

JEAN-PIERRE PETIT

As Aventuras de Anselmo Curioso

O SONHO DE VOAR





... compreendem, sem o atrito do ar, o escoamento em torno do perfil seria totalmente diferente e não haveria sustentação...

QUEREM VOAR
COMIGO?



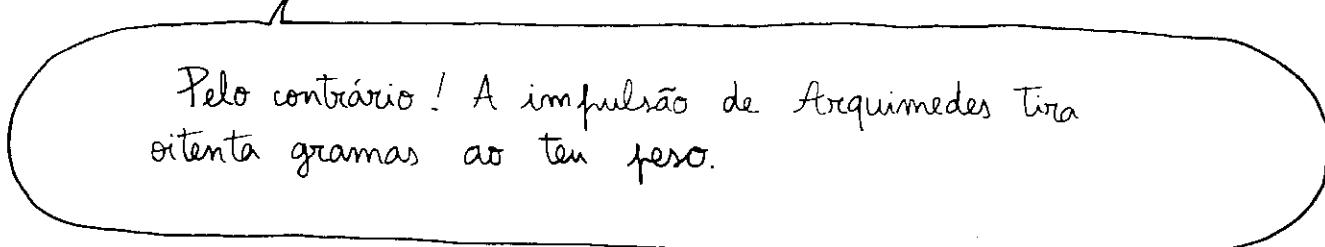
PRÓLOGO:

Certa manhã, Anselmo Curioso acordou de mau humor.

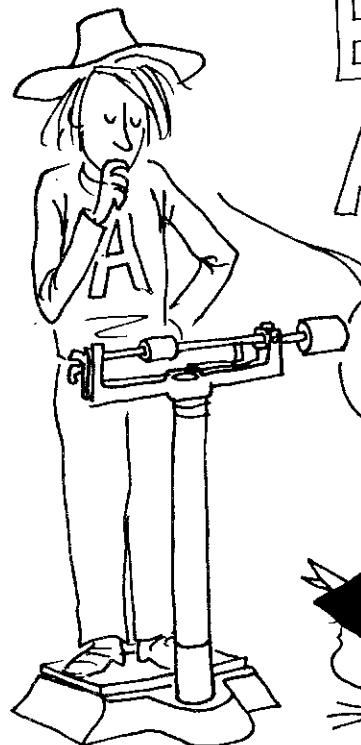


Amzelmo sentia-se triste e vazio. A Terra estava mais "chata" que nunca. Os dias pareciam-se uns com os outros como gotas de chuva...





ERA UMA VEZ ARQUIMEDES



(Queres tu dizer que, quando me peso, a balança não indica o meu peso verdadeiro, por causa da imprevisão de Arquimedes?)



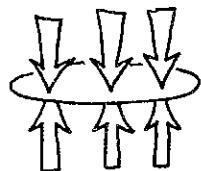
Exacto. Na realidade tu pesas mais 80 gramas.



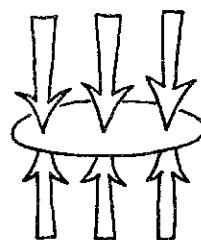
O princípio de Arquimedes... fala-se muito dele... Mas afinal o que é, ao certo?

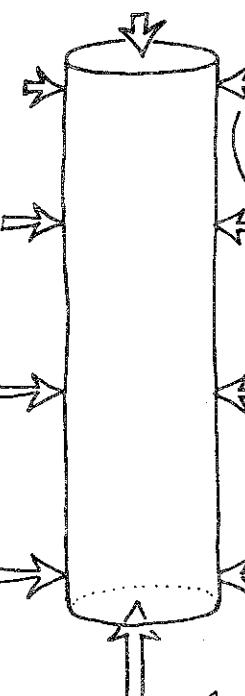


As forças que actuam num disco mergulhado num fluido:



Imagina um disco mergulhado na atmosfera. A coluna de ar que lhe está por cima pesa sobre a sua face superior. Quanto mais alta for essa coluna de ar, maior será a força exercida. Porém, se o disco for extremamente fino, exerce-se sobre a sua face inferior uma pressão de igual valor, embora oposta, e as duas forças anulam-se.





Imagine agora um cilindro. A pressão é mais forte sobre a base do que sobre a parte superior, e a diferença corresponde ao peso de um cilindro de ar do mesmo tamanho. As forças laterais não interferem, pois que se anulam duas a duas.

$$\rightarrow + \leftarrow = 0$$



$\uparrow + \nwarrow =$ Força de Arquimedes
= peso do volume do ar deslocado.



Os 80 gramas de há pouco são pois o peso do ar que eu desloco. Certo!

As forças de Arquimedes desempenham na Natureza um papel importante:

CORRENTES DE CONVEÇÃO

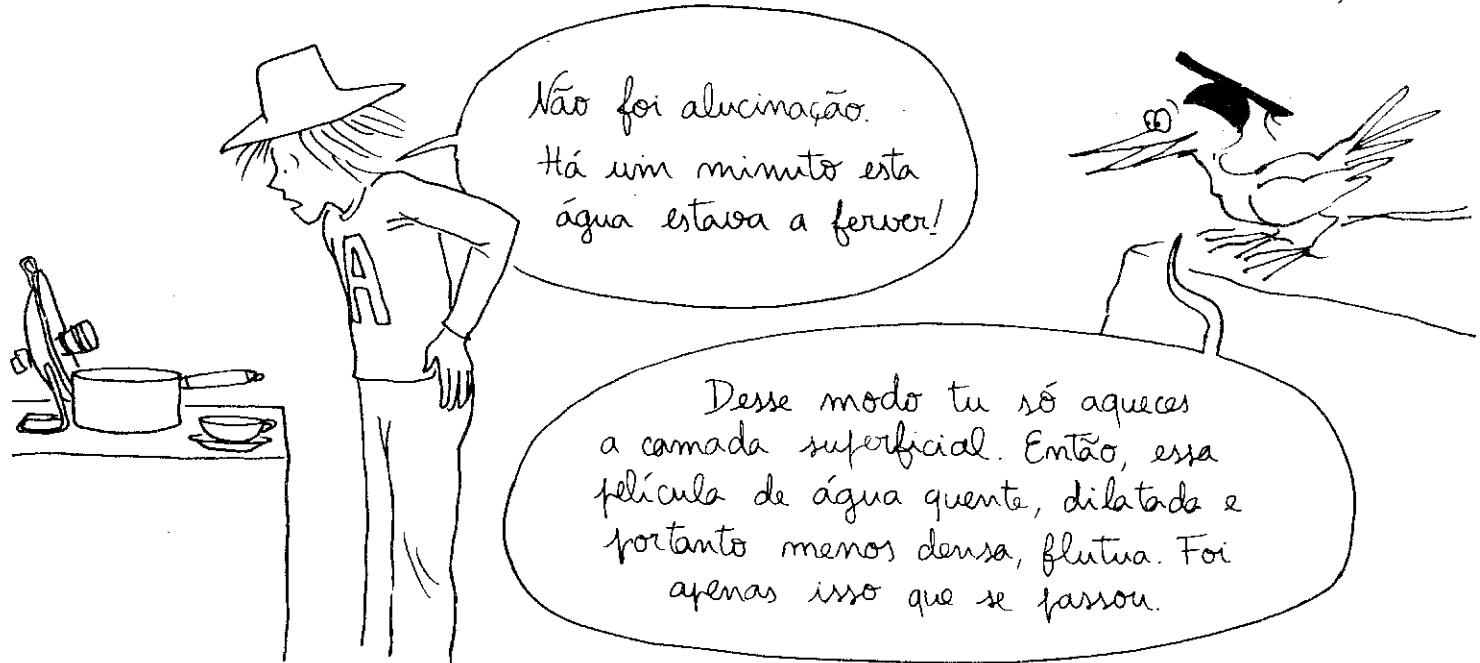
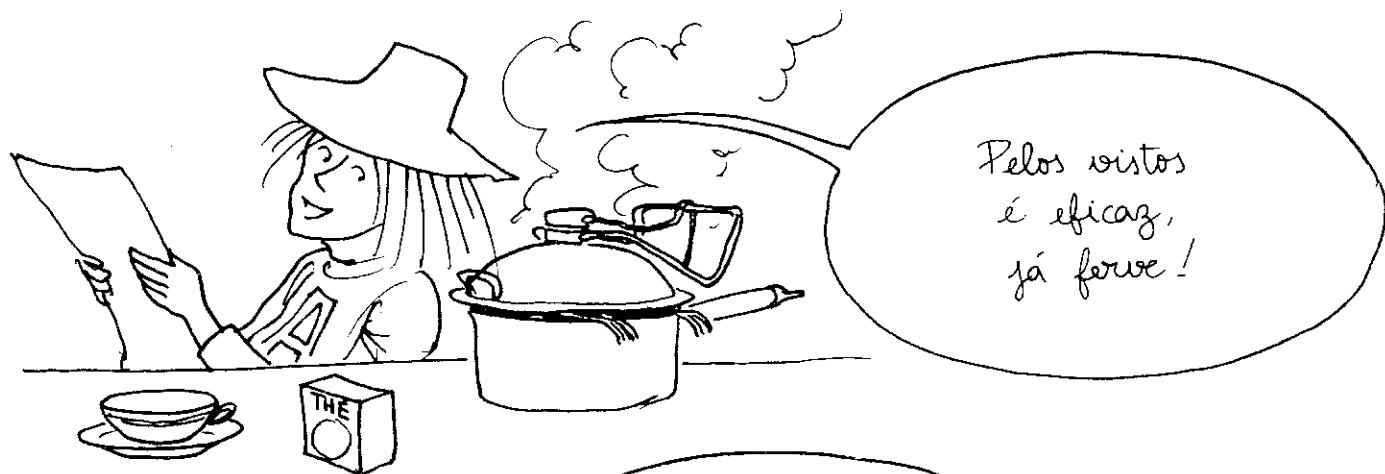


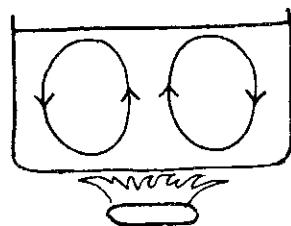
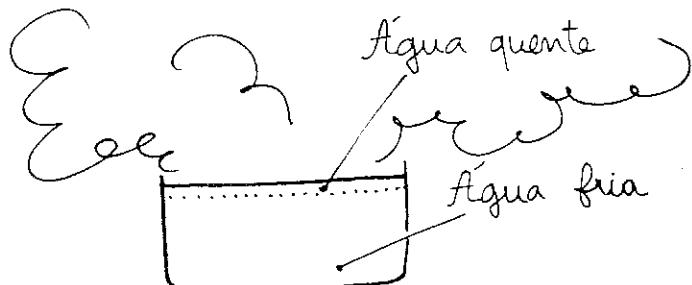
Oitenta gramas...
não é com isso que eu levanto voo...

Vou mas é fazer chá.



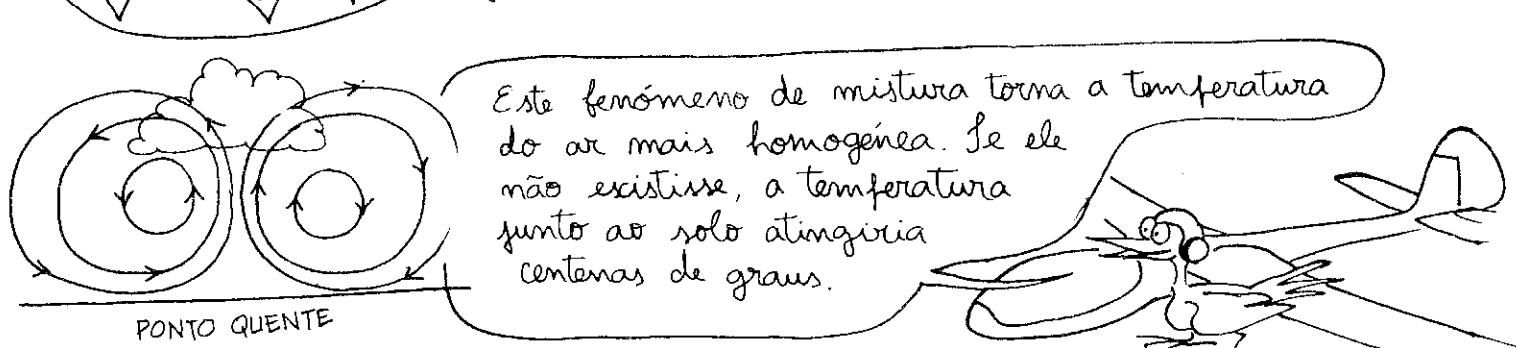
E como é que aqueço a água? Talvez com este irradiação parabólico...





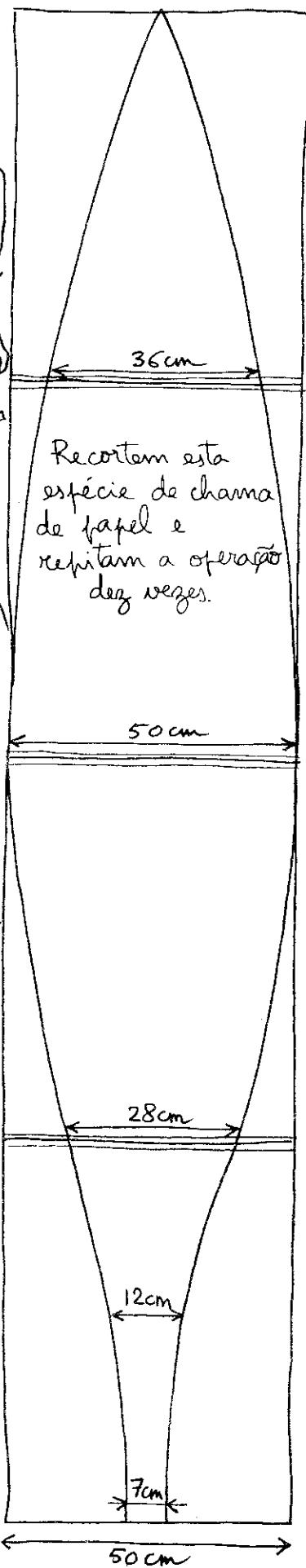
Em contrapartida, se aquecermos a água por baixo, mexe para cima a água, dilatando-se e ficando portanto menos densa, tende a subir. Mas ao chegar à superfície arrefece, contrai-se e volta a descer pelos lados do tacho. A isso chama-se CONVEÇÃO NATURAL.

Na atmosfera verifica-se o mesmo fenómeno. Certos pontos do solo absorvem mais o calor do sol. Nesses pontos, o ar enche-se de humidade (quanto mais quente está, mais água em estado de vapor pode conter). Por outro lado dilata-se e começa a subir. Lá no alto, o arrefecimento condensa o vapor de água em pequenas gotas e obtém-se um belo CÚMULO.

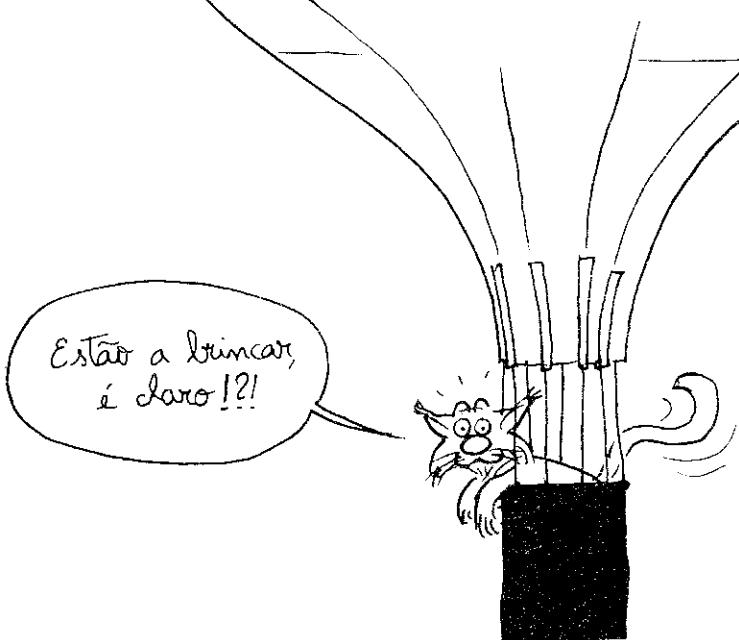




OS MAIS LEVES QUE O AR

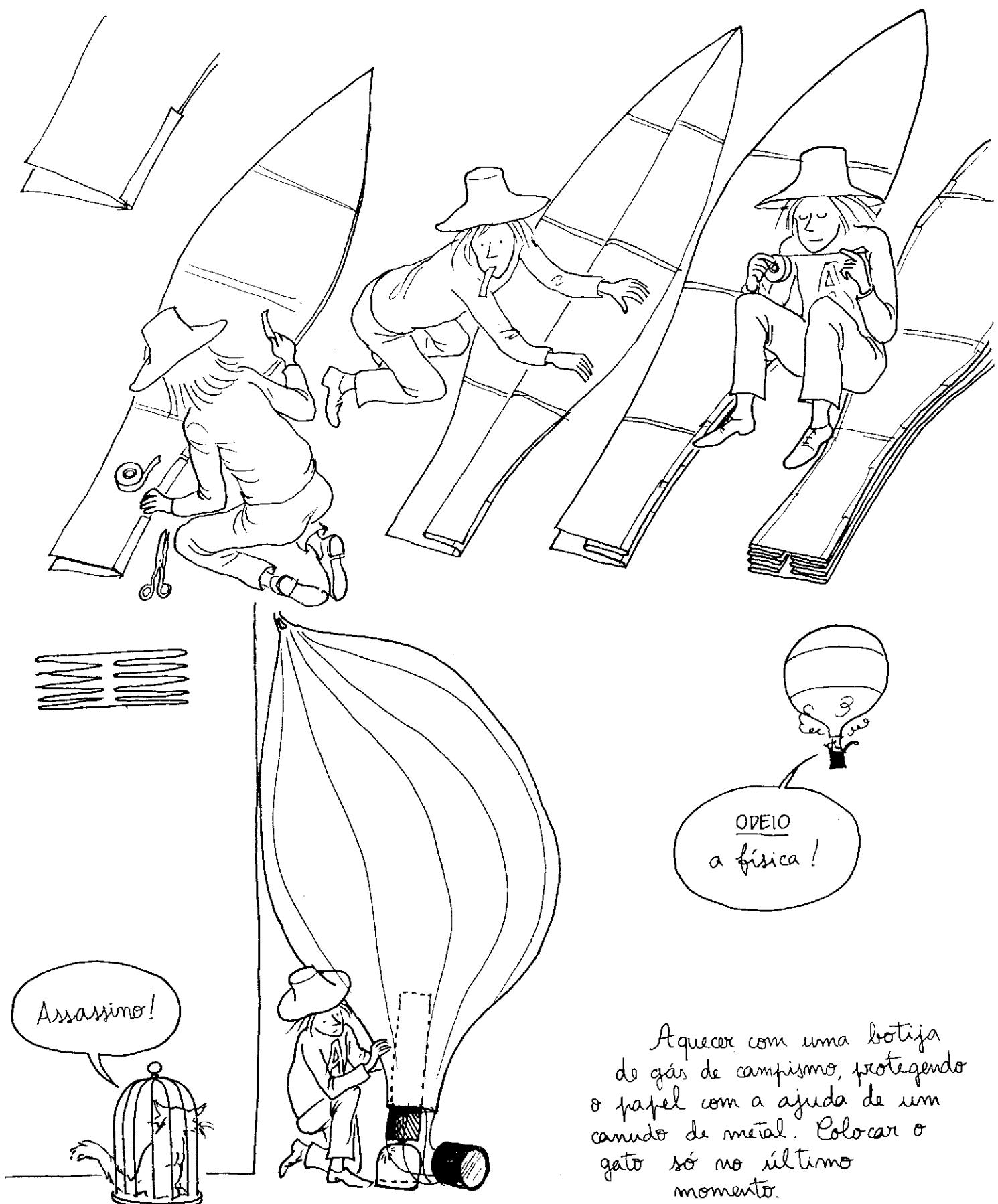


O segredo dos balões: quanto maiores são, melhor funcionam. Podereis construir um igual a este com 40 páginas duplas de qualquer jornal e fita adesiva transparente. O modelo vai indicado. O aparelho foi calculado de modo a poder levar um gato.

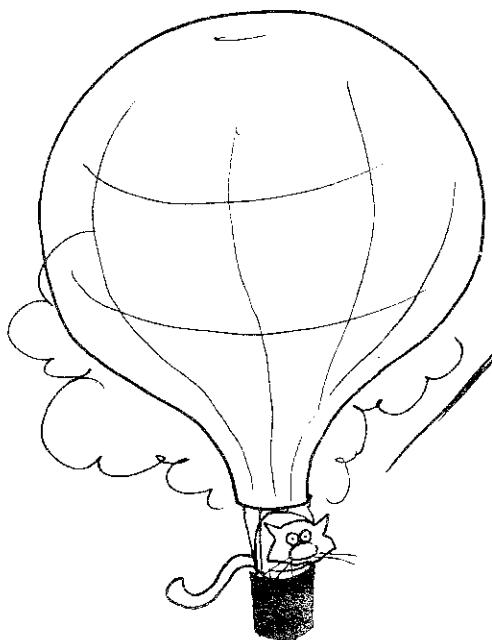


Quatro folhas duplas de jornal, ligadas com fita adesiva.

Vejamos como Anselmo monta o seu maior leite que o ar:



Aquecer com uma botija de gás de campismo, protegendo o papel com a ajuda de um canudo de metal. Colocar o gato só no último momento.



Nunca nenhum gato se
viu em assados destes!



Sonhos de papel... com isto
nunca irei muito alto. Além
disso, esta coisa é um brinquedo
mas mãos do vento e não posso
levá-la para onde quiser...

O segredo do voo,
qual é?



Desfacha-te,
estou
curioso!





Nada a fazer, isto não funciona. Há qualquer coisa que não consegui compreender!



Pssss...

Pssss...



Para voar, Anselmo, é necessário que primeiro te familiarizes com a MECÂNICA DOS FLUIDOS. Voar não é tão fácil como isso!



E um fluido,
o que é ao certo?
É algo que escorre?



Sim, se quiseres.
Mas é também mais complicado do que pensas.



A areia escorre como água.
Haverá alguma relação entre estas
duas substâncias?

A areia é
um fluido?

OS FLUIDOS



Sofia, será que o
princípio de Arquimedes
Também funciona com
a areia?



Experimenta!



Temos aqui dois objectos: uma moeda e uma bola de pingue-pongue.
Segundo o princípio de Arquimedes,
se a areia for um fluido, estes objectos,
quando mergulhados nela, recebem uma
impulsão dirigida de baixo para cima
igual ao peso do volume de
areia deslocada.



Oh lá...

Enterrai a bola e pus
a moeda à superfície.
Logicamente, a moeda
deve descer e a bola
subir.

Nada...

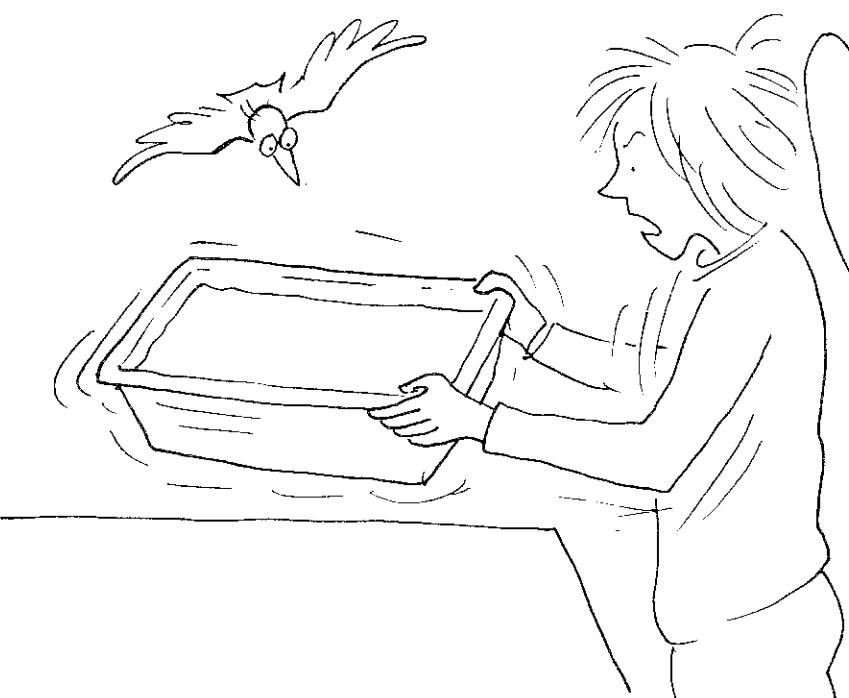
É talvez uma
questão de tempo...

Ficou completa-
mente louco, o
seu amigo?

Com a física é
sempre de ter cuidado...

Por que raio
me meti numa
experiência destas!

Estou
farto!





Nesse caso, um FLUIDO é uma espécie de areia com grãos tão finos que facilmente podem deslizar uns nos outros!??!

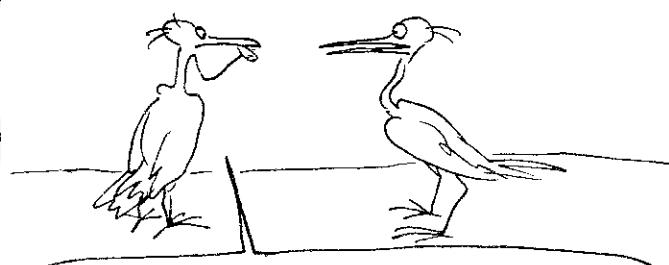
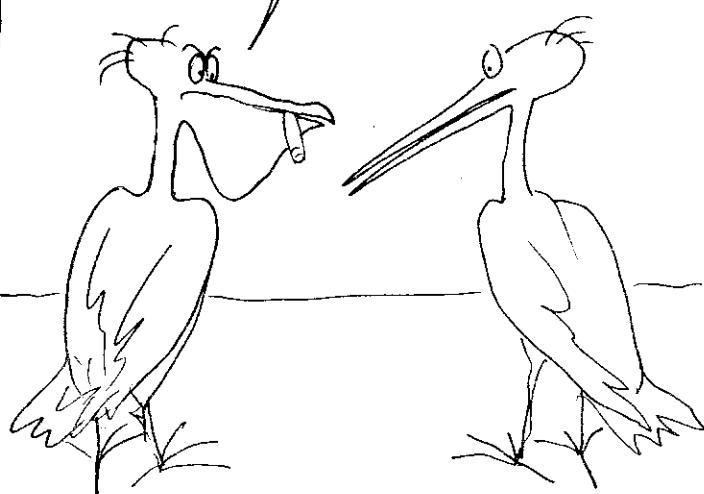
A Sofia explicou-nos que foi assim que Lucrécio, no século I a. C., intuiu os ATÔMOS (de natura rerum)



A Sofia sabe sempre tudo melhor do que as outras pessoas!

Assim, meu caro, o queijo "camembert" seria um fluido muito viscoso. E parece que mesmo o vidro... (*)

Quer você diger que ... o princípio de Arquimedes!



Não me ponha na boca coisas que eu não disse!

(*) O vidro é efectivamente um LÍQUIDO extremamente viscoso.





Como vês, Anselmo, para compreender bem um fluido, é preciso não esquecer, à partida, que ele é constituído por um conjunto de moléculas. Moléculas essas que são como pequenas bolas, que deslizam e fazem ricochete umas sobre as outras, naquilo a que chamamos o CAOS MOLECULAR.

O caos ainda
vá lá; agora
o resto...



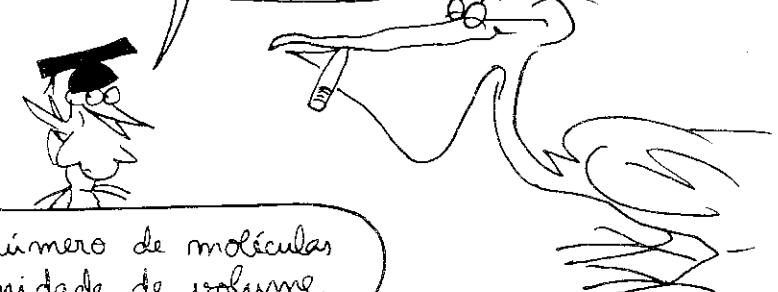
Em cada centímetro cúbico do ar que respiramos existem vinte mil bilhões dessas pequenas bolas. As moleculares, são tão pequenas que nem com o mais potente dos microscópios as poderíamos ver.

A DENSIDADE



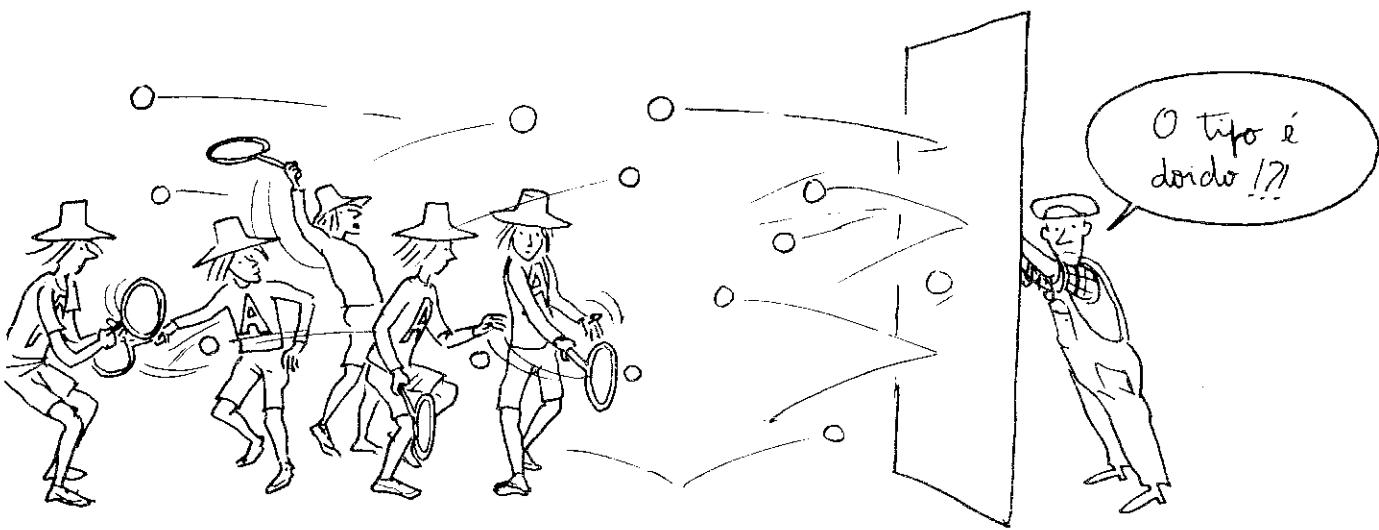
O conceito de densidade é de tal modo intuitivo que estivemos quase para não falar dele.

É o número de moléculas por unidade de volume.



A PRESSÃO:

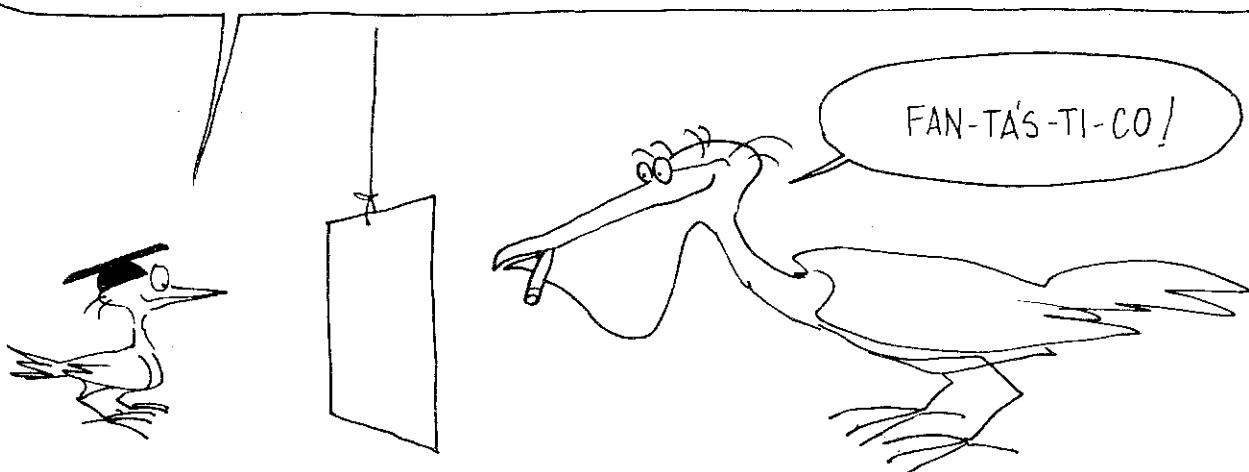




São os inumeráveis choques moleculares produzidos sobre um tabique que dão origem ao fenômeno a que chamamos PRESSÃO.

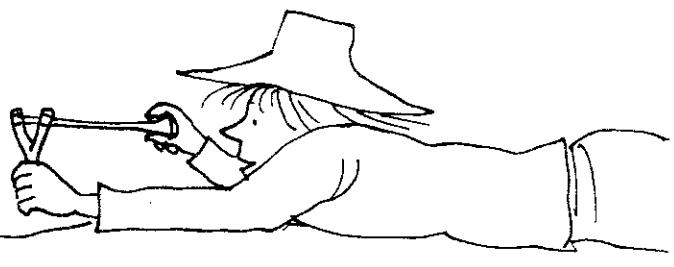


Ele mantém-se imóvel, porque se equilibram os impulsos dos choques das moleculas, sobre uma e a outra face.



A ENERGIA CINÉTICA

Um objecto de massa m , animado de uma velocidade v ...



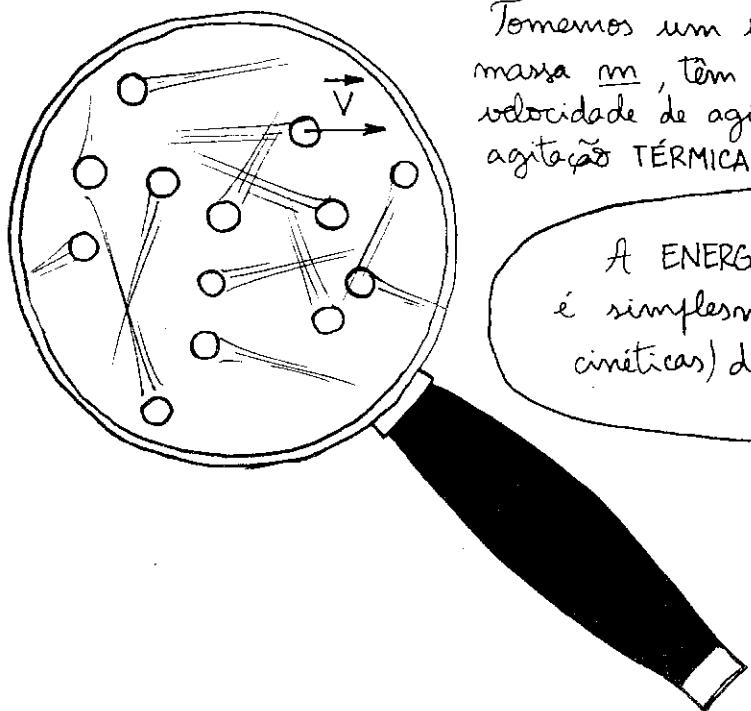
... possui, POR DEFINIÇÃO,
uma ENERGIA CINÉTICA igual

$$\text{a } \frac{1}{2} m v^2$$

A ENERGIA TÉRMICA:

Tomemos um pouco de gás. As suas moléculas, de massa m , têm movimentos desordenados. A sua velocidade de agitação, chamada velocidade de agitação TÉRMICA, é v .

A ENERGIA TÉRMICA do gás, do SISTEMA, é simplesmente a soma dos $\frac{1}{2} m v^2$ (as energias cinéticas) de todas as moléculas que o constituem.



A TEMPERATURA:



A **TEMPERATURA ABSOLUTA** de um gás é a medida do $\frac{1}{2} m V^2$ (a energia cinética de agitação) de uma **MOLÉCULA** nesse gás.

St. Diversão



Não se pode descer mais baixo, não é? Não se pode estar menos agitado do que quando se está imóvel...

Sem agitação molecular não há mais embates nos tabiques e portanto já não há pressão!



Esta já eu percebi!



Resumindo: quanto mais moléculas existirem e quanto mais agitadas (quentes) estiverem, maior será a pressão do gás.



O CALOR



Um objecto colocado num fluido é submetido a uma infinidade de pequenos choques moleculares. Dessa maneira, as moléculas podem transmitir e trocar energia, CALOR. A capacidade de transmitir calor cresce com a densidade do fluido. Por essa razão, a água conduz melhor o calor do que o ar.



Quando um cosmonauta "caminha" no espaço, ele desloca-se num ar muito rarefeito (dez moléculas por centímetro cúbico). O grau de agitação das moléculas corresponde a uma temperatura de 2500° . No entanto, esse ar não queima o cosmonauta, porque é demasiadamente pouco denso para transmitir de um modo eficaz o seu calor.

Brrr... 2500° e está cá um frio!

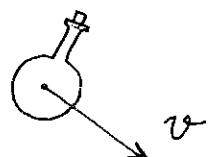
A temperatura é elevada, mas o fluxo de calor é ínfimo.

ENERGIA DE CONJUNTO:

Temos aqui um conjunto, um SISTEMA de N moléculas, à temperatura absoluta T .



Anselmo lança pelo ar a garrafa de gás, dando-lhe uma VELOCIDADE DE CONJUNTO v .



A essa velocidade de conjunto se corresponde uma ENERGIA CINÉTICA DE CONJUNTO $\frac{1}{2} M v^2$, sendo M a massa total de gás contida na garrafa.

Quer você dizer então que há duas espécies de energia cinética?

Sim e não...

O sistema das moléculas contidas no frasco tem uma ENERGIA TOTAL que é a soma da ENERGIA DE CONJUNTO e da energia de agitação térmica.

É mesmo complicado, esta cosa da mecânica dos fluidos!

Não queres voar?
Nesse caso aprende
a voar!

Bem... o livro diz que, num sistema de moléculas, se pode transformar a energia de agitação térmica em energia de conjunto.

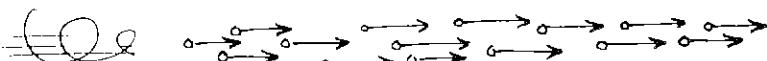
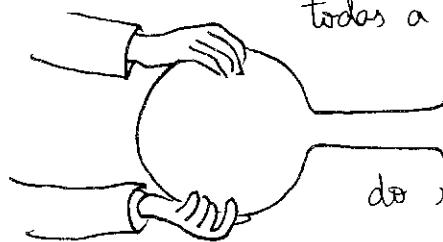
Dito de outra maneira:
CALOR em MOVIMENTO.



A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA:



Se esta transformação CALOR \rightarrow MOVIMENTO for total, as moléculas terão todas a mesma velocidade v (de conjunto) e a energia



do sistema será a energia de conjunto $N \times \frac{1}{2} m v^2$

Segundo o **PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA**, a energia total do sistema, quer dizer, a soma da energia de conjunto e da energia cinética de agitação (térmica) mantém-se **CONSTANTE**, neste processo.

S. Díscetto

Se bem compreendi, no caso particular dessa expansão total, a conservação da energia dá $N \times \frac{1}{2} m v^2 = N \times \frac{1}{2} m v_0^2$, ou seja, $v = v_0$, não é verdade?



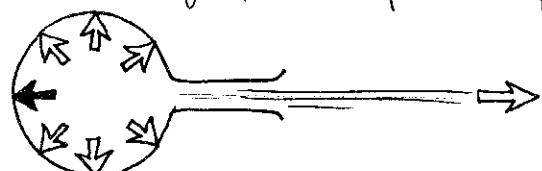
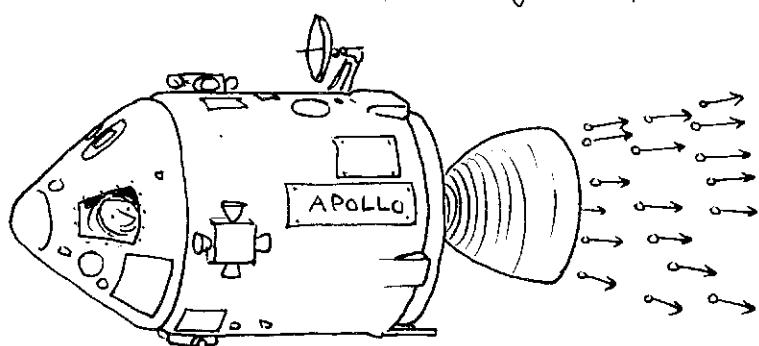
Exactamente!

Aplicação dessa transformação de energia térmica em energia cinética de conjunto:

PROPOULSAO POR REACÇÃO

O difusor dos motores de foguetão tem uma forma geométrica que permite da melhor maneira a transformação calor \rightarrow velocidade. A força propulsiva

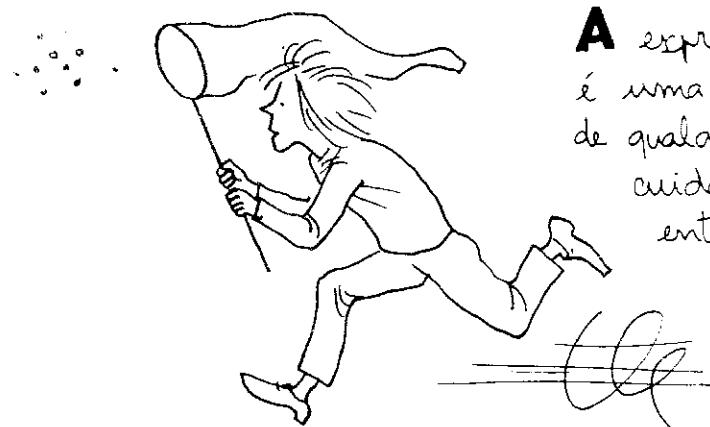
resulta do facto de, durante essa expansão, deixar de ser nula a soma das forças de pressão que



actuam sobre o envoluto



ESCOAMENTOS COM DENSIDADE CONSTANTE



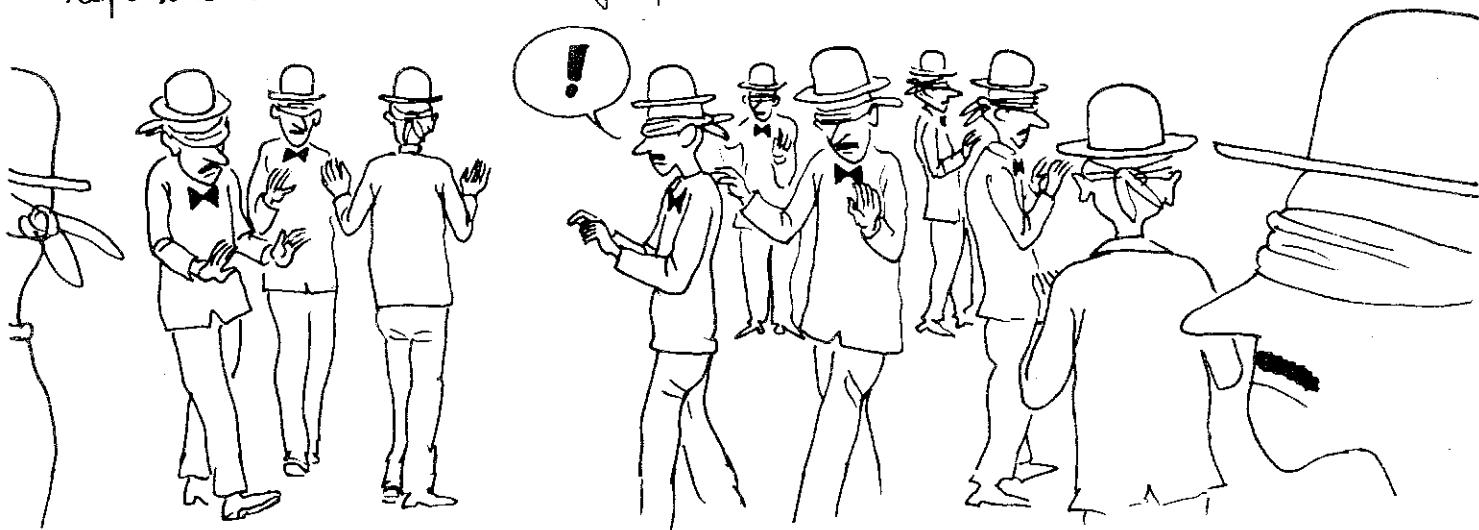
A expressão "livre como o vento" não é uma expressão vã. As moléculas de qualquer gás têm horror à promiscuidade e levam a peito manter entre si a maior distância possível.



- que é que leva as moléculas a fugirem no momento em que as duas raquetas se aproximam?



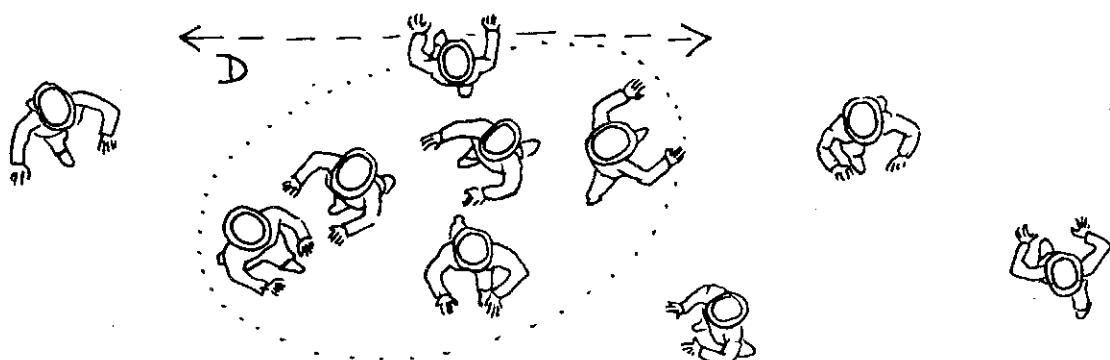
Imagine-se um local onde pessoas de olhos vendados andam de um lado para o outro. Essas pessoas vão desempenhar o papel de moléculas, e a velocidade a que se deslocam, ao acaso, em todas as direcções, representa a velocidade de agitação térmica V .



Elas não se dirigem para qualquer sítio em especial. Ao fim de t segundos, em média, depois de terem percorrido um trajecto \underline{l} , chocam. Chama-se a \underline{l} o PERCURSO LIVRE MÉDIO e a t o TEMPO DE PERCURSO LIVRE MÉDIO.

No ar que respiramos, a velocidade de agitação térmica, V , é aproximadamente 340 m/seg. O percurso livre médio molecular ronda os cem milésimos de centímetro, enquanto que o tempo que decorre entre duas colisões de uma molécula com as suas vizinhas não ultrapassa dez milésimos de milionésimo de segundo.

Nada incita essas pessoas de olhos vendados a juntar-se; pelo contrário: o seu incessante movimento de agitação levaria qualquer ajuntamento de diâmetro D a dispersar-se num tempo D/V .



Efectivamente, é esse o tempo que os indivíduos levam a percorrer a distância D , ou seja, a deixar o lugar de ajuntamento.

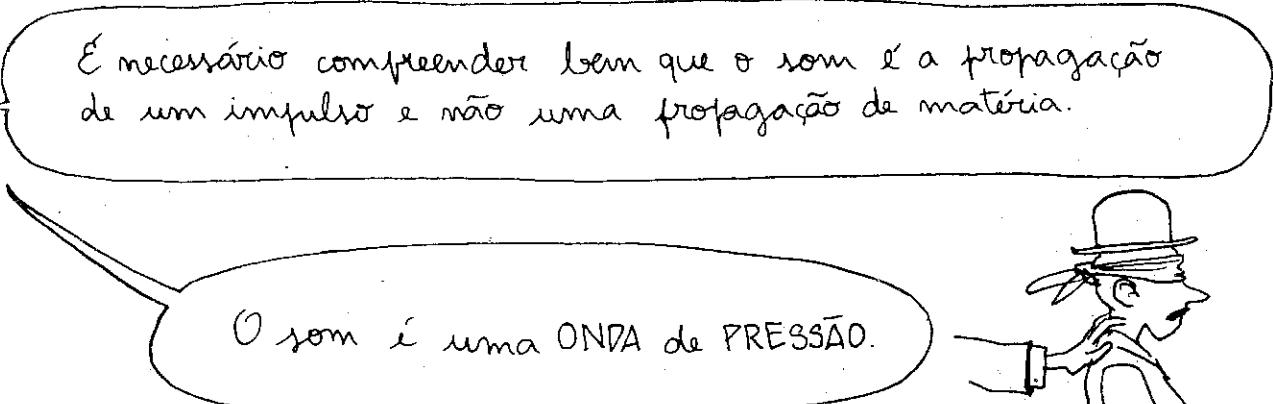


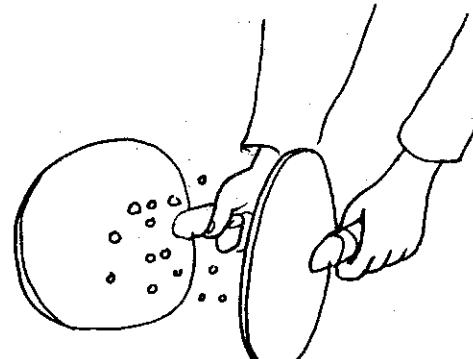
Estes indivíduos, que ainda por cima são mudos, não veem mais longe do que a extremidade das suas mãos. Se um objecto entrar pelo meio deles a uma velocidade v inferior à velocidade de agitação V , poderão avisar-se uns aos outros, empurrando sucessivamente o mais próximo. Desta forma, poderão afastar-se ANTES que o objecto os atinja. A informação é transmitida à velocidade a que se deslocam, quer dizer, à velocidade de agitação V .

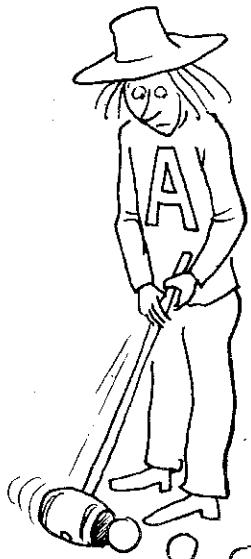
O SOM

é a propagação, a DENSIDADE CONSTANTE, de um impulso de pressão. Trata-se de uma espécie de onda de choque, que se propaga à velocidade V .

É necessário compreender bem que o som é a propagação de um impulso e não uma propagação de matéria.

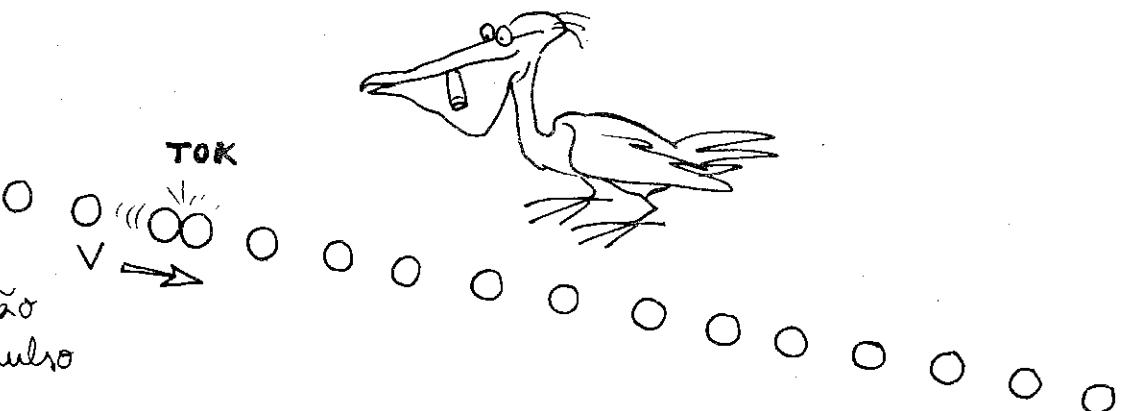
O som é uma ONDA de PRESSÃO.

É à velocidade do SOM que as moléculas são avisadas do mais pequeno deslocamento das raquetas de Anselmo. Elas podem portanto fugir facilmente, mantendo a sua DENSIDADE CONSTANTE.



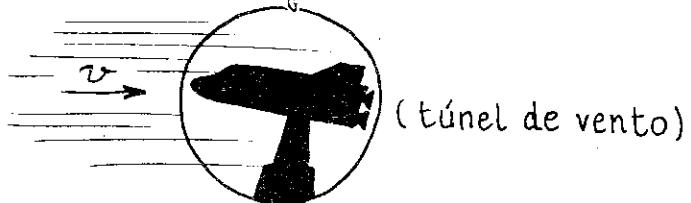
Anselmo alinhou algumas bolas de "crequete". Comunicando um impulso à primeira, ela transmite-o à segunda... e assim sucessivamente:

Imagem linear da propagação do SOM.



A noção de velocidade é RELATIVA. Assim, v será para nós indiferentemente a velocidade de um objecto penetrando num fluido em repouso, ou a velocidade de conjunto do

gás que atinge um objecto FIXO:



(túnel de vento)

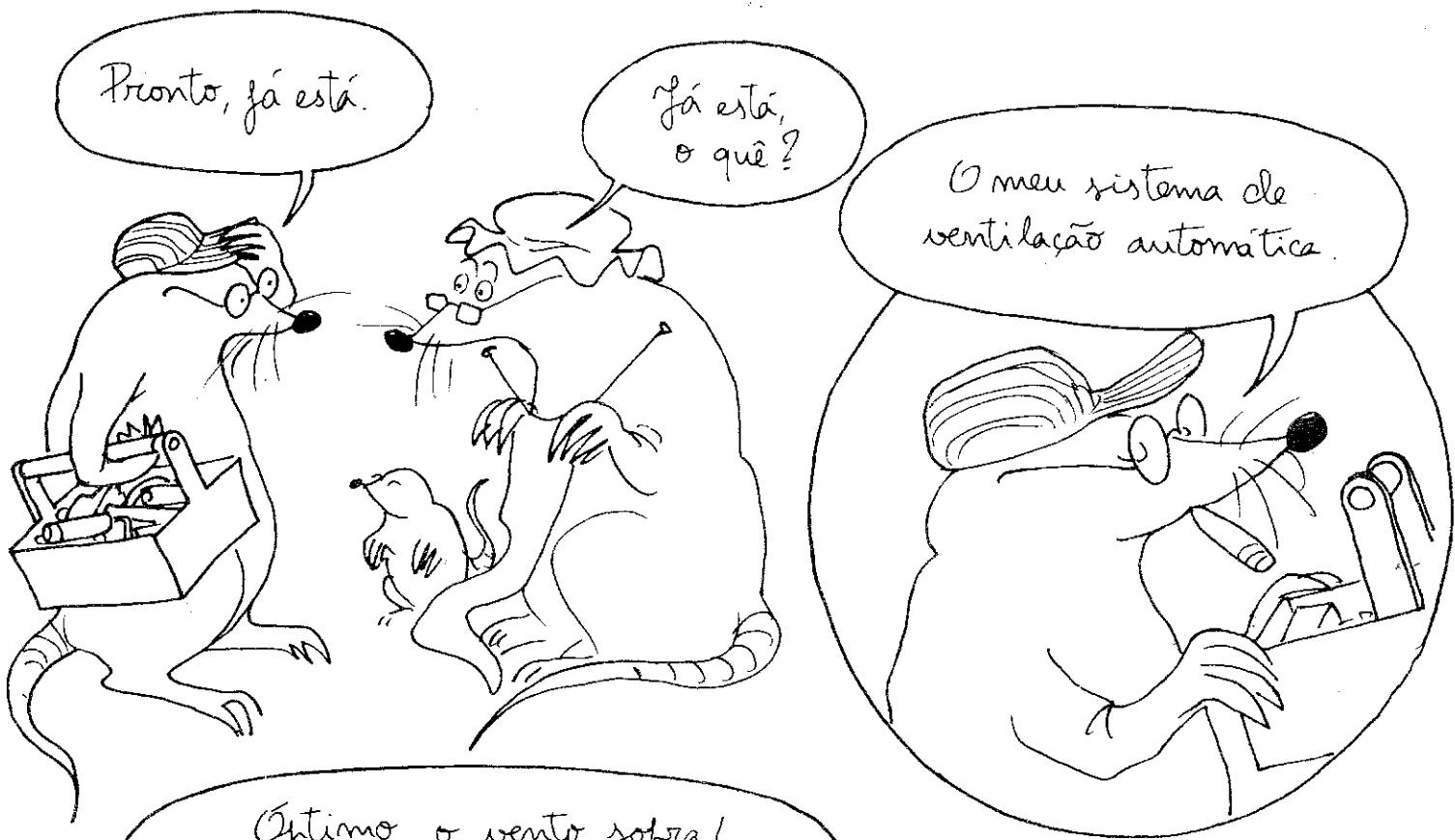
A RELAÇÃO $M = \frac{v}{V}$ CHAMAR-SE-A' POR DEFINIÇÃO NÚMERO DE MACH. V É A VELOCIDADE DO SOM.

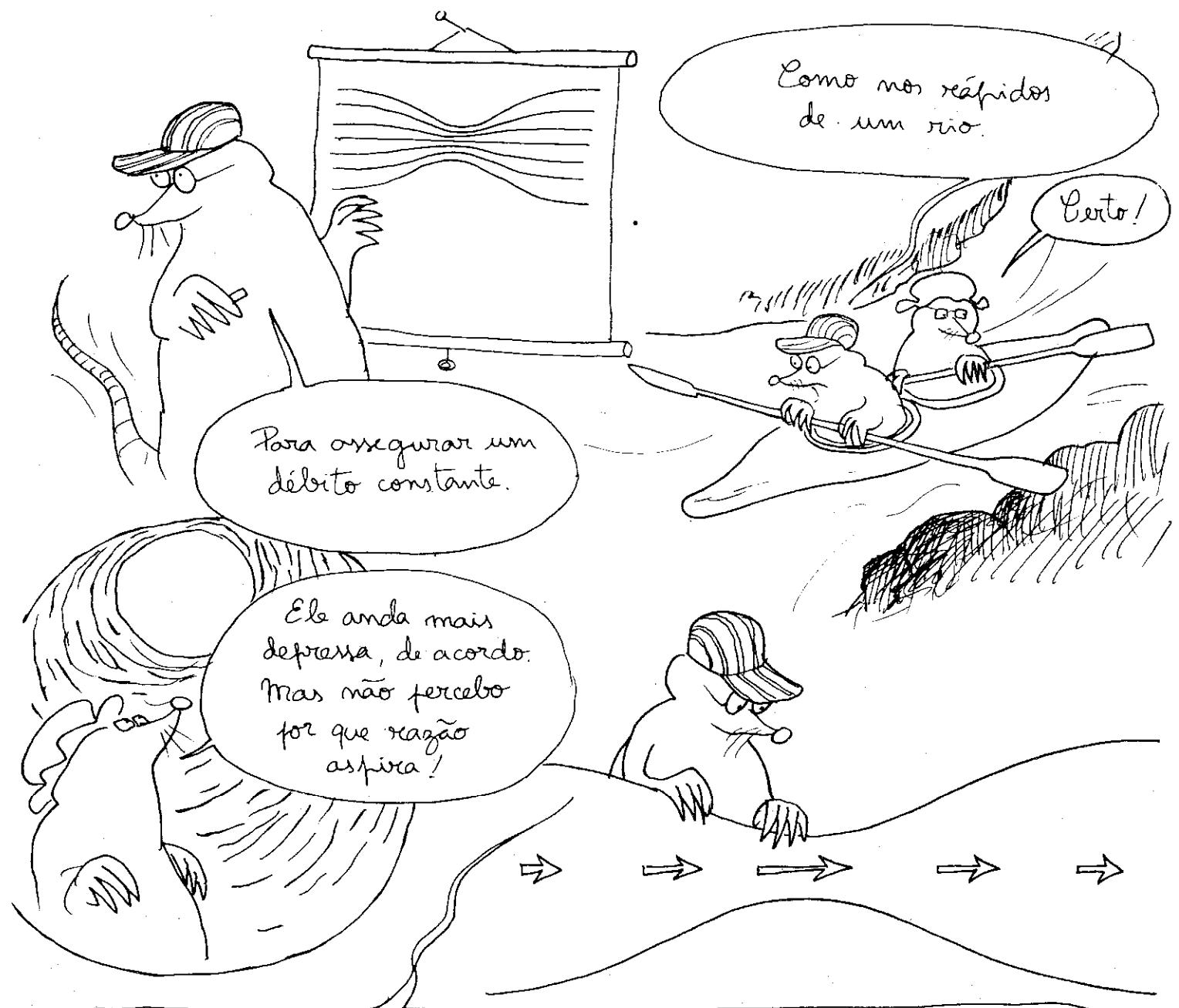
SE $M < 1$, QUER DIZER, SE $M < 1$ DIZ-SE QUE O FLUIDO ESTA' EM REGIME SUBSÓNICO. O DESLOCAMENTO FAR-SE-A' A UMA DENSIDADE CONSTANTE E CHAMAR-SE-A' "INCOMPREENSÍVEL"

fb Direcção

LEI DE BERNOULLI





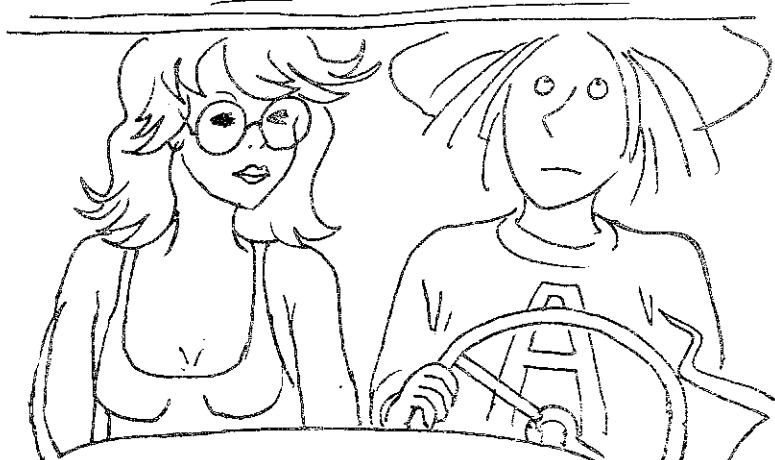
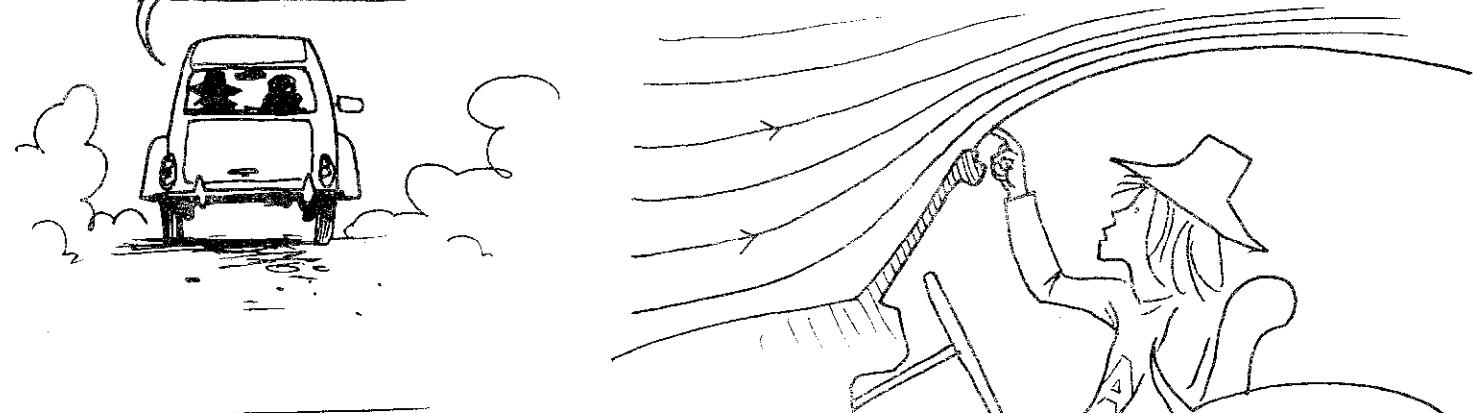


Imaginejemos um elemento de fluido (uma fração de moléculas) que passa por uma zona apertada. Se sua energia vai manter-se constante, a aceleração vai forçar fazer-se à custa da energia térmica, ou seja, do movimento de agitação.





É curioso, quando estávamos parados a capota estava completamente distendida e fendia para o interior. Agora que vamos a andar está totalmente inchada para o exterior.



Então o ar tem de acelerar para contornar o carro a uma densidade constante. Se temperatura baixa, baixa portanto também a pressão, e a capota é aspirada. Agora percebo!

Pela mesma razão o perfume sobe no meu vaporizador...

... e o fumo é aspirado mas chaminé, graças ao vento.

Desde quando é que as chaminés falam?

É curioso, eu sória antes levado a crer que o vento se embriava pela chaminé.

De acordo com a

LEI DE BERNOULLI :

Pressão e velocidade variam inversamente.

a Direção

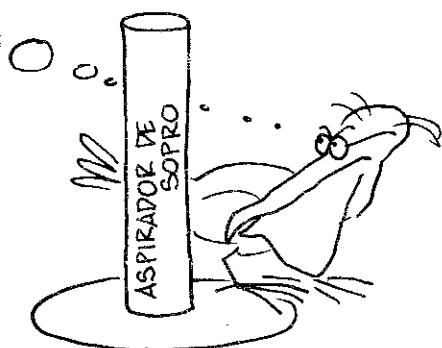
Na realidade, a mecânica dos fluidos desafia muitas vezes a nossa intuição e o nosso senso comum.

Exemplo de

PARADOXO

ligado à lei de Bernoulli:

Não é nada
intuitivo.
Emfim...

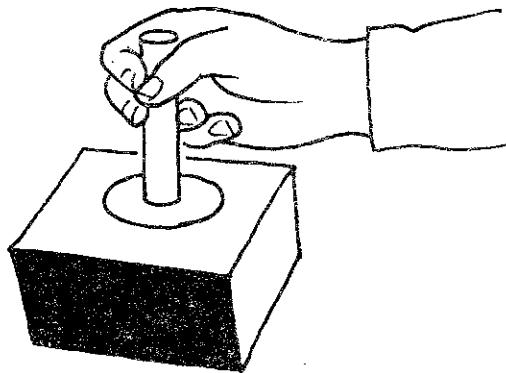


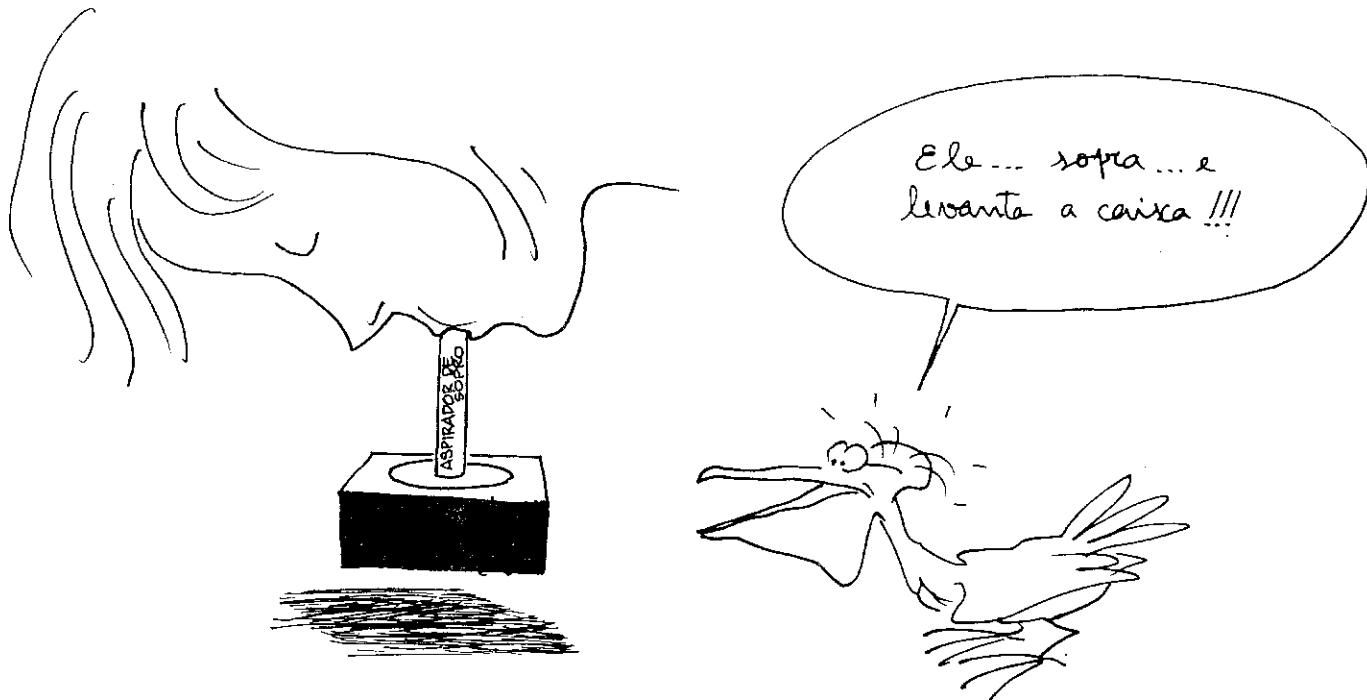
Que raio é isto?
Mais um dos seus
truques!

Aparentemente,
é um simples tubo
colado num disco.

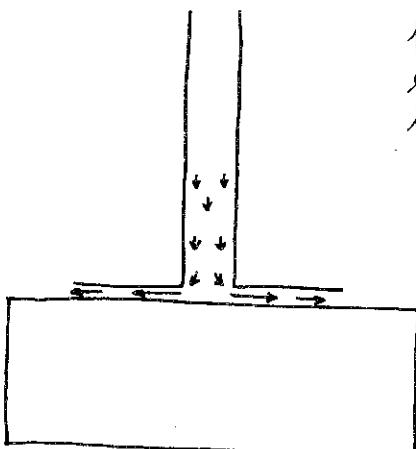
ASPIRADOR DE
SOPRO

Tubo esse que ele
põe na num caixa
de fósforos!!!

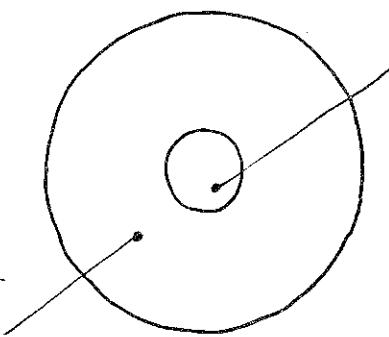




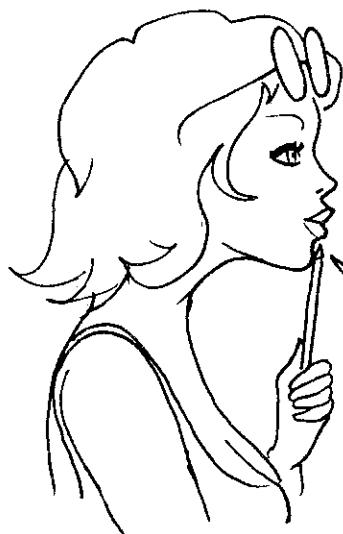
Na ligação cilindro-disco, a secção de passagem do gás diminui bruscamente e o ar é violentamente acelerado. A pressão torna-se então inferior à pressão atmosférica.



Em relação à pressão atmosférica, esta parte encontra-se em depressão.

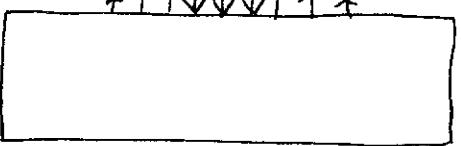


O porção da caixa que fica em frente do canal central encontra-se em sobrepressão, relativamente à pressão ambiente.



Ora acontece que o resultado de tudo isto é uma sucção.

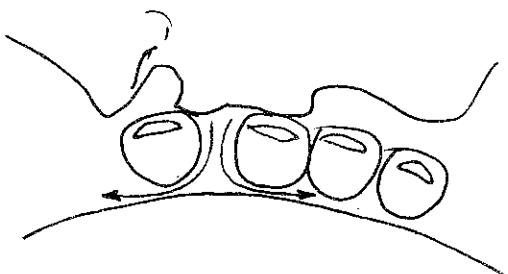
+ ↑↑↓↓↓↑↑↑



Pode-se realizar uma experiência análoga com uma simples folha de papel:



No momento em que se sopra, solta-se a folha. Durante um curto momento ela ficará agarrada.



Atenção:

É preciso soprar COM FORÇA!

a Direcção

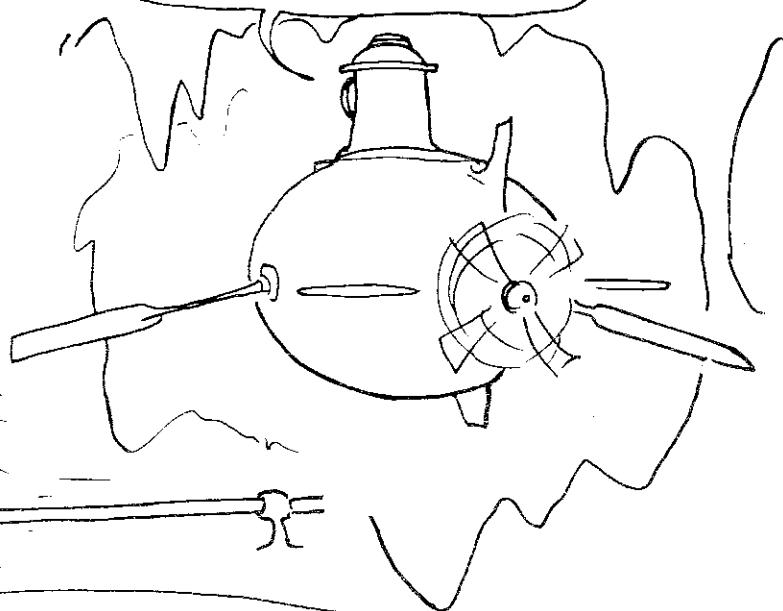
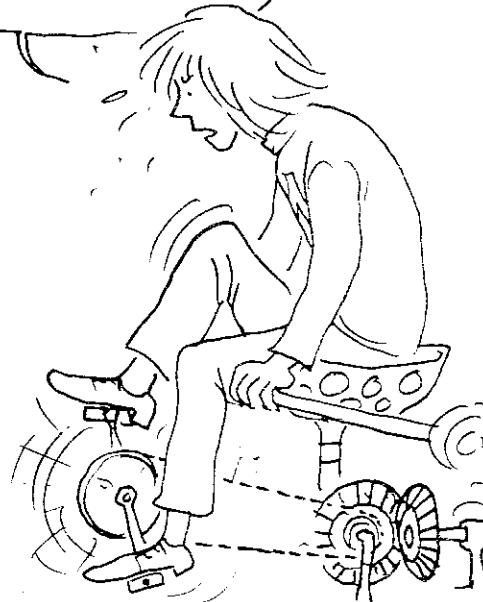


O SONHO DE ANSELMO:

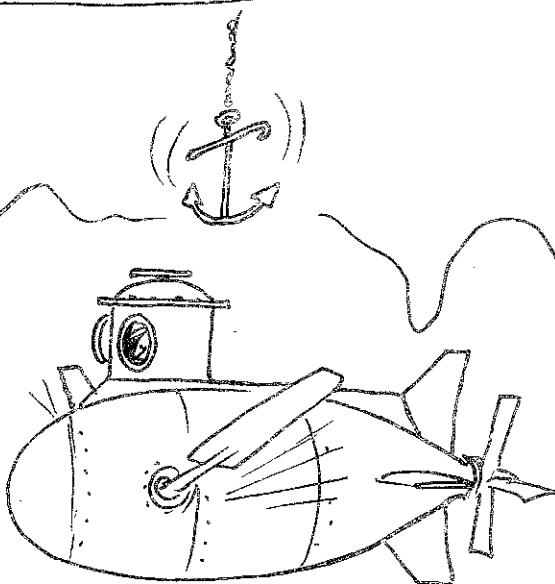


Diabo, estou há uma hora a pedalar...

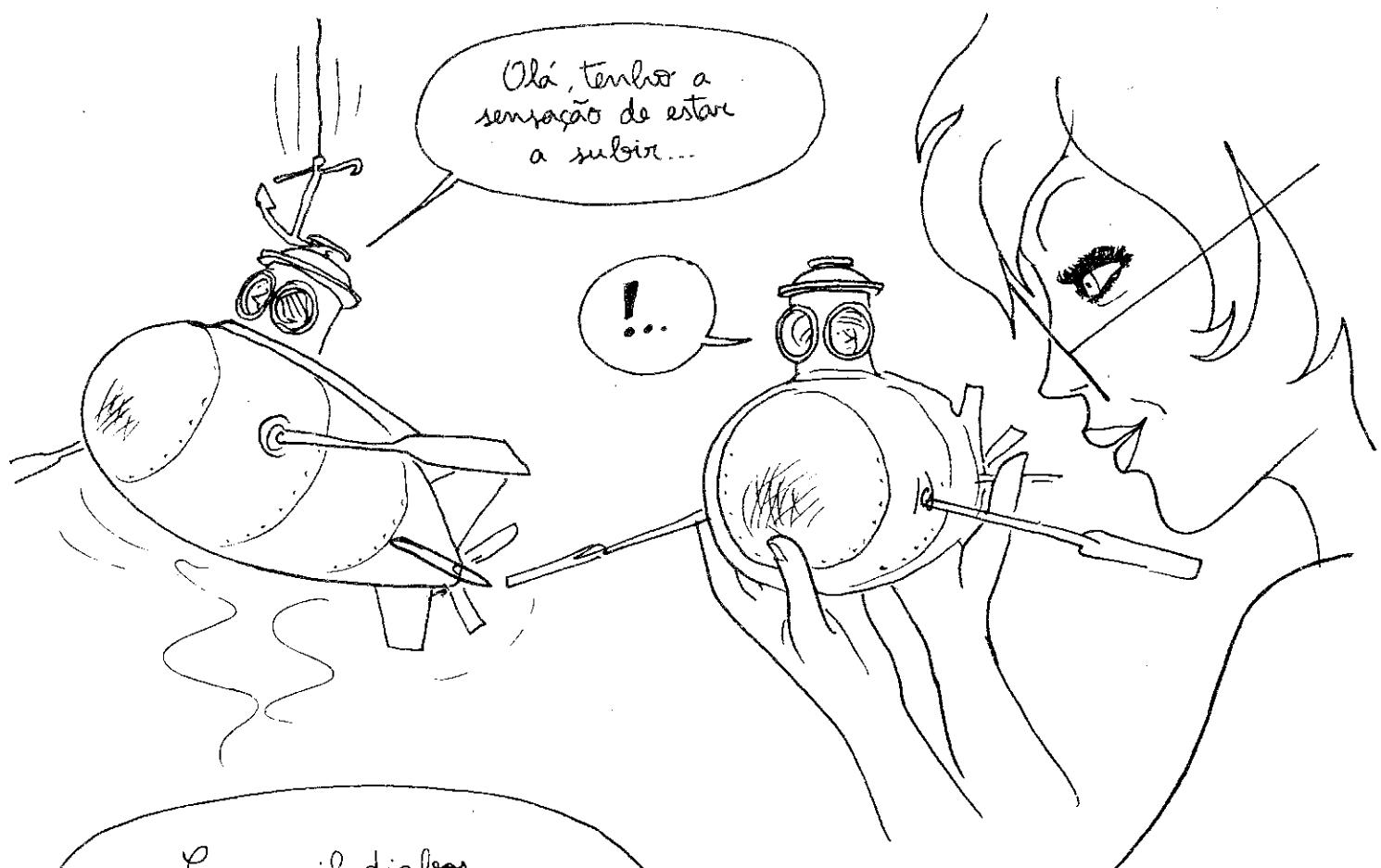
... e não saio do mesmo sítio!



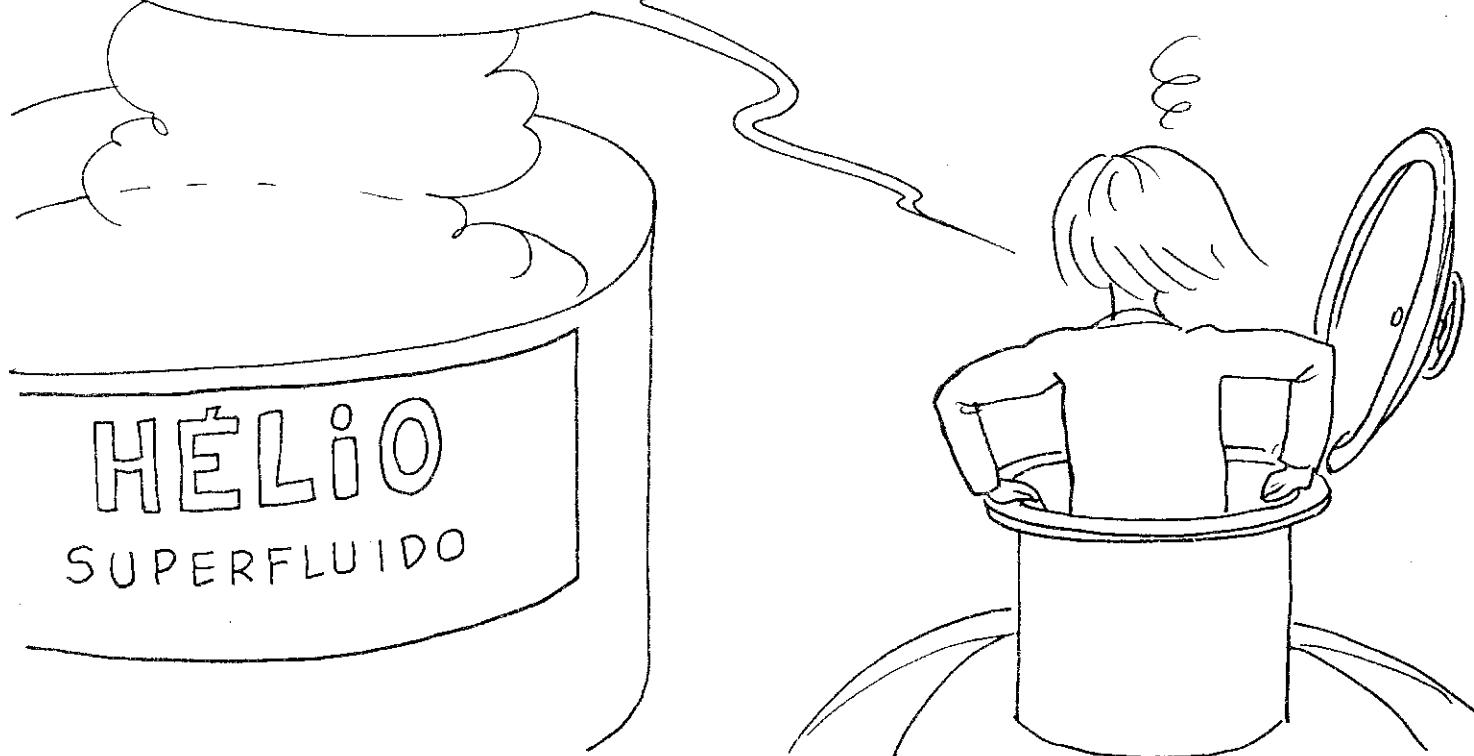
Experimentemos os remos...
Também não dá nada... e não
sinto qualquer resistência!!

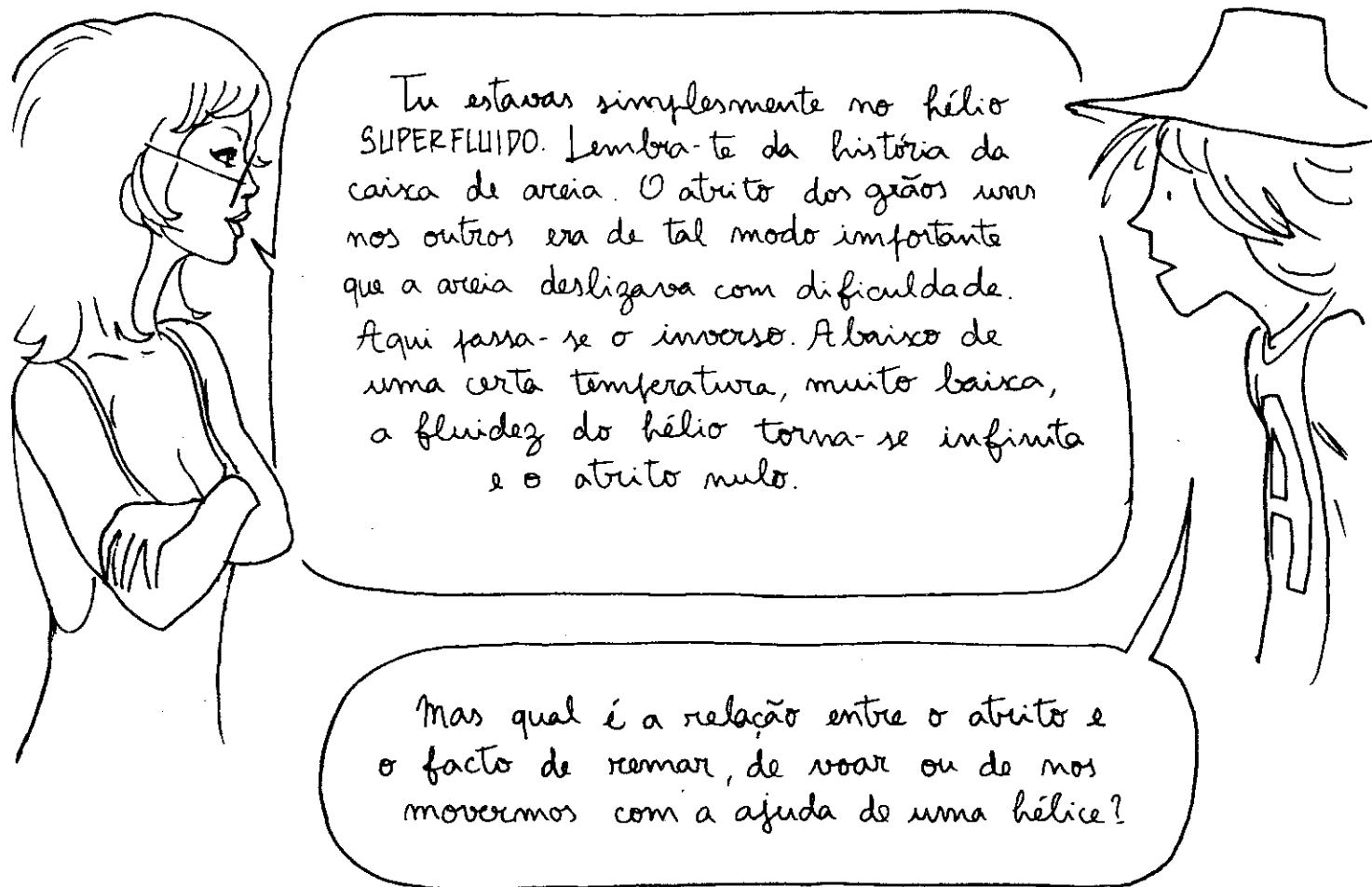


Lerá que estou no
vazio? Não, se estivesse
no vazio, o meu
submarino não
flutuava!



Com mil diabos,
Sofia, explica-me o que
é que tudo isto
significa!





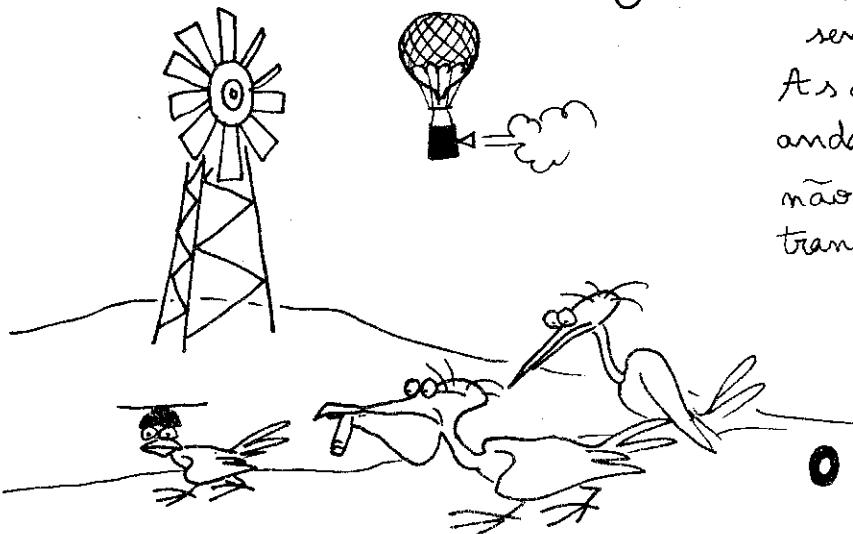
Se o ar fosse SUPERFLUIDO, o teu pára-quedas não serviria para nada. Pior do que isso, não abrira, e cairias em queda livre.



O primeiro animal que resolveu escalar os céus depressa percebeu que precisava de se agarrar, de uma maneira ou de outra, a esse elemento.

Assim, o voo de um mafioso deserto que o ar assemelha-se a uma corrida permanente, em que o protagonista tenta afiliar-se num meio inconsistente que nem cessar lhe foge.

De qualquer modo, é necessário encontrar apoio nesse meio.



Se ele fosse SUPERFLUIDO, as moléculas deslizariam umas sobre as outras, e sobre os objectos, sem qualquer ATRITO.

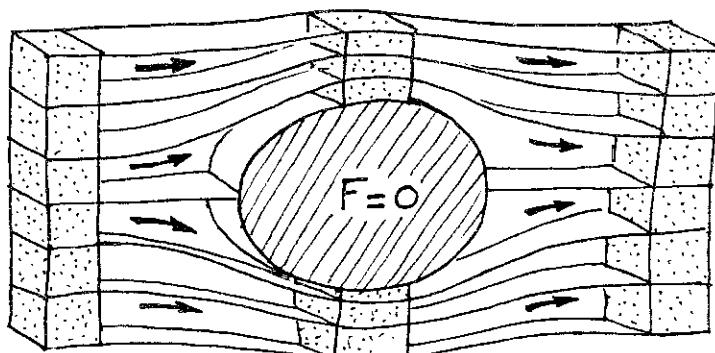
As aves seriam então obrigadas a andar a pé, os moinhos de vento não funcionariam e os transportes aéreos só poderiam ser assegurados por balões a facto.

O voo estaria pois ligado ao atrito gasoso.

FLUIDOS COM ATRITO

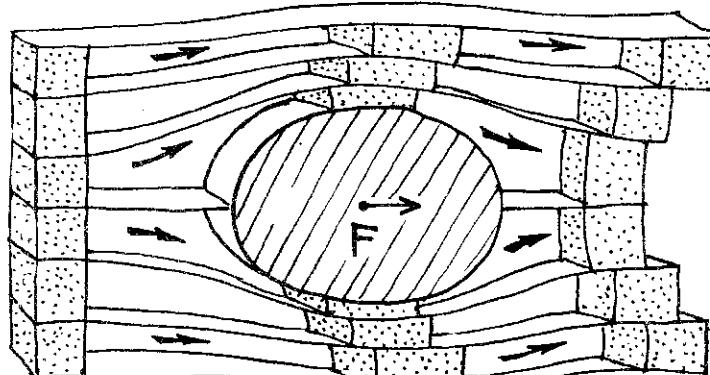


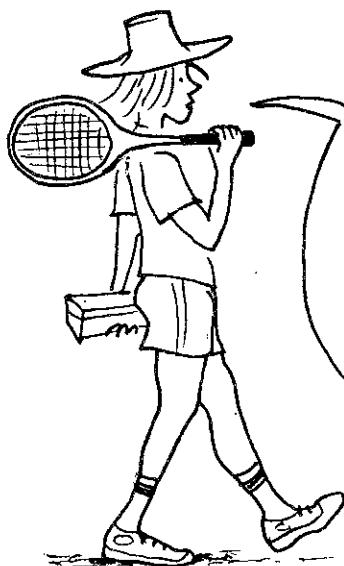
Tal como estes pratos, as camadas sobrepostas de gás deslizam umas sobre as outras com um certo atrito.



Imaginejemos um objecto imóvel para o qual convergem moléculas que vamos representar como situadas em caixas de forma cúbica.

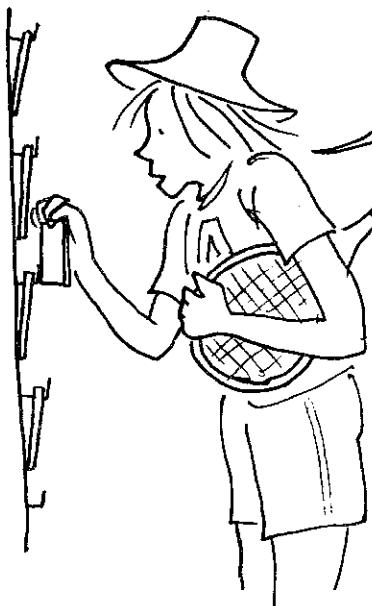
- Na ausência de qualquer atrito, as moléculas, depois de terem contornado o objecto, ficam de novo empilhadas umas sobre as outras, como a montante.
- Em contrapartida, o atrito vai retardar as moléculas situadas junto do objecto. Isto querendo, as "caixas" ficarão desalinhasadas. O objecto trava o gás e este, reciprocamente, exerce uma força F sobre o objecto: A FORÇA DE ATRITO.





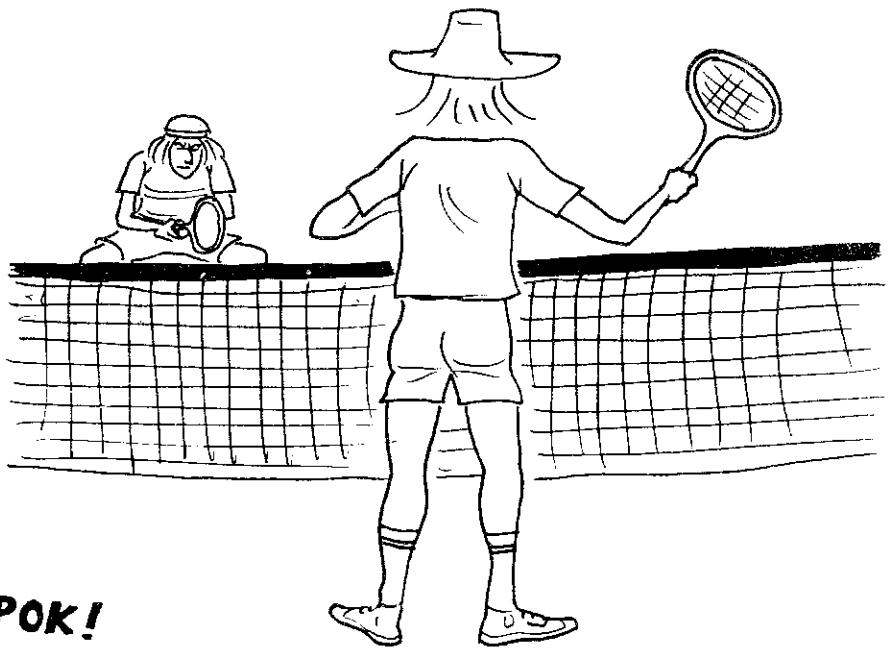
Tudo isto é muito complicado...
Vou descansar um pouco jogando ténis.
Ao menos aí é mecânica rendimentar,
simples balística. Bate-se numa bola e
já está: se se calcular bem, ela vai
cair do outro lado do campo.

A BOLA COM EFEITO



Vou-me inscrever. Olha,
há um lugar livre.
Björn Borg... não conheço.

Pronto?

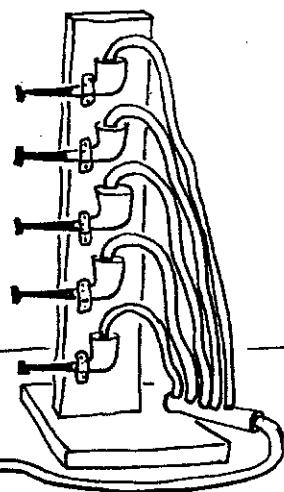






Vejamos, Borg atira a bola da esquerda para a direita, na figura da página anterior. Vou fazer com que o ar incida sobre a bola da direita para a esquerda, e que vêm a dar no mesmo.

Anselmo constrói um túnel de vento.

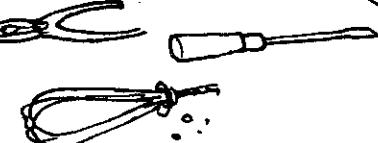


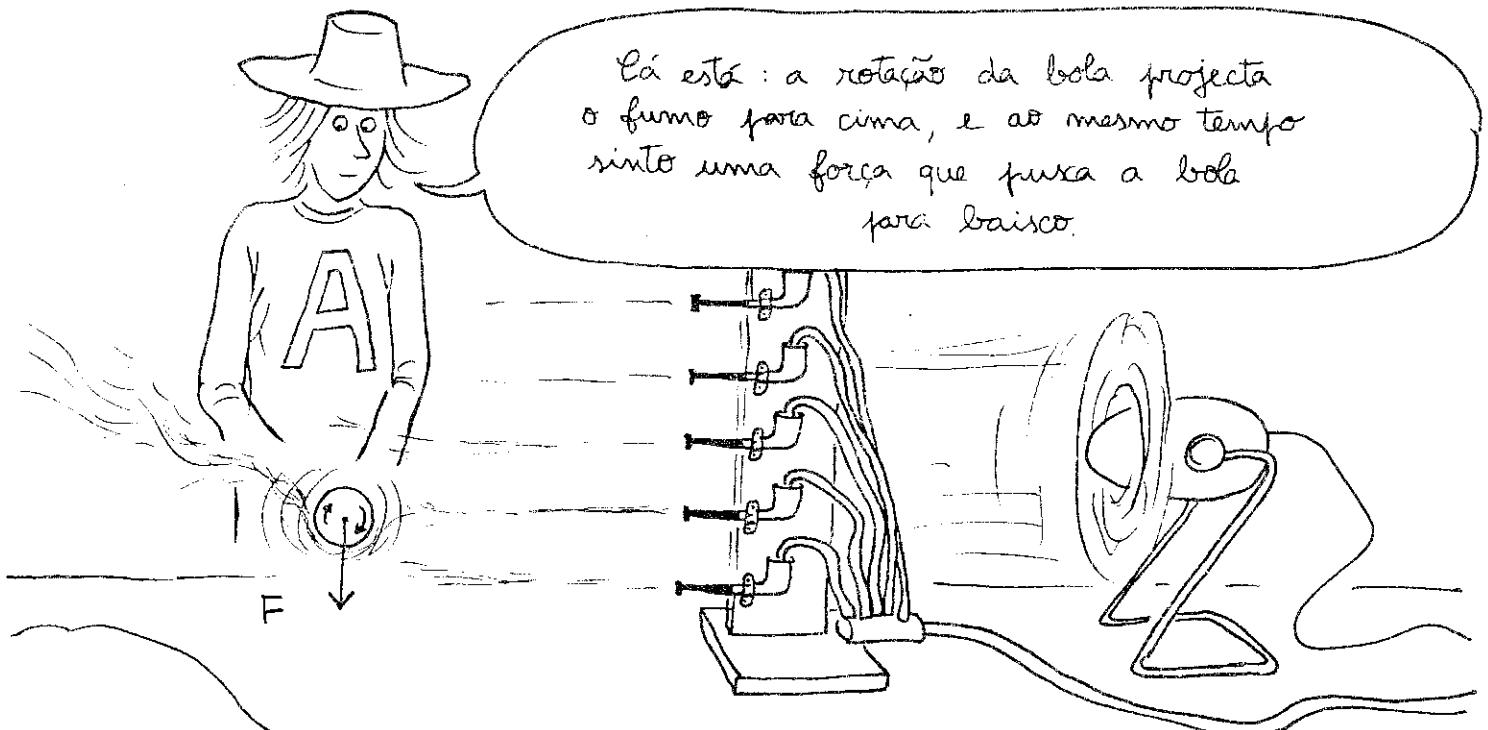
Vês, Sofia, o fumo dos cachimbos vai permitir ver os factos de ar.



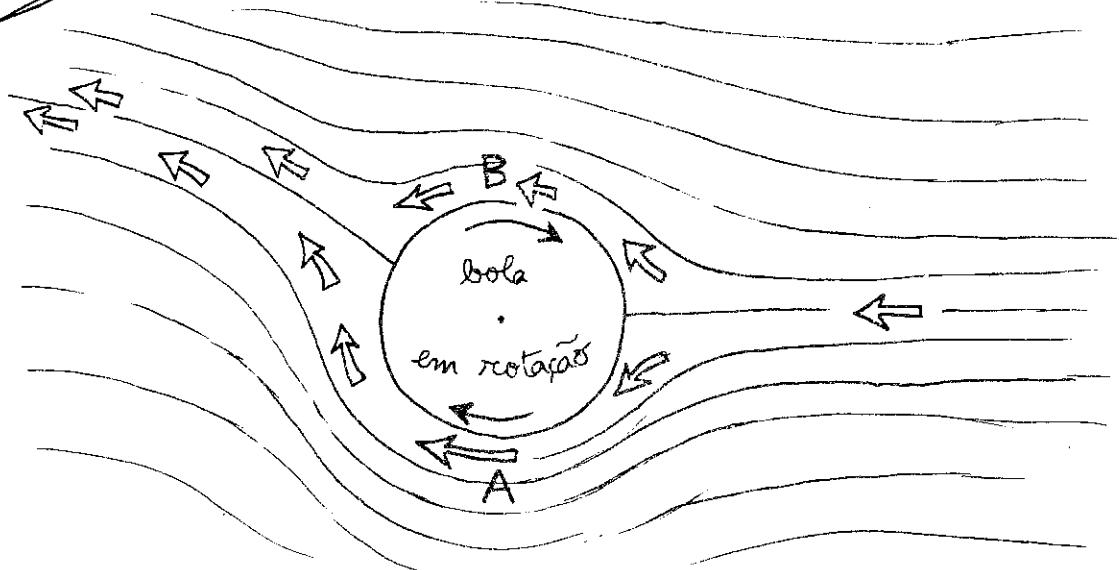
Resta arregiar a rotação da bola.
Isto deve servir...

Óptimo, serve perfeitamente!





Explicação: devido ao atrito a rotação da bola arrasta o ar, o que origina uma VELOCIDADE MAIOR em A e uma VELOCIDADE MENOR em B.

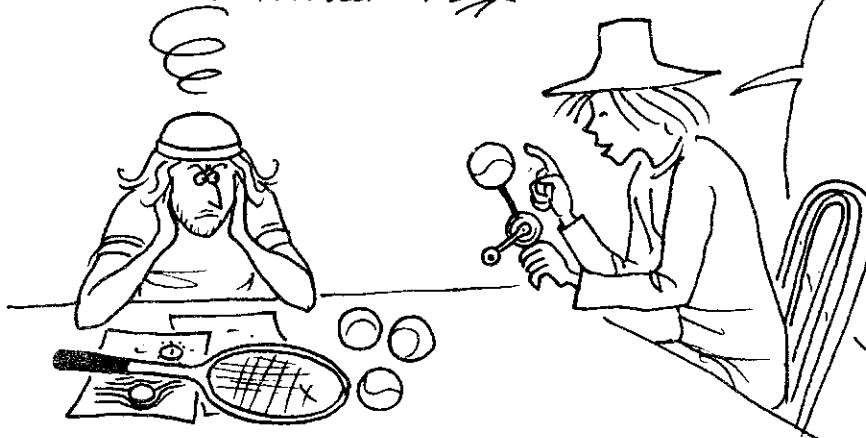


Basta agora aplicar a lei de Bernoulli.

VELOCIDADE MENOR - SOBREPRESSÃO

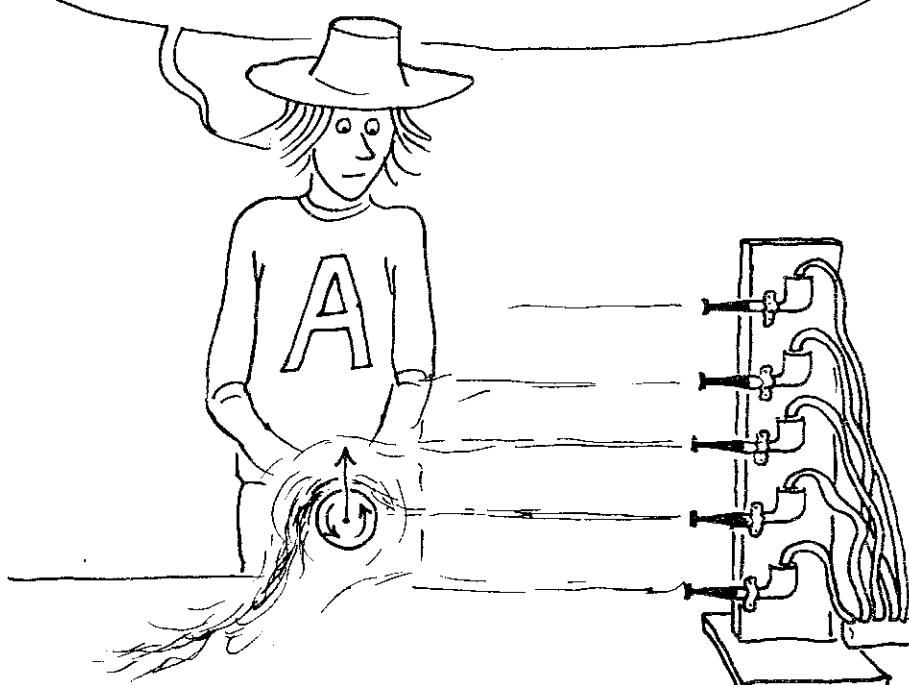


VELOCIDADE MAIOR - DEPRESSÃO



Pressão e velocidade variam inversamente. Portanto teremos, em baixo = DEPRESSÃO, em cima = SOBREPRESSÃO, e daí o sentido da força aerodinâmica.

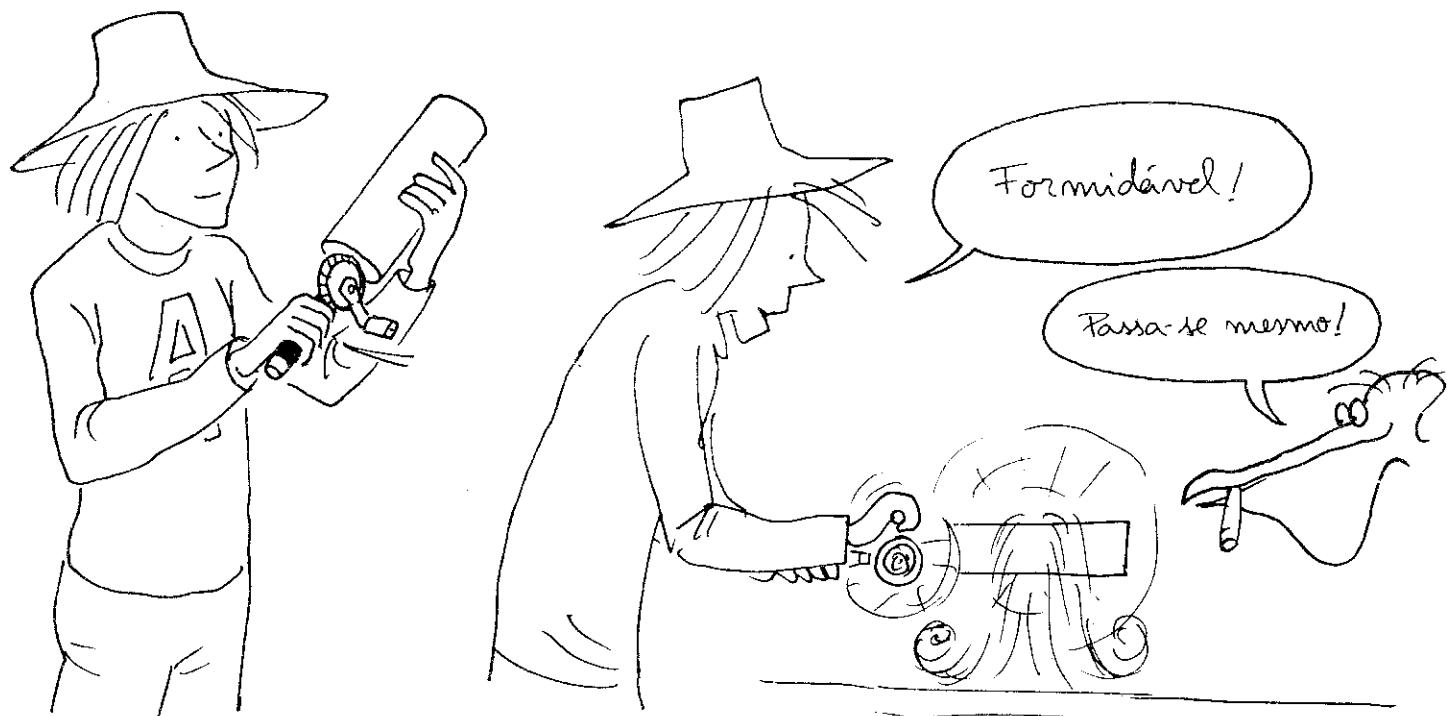
Invertendo o sentido da rotação, o fumo é lançado para baixo e a força inverte-se.



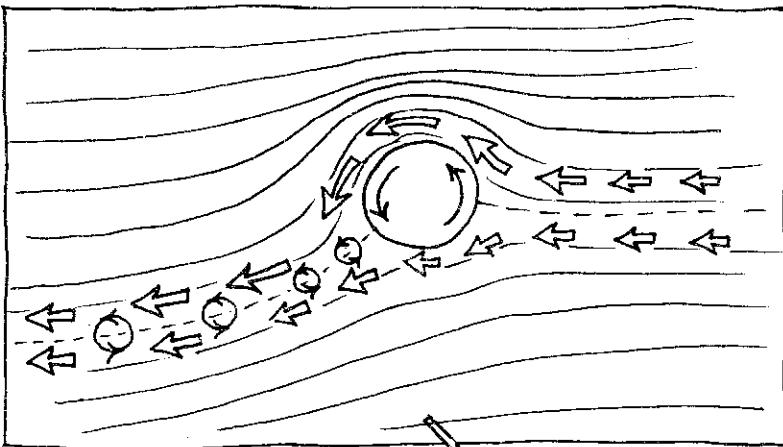
O que se passa com uma esfera parar-seá provavelmente com um cilindro em rotação?

Claro!

O ROTOR DE FLETTNER



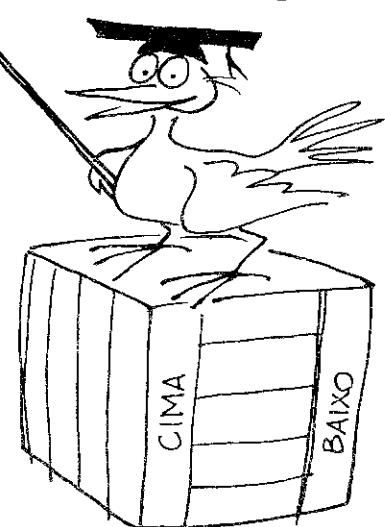
Caros colegas e amigos:
Examinemos juntos o que
se passa na ESTEIRA do
cilindro. A rotação do cilindro
origina velocidades dife-
rentes no escoamento
superior e no inferior.



A jusante do cilindro, quando as duas camadas
de ar se tornam a juntar, há um abrigo entre
ambas. Isto tem como efeito:

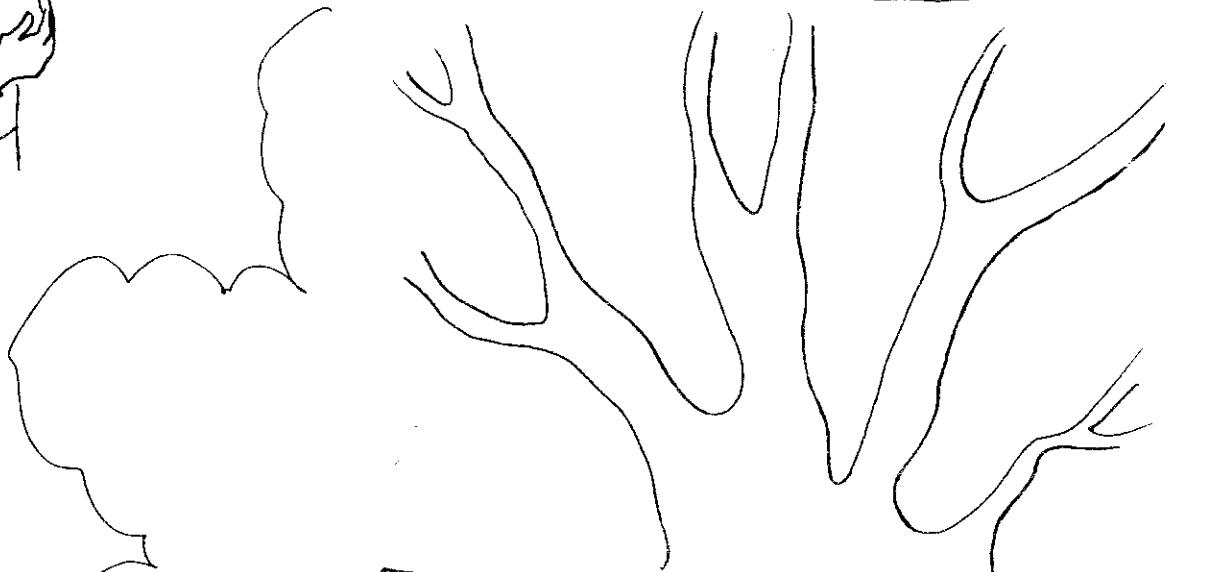
- a) criar pequenos turbilhões.
- b) suprimir progressivamente a diferença entre
as velocidades.

Existe uma diferença de pressão entre a camada
superior e a inferior do fluido, devida à diferença
de velocidades (Bernoulli). É isso que explica a
curvatura dos factos de ar a jusante.

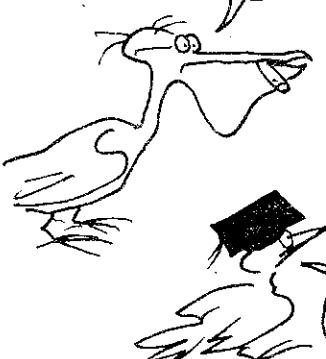




Deslocando no ar um cilindro em rotação,
obtenho SUSTENTAÇÃO. Isto dá-me uma ideia:
posso construir uma máquina voadora.



KLONK
KLONK
SWWWIIII



O que é que ele
está a fazer?

Tem um ar
complicado!

Vou adaptar
uma propulsão
a jacto.





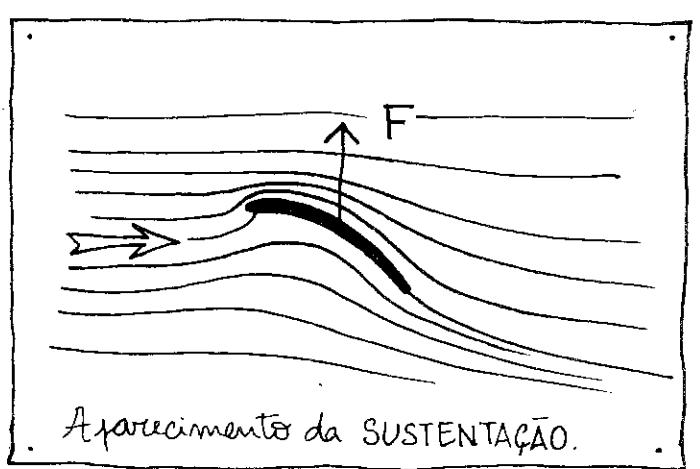
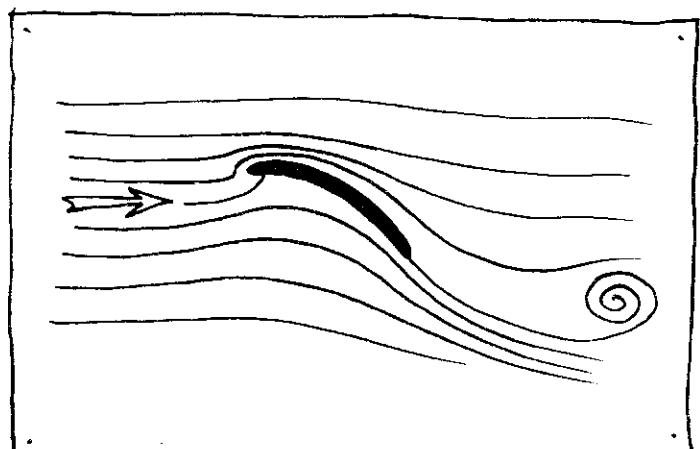
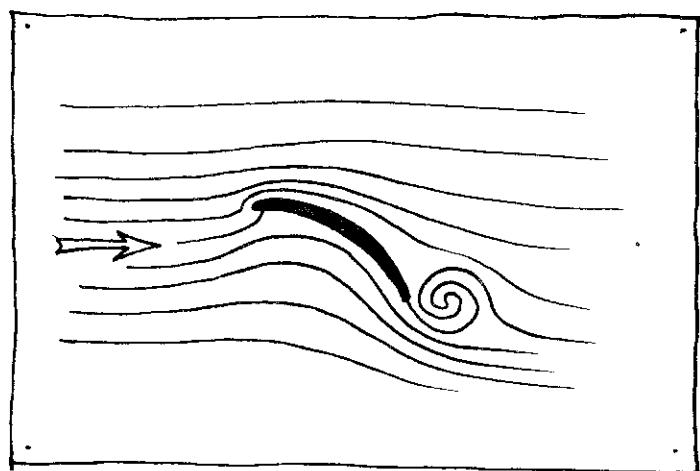
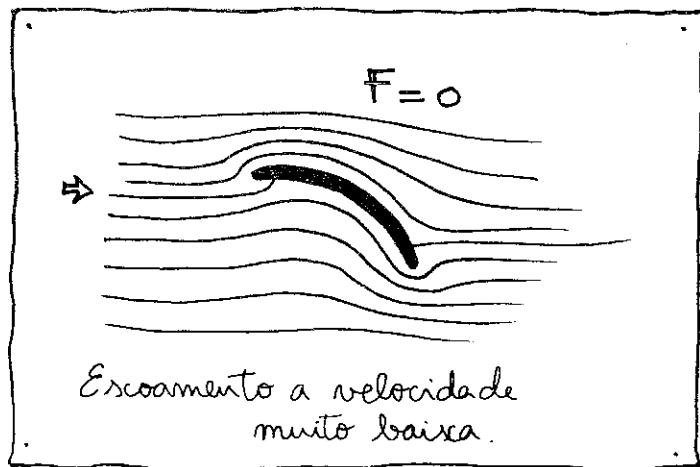
(*) Com uma potência adequada, poderia muito
bem resultar!

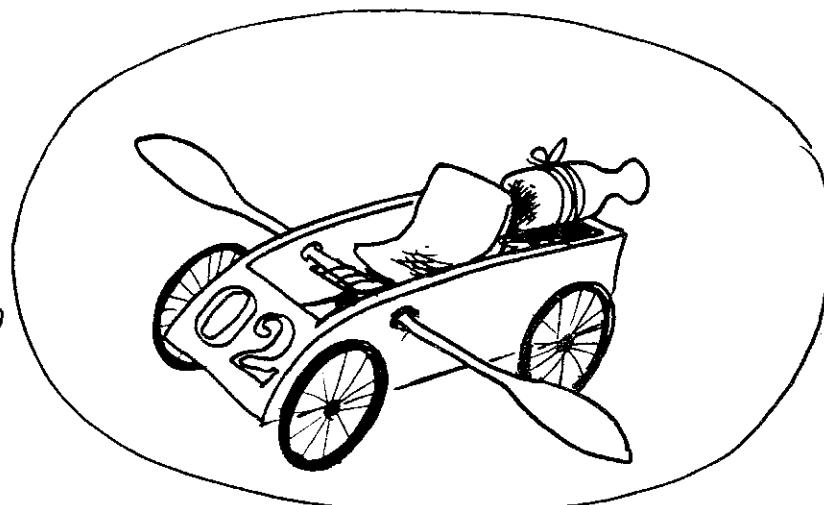






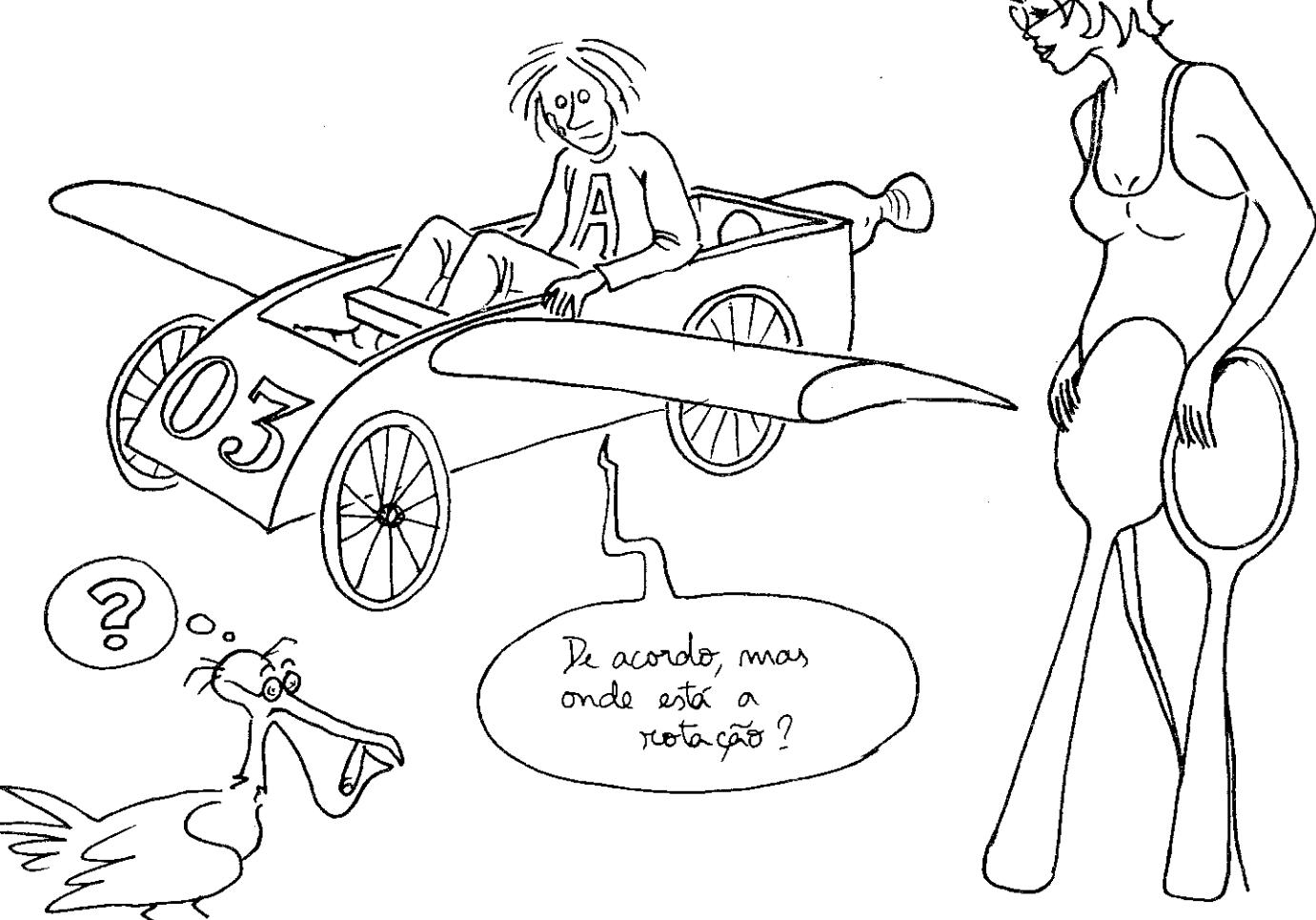
Nos desenhos juntos podes ver como se modifica o escoamento em torno da colher quando se sai das velocidades muito lentas. Desencaadeia-se um turbilhão e estabelece-se um sistema de maior velocidade no EXTRADORSO (parte de cima) e de menor velocidade no INTRADORSO (parte de baixo).

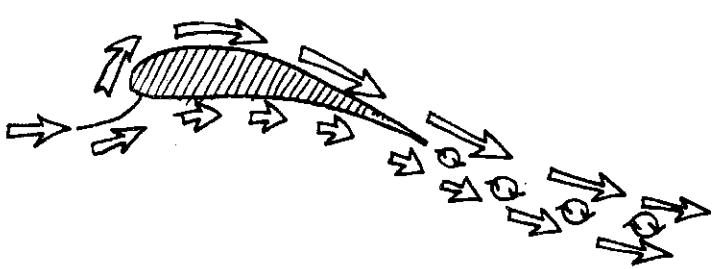




V1
Formidável, von poder
voar com colheres!

A ASA é uma.
colher aperfeiçoada.

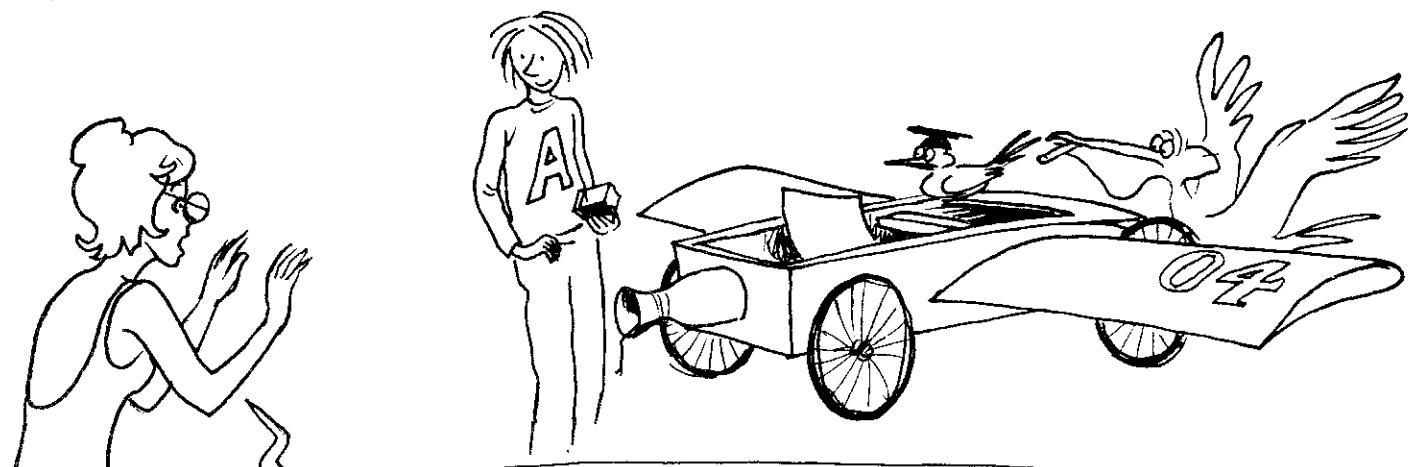




idêntico efeito
sobre o ar:



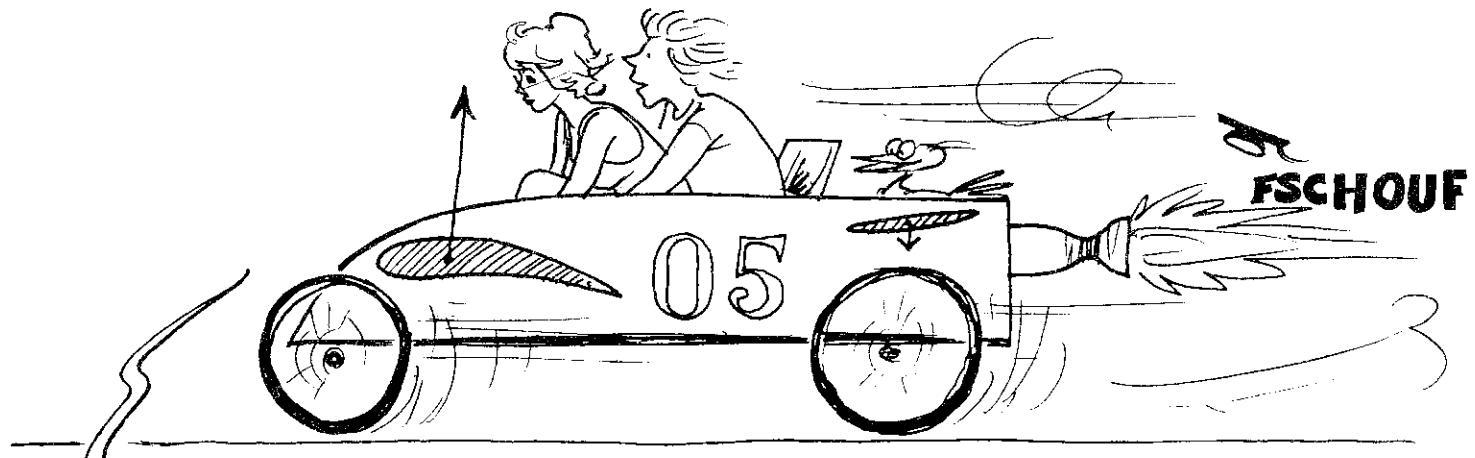
A jusante da ASA
reencontramo o mesmo sistema
de turbilhões que viramos no
cilindro rotativo. Pode-se pois
considerar a asa como
um ROTOR FIXO.



Atenção! Vais de moreo aleijar-te. Tal como
há pouco, ao pôr o ar em rotação, essa
máquina vai começar a ficar!

É preciso pôr-lhe
um estabilizador.





O ESTABILIZADOR é uma pequena asa inclinada em sentido contrário, que produz portanto uma sustentação negativa e faz baixar a cauda do avião. Isso impede-o de ficar.

Repara, Anselmo, este sistema estabiliza automaticamente.



Se houver tendência para ficar, a pressão sobre o estabilizador volta a colocar-nos na linha de voo.



O mesmo se farrá
quando nos empinarmos.

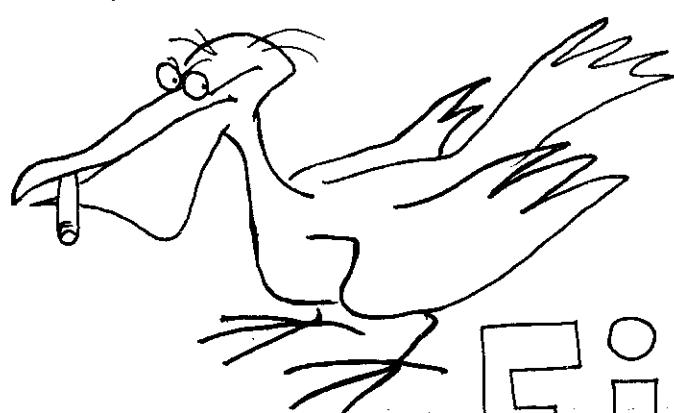


Anselmo, tu
não ouves o que
eu te digo!

Oncô, claro que onço...

E maravilhoso
sentirmos-nos estáveis.

Foi assim que Flanelmo
aprendeu a voar.
Ao fim e ao cabo, não
era tão fácil como parecia.
E o seu interesse pela ciência,
nas alturas, não parou de
crescer...



Fim