

# FÍSICA II

Eduardo Vinicius Galle

# Princípios da hidrostática

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Definir as propriedades e as grandezas que caracterizam um fluido, bem como um elevador hidráulico.
- Relacionar os tipos de pressão ao empuxo.
- Calcular o estado de equilíbrio de um sistema com dois corpos devido a empuxos e à pressão.

## Introdução

Certos fenômenos alteram a forma como aplicamos as leis de Newton. Isso ocorre por se tratarem de situações com certas particularidades que interferem na análise do problema e uma dessas particularidades é quando o meio em que ocorre o fenômeno físico é um fluido. Por isso, neste capítulo, você vai estudar as interferências físicas que surgem por um fenômeno ocorrer dentro de um fluido em repouso.

## Fluido: o que é?

Antes de estudarmos como um fluido afeta fisicamente uma situação em particular, é evidente que temos que saber o que é um fluido.

Para realizar a tarefa de definir um fluido, primeiro imagine uma mesa de madeira, ou seja, algo que não é um fluido por definição. Ao tentar fazer alguma interação física, você não consegue:

- Afundar sua mão na mesa, ou seja, sempre ficará restrito à superfície de um dos seus lados.
- Observar uma mudança significativa de forma na mesa sem que a estrague.

Já quando pensamos na interação física com a água, que é um exemplo clássico de fluido:

- Você até tem uma pequena resistência do fluido, mas é facilmente quebrada. Lembre-se, a *barrigada*, que é conhecida dessa forma por ser uma queda de barriga na água, dói como se estivesse batendo com o corpo no chão. Além disso, com a queda, você pode se afogar.
- A água pode deixar você ocupar o espaço em que ela estava facilmente, mas se você sai da água, ela volta.
- Por fim, é muito fácil ver um rio de água, mas eu nunca vi um rio de mesas.

Agora que fizemos esse levantamento de ideias, você deve estar esperando que venha um quadro com uma definição do conceito de fluido, porém, isso não vai acontecer. Nenhum dos mais de seis autores tradicionais de física geral da atualidade fez isso por uma razão muito simples: ao tentar definir fluido, você está resolvendo um problema e gerando outro, uma vez que não achamos uma definição simples que explique tudo que associamos a fluido. Para solucionar e facilitar a resolução de uma situação física, vou dizer o que é um fluido em termos gerais com um conselho.



### Fique atento

Fluido é todo gás e todo líquido, mas evite trabalhar com alguns, pois, para conseguir fazer um estudo físico dos não ideais, temos que levar em conta situações mais complexas.

Outra dica: a água e o ar, nos problemas apresentados nos nossos estudos, sempre serão fluidos ideais.

## Elevador hidráulico: outra definição importante

Se você pegar uma garrafa PET (politereftalato de etileno) de água aberta e apertá-la, o que acontecerá (Figura 1)?



**Figura 1.** Exemplo de jato da água gerado pelo aperto da mão.

*Fonte:* Tpfeller/Shutterstock.com.

O que vemos é que o fato da mão ocupar o espaço em que estava a água faz esta sair para ocupar outro espaço. Não consideramos que a água se comprime, o que acontece com o gás.

Usando essa propriedade ilustrada na Figura 1, podemos criar um elevador hidráulico, que é um equipamento que tem um sistema com água isolado por paredes móveis. Como um pistão cheio de água, porém, há, pelo menos, duas peças livres para se mover.

A importância do elevador hidráulico se dá ao estudarmos os efeitos sobre a força, devido ao Princípio de Pascal. Então, voltaremos a analisar o tópico, após estudarmos outros conceitos dentro da hidrostática.

## Grandezas físicas dos fluidos

No estudo dessas grandezas, vamos trabalhar com definições mais objetivas.

O **volume** ( $V$ ) é o espaço ocupado por algo, ou seja, você dizer que cabe a mesma quantidade de palhaços e de formigas em um fusca seria um absurdo, o volume tem sua unidade dada em  $[m^3]$ . Em termos de fluidos, é comum o uso de litro  $[l]$ , lembrando que  $1m^3 = 1000l$  e também que  $1m = 100\text{ cm}$ , mas que  $1m^3 = 100\ 00\ 00\text{ cm}^3$ .

A **densidade específica** ( $\rho$ ) é a quantidade de matéria de um objeto em um determinado espaço, dada em  $[kg/m^3]$ , e que calculamos por  $\rho = m/V$ .



### Fique atento

Existe mais de um tipo de densidade com a ideia de massa dividida por volume. A diferença é se tratamos da massa total, do volume total, ou se estamos falando de uma densidade relativa, que é uma densidade comparada à outra.

A **pressão** é um conceito de força dividido por área  $P = F/A$ ,  $[N/m^2]$  ou  $[Pa]$ , mas vamos refletir um pouco sobre. Um soco dado em uma ponta de faca é a mesma coisa que um soco dado em uma parede? Nos estudos externos, ou seja, tratando os corpos como indestrutíveis, sim, é a mesma coisa. Mas, com certeza, os resultados práticos são diferentes. Isso ocorre porque o resultado prático de socar uma ponta de faca é se cortar, isto é, destruir parcialmente o punho, o corpo físico. Situação que não consideramos no estudo de efeitos externos.

Então, uma grandeza física que tem grande influência em fenômenos físicos, na qual importa a proporção da força e da área em que se aplica a força, é a pressão.

Se você se perguntou se na hidrostática e na hidrodinâmica isso acontece, a resposta é sim.

E por fim, pressão é escalar. Apesar de força e área serem vetoriais, a definição completa de pressão é a força aplicada perpendicularmente em uma determinada área. Então, é a força aplicada empurrando uma superfície e não uma de atrito que tenta te segurar ao raspar o dedo em uma borracha.



### Fique atento

Apesar de pressão ser  $[N/m^2]$  ou  $[Pa]$ , é comum outras unidades em cada área do conhecimento humano. Como:

1 atmosfera padrão = 1 atm = 101300 Pa = 101,3 kPa  $\approx$  100 kPa

760 milímetros de mercúrio = 760 mm de Hg = 1 atm

As demais são da língua inglesa.

## Pressões destacáveis

Há duas pressões de fluidos que logicamente você teve que ter sentido para estar lendo este texto: a pressão atmosférica, que você sente neste exato momento, e a pressão em líquidos, que você sentiu dentro da barriga da sua mãe.

A gravidade funciona para tudo e para todos, correto? Se isso é verdade, ela funciona para o ar que está em cima da sua cabeça agora, e mesmo que esteja sob um teto, se houver uma maneira do ar de fora entrar em contato com o ar de dentro, o efeito do teto é desprezível. Por mais que coloque uma folha de papel em cima de sua cabeça, haverá uma pressão lá devido ao ar, pois o ar empurra o papel e este te empurra. Repare que isso diz que não é somente a gravidade sobre o papel que estaria afetando a força do papel sobre você, mas também a gravidade sobre o ar.



### Fique atento

Foi dito sobre o desprezo do efeito do teto devido ao contato do ar de fora com o de dentro de um ambiente, pois, não é somente a quantidade de ar sobre a sua cabeça que importa, uma vez que, em um ambiente isolado, como um avião, por exemplo, podemos alterar a pressão interna, alterando também a quantidade de ar confinado.

O valor da pressão atmosférica é tratado como constante nos problemas de física em geral. Na superfície da terra, essa pressão vale 1 atm e pode ser arredondada por  $10^5$  Pa. Já a pressão hidrostática segue a mesma lógica da origem natural da pressão atmosférica, porém, falamos de líquidos e estes

têm uma particularidade de não se comprimir, o que facilita a criação de uma fórmula.

A fórmula é:

$$p = p_o + \rho g d \quad (1)$$

$p$  é pressão total.

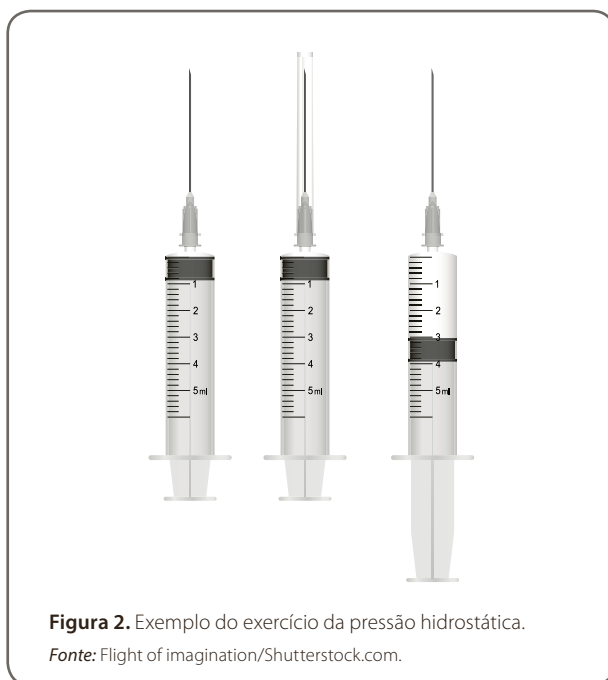
$p_o$  é a pressão inicial devido ao ambiente.

$\rho$  é a densidade do líquido.

$g$  é a aceleração da gravidade.

$d$  é a altura de água que há em cima do ponto de análise.

A Figura 2 ilustra essas informações.



**Figura 2.** Exemplo do exercício da pressão hidrostática.

Fonte: Flight of imagination/Shutterstock.com.

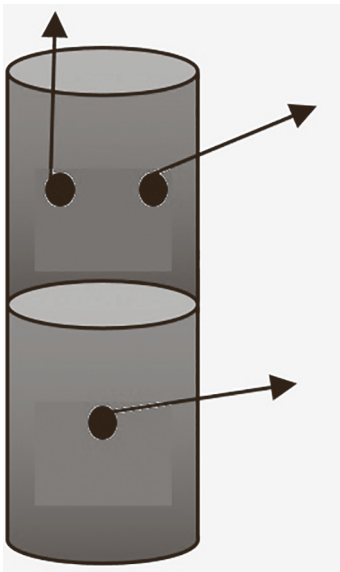
Olhando a Figura 2, você pensa que a pressão é igual em todos os pontos da seringa? Na verdade, como a seringa é pequena, nós dizemos que sim, porém, essa simplificação ignora o efeito aqui estudado de que a cada profundidade há uma pressão.

Então, aplicando a fórmula na seringa, todos os pontos têm a pressão  $P_o$ , mas alguns pontos também têm a pressão dos líquidos acima dele, que depende da quantidade de líquido, ou seja, da profundidade.

Por fim, ao mergulhar, será sentido o mesmo efeito. A cada 10 metros de profundidade, a pressão aumentará em 1 atm, isto é, mergulhando a 10 metros de profundidade, dobra-se a pressão sobre quem mergulha, o que explica a dificuldade de explorar o fundo do mar.

## Na prática, como calcular a pressão hidrostática?

Vejamos o exemplo e, ao fazer uma análise, como calcular.



Aqui temos um tubo fechado embaixo, com uma divisória no meio e preenchido com água.

Se a densidade da água é  $1000 \text{ kg/m}^3$ , a aceleração da gravidade é  $10 \text{ m/s}^2$ , a pressão inicial é de  $0,8 \text{ atm}$  e os pontos estão nas seguintes profundidades:  $[A = 0,2 \text{ m}; B = 0,2 \text{ m}; C = 0,5 \text{ m}]$ . Sendo assim, como é a pressão em cada ponto?

Calculemos:

$$P_o = 0,8 \text{ atm} = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 80000 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$G = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P \text{ no ponto A} = P_A = 80000 +$$

$$1000 \cdot 10 \cdot 0,2 = 82000 \text{ Pa}$$

$$P \text{ no ponto B} = P_B = 80000 +$$

$$1000 \cdot 10 \cdot 0,2 = 82000 \text{ Pa}$$

$$P \text{ no ponto C} = P_C = 80000 +$$

$$1000 \cdot 10 \cdot 0,5 = 85000 \text{ Pa}$$

Repare que  $P_A$  e  $P_B$  são iguais. Por que será? Isso ocorre porque a água horizontal aos pontos não interfere no ponto, sendo que esse fato está evidente na fórmula.

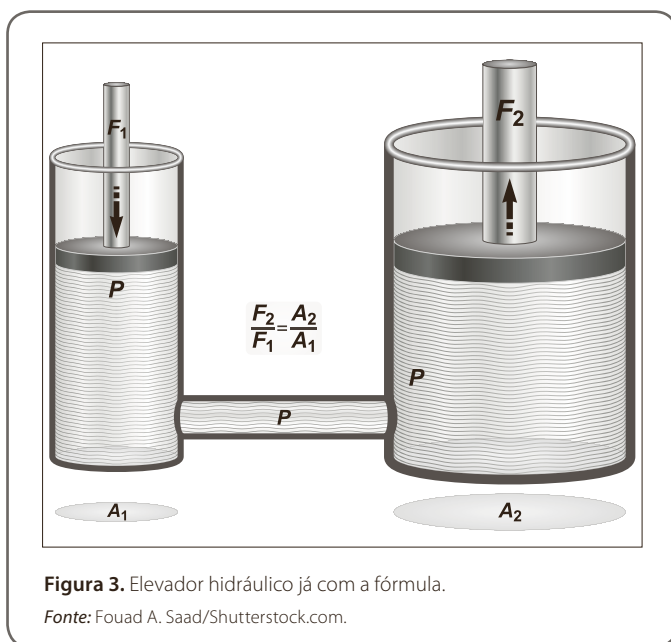


## O elevador hidráulico revisitado

Agora que entendemos a pressão e as suas ideias correlacionadas à hidráulica, voltemos ao elevador hidráulico, que é uma máquina que usa o Princípio de Pascal.

Ao usar uma seringa preenchida com água, quando a apertamos, fazemos um aumento de pressão, que será sentido em qualquer lugar dentro dela, isto é, ao aumentar a pressão, toda a seringa aumenta a mesma quantidade de pressão.

Porém, a pressão é a força dividida por área. Se houver áreas diferentes, por consequência, teremos forças também diferentes para conservar a pressão (Figura 3).



Observe a máquina. Temos dois tubos com áreas diferentes e estamos desconsiderando a pressão devido à profundidade da água. O resultado é: se fizermos uma força  $F_1$ , teremos uma força maior  $F_2$ . Há inúmeras aplicações, você consegue imaginar alguma? Acredite, há muitas, pois esse fenômeno de ampliação de força é muito útil.

Agora, se você for um aluno questionador, o que eu encorajo que seja, verá que parece que a terceira lei de Newton foi violada, pois temos uma força  $F_1$ , ação menor do que uma força de reação  $F_2$  maior, logo, a intensidade é diferente.

Porém, a terceira lei não foi violada. O que acontece é que o par ação e reação não é o proposto pela pergunta, mas a ação é a força  $F_1$  que uma pessoa aplica na  $A_1$  e a reação é a força que a superfície  $A_1$  aplica na pessoa.

## Empuxo: uma consequência direta da teoria vista

Você sabe que existe barco, não é? Mas por que o barco flutua?

Uma hipótese simples é dizer que a água empurra o barco, o que está correto, mas isso não é uma lei para que possamos calcular, de fato, quando este afunda ou quando flutua. Então, Arquimedes pensou sobre o tema, utilizou a versão da teoria da hidrostática da época e criou uma lei que responde esta e outras perguntas relacionadas a flutuar e a afundar.



### Link

Mais sobre lei e princípios pode ser lido no link a seguir.

<https://goo.gl/3Pyppo>

## A definição da lei de Arquimedes via uso de forças

Um fluido exerce uma força de empuxo orientada para cima,  $F_E$ , sobre um objeto imerso ou que flutua no fluido. O módulo da força de empuxo equivale ao peso do fluido deslocado pelo objeto (KNIGHT, 2009).

O módulo da força em termos algébricos, ou seja, o empuxo, é:

$$F_E = \rho_{\text{fluido}} V_{\text{fluido}} g$$

O que é meio claro, lendo a lei, é que temos a densidade  $\rho$  do fluido e não do objeto e o volume de fluido que saiu devido à presença do objeto. Esses dois elementos multiplicados dão a massa deslocada. Então, multiplicando pela gravidade, obtemos o peso do fluido deslocado.

## Respostas a perguntas instintivas sobre o empuxo

A primeira pergunta é: como o empuxo ajuda a descobrir se o corpo flutua ou afunda?

Você vai ter uma força de empuxo e depois vai descobrir todas as outras forças – geralmente uma ou duas a mais – para então usar a segunda lei de Newton e calcular o resultado da combinação de todas as forças. Não é difícil, você, em tese, faz isso desde o ensino médio e talvez nem saiba.

A segunda pergunta é: por que o destaque são as informações do fluido e não do objeto?

Uma caixa flutuando tem parte do seu volume que não interfere no empuxo, isto é, a parte fora da água. Mas aqui vai um alerta aos desavisados: o volume fora do fluido afeta as outras forças, somente ao empuxo que não. Quanto à densidade ser do fluido, um tijolo ou um chumbo de mesmo volume, no fundo do oceano, sofrem o mesmo empuxo, porque é a água deslocada e não o material que interfere no empuxo.

A terceira pergunta é: isso vale para o ar e para os balões de ar quente?

A resposta é sim, isso por causa do empuxo que esses balões voam. O que acontece é que o ar quente modifica a densidade do ar dentro do balão e isso afeta o equilíbrio entre o empuxo do ar de fora e o peso do balão.

## Finalização sobre empuxo

Como você vai descobrir como calcular se as coisas flutuam ou não? Para fazer isso, como você já deve ter lido todo o material até aqui, então você vai tentar fazer uma conta simples. Tente responder calculando o seguinte exercício:

Pegue uma caixa com um peso já conhecido, digamos 100N. Se segurarmos toda ela submersa na água, ao soltá-la, ela vai flutuar?

Para flutuar, o empuxo tem que ser, pelo menos, no valor de 100N, sendo assim, agora, temos que calcular o empuxo. Sabemos que a densidade da água

é  $1000\text{kg/m}^3$  e que a aceleração da gravidade vale  $10\text{m/s}^2$ . Então, qual deve ser o volume da caixa para ela flutuar?

A resposta é dada pela resolução da equação:

$$100\text{N} = 10 \cdot 1000 \cdot V$$

$$V = ???$$

Sabe o que vai mudar desse exemplo simples para os demais exercícios? Os valores talvez serão outros ou talvez serão dados de forma indireta, isto é, ainda precisam ser calculados. Pode ser que sejam mudados com relação a pedir a densidade, a aceleração da gravidade ou a força.

Com o aumento da dificuldade da situação física, ainda será pedido a mesma coisa mencionada. Contudo, as grandezas serão dadas de forma indireta e necessitarão de adaptação ou cálculos intermediários para chegar às grandezas que a lei diz que geram o empuxo.

A dificuldade está em saber como fazer essas adaptações. Para isso, volte a estudar a teoria, pois, ao saber bem como esta funciona, saberá também aonde modificar. Mas lembre-se, saber uma teoria não é repeti-la, é saber explicar de forma que isso faça sentido para alguém.



### Link

Talvez haja dificuldades ao pesquisar sobre empuxo em inglês, pois isso se deve à tradução ser *buoyancy*.

Também observe um detalhe importante: a lei de Arquimedes e o empuxo tratam da mesma coisa, estão fortemente relacionados, mas são coisas diferentes.

A lei é uma explicação, enquanto o empuxo é uma força sob a ótica da mecânica de Newton. Repare que podemos usar outra ótica sem falar de forças e a lei de Arquimedes ainda estará lá, isto é, a Lei de Arquimedes é como explicamos um fato e o empuxo é uma forma que representamos a lei via forças para prever situações com a mecânica.

Veja a tradução do livro de Arquimedes sobre o tema, no *link* a seguir, e repare que as únicas equações algébricas que aparecem são em uma nota adicionada, visto que tudo era explicado sem equações.

<https://goo.gl/YA2Hfq>



## Referências

ASSIS, A. K. T. Sobre os corpos flutuantes, tradução comentada de um texto de Arquimedes. *Revista SBHC – Sociedade Brasileira de história da Ciência*, Rio de Janeiro, n. 16, p. 69-80, 1996. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Revista-SBHC-V16-p69-80\(1996\).pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Revista-SBHC-V16-p69-80(1996).pdf)> Acesso em: 28/02/2018.

KNIGHT, R. D. *Física: uma abordagem estratégica*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. v. 2: Termodinâmica óptica. cap. 15.

SILVEIRA, S. L. *Princípios e leis em física*. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=principios-e-leis-em-fisica>> Acesso em: 28/02/2018.

## Leituras recomendadas

BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. *Física para universitários: relatividade, oscilações, ondas e calor*. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HEWITT, P. G. *Fundamentos de física conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2008.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.

Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS