slides, usando o datashow, ou cartazes.

A seguir sugerimos alguns temas relacionados aos freios ABS, no entanto, caso julgue interessante, o professor pode escolher temas envolvidos com todos os equipamentos de segurança disponíveis nos automóveis, ampliando a discussão. Os temas são os seguintes:

### 1. Os freios ABS

O grupo deve procurar mostrar como e quando surgiram os freios ABS, sua evolução até hoje e explicar com mais detalhes seu funcionamento, além de mostrar outras aplicações que o seu princípio de funcionamento pode ter, como o controle de tração nas rodas.

Também seria interessante que procurassem vídeos mostrando a frenagem de veículos com e sem ABS. Estes vídeos estão disponíveis na internet, e mostram a frenagem em diversas situações, como em pista seca ou molhada.

## 2. Os freios ABS são caros?

Sugerimos que este tema seja desenvolvido por três grupos diferentes com os seguintes enfoques:

### (a) A relação custo-benefício dos freios ABS

O professor pode sugerir que o grupo compare o custo dos freios ABS com os custos que ele pode evitar, prevenindo acidentes, por exemplo:

- Qual é o custo de uma diária num quarto de hospital? E num CTI?
- Qual é o custo de uma sessão de fisioterapia, caso seja necessário numa reabilitação após um acidente?
- Quanto custam os equipamentos, como cadeiras de roda ou muletas, utilizados durante a reabilitação?
- Qual é o valor médio da franquia do seguro de um automóvel?
- Quanto custa um pára-brisas, ou a pintura de um automóvel?

### (b) Os freios ABS são caros, quando comparados com acessórios automotivos?

Este grupo pode comparar o preço dos freios ABS, que é um item de segurança, com o preço de alguns acessórios muito comuns, hoje em dia, nos automóveis, tais como:

- Sistema de som com DVD player
- Vidros e travas elétricos
- Rodas de alumínio
- Ar condicionado
- GPS

O professor pode sugerir que os alunos perguntem em algumas concessionárias de veículos, de preferência de marcas diferentes, os acessórios disponíveis e o

seu custo.

(c) Os freios ABS estão disponíveis em todas as categorias de automóveis?

Esse grupo deve pesquisar em que categorias de automóveis, que podem ser divididas por faixa de preço, os freios ABS estão disponíveis como item de série, em quais estão disponíveis apenas como opcionais, e em quais não estão disponíveis nem mesmo como opcionais. Essa pesquisa tem o objetivo de comparar o custo dos freios ABS com o custo total dos veículos, além de mostrar o valor mínimo que o consumidor precisa desembolsar para comprar um carro equipado com ABS.

3. Quando vai comprar um automóvel o consumidor pensa nos freios ABS?

O objetivo é pesquisar o que as pessoas julgam importante para sua tomada de decisão na hora de comprar um automóvel. Sugerimos que os alunos façam uma pesquisa com pessoas que compraram carros recentemente ou que pretendem comprar num futuro próximo, colocando para os entrevistados a seguinte questão:

- Cite três coisas que você julga importante para sua decisão de comprar ou não um veículo.

Essa pesquisa pode ser realizada com os professores e funcionários da escola, com os familiares e vizinhos dos estudantes, e sugerimos que sejam feitas por dois grupos, usando metodologias diferentes, que descrevemos a seguir.

(a) Pesquisa estimulada

O grupo que fizer esta pesquisa deve preparar um cartão contendo algumas opções para que o entrevistado escolha entre elas. É importante destacar que esse cartão deve ter um formato de pizza, Figura (16), de tal forma que a disposição dos itens não influencie a escolha. Sugerimos alguns itens, procurando

diversificar, colocando alguns de conforto, outros de segurança, e outros de estética. São eles:

- Ar condicionado
- Vidros e travas elétricas
- Direção hidráulica
- Freios ABS
- Air Bag
- Aparelho de som com DVD player
- Sensor de estacionamento
- GPS
- Rodas de alumínio
- Pintura metálica

(b) Pesquisa espontânea

Essa pesquisa se diferencia da outra pois nela não são dadas opções aos entrevistados, que devem responder livremente.

Os dois grupos podem apresentar os resultados de suas pesquisas utilizando gráficos e tabelas, que podem ser apresentados por itens, ou por categorias, como conforto, segurança ou estética. Os grupos devem também mostrar ao restante da turma a metodologia utilizada por cada um, explicando as diferenças entre elas.

Os entrevistados também podem ser divididos em grupos, por exemplo, será que existem diferenças nas escolhas de homens e mulheres, jovens ou idosos?



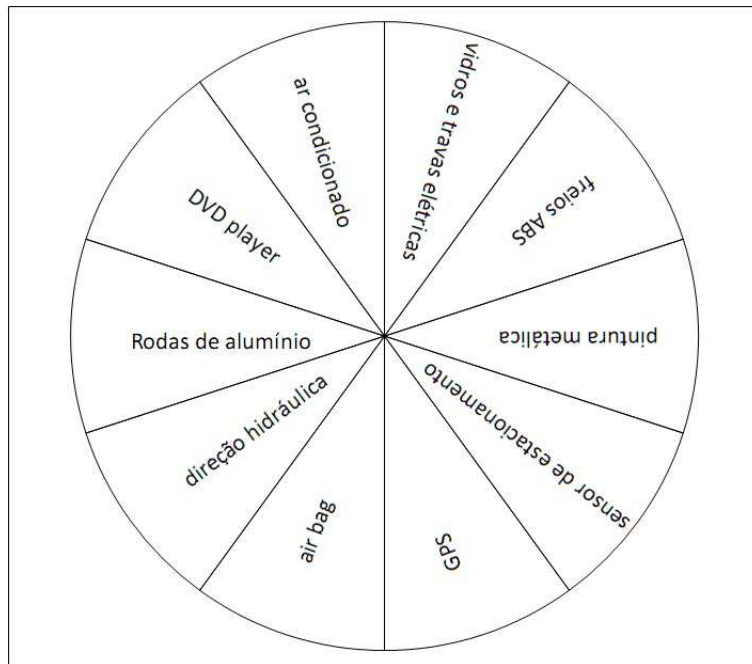


Figura 16: cartão com formato de pizza.

## Referências

- [1] L. R. F. Abeid, *As forças de atrito e os freios ABS numa perspectiva de Ensino Médio.*, Dissertação(Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- [2] L. H. A. Silva, R. P. Schnetzler, *Buscando o caminho do meio: a “sala de espelhos” na construção de percerias entre professores e formadores de professores de ciências.* Ciência & Educação, V. 6, n. 1, 2000.
- [3] H. Caldas, E. Saltiel, *Sentido das Forças de Atrito e Movimento - II uma Análise dos Livros Utilizados no Ensino Superior Brasileiro.*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 21, n. 4, Dezembro, 1999.
- [4] M. Denny, *The Dynamics of Antilock Brake Systems*, European Journal of Physics 26(2005) 1007-1016.
- [5] W. Toresan Jr., *Cálculo de Velocidade para Veículos Equipados com Sistemas de Freios ABS*, Disponível em [http://www.estradas.com.br/sosestradas/articulas/wilson\\_t\\_jr/calculo\\_de\\_velocidade\\_veiculos equip\\_abs.pdf](http://www.estradas.com.br/sosestradas/articulas/wilson_t_jr/calculo_de_velocidade_veiculos equip_abs.pdf), acessa em 04/10/2010, às 10:30.