

Relatório 1 - Hidrostática

Felipe Magina (15451791); Luan Leal (15470820);
Matheus Justino (14598021); Matheus Queiroz (15479562); Micael Baruch (15578823)

7 de abril de 2025

1 Introdução

Há muito tempo, o estudo e o ensino dos fenômenos físicos relacionados ao comportamento de objetos na água vêm se tornando cada vez mais importantes, tanto para o avanço da ciência quanto para aplicações práticas no cotidiano. Desde os experimentos pioneiros de Arquimedes, que estabeleceram os princípios da hidrostática, até as modernas investigações em mecânica dos fluidos, a compreensão desses fenômenos tem sido fundamental para o desenvolvimento de tecnologias como navios, submarinos e sistemas de medição de densidade.

Os estudos de Arquimedes (287–212 a.C.) estabeleceram os princípios fundamentais da hidrostática, incluindo o conceito de empuxo^[1]. Sua famosa história sobre a descoberta de um jeito de verificar a composição de um objeto, no caso o problema da coroa de ouro, conta que em sua banheira, observou que objetos de diferentes materiais e portanto diferentes densidades e de diferentes volumes se comportam de forma específica na água, assim propôs que um corpo imerso em um fluido sofre uma força vertical para cima igual ao peso do fluido deslocado^[2]. Então segundo o conto de Arquimedes diz que ele mediu o peso da coroa no ar e, depois, submersa em água, determinando seu volume pelo empuxo. Com isso, calculou sua densidade e comparou com a do ouro puro, descobrindo que a coroa era adulterada^[3]. Esse experimento mostrou como a física pode identificar materiais sem destruí-los.

Utilizando a mesma ideia da história de Arquimedes, que descobriu a constituição da coroa do rei, no experimento sobre o princípio de Arquimedes descobriremos qual é o material do peso de nome “ouro”, e utilizando as leis de Newton, poderemos assim analisar qual é a resultante de forças que agem sobre os pesos na jarra de água. Para determinar se o peso denominado “ouro”, utilizaremos a fórmula da densidade

$$\rho = \frac{m}{V}$$

^[2], comparando o resultado com a densidade conhecida de outros materiais. Se os valores forem consistentes, confirmaremos a composição do material. Quando esse peso é imerso em água, a força resultante que age sobre ele é dada pela diferença entre o peso real ($P = m \cdot g$) e o empuxo ($E = \rho_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{deslocado}} \cdot g$)^[2]. Se o objeto está em repouso, a força resultante é nula, indicando equilíbrio.

E, novamente utilizando os conceitos de empuxo criados por Arquimedes, no segundo experimento, a balança de empuxo, baseia-se num equipamento que utiliza do conceito de Arquimedes para comparar o peso de objetos, e tendo calibrado tal balança corretamente, é possível medir o peso de objetos em gramas. Esse mesmo conceito, também será utilizado para o terceiro experimento, em que apertando ou soltando uma garrafa fechada cheia de água haverá a movimentação de um objeto imerso nessa garrafa, utilizando noções do conceito de densidade, $\rho = \frac{m}{V}$, e empuxo ($E = \rho_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{deslocado}} \cdot g$)^[2], é possível explicar o fenômeno do experimento.

No caso da gangorra com o barquinho, o equilíbrio é mantido porque o empuxo exercido pela água sobre o barco é igual ao peso do fluido deslocado. Pelo princípio de ação e reação, a água exerce uma força igual e oposta no recipiente, equilibrando o sistema^[2]. Assim, o torque total permanece zero ($\sum \tau = 0$), conforme descrito pela condição de equilíbrio

$$P_1 \cdot d_1 = P_2 \cdot d_2$$

onde P_1 e P_2 são os pesos envolvidos e d_1 e d_2 as distâncias ao ponto de apoio.

Em síntese, este relatório utilizará as fórmulas apresentadas para analisar fenômenos de empuxo, pressão e equilíbrio, integrando a contextualização histórica com a quantificação experimental. As equações permitirão interpretar observações como a identificação de materiais, a distribuição de forças em sistemas hidrostáticos e o comportamento de fluidos sob pressão, garantindo uma compreensão abrangente dos princípios físicos envolvidos.

2 Metodologia

2.1 Princípio de Arquimedes

Este experimento é dividido em duas partes. A primeira parte consiste na determinação da densidade de um material denominado “ouro”. Para realização desta utilizam-se uma jarra com água, uma balança digital e um sólido de dimensões significativas. Primeiro, coloca-se a jarra com água sobre a balança digital, então o sólido é submerso na água. Por fim, registra-se a força peso indicada na balança, este processo pode ser observado na Figura 1.

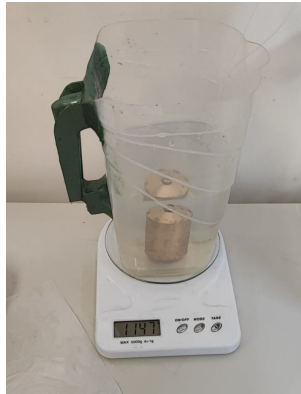


Figura 1: Sólido de “ouro” submerso na jarra com água sobre a balança digital

A segunda parte do experimento objetiva estudar a força de empuxo. Para tanto, são utilizados dois sólidos de volume igual ($V_{s1} = V_{s2} = 702 \text{ cm}^3$) e massas distintas: ($m_{s1} = 1337 \text{ g}$, $m_{s2} = 688 \text{ g}$), uma balança digital, uma jarra preenchida com água suficiente para submergir um sólido de cada vez sem transbordar e um dinamômetro. O procedimento é realizado como segue: um cilindro por vez é pendurado no dinamômetro e, segurando o dinamômetro, submerge-se o cilindro. Para a coleta de dados deve-se observar a força mensurada no dinamômetro antes e após submergir o cilindro. É possível observar a tomada de medidas em um dos cilindros na Figura 2. Também deve-se anotar a massa mensurada na balança. É recomendável utilizar a função “tara” da balança digital com apenas a jarra com água encima. Caso contrário, pode-se anotar a diferença de massa.

Em particular, a balança digital utilizada neste trabalho apresenta erro de $\pm 1 \text{ g}$.



Figura 2: Cilindro suspenso em dinamômetro e submerso em água sobre balança digital

2.2 Balança de empuxo

Para a demonstração é necessário confeccionar uma balança de empuxo. A balança de empuxo consiste em um cilindro maior, no qual deve-se encaixar um cilindro menor de densidade consideravelmente inferior à da água e diâmetro próximo ao diâmetro do cilindro maior sobre o qual fica preso um prato. É considerado o ponto de massa zero da balança quando a garrafa está em equilíbrio estático sem nenhum objeto estar apoiado sobre o prato. A partir deste ponto, coloca-se uma graduação de massa pesada de acordo com o nível da água entre os cilindros. O objeto a ser estudado deve ser apoiado sobre o prato e o nível da água deve ser anotado após a balança entrar em equilíbrio estático. É possível observar a tomada de uma medida de massa na Figura 3



Figura 3: Medida da massa de um objeto na balança de empuxo

2.3 Gangorra

Neste experimento é utilizada uma bacia paralelepípedica parcialmente preenchida com água. A bacia é apoiada sobre um paralelepípedo de comprimento consideravelmente menor que o comprimento da bacia, de forma que ela possa ser desequilibrada na presença de torque. No meio da bacia coloca-se uma barreira de comprimento delgado, porém profundidade próxima de dois terços da profundidade da própria bacia e altura igual a altura da bacia. A experimentação consiste em apoiar um pote de **densidade** menor que a água de um dos lados da bacia, de maneira que fique suspenso. Então, uma pedra (ou outro sólido mais denso que a água) é colocado hora dentro do pote suspenso, hora diretamente na bacia. Deve-se observar os efeitos de colocar a pedra dentro do pote ou diretamente na bacia. A bacia apoiada sobre

o paralelepípedo é o que chamamos de gangorra. É possível observar a gangorra preenchida com água e com a pedra dentro do pote em equilíbrio na Figura 4. Por conveniência, doravante, nos referimos ao pote por barco.

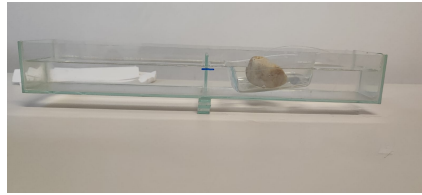


Figura 4: gangorra em equilíbrio

2.4 Bonecos flutuantes

Para esta demonstração, colocam-se dois bonecos em uma garrafa tampada quase completamente preenchida com água. Um dos bonecos tem densidade menor que a água enquanto o outro é mais denso que a água, doravante serão denominados boneco flutuante e boneco não-flutuante, respectivamente. O boneco flutuante deve ter um gancho que ficará com a concavidade para cima, enquanto o boneco não-flutuante deve ter um gancho com concavidade para baixo, conforme a Figura 5. Deve-se observar de que forma, sem abrir a garrafa, é possível fazer ambos os bonecos subirem juntos.



Figura 5: Duas garrafas com os bonecos flutuante e não-flutuante

3 Resultados e discussões

3.1 Princípio de Arquimedes

No experimento com os pesos, foram registrados os seguintes valores ao serem colocados na jarra:

Tabela 1: Valores dos pesos submersos

Massa (g)	Volume (cm ³)	Massa aparente pela balança (g)	Massa aparente pelo dinamômetro (g)	Afundou?
688	702	692	0	Não
1337	702	709	675	Sim

Ao colocar o primeiro cilindro na água ele não afundou e a corda do dinamômetro relaxou, indicando que ele encontrava-se em equilíbrio vertical pelo balanço entre a força peso e o empuxo que a água fazia sobre ele, empurrando-o para cima. Para um objeto flutuar sua densidade deve ser menor que a da água (0,997g/cm³ à 25°C). É possível calcular a densidade do cilindro por:

$$\frac{m}{V} = \rho$$

$$\frac{688g}{702cm^3} \cong 0,980g/cm^3 < 0,997g/cm^3$$

Portanto, ele era de fato menos denso que a água. Ademais, o par ação-reação do empuxo “empurra” a água para baixo, de forma que o peso do cilindro era detectado pela balança (já que para o objeto estar em equilíbrio o empuxo deve igualar-se em módulo ao peso). Sendo que a detecção de 692g ao invés de 702g, uma pequena diferença, provavelmente foi acarretada de erros experimentais, que são discutidos mais adiante.

Já o segundo cilindro era mais denso que a água:

$$\frac{1337g}{702cm^3} \cong 1,90g/cm^3 > 0,997g/cm^3$$

Isso resultou no fato dele afundar, como foi observado. Logo, pode-se concluir que o empuxo sobre o cilindro era inferior ao seu peso (já que para um objeto afundar as forças empurrando-o para baixo devem ser mais intensas que aquelas que o empurram para cima), tendo sido necessária a tração do dinamômetro para que o cilindro não afundasse mais, assim colocando-o em equilíbrio, como indica o diagrama de forças:

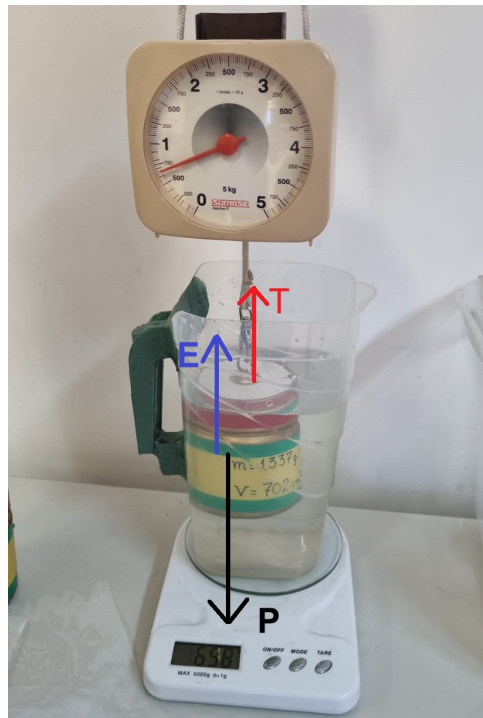


Figura 6: Diagrama de forças sobre segundo cilindro

Legenda do diagrama:

T: tração realizada pelo dinamômetro;

E: empuxo;

P: força peso.

Pela fórmula do empuxo ($E = V \cdot \rho \cdot g$), sendo E sua variável, e utilizando $g = 9,7m/s^2$, uma vez que todo o volume do objeto estava submerso, temos:

$$E = 702cm^3 \cdot 0,997g/cm^3 \cdot 9,7m/s^2$$

$$702cm^3 \cdot 0,000997kg/cm^3 \cdot 9,8m/s^2 = 6,8589612 \cong 6,9N$$

Como o dinamômetro calcula a massa a partir do peso aparente do objeto que carrega, a tração do dinamômetro (T), convertendo-se 675g medidos em 0,675kg, pode ser calculada por:

$$T = 0,675kg \cdot 9,8m/s^2 = 6,615N \cong 6,6N$$

Já o peso do cilindro era:

$$1337g \cdot 9,8m/s^2$$

$$1,337kg \cdot 9,8m/s^2 = 13,1026N \cong 13N$$

Para o sistema estar em equilíbrio, as forças deveriam se cancelar:

$$E + T = P$$

$$6,9N + 6,6N = 13,5N \cong 13N$$

Os valores obtidos são próximos, porém não equivalem exatamente, portanto devemos considerar causas para o erro. Considerando as incertezas envolvidas na equação $V \cdot \rho \cdot g + md \cdot g = m \cdot g$, sendo “md” a massa indicada pelo dinamômetro, temos:

$$\left(\frac{\partial}{\partial V} V \cdot \rho \cdot g \cdot \sigma V \right)^2 = (\rho \cdot g \cdot \sigma V)^2 = (0,977 \cdot 9,8 \cdot 0,001)^2 = A$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial g} g \cdot \rho \cdot V \cdot \sigma g \right)^2 = (\rho \cdot V \cdot \sigma g)^2 = (0,977 \cdot 0,702 \cdot 0,1)^2 = B$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \rho} \rho \cdot g \cdot V \cdot \sigma \rho \right)^2 = (g \cdot V \cdot \sigma \rho)^2 = (9,8 \cdot 0,702 \cdot 0,002)^2 = C$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial md} md \cdot g \cdot \sigma md \right)^2 = (g \cdot \sigma md)^2 = (9,8 \cdot 0,001)^2 = D$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial g} g \cdot md \cdot \sigma g \right)^2 = (md \cdot \sigma g)^2 = (0,675 \cdot 0,1)^2 = E$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial m} m \cdot g \cdot \sigma m \right)^2 = (g \cdot \sigma m)^2 = (9,8 \cdot 0,001)^2 = F$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial g} g \cdot m \cdot \sigma g \right)^2 = (m \cdot \sigma g)^2 = (1,337 \cdot 0,1)^2 = G$$

$$\sqrt{A+B+C+D+E+F+G} \cong \pm 0,2$$

Como a propagação de incerteza calculada a partir dos valores usados não é suficiente para cobrir o erro notado, espera-se que outros fatores devem ter afetado a medição, como pequenas movimentações do cilindro, o não relaxamento total do cabo do dinamômetro (de forma que ele continuasse realizando uma tração para cima), submersão de mais material além do cilindro (como o gancho e o cabo do dinamômetro) e/ou tara incorreta da balança. Tais fatores também podem ter acarretado na divergência de massa medida no primeiro cilindro, abordada anteriormente.

3.1.1 Ouro

Para descobrir o material que compunha o objeto denominado “ouro”, será calculada sua densidade. Na balança obteve-se sua massa, 1150g (1,150kg) e, ao submergi-lo na jarra, porém sem deixá-lo encostar no fundo, a massa aparente ficava de 147g (0,147kg) (sendo esse valor acarretado do par ação-reação do empuxo que a água realiza sobre o objeto, como discutido anteriormente). O valor indicado pela balança é calculado a partir da força sobre ela, então:

$$E = 0,147kg \cdot 9,8m/s^2 = 1,4406N \cong 1,4N$$

E temos:

$$E = V \cdot \rho \cdot g \Rightarrow V = \frac{E}{\rho \cdot g}$$

$$V = \frac{0,147kg \cdot 9,8m/s}{0,977g/cm^3 \cdot 9,8m/s^2}$$

$$\frac{147g}{0,977g/cm^3} \cong 150cm^3$$

Assim, a densidade será:

$$\frac{1150g}{150cm^3} \cong 7,64g/cm^3$$

Para calcular a incerteza, devemos considerar que a junção dos cálculos feitos fica: (tome ρa como a densidade da água, m como massa e ma como massa aparente e considerando os valores em g/cm^3 e g)

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{E}{\rho a \cdot g}} = \frac{m \cdot \rho a}{ma}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial m} m \cdot \rho a \cdot \frac{1}{ma} \cdot \sigma m \right)^2 = \left(\rho a \cdot \frac{1}{ma} \cdot \sigma m \right)^2 = \left(0,977 \cdot \frac{1}{147} \cdot 1 \right)^2 = H$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \rho a} m \cdot \rho a \cdot \frac{1}{ma} \cdot \sigma \rho a \right)^2 = \left(m \cdot \frac{1}{ma} \cdot \sigma \rho a \right)^2 = \left(1150 \cdot \frac{1}{147} \cdot 0,001 \right)^2 = I$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial ma} m \cdot \rho a \cdot \frac{1}{ma} \cdot \sigma ma\right)^2 = \left(-(ma)^{-2} \cdot m \cdot \rho a \cdot \sigma ma\right)^2$$

$$= \left(-(147)^{-2} \cdot 1150 \cdot 0,977 \cdot 1\right)^2 = J$$

$$\sqrt{H + I + J} \cong \pm 0,05$$

Ao analisar algumas tabelas de massas específicas de materiais, infere-se que o objeto pode ser feito de aço ou ferro, cuja massa específica é de aproximadamente 7,8 g/cm³.¹² Embora sua diferença em relação ao valor calculado seja superior à incerteza prevista, foi o material mais próximo encontrado, indicando a possibilidade de terem ocorridos erros não esperados pelo cálculo de incerteza.

3.2 Balança de empuxo

Os dados coletados foram sintetizados na Tabela 2 junto aos valores disponibilizados na ficha técnica dos aparelhos.

Tabela 2: Resultados da balança de empuxo e valores de referência

Item	Peso medido	Valor de referência
Peso redondo	(510 ± 25)g	—
HD	(640 ± 25)g	—
Celular Q.	(270 ± 25)g	308g
Celular B.	(250 ± 25)g	204g
Celular M.	(200 ± 25)g	169g
Celular J.	(170 ± 25)g	169g
Celular L.	(220 ± 25)g	177g

As medidas obtidas variaram entre 170 g e 270 g, veja a distribuição na Figura 7, refletindo diferenças nos modelos e materiais dos aparelhos. Em relação a diferença das massas medidas na balança com os valores de referência, podemos atribuir esse erro a fatores como a calibração da balança, a inclinação da garrafa em relação ao plano horizontal e, principalmente, a pesagem dos celulares junto com suas capas protetoras.

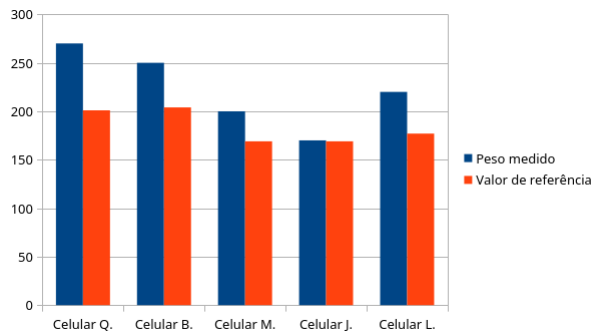


Figura 7: Distribuição de peso e comparação com referência

Note, inclusive, que o peso medido do Celular J. possui a melhor aproximação de seu valor de referência, o que contribui com a hipótese de que o erro está fortemente associado ao uso das capas protetoras, tendo em vista que este aparelho foi o único pesado sem capa.

¹Retirado de <https://www.sucrana.com.br/tabelas/peso-especifico-materiais.pdf>

²<https://portal.if.usp.br/labdid/sites/portal.if.usp.br/labdid/files/densidade.pdf>

3.3 Gangorra

Durante o experimento foram feitos os seguintes testes:

Quadro 1: Testes da gangorra

Caso	Posicionamento	Resultado
1	Colocar pedra na água	Gangorra tomba para seu lado
2	Colocar pedra lentamente no barco que estava sobre a água, com ambos boiando no final	Gangorra não tomba
3	Colocar pedra rapidamente no barco que estava sobre a água	Gangorra tomba para seu lado
4	Barco cheio de água (até acima do nível à sua volta)	Gangorra tomba para seu lado
5	Retirar pedra lentamente do barco	Gangorra não tomba
6	Retirar pedra rapidamente do barco	Gangorra tomba para o outro lado

Dentre esses, serão discutidos mais a fundo o primeiro e o segundo, por responderem à questão problema do experimento.

3.3.1 Primeiro caso: pedra sozinha

O fato da gangorra ter caído para o lado da pedra indica que este estava mais pesado, de forma que o torque resultante fez a balança tombar para esse lado. Quando a pedra foi colocada na água ela deslocou um volume de água equivalente a seu volume, assim aumentando o nível da água. Porém, como a pedra era mais densa que a água, o peso da água do outro lado que ocupava o mesmo espaço que a pedra era inferior ao peso da pedra, como indicado na Figura 8. Assim, o maior peso da pedra resultou em uma força maior aplicada ao seu lado da balança, o que acarretou em um torque e movimento para o seu lado.

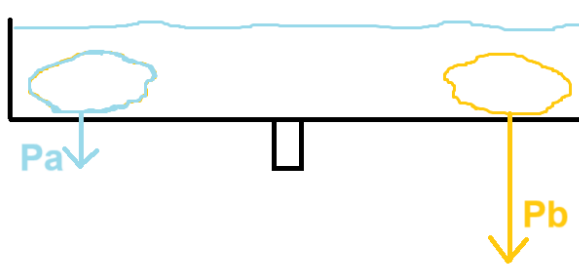


Figura 8: Diagrama da gangorra com pedra, logo antes de tombar

P_a : peso da massa de água do outro lado que ocupava o mesmo volume que a pedra;

P_b : peso da pedra.

3.3.2 Segundo caso: pedra no barco

Quando a pedra foi colocada no barco lentamente ele afundou um pouco, deslocando água e assim fazendo o nível do fluido subir, porém sem tombar a gangorra. Isso significa que a massa dos dois lados permaneceu aproximadamente equivalente e realizando torques similares, ou seja, estava distribuída horizontalmente de forma homogênea. Isso aconteceu porque o peso do barco (por barco refere-se ao conjunto barco+ar

dentro+pedra) foi completamente balanceado pelo empuxo (perceptível por ele não afundar). Portanto, o peso do volume de água que ele deslocou equivalia ao seu peso, como mostrado no diagrama abaixo:

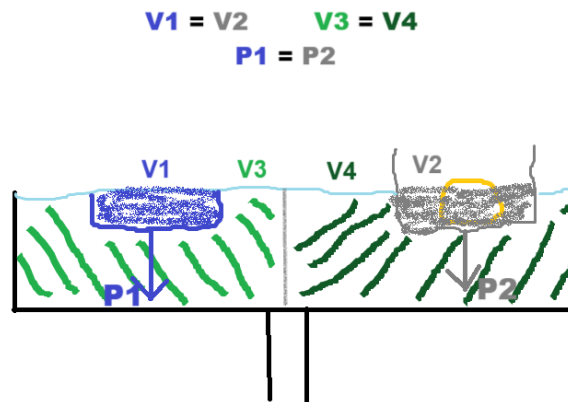


Figura 9: Diagrama pedra no barco

V1: volume de água equivalente ao volume de água deslocado pelo barco;

V2: volume do barco que encontrava-se submerso;

V3: volume de água no lado esquerdo, à parte de V1;

V4: volume de água no lado direito;

P1: peso da água contida em V1;

P2: peso do barco (incluso barco, pedra e o ar contido nele).

Pode-se considerar os pesos de V3 e V4 como equivalentes. Já o peso do barco era equivalente ao do volume V2 de água, pois pelo Princípio de Arquimedes o empuxo equivale ao peso do volume de fluido deslocado (neste caso igual a V2), e, neste caso, o empuxo era igual em módulo ao peso do barco, pois este estava em repouso (sem subir ou afundar).

3.3.3 Análise dos casos 1 e 2

A partir do raciocínio descrito, pode-se concluir que, caso um objeto permaneça flutuando (por ser, ~~no~~ **total**, menos denso que a água), ele não afetará o equilíbrio da gangorra. Isso porque o volume de água deslocado terá um peso equivalente ao do objeto, assim o outro lado que possui o volume de fluido ao invés do objeto apresentará mesmo peso e torque. Entretanto, se o objeto for mais denso que a água, a massa extra não será compensada pelo deslocamento de fluido.

3.4 Demais casos

No caso 4 a gangorra tombou por haver mais água no lado com o barco (que sustentava parte do líquido acima do nível da água à sua volta), assim havendo maior concentração de massa do seu lado.

O caso 5 equivale ao caso 2, embora em ordem contrária. Conforme a pedra foi retirada, o peso total do barco reduziu e ele subiu em relação ao nível da água até chegar ao equilíbrio. Como foi feito lentamente houve tempo para que a água retornasse para o lado do barco sem causar tombamento pela diferença de massas.

O caso 3 apresentou tombamento pelo acréscimo rápido da pedra fazer com que seu lado por alguns instantes pesasse consideravelmente mais que o outro, pois ainda não havia tido tempo suficiente para a água deslocar-se e igualar o nível.

De forma análoga, no caso 6 a retirada repentina da pedra faz com que seu lado pesasse menos e, antes que o barco subisse pelo retorno da água do outro lado, esse segundo por ter mais massa acabou tombando.

3.5 Bonecos flutuantes

Todos os integrantes do grupo foram capazes de realizar o desafio proposto, veja a Figura 10. Além disso, observou-se que, ao pressionar a garrafa, o boneco submergia, retornando à posição flutuante quando a pressão era liberada. O movimento do boneco ocorria de maneira consistente, independentemente do local onde a garrafa era apertada, sugerindo uma relação direta com a variação de pressão no interior do recipiente. O fenômeno se repetiu de forma idêntica em todas as tentativas realizadas.



Figura 10: Integrantes do grupo sorrindo após concluírem o desafio

O comportamento do boneco dentro da garrafa pode ser explicado pelos princípios da hidrostática e da variação de pressão. Já sabemos, que o boneco flutuante possui uma cavidade com ar em sua parte inferior, o que garante sua flutuação inicial devido ao volume deslocado de água, que gera empuxo maior que o peso do boneco. Quando a garrafa é pressionada, a pressão hidrostática no interior do líquido aumenta, comprimindo o ar dentro do boneco e reduzindo seu volume de água deslocado. Consequentemente, o empuxo diminui, fazendo com que o boneco desça. Em relação ao boneco não-flutuante, a quantidade inicial de ar em sua cavidade é menor e, consequentemente, sua força empuxo é menor. Nesse caso, a força empuxo é menor que a força peso e, assim, o boneco não flutua mesmo sem aumento da pressão externa. Dessa forma, observou-se que para vencer o desafio proposto era necessário utilizar os ganchos no boneco flutuante para segurar o boneco não-flutuante, que foi possível pois a soma das forças de empuxo dos bonecos era superior a soma de suas forças peso.

Além disso, quanto à posição em que a garrafa é apertada, não há diferença aparente no movimento do boneco, dado que, de acordo com o Princípio de Pascal, a pressão aplicada em um fluido incompressível se transmite integralmente em todas as direções. Portanto, independentemente do local onde se pressiona a garrafa, a variação de pressão será a mesma em todo o sistema, resultando no mesmo efeito sobre o boneco.

4 Conclusão

A realização dos experimentos propostos permitiu uma aplicação prática e aprofundada dos conceitos fundamentais da hidrostática, especialmente do princípio de Arquimedes. Ao longo das atividades, foi possível observar como a força de empuxo atua sobre objetos imersos em fluidos, sendo proporcional ao

volume de fluido deslocado, e como essa força interfere no equilíbrio e na flutuação de diferentes corpos.

No experimento do princípio de Arquimedes, observamos de forma clara a relação entre o empuxo e a densidade do material analisado, possibilitando a identificação indireta da composição do corpo submerso. A balança de empuxo, por sua vez, demonstrou a viabilidade de medir massas de objetos por meio da variação do nível de água, evidenciando uma aplicação criativa e eficiente do princípio físico.

A atividade com a gangorra permitiu visualizar o equilíbrio de forças e torques em sistemas parcialmente imersos, destacando o papel do empuxo como uma força de sustentação que influencia diretamente a estabilidade do sistema. Já os bonecos flutuantes ilustraram de forma didática a aplicação do Princípio de Pascal e o comportamento de corpos em função da variação de pressão no interior de um líquido, reforçando conceitos de compressibilidade dos gases e deslocamento de volume.

Assim, os experimentos não apenas consolidaram o conhecimento teórico sobre hidrostática, empuxo e equilíbrio de forças, como também estimularam a capacidade de análise crítica e experimental. A integração entre teoria e prática demonstrou a importância desses conceitos na compreensão de fenômenos cotidianos e no desenvolvimento de tecnologias que envolvem fluidos e flutuação.

Referências

- 1 MENESES, J. N. *Princípios de Hidrostática*. 2. ed. [S.l.]: Editora XYZ, 2018.
- 2 NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor*. 5. ed. [S.l.]: Blucher, 2014.
- 3 THOMPSON, S. P. *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2008.