

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI

**ANDRESSA REZENDE GIGLIO
CINTHIA DE OLIVEIRA REIS FERREIRA
JÉSSICA LIMA COIMBRA DE JESUS
RENATA SANTOS CORRÊA**

**ELABORAÇÃO DE ROTEIROS PARA AS
AULS PRÁTICAS DA DISCIPLINA MECÂNICA
DOS FLUIDOS**

OURO BRANCO – MINAS GERAIS

2015

**ANDRESSA REZENDE GIGLIO
CINTHIA DE OLIVEIRA REIS FERREIRA
JÉSSICA LIMA COIMBRA DE JESUS
RENATA SANTOS CORRÊA**

**ELABORAÇÃO DE ROTEIROS PARA AS AULS
PRÁTICAS DA DISCIPLINA MECÂNICA DOS
FLUIDOS**

**Relatório Final apresentado à
Universidade Federal de São João Del
Rei, como parte das exigências do
Trabalho de Contextualização e
Integração Curricular, para obtenção
do título de Bacharelado de Ciência e
Tecnologia.**

**Orientador: Emmanuel Kennedy da
Costa Teixeira.**

**OURO BRANCO – MINAS GERAIS
2015**

RESUMO

Este trabalho teve como proposta elaborar relatórios didáticos e de caráter demonstrativo, abordando conteúdos de Mecânica dos Fluidos. Utilizou-se o aparelho H314 da TecQuipmentLtd, com ele foi possível realizar experimentos para que tais relatórios fossem desenvolvidos e testados, cada um apresentando temas específicos relativos à disciplina de Mecânica dos Fluidos.

A importância de se desenvolver tais relatórios foi para que houvesse maior compreensão prática dos conteúdos apresentados na teoria. Foi realizada a descrição do desenvolvimento dos experimentos assim como os resultados obtidos por eles.

ABSTRACT

The purpose of this paper work had the intention to elaborate reports in a didactic and demonstrative way, approaching the concepts of fluid mechanics. It was used an equipment H314 from TecQuipment Ltd, with it, was possible to make experiments to create and test such reports, each one presenting specific themes related to the discipline of fluid mechanics.

The importance to develop these reports was to create a bigger understanding of the practice contents presented in theory. It was made the development description of the experiments as the results obtained from them.

SUMÁRIO

1. Introdução	6
2. Objetivo	7
3. Revisão de literatura.....	7
4. Metodologia.....	11
4.1. Massa específica ou densidade absoluta (ρ) e Peso específico (γ)	14
4.1.1. Proveta de medida	14
4.1.2. Recipiente de prova	15
4.1.3. Massa específica de um sólido	16
4.2. Densidade relativa	16
4.3. Tensão superficial.....	17
4.4. Viscosidade absoluta ou dinâmica (μ) e viscosidade cinemática (ν)	18
4.5. Princípio de pascal	18
4.6. Barômetro de mercúrio	19
4.7. Manometria.....	19
4.8. Princípio de Arquimedes.....	19
4.9. Forças em superfícies planas submersas.....	19
4.10. Equilíbrio de corpos flutuantes	20
5. Resultados e discussões.....	23
6. Conclusão	24
7. Referências bibliográficas	24
8. Anexos	25
8.1. Roteiro 01	26
8.2. Roteiro 02	33
8.3. Roteiro 03	45

1. Introdução

A Mecânica dos Fluidos é uma ciência que estuda o comportamento dos fluidos (líquidos e gases) em condições estáticas e dinâmicas. Ela começou a ser estudada na Grécia Antiga, com “Arquimedes”, cujo qual desenvolveu um dos teoremas mais importantes desta disciplina, que relaciona o empuxo com o volume deslocado pelo objeto quando imerso em um líquido. Também teve destaque nesta área Pascal, criando o Princípio que leva seu nome, que mostra que a pressão aplicada a um fluido fechado num recipiente transmite-se uniformemente em todas as direções, “Newton” e a viscosidade dinâmica, “Bernoulli” com o Teorema que relaciona inversamente a velocidade e a pressão de um fluido em movimento, “Venturi” e os estudos de fluxo e “Reynolds” com a distinção entre fluxos laminar e turbulento, entre outros.

Na Engenharia Civil, ela está presente no dimensionamento de um canal – realizando estudos de fluxos e vazão, juntamente com a hidráulica para o cálculo de perdas de carga –, redes de distribuição de água, ar, combustíveis, esgotos, etc., no estudo e escolha de bombas hidráulicas, na ventilação (ar condicionado) predial, na ação dos fluidos sobre superfícies submersas (barragens), equilíbrio de corpos flutuantes (embarcações), ação do vento sobre construções civis e no transporte de sólidos por via pneumática ou hidráulica (elevadores hidráulicos). Dessas aplicações citadas, pode-se relacionar com este trabalho a ação de fluidos sobre superfícies submersas e equilíbrio de corpos flutuantes.

Quanto ao trabalho, a equipe tinha como motivação colocar em prática conhecimentos adquiridos em sala de aula e poder contribuir com a melhora do laboratório de Hidráulica, localizado na Universidade Federal de São João Del-Rei, *campus* Alto Paraopeba. Ele possuía poucos equipamentos em funcionamento o que implicava na não participação efetiva de todos os alunos nas práticas. Pensando neste fato, este trabalho foi direcionado a instalar o equipamento H314 Hidrostática e Propriedades dos Fluidos da TecQuipment e criar roteiros para melhorar as aulas práticas.

2. Objetivo

Instalar o equipamento H314 Hidrostática e Propriedades dos Fluidos da TecQuipment e criar roteiros para os diversos experimentos que este aparato comporta. Eles serão utilizados nas futuras aulas práticas da disciplina Mecânica dos Fluidos, a fim de melhorar a didáticas das aulas práticas.

3. Revisão de literatura

Mecânica dos Fluidos é a ciência que estuda o comportamento físico dos fluidos, assim como as leis que regem esse comportamento (Brunetti, 2009).

A palavra fluido refere-se tanto para gases como para líquidos (por exemplo, ar e água) e, embora existam diferenças entre eles, ambos possuem as mesmas propriedades essenciais quando submetidas a uma força qualquer, uma alteração infinita da forma ocorrerá se a força durar um tempo suficiente. Alternativamente, pode-se dizer que se afetado por uma força, um fluido moverá continuamente, enquanto um sólido distorcerá apenas por uma quantidade fixa.

Ambos, líquidos e os gases compartilham a propriedade da fluidez descrita anteriormente, mas diferem em outros aspectos. A quantidade de líquido tem um volume definido e, se em contato com um gás, tem um limite definido ou superfície livre. Os gases, por outro lado, expandem-se para preencher os espaços disponíveis e não podem ser considerados como tendo um volume definido, a menos que forçado por todos os lados por limites fixos, como um recipiente totalmente fechado. O volume de um líquido muda um pouco com a pressão e temperatura, mas para um gás estas mudanças podem ser muito maiores. Para os efeitos da engenharia, os líquidos podem ser considerados, em alguns casos, como incompressíveis, pelo qual entende-se que o volume e densidade não mudam significativamente com a pressão, enquanto os gases geralmente são tratados como compressíveis. Da mesma forma, os efeitos da variação de temperatura podem muitas vezes ser ignorados para os líquidos, exceto em casos especiais, mas devem ser considerados com os gases.

O engenheiro frequentemente está envolvido com a determinação das forças produzidas por um fluido estático ou em movimento e, ao fazer isto, as diferenças acima mencionadas entre os líquidos e os gases podem ser muito importantes.

Limitando o estudo às propriedades dos líquidos, em especial, à água no aparelho H314, foi necessário revisar alguns conceitos referentes à mecânica

dos fluidos, os quais serão discutidos a seguir.

a) Determinação da massa específica do fluido e densidade relativa:

A massa específica é uma propriedade importante de um fluido. Ela é obtida como o quociente entre a quantidade de massa (m) e o volume (V) que essa quantidade ocupa.

A densidade relativa de um líquido, ou gravidade específica como é chamada algumas vezes, é a razão da massa específica de um fluido com a massa específica da água.

b) Capilaridade (ação capilar) em tubos e entre placas:

O conceito de capilaridade engloba a subida ou descida de um líquido por meio de um tubo fino (capilar). Considerando-se que esse tubo é de vidro, pode-se explicar esse fenômeno pela interação das moléculas da água com o vidro, que varia de acordo com o diâmetro do tubo, o tipo de líquido e sua viscosidade e a temperatura.

c) Medida de viscosidade pelo método da esfera cadente:

A viscosidade de um fluido é basicamente uma medida de resistência ao escoamento. A água é um fluido com pequena viscosidade. A viscosidade também depende da temperatura.

Viscosidade ou Atrito Interno é a propriedade que determina o grau de resistência do fluido à força cisalhante, ou seja, resistir à deformação (Gomes, 2012).

Para fluidos que se movem através de tubos, a viscosidade leva a esta força resistiva. Tal resistência pode ser imaginada como uma força de atrito agindo entre as partes de um fluido que estão se movendo a velocidades diferentes. O fluido muito perto das paredes do tubo, por exemplo, se move muito mais lentamente do que o fluido no centro do mesmo.

O fluido em um tubo sofre forças de atrito. Existe atrito com as paredes do tubo, e com o próprio fluido, convertendo parte da energia cinética em calor. As forças de atrito que impedem as diferentes camadas do fluido de escorregar entre si são chamadas de viscosidade. Pode-se medir a viscosidade de um fluido medindo as forças de arraste entre duas placas.

d) Demonstração da Lei de Pascal:

Segundo esta lei, a pressão aplicada a um fluido fechado num recipiente transmite-se uniformemente em todas as direções.

A pressão exercida sobre a superfície da massa líquida é transmitida no seu interior, integralmente e em todas as direções (Gomes, 2012).

Num fluido estático, a força é transmitida à velocidade do som ao longo do fluido, e esta força atua perpendicularmente a qualquer superfície interior, ou que contenha o fluido.

A lei da Pascal é uma consequência imediata da equação fundamental da hidrostática.

e) Verificação da Lei de Arquimedes e demonstração dos princípios de flutuação:

Arquimedes estabelece que um objeto total ou parcialmente imerso em um fluido desloca um volume de fluido que pesa o mesmo que a aparente perda de peso do objeto. Esta perda de peso, por sua vez, é igual à magnitude da força vertical de baixo para cima, ou impulsão, experimentada pelo objeto.

Se o peso do objeto for inferior à impulsão exercida pelo fluido, ele flutuará, parcial ou completamente, acima da superfície. Se o seu peso for igual à impulsão, o objeto ficará em equilíbrio na profundidade que for abandonado. Se o seu peso for superior à impulsão, ele afundará.

f) Estabilidade de um corpo flutuante e determinação da altura metacêntrica:

Define-se estabilidade como a capacidade que um corpo flutuante possui de retornar a sua posição de equilíbrio, após ter sido cessada a perturbação responsável pela retirada da posição original de equilíbrio.

A estabilidade é medida em termos de altura metacêntrica transversal, que pode ser entendida como sendo a distância entre a posição vertical do centro de gravidade e a altura do metacentro transversal. A estabilidade também é medida em termos de altura metacêntrica longitudinal, que é definida de maneira similar.

No caso de um navio, os problemas de estabilidade geralmente se concentram no plano transversal, uma vez que a inércia de área de linha d'água transversal é bem menor que a longitudinal.

Quando um corpo flutuante sofrer uma rotação devido a uma ação qualquer (ventos, ondas, etc.), o binário formado pelo peso (P) e o empuxo (E) tenderá a três situações: o centro de gravidade está abaixo do centro de carena, o centro de gravidade coincide com o centro de carena e o equilíbrio é indiferente ou o centro de gravidade está acima do centro de carena.

Logo, tem-se três classes de equilíbrio. O equilíbrio estável: quando o metacentro está acima do centro de gravidade. O equilíbrio instável: quando o metacentro está abaixo do centro de gravidade. E o equilíbrio indiferente: quando o metacentro coincide com o centro de gravidade.

g) Medida de força e centro de pressão em uma superfície plana:

As forças que atuam em uma superfície plana submersa são originadas pelas pressões dos pontos do fluido em contato com a superfície plana submersa, e estas pressões podem apresentar dois tipos de distribuição ao longo da superfície, um primeiro tipo no qual: as pressões apresentam uma distribuição uniforme ao longo da superfície e um segundo tipo no qual as pressões não são uniformemente distribuídas. A primeira situação ocorre para nos líquidos quando a superfície se encontra em um plano horizontal e nos gases a superfície se encontra em uma posição qualquer, desde que o seu comprimento na vertical seja inferior a 100,00 m. O segundo tipo representa o que geralmente ocorre em comportas planas, caracterizando um exemplo típico da Engenharia Civil.

h) Operação e calibração de um manômetro de Bourdon:

O manômetro tipo peso morto, também denominado de manômetro de peso estático, é utilizado para calibrar medidores de pressão tipo elástico, tais como tubo de Bourdon, e também como manômetro padrão de altas pressões. Quando o peso se equilibra com a pressão aplicada ajusta-se o manômetro.

i) Princípios de um barômetro de mercúrio de braço único:

Barômetro de mercúrio consiste em um longo tubo de vidro, fechado em

uma extremidade, que foi previamente preenchido com mercúrio e posteriormente invertido em um recipiente que contém mercúrio. O espaço acima da coluna de mercúrio contém apenas vapor de mercúrio, sendo que a pressão extremamente pequena pode ser desprezada, de modo que a pressão no topo da coluna de mercúrio é praticamente igual a zero.

j) Manômetro de tubos em U: fluido/ar e mercúrio sobre água:

O termo manômetro refere-se a todos os métodos de medida de pressão, mas no uso normal, é tomado para se referir às colunas de líquido e em especial aquelas na forma de tubos em U.

Um manômetro de tubo U pode medir a pressão diferencial entre os dois pontos num sistema contendo fluido (líquido ou gás) de densidade qualquer. No tubo em U preenchido com fluidos, sua pressão diferencial é medida em termos de diferença na altura entre duas colunas.

4. Metodologia

Esta pesquisa foi de caráter exploratório, de forma a aprimorar os conhecimentos na área de mecânica dos fluidos, fazendo com que a teoria vista em sala de aula, fosse executada no laboratório. Neste processo, utilizou-se o laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de São João Del-Rei – Campus Alto Paraopeba, no qual está equipamento H314 Hidrostática e Propriedades dos Fluidos da TecQuipment, o qual é mostrado na Figura 1 e que foi utilizado durante todo o trabalho.

O aparato consiste de um molde plástico integral montado sobre rodízio com trava e é completa com todos os equipamentos necessários para uma gama de experimentos. A maioria dos equipamentos é rigidamente montada na bancada, com o restante sendo itens livres disponíveis para uso. A água necessária para os experimentos foi fornecida por mangueira do laboratório, próxima ao equipamento.

Os materiais utilizados nos trabalhos são listados a seguir. Ressalta-se que a numeração de cada material está de acordo com a numeração representada na Figura 1 e na Figura 2, a qual indica o local de cada material no aparato.

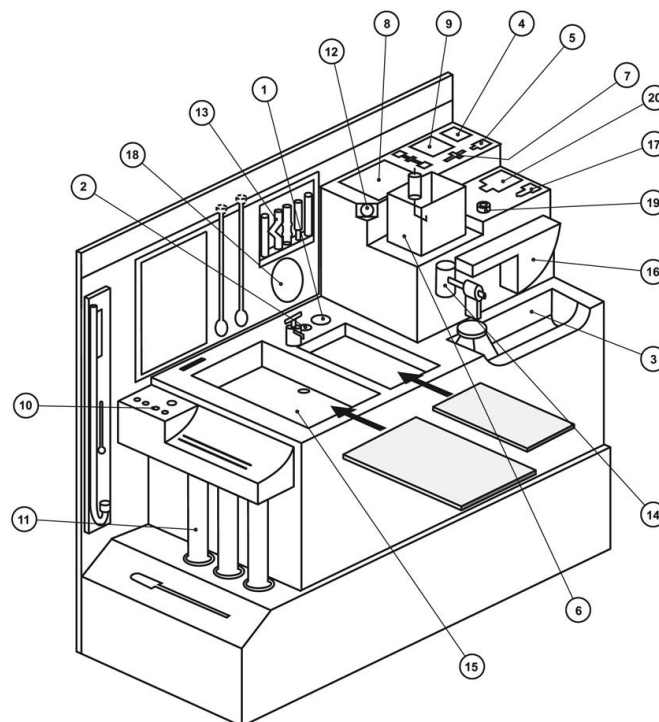


Figura 01 – Equipamento H314 e indicação do local dos materiais no equipamento – Parte 01.

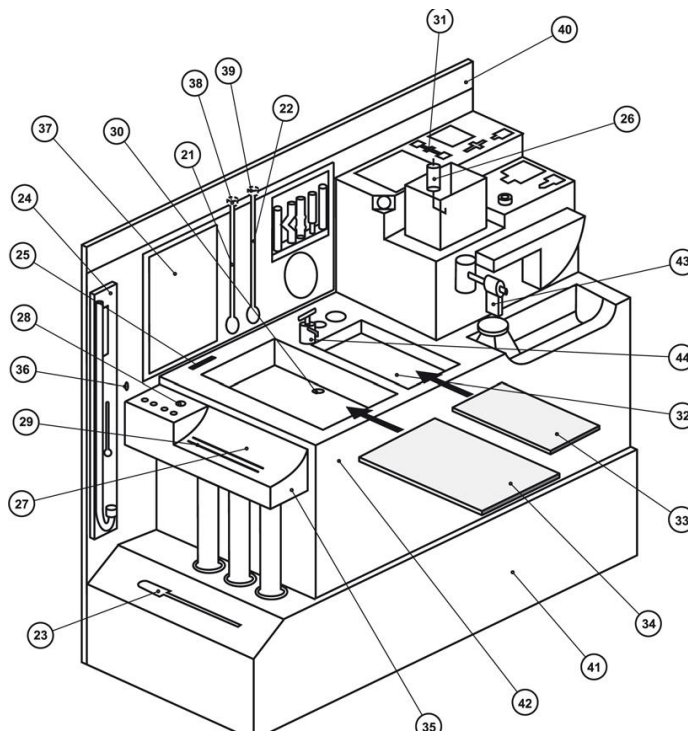


Figura 02 – Indicação do local dos materiais no equipamento – Parte 02.

1. Proveta de medida – 800 ml;
2. Proveta de medida – 100 ml;
3. Balança;
4. Vasilha de prova (Eureka);
5. Frasco de densidade;
6. Tanque principal;
7. Tubo capilar;
8. Placa capilar;
10. Esferas;
11. Jarra graduada;
12. Cronômetro;
13. Tubos de Pascal;
14. Arquimedes;
15. Plataforma flutuante;
17. Pesos (Metal);
18. Manômetro de Bourdon;
19. Cilindro de calibração;
20. Pesos (Ferro);

21. Manômetro de mercúrio;
22. Manômetro de água;
23. Bomba de ciclo;
24. Barômetro;
25. Válvula (V1);
26. Medidor de profundidade;
27. Hidrômetro;
28. Guia da esfera;
29. Tubo de pipeta;
30. Tampão de borracha;
31. Suporte peso 50g (Metal);
32. Cobertura do dreno;
33. Cobertura do coletor do lado direito;
34. Cobertura do coletor do lado esquerdo;
35. Molde lateral;
36. Válvula de Schrader (V4);
37. Guia do usuário;
38. Dispositivo do manômetro de mercúrio;
39. Dispositivo do manômetro de água;
40. Molde superior;
41. Unidade principal;
42. Tanque reservatório (Interno);
43. Escala vertical;
44. Bomba de Escoamento.

Para a confecção dos roteiros de maneira adequada, baseou-se no manual do fabricante e em materiais de apoio, de forma a verificar se os experimentos estavam coerentes e gerando resultados plausíveis.

Abaixo segue a metodologia aplicada para cada prática.

4.1. Massa específica ou densidade Absoluta (ρ) e peso específico (γ)

4.1.1. Proveta de medida

O objetivo desse experimento foi determinar a massa e o peso específico da água a 4°C e 20°C, do álcool e do óleo SAE 30.

Para que fosse garantido que a água utilizada nesse experimento estivesse nas temperaturas indicadas acima, antes da realização das medições, colocou-se a água no refrigerador, o qual já estava programado nessas temperaturas específicas.

Pesou-se a proveta vazia e depois preenchida com os líquidos citados acima (Figura 3), um de cada vez, e anotou-se os valores de massa. No caso da água, tentou-se tomar o máximo cuidado com relação à temperatura ambiente, para que a mesma não interferisse tanto no resultado final.

A massa específica média foi determinada diminuindo as massas da proveta cheia pela proveta vazia e dividindo esse valor pelo volume de líquido contido na proveta, segundo a definição da massa específica. Para o peso específico, multiplicou-se a massa específica, encontrada anteriormente, pela aceleração da gravidade.



Figura 03 – Proveta contendo água para medição da massa e específicos.

4.1.2. Recipiente de prova

Novamente visou-se determinar a massa específica da água, agora por meio do frasco chamado Picnômetro (Figura 4).



Figura 04 – Determinação da massa específica da água utilizando o Picnômetro.

Tomando-se os mesmos cuidados com relação à temperatura da água, pesou-se o frasco vazio. Encheu-se com água e colocou-se a tampa, para que possa ser assegurado o volume de 50,0mL. Pesou-se novamente o frasco.

A massa específica foi calculada da mesma maneira descrita no item 4.1.1.

4.1.3. Massa específica de um sólido

Assim como foi feito para líquidos, é possível também determinar a massa específica dos sólidos. Para isto, este experimento baseia-se no princípio de Arquimedes.

Encheu-se o frasco Eureka até que ele transbordasse e se estabilizasse. Pesou-se o objeto sólido. Colocou-se uma proveta no bico do frasco para coletar o volume da água que foi extravasada, quando inseriu-se um objeto

dentro do Eureka. Obtido o volume, pode-se realizar determinar a massa específica do objeto em estudo.

4.2. Densidade relativa

Outra propriedade importante dos fluidos é a densidade relativa, a qual foi determinada utilizando-se um densímetro (Figura 5).

Para isto, colocou-se água a 20°C em uma proveta, localizada sobre uma bancada, e introduziu-se o aparelho dentro dela. A densidade relativa foi especificada diretamente no densímetro, quando ele se encontrava em equilíbrio sobre o líquido.



Figura 05 – Medição da densidade relativa por meio do densímetro.

4.3. Tensão superficial

Este experimento tem como objetivo evidenciar a ação da capilaridade sobre superfícies.

O equipamento fornece dois tubos capilares de vidro com diâmetros internos de 0,8 mm e 1,6 mm (Figura 6).

Para assegurar que o tanque está isento de impurezas, fez-se a sua limpeza. Feito isso, encheu-se com água e colocou-se corante, para que facilitar a visualização da ação da capilaridade.

No suporte localizado no tanque, com o auxílio de gominhas, fixou-se os tubos (também isentos de impurezas) e verificou-se que a ascensão da água, anotando-se o valor da altura que esta alcançou.

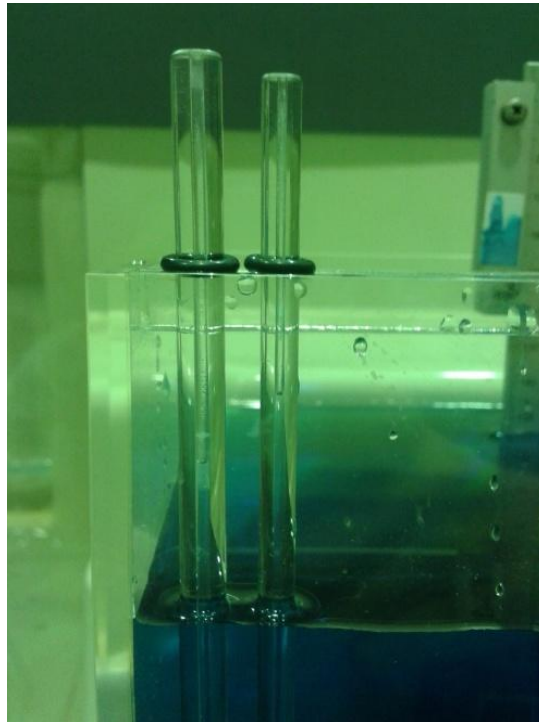


Figura 06 – Determinação da capilaridade.

4.4. Viscosidade absoluta ou dinâmica (μ) e viscosidade cinemática (ν)

Neste experimento, o objetivo era determinar a viscosidade dinâmica e cinemática do óleo SAE-30 e da glicerina.

Inicialmente, o experimento seria feito com água, mas os tempos de queda registrados foram extremamente pequenos e não traria resultados significativos. Portanto, optou-se por fazer com o óleo e glicerina, os quais possuem maior viscosidade.

Em uma proveta, fez-se duas marcas indicando o início e o final de onde se deve começar e finalizar a cronometragem das quedas das esferas. A

distância entre essas marcas era conhecida. Durante o experimento, mediu-se a temperatura de cada fluido.

Utilizou-se dois tipos de esferas com diâmetros conhecidos ($3/32$ e $1/16$). Para cada esfera foram feitas três medições para tornar o resultado mais preciso.

4.5. Princípio de Pascal

O objetivo deste experimento foi medir a pressão que vários pesos exercem no manômetro de Bourdon e se verificar o princípio de Pascal.

Antes de iniciar o experimento, verificou-se o funcionamento do equipamento. Não precisou untar o pistão, pois ele já se encontrava em boas condições para a prática. Feito isso, encheu-se o cilindro com água, local onde se encaixa o tubo, tomando-se cuidado para que não entrasse ar na tubulação que liga esse cilindro ao manômetro.

Mediu-se o diâmetro do pistão a fim de se calcular a sua área.

Adicionou-se os pesos, separadamente, com cuidado no suporte, e anotou-se o valor registrado no manômetro.

4.6. Barômetro de mercúrio

Neste experimento, aferiu-se a pressão atmosférica por meio do barômetro de mercúrio. Para isto, simplesmente mediu-se a altura da deflexão do mercúrio dentro do tubo.

4.7. Manometria

Este experimento visava obter a pressão por meio dos manômetro de mercúrio e de água e comparar os resultados obtidos em cada um.

Abriu-se a válvula V3 do equipamento e, com a ajuda da bomba, bombeou-se ar para dentro dos tubos até que registrassem determinada pressão. Foram medidas várias pressões diferentes.

Quando o manômetro com água atingiu a sua altura máxima, isolou-se sua válvula e fez com que o manômetro de mercúrio chegasse também à sua capacidade máxima.

4.8. Princípio de Arquimedes

O objetivo deste experimento foi a verificação da lei de Pascal e determinar o empuxo que a água exerce em um corpo parcialmente submerso.

Primeiramente, encheu-se um béquer de diâmetro maior com água e fez a sua pesagem. Inseriu-se o sólido (próprio do aparelho) no béquer com água e anotou-se a altura da parte submergida deste objeto. Durante esta etapa também se anotou o valor da massa da soma deste conjunto. Fez-se este procedimento para várias alturas.

4.9. Forças em superfícies planas submersas

Este experimento teve o intuito de determinar o centro de pressão, perpendicular ao plano submerso e o momento do aparato, devido ao impulso ascendente total do fluido na superfície submersa plana, através de métodos práticos e teóricos para análise e comparação. Os materiais utilizados foram: tanque, pipeta e pesos.

Como mostrado na Figura 7, água se encontra na estrutura do tanque. Foi possível observar que os cilíndricos do quadrante possuíam seus eixos coincidentes com o centro de rotação da estrutura do tanque, e, portanto, a pressão total do fluido atuando nestas superfícies não exerce momento sobre aquele centro. O momento existente é devido à pressão do fluido atuando na superfície plana. O momento foi medido experimentalmente adicionando pesos ao suporte montado e água ao tanque do lado oposto ao tanque quadrante.



Figura 07 – Determinação das forças planas submersas.

Este segundo tanque, do mesmo lado da estrutura que está o suporte de peso, existe para provocar um equilíbrio mais preciso ao se adicionar água ele.

Foi usada uma escala no tanque quadrante para medir o nível da água abaixo do pivô no aparelho.

A prática foi equilibrar o aparato através dos pesos mais água, para trazer o plano submerso para a vertical em linha com a régua do pêndulo. Anotou-se o peso e o nível da água e foi pedido que se repetisse o procedimento para toda a faixa de pesos.

4.10. Equilíbrio de corpos flutuantes

Em experimentos anteriores, mostrou-se que o impulso ascendente, ou força de flutuação, é igual ao peso da água deslocada. Observou-se que isto depende apenas do volume imerso do corpo e não da massa específica ou peso. Porém, a problemática de que um corpo flutuará ou afundará depende destes fatores. A força de flutuação máxima foi percebida quando o corpo está totalmente imerso e se este for menor que seu peso total ele afundará. Por outro lado, se for maior, o corpo encontrará uma posição de equilíbrio com

apenas uma parte de seu volume imerso, de modo que a força de flutuação equilibre o peso do corpo, ou seja, o corpo flutuará. Portanto, concluiu-se que o critério de flutuação é que a massa específica deve ser menor que a da água

Através do equipamento da Figura 8, mediu-se o momento, devido ao impulso ascendente total do fluido, numa superfície plana totalmente ou parcialmente submersa, e comparou-se com análises teóricas.



Figura 08 – Equipamento para determinação do equilíbrio de um corpo flutuante.

Sabendo-se que a estabilidade depende da posição do centro de gravidade e, em particular, da sua posição em relação ao centro da flutuação, tem-se que a altura metacêntrica deve ser determinada, pois ela representa uma medida de estabilidade.

Se o equilíbrio será estável, neutro ou instável a determinação se dará pela altura do seu centro de gravidade, e, neste experimento, a estabilidade de uma plataforma flutuante foi determinada com o seu centro de gravidade em várias alturas.

Na Figura 9, nota-se a estrutura do equipamento: uma plataforma flutuante de forma retangular flutua na água e nela está contida uma vela de plástico, com cinco fileiras de ranhuras em “V” em alturas igualmente espaçadas na vela. Os centros das ranhuras são espaçados em intervalos de

7,5 mm, igualmente dispostos sobre o centro da linha da vela. Um peso ajustável, constituído de dois cilindros usinados que podem ser parafusados em conjunto, de modo a encaixar nas ranhuras em “V” da vela, sendo que este detalhe foi usado para alterar a altura do centro de gravidade e o ângulo da marca da plataforma flutuante. Um pêndulo é suspenso a partir do centro da vela, o qual foi usado em conjunto com a escala fixada abaixo da base da vela para medir o ângulo da marca. Os materiais utilizados foram: equipamento para flutuabilidade mais acessório, tanque e trena.



Figura 09 – Apresentação do corpo flutuante utilizado no experimento.

A massa total do equipamento (incluindo os dois pesos magnéticos e o peso ajustável) está estampada em uma etiqueta fixada na carcaça da vela. A massa total (m) é a soma de todos os valores de massa.

Foram fixados os dois pesos magnéticos à base da plataforma flutuante. A corda com o peso do pêndulo é fixada através do furo na vela, garantindo-se que o peso do pêndulo esteja livre e suspenso ao lado da vela, a qual possui a linha central graduada, e colocou-se o peso ajustável dentro da ranhura em “V” da linha central da fileira mais inferior. Marcou-se o ponto onde a linha do pêndulo cruza a linha central da vela.

Com o peso ajustável colocado no centro de uma das fileiras, deixou-se a plataforma flutuar na água e posicionaram-se os dois pesos magnéticos na base da plataforma para arrumar a embarcação. Após a embarcação ser arrumada corretamente, o peso ajustável pode ser movido para posições em ambos os lados da linha central, para cada uma das cinco fileiras. Em cada posição, o deslocamento pode ser determinado pelo ângulo que a linha do pêndulo a partir do topo da vela faz com a escala da carcaça da vela.

Feito todos os ajustes no equipamento, executou-se o experimento para determinar o centro de carena e o metacentro do corpo flutuante. Experimentalmente se determinou a distância entre o centro de carena e o metacentro e comparou-se com os valores calculados utilizando conhecimento teórico.

5. Resultados e discussões

Realizados os experimentos descritos no item anterior, elaborou-se três roteiros de aulas práticas, os quais já foram utilizados neste semestre, durante as aulas práticas da disciplina Mecânica dos Fluidos. Os roteiros estão no Anexo.

No 1º roteiro de aula prática, abordou-se os temas: Massa específica e peso específico dos fluidos, massa específica de um sólido e densidade relativa.

A 2ª aula prática foi sobre tensão superficial e viscosidade, completando, assim, o conteúdo sobre propriedades físicas dos fluidos. Também abordou sobre a estática dos fluidos, mas especificamente sobre o princípio de Pascal, barômetro e manometria.

O roteiro da 3ª aula prática abordou os conteúdos: Princípio de Arquimedes, forças em superfícies planas e equilíbrio de corpos flutuantes

Durante a execução das aulas práticas, observou-se que elas ficaram mais dinâmicas e participativas, pois agora, diferentemente dos outros semestres, todos os grupos realizam a prática. Assim, o resultado final de cada experimento é diferente para cada grupo.

Utilizando-se os roteiros da 1ª e 2ª aula prática, verificou-se que os resultados dos experimentos foram próximos aos esperados e aos observados na literatura. Não foram exatamente idênticos devido às imprecisões de leituras dos grupos. Entretanto, a metodologia do roteiro da 3ª aula prática deve ser melhorada, mais precisamente a parte sobre equilíbrio de corpos flutuantes, pois os resultados obtidos experimentalmente diferiram muito dos resultados obtidos calculados pelas equações

Com a elaboração deste trabalho, pode-se aumentar o número de aulas práticas da disciplina de três para cinco aulas no semestre. Ressalta-se que esse número deverá aumentar em mais uma aula prática no próximo semestre, pois verificou-se que o roteiro da 3ª aula prática ficou extenso, de forma que deverá ser dividido em duas aulas práticas, o que tornará essa prática menos corrida e mais fácil de ser assimilada.

6. Conclusão

Quanto ao enriquecimento pessoal de cada uma das integrantes deste grupo, destaca-se o maior domínio que temos hoje da disciplina e seus conceitos.

O tempo gasto na realização dos experimentos como testes para a elaboração dos roteiros foi de total importância para que os mesmos ficassem de boa qualidade e ajudassem nas aulas práticas que seriam ministradas com a ajuda deles.

Durante as primeiras práticas que utilizaram esses roteiros, era perceptível a melhora na didática e na participação dos estudantes na realização dos experimentos. Anteriormente as aulas eram quase que expositoras, apenas alguns estudantes faziam alguma leitura, agora todos tem a possibilidade de executar os experimentos, mesmo sem o professor ao lado servindo como guia.

7. Referências bibliográficas

BERTOLO. **Estática dos Fluidos.** Disponível em: <http://www.bertolo.pro.br/Biofisica/Fluidos/mec_flu.htm> Acesso em macro: 10 de junho de 2015.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos.** 2^a ed. Revisada. São Paulo: Pearson, 16 de setembro de 2009.

GOMES, Maria Helena Rodrigues. **Apostila de Mecânica dos Fluidos.** Disponível em: <www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila-de-Mecânica-dos-Fluidos.pdf> Acesso em: 10 de junho de 2015.

8. Anexos

8.1. Roteiro 01



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

4º Período de Engenharia Civil – 1º semestre de 2015

MECÂNICA DOS FLUIDOS - Prof. Emmanuel Teixeira

Roteiro de Aula Prática – Propriedades físicas dos fluidos

1) Massa específica ou densidade absoluta (ρ) e peso específico (γ)

1.1. Introdução

A massa específica é uma das propriedades mais importantes de um fluido. Ela provém da divisão da massa do fluido pelo seu volume:

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

Equação 1

As unidades usuais do SI e CGS são, respectivamente, kg/m^3 e g/cm^3 . Abaixo se encontra alguns valores de densidade para algumas substâncias.

Tabela 1 – Valores de massa específica de alguns fluidos

Fluido	Massa específica (kg/m^3)
Água destilada a 4°C	1000
Água destilada a 20°C	998
Mercúrio	13590 a 13650
Tetracloroeto de Carbono	1590 a 1594
Petróleo	880

O peso específico (γ) é a força peso (P) exercida, por unidade de volume, em um corpo de massa específica (ρ) submetido à aceleração da gravidade ($g \cong 10,0 \text{ m s}^{-2}$).

$$\gamma = \frac{P}{V} = \rho \cdot g$$

Equação 2

1.2. Experimento

1.2.1. Proveta de medida

Objetivo:

Determinar a massa e peso específico da água a, aproximadamente, 4 e 20°C.
Determinar a massa específica do álcool e do óleo SAE-30.

Materiais utilizados:

- Proveta;
- Balança;
- Termômetro.

Procedimento:

Pese a proveta vazia. Tare a balança com o peso da proveta e logo em seguida pese novamente a proveta, agora com água. Registre os valores.

Massa específica da água:

Experimento	Temperatura (°C)	Tara da Proveta (g)	Volume de água (mL)	Massa da água (g) + massa proveta (g)
1				
2				
3				
4				

Resultados:

Experimento	Massa da água – Tara da Proveta (g)	Massa específica (kg/m³)	Massa específica média (kg/m³)	Peso específico (N/m³)	Literatura (kg/m³)
1					
2					
3					
4					

Massa específica do álcool:

Experimento	Tara da Proveta (g)	Volume de álcool (mL)	Massa de álcool (g) + massa proveta (g)
1			
2			

Resultados:

Experimento	Massa do álcool – Tara da Proveta (g)	Massa específica (kg/m ³)	Massa específica média (kg/m ³)	Literatura (kg/m ³)
1				
2				

Massa específica do óleo SAE-30:

Experimento	Tara da Proveta (g)	Volume de óleo (mL)	Massa do óleo (g) + massa proveta (g)
1			

Resultados:

Experimento	Massa do óleo – Tara da Proveta (g)	Massa específica (kg/m ³)	Massa específica média (kg/m ³)	Literatura (kg/m ³)
1				

1.2.2. Recipiente de prova**Objetivo:**

Determinar a massa específica da água a aproximadamente 20° C com maior precisão.

Materiais utilizados:

- Picnômetro;
- Termômetro;

- Balança.

Procedimento:

Pese o picnômetro vazio. Tare a balança com o peso do picnômetro e logo em seguida pese novamente o picnômetro agora com água. Registre os valores.

Massa específica da água:

Experimento	Temperatura (°C)	Tara do picnômetro (g)	Volume de água (mL)	Massa da água (g) + massa picnômetro (g)
1				
2				

Resultados:

Experimento	Massa da água – Tara do picnômetro (g)	Massa específica (kg/m ³)	Massa específica média (kg/m ³)	Literatura (kg/m ³)
1				
2				

1.2.3. Massa específica de um sólido

Objetivo:

Determinar a massa específica de um sólido.

Materiais utilizados:

- Proveta;

- Frasco Eureka;
- Balança.

Procedimento:

Pese a massa do sólido. Encha o frasco Eureka até transbordar. Coloque uma proveta embaixo do bico do frasco Eureka. Abaixee o objeto sólido cuidadosamente dentro do frasco e colete o líquido na proveta. Registre o volume de água da proveta.

Experimento	Massa do objeto sólido (g)	Volume da água (mL)
1		
2		

Resultados:

Experimento	Massa específica (kg/m ³)	Massa específica média (kg/m ³)
1		
2		

2. Densidade relativa (d)

2.1. Introdução

A densidade relativa (d) é a relação entre a massa específica (ρ) ou peso específico (γ) de um dado fluido e a massa específica (ρ_{ref}) ou peso específico (γ_{ref}) de um fluido tomado como referência. No caso dos líquidos, em condições padrão, considera-se a água a 4^o C como fluido de referência.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{água}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{água}}}$$

Equação 3

2.2. Experimento

Objetivo:

Determinar a densidade relativa da água.

Materiais utilizados:

- Proveta;
- Densímetro.

Procedimento:

Com a proveta sobre uma bancada nivelada, coloque água a aproximadamente 20°C. Insira o densímetro dentro do cilindro e equilibre-o sem que o mesmo toque nas laterais do cilindro. Verifique a marcação. Repita esses passos para a água a aproximadamente 4°C.

Experimento	Temperatura da água (°C)	Densidade
1		
2		

8.2. Roteiro 02



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

4º Período de Engenharia Civil – 1º semestre de 2015

MECÂNICA DOS FLUIDOS - Prof. Emmanuel Teixeira

Roteiro de Aula Prática – Propriedades físicas dos fluidos: Tensão superficial e viscosidade. Estática dos fluidos: Princípio de Pascal, barômetro e manometria

1. Tensão superficial (σ)

1.1. Introdução

A tensão superficial pode ser definida como forças laterais por unidade de comprimento e resulta da coesão entre as moléculas líquidas.

$$\sigma = \frac{F_L}{L}$$

Equação 1

As forças laterais mantêm as moléculas superficiais da água fortemente ligadas entre si, como se formassem uma membrana elástica, constituindo uma “barreira de segurança” para as moléculas interiores.

Outras duas propriedades físicas do fluido são a adesão e coesão. A primeira permite às partículas fluidas resistirem a pequenos esforços de tensão. Quando um líquido está em contato com um sólido, a atração exercida pelas moléculas do sólido pode ser maior que atração existente entre as moléculas do próprio líquido, ocorre então a adesão.

As propriedades de adesão, coesão e tensão superficial são responsáveis pelo fenômeno da capilaridade, que é a elevação de um líquido de peso específico (γ) num tubo de pequeno diâmetro (D) ou num capilar no solo. A altura (h) de ascensão do líquido pode ser encontrada fazendo-se o somatório de força na Figura 1 de um tubo capilar.

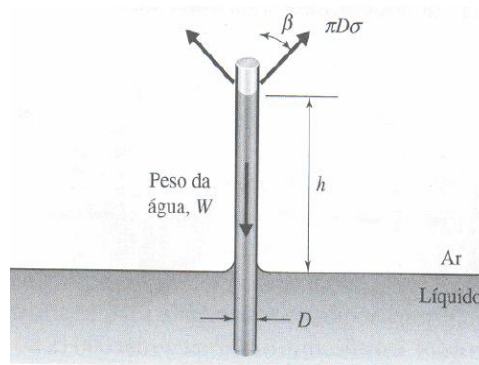


Figura 1 – Capilaridade em tubo de vidro

A partir do somatório de forças chega-se:

$$h = \frac{4\sigma \cos \beta}{\gamma D}$$

Equação 2

Tem-se que para tubo de vidro limpo $\beta = 0$.

1.2. Experimento

Objetivo:

Visualização da capilaridade e determinação da tensão superficial da água.

Materiais utilizados:

- Tanque com água;
- Tubos + gominhas;
- Régua.

Procedimento:

Encha o reservatório com água. É sugerido que se coloque corante na água para melhor verificação da capilaridade. Coloque as gominhas nos tubos de modo que elas segurem os mesmos no suporte existente no tanque para equilibrá-los. Logo em seguida, coloque-os no suporte. Certifique-se que os tubos não possuam nenhuma impureza. Para que a leitura da altura da água seja feita com eficiência, não deixe que bolhas de ar fiquem dentro dos tubos, a água do tanque também não deve conter impurezas. Anote os valores encontrados.

Espessura do tubo (mm)	Altura verificada nos tubos (mm)
1,6	
0,8	

Resultados:

Adotar $\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$

Espessura do tubo (mm)	Tensão superficial (N/m)
1,6	
0,8	

2. Viscosidade absoluta ou dinâmica (μ) e viscosidade cinemática (ν)

2.1. Introdução

A viscosidade dinâmica é a propriedade que representa a resistência do fluido à deformação, ou seja, é a resistência que todo fluido oferece ao movimento relativo de suas partes. Pode-se definir ainda como a capacidade do fluido em converter energia cinética em calor, ou a capacidade do fluido em resistir ao cisalhamento. Depende da massa específica do fluido e da sua temperatura. Não se manifesta se o fluido estiver em repouso.

A viscosidade dinâmica oferece resistência ao escoamento gerando atrito entre as lâminas do líquido, o que promove o surgimento das tensões de cisalhamento (τ), que é descrita pela lei de Newton da viscosidade.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

Equação 3

Onde dv/dy é o gradiente de velocidade.

No SI a unidade da viscosidade dinâmica é Nsm^{-2} ou $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$.

A viscosidade cinemática (ν) é a razão entre a viscosidade absoluta (μ) e a massa específica (ρ).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Equação 4

O movimento de um corpo em um meio viscoso é influenciado pela ação de uma força viscosa (F_v), proporcional à velocidade (v) de sedimentação do corpo, e definida pela relação $F_v = bv$, conhecida como lei de Stokes. No caso de esferas em velocidades baixas, tem-se:

$$F_v = 6\pi\mu Rv$$

Equação 5

Sendo “R” o raio da esfera e “ μ ” a viscosidade dinâmica do meio.

Se uma esfera de diâmetro (d) e massa específica (σ) maior que a massa específica (ρ) de um líquido for solta na superfície do mesmo, no instante inicial a velocidade é zero, mas a força resultante acelera a esfera de forma que sua velocidade vai aumentando, mas de forma não uniforme. Pode-se verificar que a velocidade aumenta não uniformemente com o tempo, mas atinge um valor limite, que ocorre quando a força resultante for nula. A partir desse instante a esfera descreve um movimento retilíneo com velocidade (v) constante. As três forças que atuam sobre a esfera sedimentando são, além da força viscosa (F_v), o peso (P) da esfera e o empuxo (E). Assim, ao realizar o somatório de forças na direção y , chega-se que:

$$v = \frac{gd^2}{18\nu} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)$$

Equação 6

Sendo “ ν ” a viscosidade cinemática do meio.

2.2. Experimento

Objetivo:

Determinar a variação da viscosidade dinâmica entre diferentes fluidos.

Materiais utilizados:

- Frascos graduados;
- Conjunto de esferas de aço com massa específica igual a 7800 kg/m^3 ;
- Cronômetro;
- Termômetro.

Procedimento:

Faça duas marcas nos frascos com aproximadamente 200 mm entre elas. Deixe as esferas, uma de cada vez, caírem no fluido e meça o tempo gasto para que elas cruzem as duas marcas. Meça a temperatura do fluido.

Líquido	Diâmetro da esfera (mm)	Temperatura (°C)	Distância (m)	Tempo de queda (s)
Óleo de motor				
Glicerina				

Resultados:

Líquido	Diâmetro da esfera (mm)	Massa específica (ρ) do líquido (kg/m^3)	Velocidade (v) de sedimentação	Velocidade (v) média de sedimentação	Viscosidade cinemática (ν) (m^2/s)	Viscosidade dinâmica (μ) (Ns/m^2)	
Óleo de motor							
Glicerina							

3. Princípio de Pascal

3.1. Introdução

Quando um fluido está em repouso, ele exerce uma força perpendicular (F_n) sobre qualquer área (A) que esteja em contato com ele.

$$p = \frac{F_n}{A}$$

Equação 7

Segundo o princípio de Pascal, a pressão aplicada a um fluido no interior de um recipiente é transmitida sem nenhuma diminuição a todos os pontos do fluido e para as paredes do recipiente. Assim, tem-se que em qualquer ponto no interior de um líquido em repouso a pressão é a mesma em todas as direções.

Para demonstrá-lo, pode-se considerar no interior de um líquido um prisma imaginário de dimensões elementares: largura (dx), altura (dy) e comprimento unitário, apresentado na Figura 2.

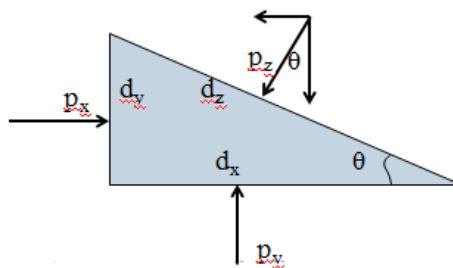


Figura 2 – Prisma imaginário no interior de um líquido.

Fazendo o somatório de força nas direções x e y, chega-se que:

$$p_x = p_y = p_z$$

Equação 8

A prensa hidráulica é uma aplicação deste princípio, por meio desse dispositivo, pode-se, além de transmitir uma força, ampliá-la.

3.2. Experimento

Objetivo:

Medir a pressão de vários pesos por meio do Manômetro de Bourdon e verificar o princípio de Pascal.

Materiais utilizados:

- Pesos;
- Manômetro metálico de Bourdon.

Procedimento:

Primeiramente, deve-se verificar o funcionamento do equipamento. Para isso, retire o pistão da unidade e unte-o com óleo. Encha o cilindro com água e remova o ar preso dentro do tubo transparente. Insira o pistão novamente no cilindro, deixando-o assentado. A Figura 3 apresenta o esquema do aparato.

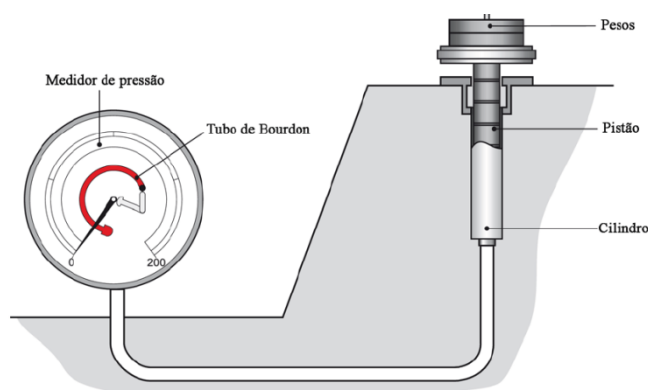


Figura 3 – Princípio do calibrador do manômetro de Bourdon.

Anote a massa do pistão e sua área de seção de transversal. Adicione os pesos gradativamente. Anote a leitura no medidor a cada peso adicionado.

Sempre que adicionar algum peso, gire o pistão para que o equipamento não se danifique. O somatório da massa dos pesos é 5,2 kg, não coloque nada além desse valor. Não se devem colocar dois ou mais pesos de uma só vez. Não jogue os pesos na plataforma.

Área do pistão (m ²)	Massa do pistão (kg)	Massa adicionada ao pistão (kg)	Massa total no pistão (kg)	Leitura do medidor (kN/m ²)

Resultados:

Leitura do medidor (kN/m ²)	Pressão real (kN/m ²)	Erro do medidor (kN/m ²)

4. Barômetro de mercúrio

4.1. Introdução

O barômetro de mercúrio é um tubo em formato de U fechado em uma de suas extremidades. Sua função é aferir a pressão atmosférica local. Nele é adicionado mercúrio, tomando-se o cuidado para que não entre ar. Então o tubo é virado de cabeça para baixo. O peso da coluna de mercúrio é tal que a coluna fica no tubo e um vácuo é formado no topo. Uma pequena quantidade de vapor de mercúrio é formada na lacuna, mas, na maioria dos casos, a pressão na lacuna da coluna pode ser considerada um zero absoluto, ou seja, um vácuo completo. O valor de pressão varia com a altitude, mas normalmente ele se encontra como 760 mm na coluna de mercúrio. A Figura 4 apresenta o esquema do barômetro de mercúrio.

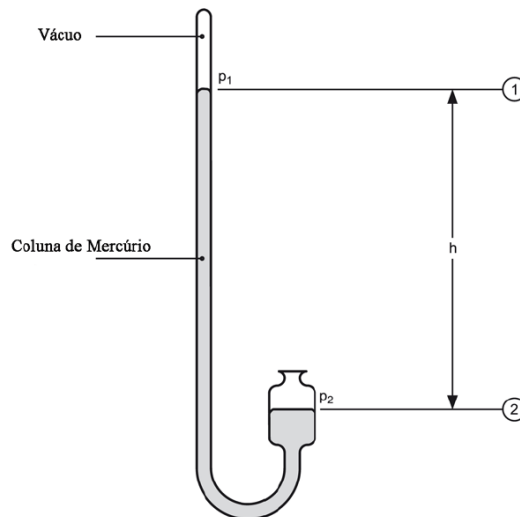


Figura 4 – Barômetro de mercúrio simples.

A pressão atmosférica (p_{atm}) pode ser calculada por:

$$p_{atm} = \gamma_m h$$

Equação 9

Sendo " γ_m " o peso específico do mercúrio.

4.2. Experimento

Objetivo:

Aferir a pressão por meio do barômetro de mercúrio.

Materiais utilizados:

- Barômetro de mercúrio.

Procedimento:

Meça a altura (h) da deflexão do mercúrio.

Resultado:

Peso específico do mercúrio (N/m³)	Altura (h) (m)	Pressão atmosférica (N/m²)

5. Manometria**5.1. Introdução**

Manometria é o estudo dos manômetros, que são dispositivos utilizados na medição de pressão efetiva em função das alturas das colunas líquidas.

5.2. Experimento**Objetivo:**

Aferir a pressão por meio dos manômetros de mercúrio e de água.

Materiais utilizados:

- Manômetro de mercúrio;
- Manômetro de água.

Procedimento:

Meça as alturas (h) da deflexão do mercúrio e da água. Com a válvula de isolamento (V3) para o manômetro de ar/água aberta, conecte a bomba de ar à válvula Schrader e cuidadosamente bombeie até uma pressão ser registrada. Isto será mostrado em ambos os manômetros de mercúrio e água. Compare as leituras de cada manômetro até o manômetro de água alcançar o limite de sua faixa. Isole o manômetro e aumente a pressão até o manômetro de mercúrio estar com a capacidade total. Para soltar o ar de ambos os manômetros, insira o topo da tampa da válvula de Schrader dentro do centro da válvula e dê saída

para o manômetro de mercúrio. Abra a válvula de isolamento para o manômetro de água e novamente solte o ar através da válvula de Schrader.

Coluna de água (mm)	Coluna de mercúrio (mm)	Pressão de acordo com a coluna de água (N/m²)	Pressão de acordo com a coluna de mercúrio (N/m²)

8.3. Roteiro 03



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

4º Período de Engenharia Civil – 1º semestre de 2015

MECÂNICA DOS FLUIDOS - Prof. Emmanuel Teixeira

Roteiro de aula prática – Estática dos fluidos: Princípio de Arquimedes, forças em superfícies planas e equilíbrio de corpos flutuantes

1. Princípio de Arquimedes

1.1. Introdução

Quando se mergulha um corpo qualquer em um líquido, verifica-se que este exerce, sobre o corpo, uma força de sustentação, isto é, uma força dirigida para cima, que tende a impedir que o corpo afunde no líquido. Essa força vertical é denominada *empuxo* do líquido sobre o corpo mergulhado.

Tem-se que um corpo mergulhado em um líquido qualquer, este líquido exercerá forças de pressão em toda a superfície do corpo em contato com ele. Como a pressão aumenta com a profundidade, as forças exercidas pelo líquido, na parte inferior do corpo, são maiores do que as forças exercidas na parte superior. A resultante dessas forças, portanto, deverá ser dirigida para cima. É essa resultante que representa o empuxo que atua no corpo.

A teoria para obtenção da força de empuxo está diretamente relacionada ao princípio de Arquimedes, que diz: “Todo corpo imerso, total ou parcialmente, num fluido em equilíbrio, dentro de um campo gravitacional, fica sob a ação de uma força vertical, com sentido ascendente, aplicado pelo fluido, denominada empuxo (E), cuja intensidade é igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo”.

O princípio de Arquimedes permite calcular a força que um fluido exerce sobre um sólido nele mergulhado. Para provar a lei do empuxo, considere um objeto de área (A) totalmente imerso num líquido em repouso, cujo peso específico é γ , conforme mostrado na Figura 1.

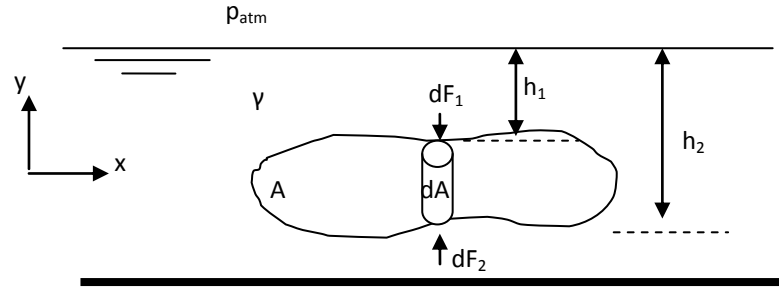


Figura 1 – Corpo totalmente submerso em um líquido.

A força vertical sobre o corpo, devido à pressão hidrostática, pode ser encontrada mais facilmente considerando-se elementos de volumes cilíndricos similares ao mostrado na Figura 1. A força vertical sobre o elemento é:

$$dE = dE_2 - dE_1, \quad \text{sendo } dE = p dA$$

$$dE = p_2 dA - p_1 dA, \quad \text{pela lei de Stevin: } p = p_0 + \gamma h$$

$$dE = (p_2 - p_1) dA$$

$$dE = (p_{\text{atm}} + \gamma h_2 - p_{\text{atm}} - \gamma h_1) dA = \gamma (h_2 - h_1) dA$$

Tem-se que:

$$(h_2 - h_1) dA = dV, \quad \text{volume do elemento cilíndrico.}$$

Então:

$$dE = \gamma dV, \quad \text{integrando}$$

$$E = \gamma V$$

Equação 1

Onde “V” é o volume submerso do objeto, que é igual ao volume de líquido que ele desloca.

Nota-se, pela Equação 1, que o valor do empuxo será tanto maior quanto maior for o volume de líquido deslocado e maior for o peso específico desse líquido.

O peso (G_0) do objeto mergulhado no líquido pode ser expresso em função do seu peso específico (γ_0) e do seu volume (V_0), da seguinte maneira:

$$G_0 = \gamma_0 V_0$$

Equação 2

Quando estiver totalmente mergulhado no líquido, o objeto estará deslocando um volume de líquido (V) igual ao seu próprio volume (V_0), isto é, $V = V_0$. Portanto, para um corpo totalmente imerso no líquido:

$$E = \gamma \mathcal{V} \quad \text{e} \quad G_0 = \gamma_0 V_0$$

Comparando essas expressões, nota-se que elas diferem apenas quanto aos valores dos pesos específicos. Portanto:

- a) Se $\gamma < \gamma_0$, tem-se que $E < G$. Neste caso, a resultante das forças estará dirigida para baixo e o corpo afundará até atingir o fundo do recipiente.
- b) Se $\gamma = \gamma_0$, tem-se que $E = G$. Neste caso, será nula a resultante dessas forças e o corpo ficará em repouso na posição em que foi abandonado. É isso que acontece com um submarino submerso.
- c) Se $\gamma > \gamma_0$, tem-se que $E > G$. Neste caso, a resultante dessas forças estará dirigida para cima e o corpo sobe no interior do líquido. Quando ele atingir a superfície do líquido e começar a aflorar, a quantidade de líquido por ele deslocada começará a diminuir e, conseqüentemente, o valor de E também diminuirá. Em certa posição do corpo, ele estará deslocando uma quantidade de líquido cujo peso será igual ao seu próprio peso, isto é, $E = P$. Nesse caso, apenas uma porção do corpo está submersa e o valor do empuxo é igual ao peso do líquido deslocado por essa parte submersa.

1.2. Experimento

Objetivo

Determinar o empuxo atuando em um corpo parcialmente submerso.

Materiais utilizados

- Balança;
- Corpo sólido;
- Béquer;
- Régua.

Procedimento

Encha o béquer com certa quantidade de água. Obtenha a massa do conjunto água + béquer. Insira o corpo sólido, de diâmetro 70,0 mm, na água de forma que ele fique parcialmente submerso. Obtenha a massa do conjunto água + béquer + corpo sólido parcialmente submerso. Leia a altura da parte submersa do sólido. Repita o procedimento mais duas vezes aumentando a altura submersa do corpo sólido. Para cada altura, calcule o valor do empuxo utilizando a Equação 1 e compare com o valor obtido experimentalmente.

Massa da água + béquer (g)	Massa da água + béquer + corpo sólido submerso (g)	Altura submersa do corpo sólido (mm)

Resultados

Adotar gravidade = $10,0 \text{ m/s}^2$.

Volume de água deslocada pelo corpo sólido (m^3)	Diferença das colunas 1 e 2 da tabela anterior (kg)	γ (N/m^3)	Empuxo calculado (N)	Empuxo observado (N)

2. Forças em superfícies planas submersas

2.1. Introdução

Frequentemente o engenheiro civil encontra problemas relativos ao projeto de estruturas que devem resistir às pressões hidrostáticas exercidas por líquidos. Tais são os projetos de comportas, barragens, tanques, etc. Torna-se necessário calcular as magnitudes e localizações das forças que

agem na superfície plana submersa. Para determinar a magnitude dessa força, examina-se uma área (A) arbitrária que se inclina um ângulo (θ) com a superfície livre do líquido, água, por exemplo, como apresentado na Figura 2.

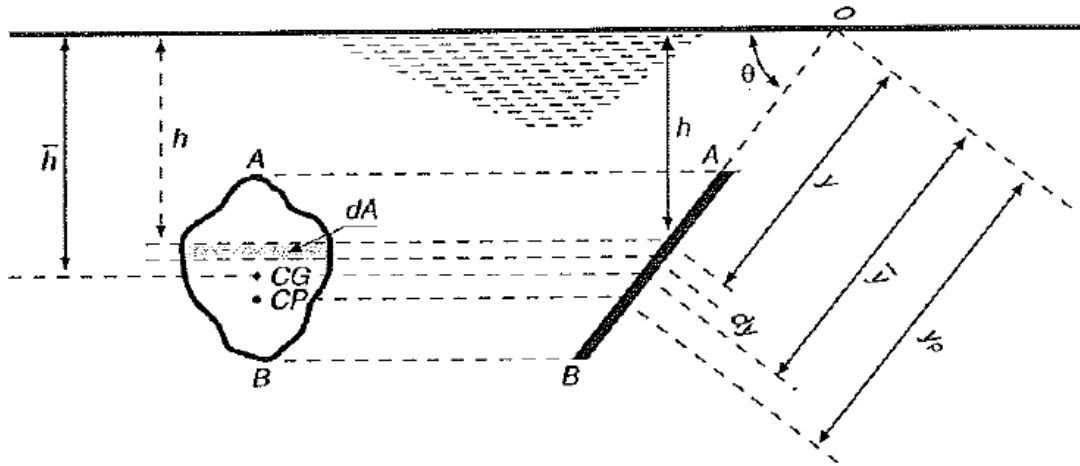


Figura 2 – Forças atuantes em uma área (A) submersa num líquido.

Subdividiu-se a área (A) em elementos dA , localizados à profundidade h e a uma distância (y) da interseção O . Isso se faz necessário, pois, pela lei de Stevin, em um fluido em repouso, sabe-se que a pressão é diretamente proporcional à profundidade. Assim, pontos localizados na estrutura submersa em diferentes profundidades, estão submetidos à diferentes pressões. A diferença de pressão entre uma ponta na área dA e outra na superfície livre de água é dado por: $p = p_0 + \gamma h$, sendo $p_0 = 0$, pois está submetido à pressão atmosférica que é nula na escala efetiva de pressão. A força agindo em dA será:

$$dF = p dA = \gamma h dA, \text{ sendo } h = y \text{sen} \theta$$

Cada uma das forças dF será normal à respectiva área. A resultante (F) sobre toda a área, também normal, é encontrada integrando a equação anterior, assim:

$$F = \gamma \text{sen} \theta \int_A y dA$$

Equação 3

Em que $\int_A y dA$ é o momento da área em relação à interseção O .

A distância \bar{y} para o centro de gravidade (CG) é definida como:

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \int_A y dA \rightarrow \int_A y dA = \bar{y} A$$

Voltando na Equação 3:

Sendo:

$$F = \gamma \bar{y} \text{sen} \theta A$$
$$\bar{h} = \bar{y} \text{sen} \theta$$

Assim:

$$F = \gamma \bar{h} A$$

Equação 4

Logo, a magnitude da força resultante sobre uma superfície plana imersa é uma grandeza tensorial perpendicular à superfície e é igual ao produto da área (A) pela pressão ($\gamma \bar{h}$) relativa ao centro de gravidade (CG) da área.

Entretanto, a força resultante das pressões não está aplicada no centro de gravidade (CG) da Figura 2, e sim um pouco abaixo, num ponto que se denomina centro de pressão (CP).

A posição do centro de pressão (CP) pode ser determinada aplicando-se o teorema dos momentos, ou seja, o momento da resultante em relação à interseção 0 deve se igualar aos momentos das forças elementares (dF). Supondo que a força resultante (F) aja no ponto (x_P, y_P), que é o centro de pressão (CP), o valor de y_P pode ser obtido equacionando os momentos ao redor do eixo x, chegando-se em:

$$y_P = \frac{\int_A y^2 dA}{A \bar{y}} = \frac{I}{A \bar{y}}$$

Equação 5

Em que I é o momento de inércia da área (A) sobre o eixo x. Mais comumente, conhece-se o momento de inércia da área (I_0) relativo ao eixo que passa pelo centro de gravidade (CG), sendo conveniente a substituição, pelo teorema de Huygens:

$$I = I_0 + A \bar{y}^2$$

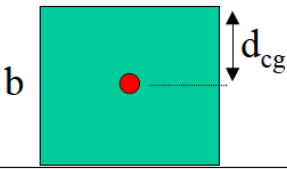
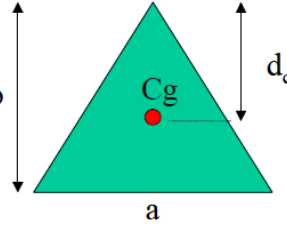
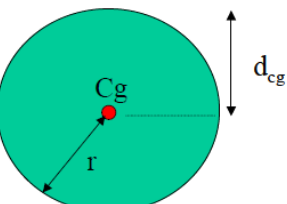
Assim,

$$y_P = \bar{y} + \frac{I_0}{A \bar{y}}$$

Equação 6

Na literatura, encontra-se o centro de gravidade (CG) e momentos de inércia (I_0) para várias geometrias da área plana. Na Tabela 1 são apresentadas as informações para algumas geométricas.

Tabela 1 – Área (A), momento de inércia (I_0) e centro de gravidade (D_{CG}) para algumas geométricas

Figura	A (m ²)	I ₀ (m ⁴)	D _{cg} (m)
	$a \cdot b$	$a \cdot b^3 / 12$	$b/2$
	$a \cdot b / 2$	$a \cdot b^3 / 36$	$2 \cdot b / 3$
	$\pi \cdot r^2$	$\pi \cdot r^4 / 4$	R

Observa-se, pela Equação 6, que y_P é sempre maior que \bar{y} , ou seja, a força resultante (F) do líquido numa superfície plana sempre age abaixo do centro de gravidade da área, exceto numa área horizontal para qual \bar{y} tende ao infinito, então o centro de pressão (CP) e o centro de gravidade (CG) coincidem.

2.2. Experimento

Objetivo

Determinar experimentalmente a força resultante provocada pela água em uma superfície plana submersa e comparar com o valor calculado utilizando a Equação 4.

Procedimento

O equipamento é apresentado na Figura 3. Ele precisará ser arrumado para trazer o plano submerso para a vertical. Isto é obtido despejando água suavemente no tanque extra até que a posição desejada seja alcançada. Se for necessário remover água, use uma pipeta. Adicione peso ao suporte e meça a distância (x) do peso ao ponto 0. Despeje água no tanque principal até um equilíbrio de $\theta = 90^\circ$ seja restaurado. Anote a massa do peso, a sua distância (x) e o nível da água (b). Repita o procedimento acumulando outros dois pesos. Calcule a força resultante (F) usando a Equação 4 e compare com o valor obtido experimentalmente. O cálculo experimental para a força (F) pode ser feito através do somatório de momentos ao redor do ponto 0.

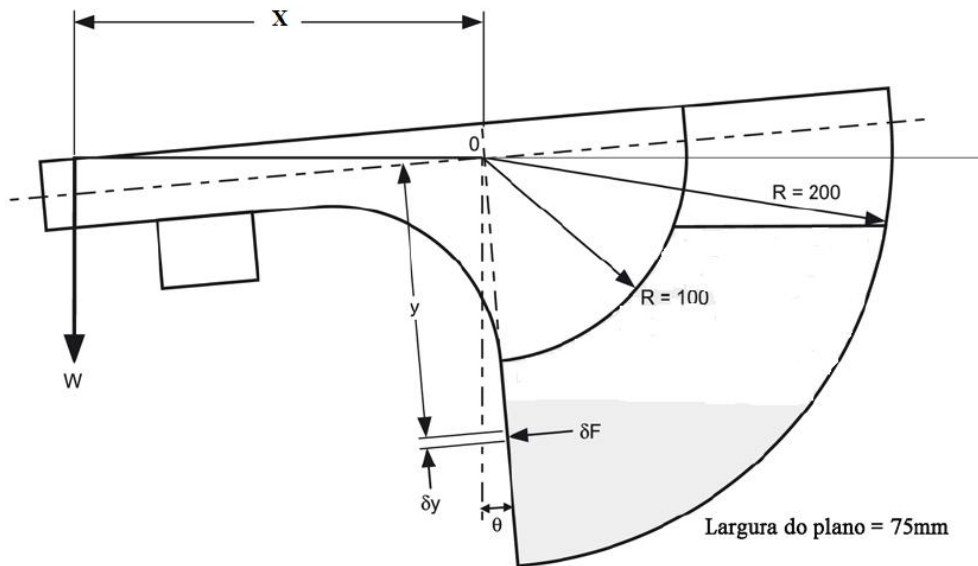


Figura 3 – Forças de pressão numa superfície plana.

Peso adicionado (g)	Distância x (cm)	Altura (b) da água (mm)

Resultados

Adotar $g = 10,0 \text{ m/s}^2$

Massa acumulada (kg)	Momento do peso (N.m)	Centro de gravidade (m)	\bar{y} (m)	Área (A) submersa (m ²)	I_0 (m ⁴)	y_P (m)	Força (F) experimental (N)	γ (N/m ³)	Força (F) calculada (N)

3. Equilíbrio de corpos flutuantes.

3.1. Introdução

Corpos flutuantes são aqueles cujos pesos são inferiores aos pesos dos volumes do líquido que eles podem deslocar, ou seja, inferior ao empuxo. Em outras palavras, para que um corpo flutue, seu peso específico deve ser menor que o do líquido.

Chama-se carena à porção imersa do corpo flutuante. O centro de gravidade (CG) da parte submersa, que se denomina centro de carena (CC), é o ponto de aplicação do empuxo.

As forças que agem num corpo total ou parcialmente submerso em repouso são o seu peso (G), cujo ponto de aplicação é o centro de gravidade (CG) do corpo, e o empuxo (E), cujo ponto de aplicação é o centro de carena (CC).

Suponha-se um corpo em equilíbrio. Aplique-se uma força pequena nesse corpo. É evidente que, se ele estava em equilíbrio, a aplicação dessa força isolada fará com que se desloque em relação à posição inicial. Retirando-se essa força aplicada durante um intervalo de tempo muito pequeno, podem acontecer três coisas:

- O corpo retorna à posição de equilíbrio inicial: diz-se que o equilíbrio é estável.

- b) O corpo, mesmo retirando a força, afasta-se cada vez mais da posição inicial: diz-se que o equilíbrio é instável.
- c) O corpo permanece na nova posição, sem retornar, mas sem se afastar mais da posição inicial: diz-se que o equilíbrio é indiferente.

A seguir, analisa-se a estabilidade vertical e de rotação de corpos submersos, o caso horizontal não é analisado, pois o equilíbrio é indiferente.

3.1.1. Estabilidade vertical

3.1.1.1. Caso o corpo esteja totalmente submerso em equilíbrio:

Neste caso, o volume deslocado será sempre o mesmo. Qualquer que seja o deslocamento sempre existirá o equilíbrio, já que o “E” e “P” não irá variar, trata-se de um equilíbrio indiferente.

3.1.1.2. Caso o corpo esteja parcialmente submerso

Ao deslocar o corpo para baixo, o volume de carena e o empuxo aumentam, ficando numa situação em que “E” > “G”. Ao retirar a força que causou o deslocamento, o corpo sobe até que haja uma diminuição do volume de carena para que novamente “E” = “G”. Ao retirar a força aplicada, o corpo desce até que “E” = “G” novamente, e isso ocorre na posição inicial. Assim, o equilíbrio é sempre estável.

3.1.2. Estabilidade à rotação

Suponha um corpo flutuante obrigado a abandonar a sua posição de equilíbrio, por uma pequena força que o faça girar um pequeno ângulo em torno de um eixo de rotação. Dois casos serão analisados.

3.1.2.1. Corpo totalmente submerso em equilíbrio

A Figura 4 ilustra uma situação em que CC está acima de CG.

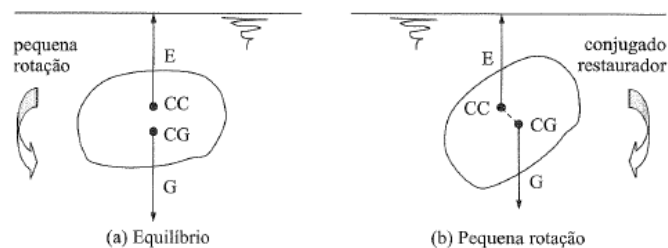


Figura 4 – Corpo totalmente submerso cujo CC está acima de CG.

Nesse caso, uma pequena rotação angular provoca um momento restaurador e o corpo está em um equilíbrio estável.

A Figura 5 ilustra uma situação em que CG está acima de CC.

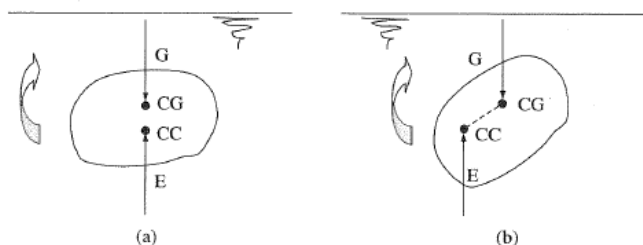


Figura 5 – Corpo totalmente submerso cujo CG está acima de CC.

Nesse caso, uma pequena rotação angular provoca um momento que continuará aumentando a rotação, assim o corpo ficará em equilíbrio instável e tombará.

Quando o CG coincide com CC, tem-se que o equilíbrio é indiferente, uma situação que é encontrada sempre que a massa específica é constante em toda a extensão do corpo submerso.

3.1.2.2. Corpo parcialmente submerso em equilíbrio

Se o centro de gravidade (CG) está abaixo do centro de carena (CC), o corpo é sempre estável, como no corpo submerso. O corpo pode estar em equilíbrio estável, porém, mesmo se CG estiver acima do CC. Quando um corpo gira, o CC move-se para uma nova posição. Se o CC se afasta o suficientemente, um momento de restauração é desenvolvido e o corpo pode ficar em equilíbrio estável, como será discutido a abaixo, para a Figura 6.

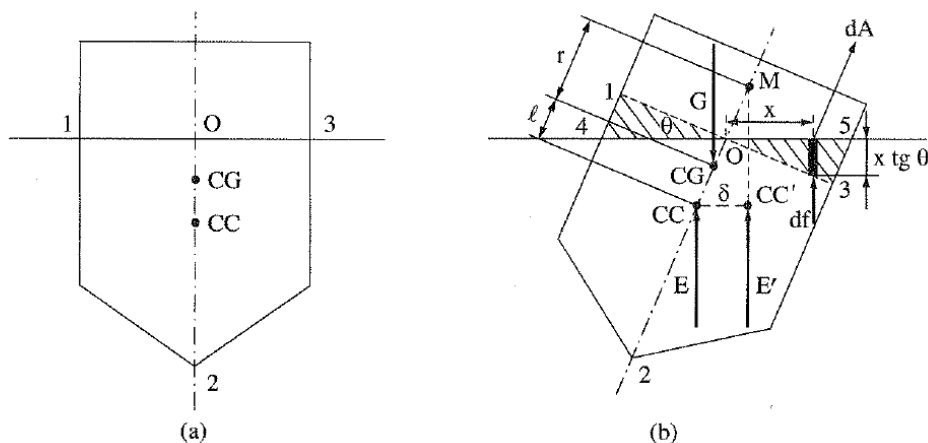


Figura 6 – Estabilidade de um corpo parcialmente submerso.

O corpo está em equilíbrio se seu CG e seu CC estiverem sobre a mesma linha vertical, como na Figura 6a. Esse equilíbrio pode ser abalado por uma série de motivos (ação do vento ou onda), e o corpo em flutuação é feito para elevar-se ou declinar-se através de um ângulo (θ), conforme mostrado na Figura 6b.

Quando o corpo flutuante é rotacionado, seu CG permanece inalterado, mas seu CC, que agora é o CG da área “425”, foi alterado de CC para CC'. O empuxo (E'), atuando de forma ascendente em CC' e o peso (G) do corpo, atuando descendente em CG, constituem um par que resiste a futuras transformações e tende a restaurar o corpo à sua posição de equilíbrio original.

Estendendo linha de ação de E' a partir de CC', tem-se que a reta vertical intercepta o eixo original de simetria em um ponto M. Este ponto é conhecido como metacentro do corpo flutuante, e a distância (r) entre o CG e o metacentro é a medida de estabilidade de flutuação do corpo. Se o ponto M estiver acima do CG, o equilíbrio é estável. Se estiver abaixo de CG, o equilíbrio é instável. Se M estiver em CG, o equilíbrio é indiferente.

Quanto mais acima estiver o metacentro em relação ao CG, mais estável o equilíbrio. Assim, é importante conhecer a distância do metacentro ao CG, altura metacêntrica (r). Tendo o corpo flutuante girado de um ângulo (θ) pequeno em torno do eixo de rotação O, nota-se que o volume de carena alterou-se de V_{123} para V_{425} , fazendo com que CC se desloque para CC'. No entanto, $E = E'$, já que o volume, apesar de mudar de forma, é o mesmo. Aplicando o equilíbrio dos momentos, chega-se que:

$$r = \frac{M_0}{G} - l$$

Equação 7

Sendo “ γ ” o peso específico do líquido, “ I_0 ” o momento de inércia da área da seção submersa em relação ao eixo de rotação O, e “G” o peso do corpo flutuante.

Assim, a estabilidade será aumentada diminuindo “I” e, portanto, abaixando o CG ou aumentando $\gamma I_0 / G$, ou seja, aumentando o momento de inércia da seção de flutuação.

3.2. Experimento

Objetivo

Determinar o centro de carena e o metacentro de um corpo flutuante. Determinar experimentalmente a distância entre o centro de carena e o metacentro e comparar com o valor a ser calculado utilizando a Equação 7.

Materiais e métodos

- Equipamento para flutuabilidade + acessórios;
- Tanque;
- Régua.

Procedimento

Com o peso ajustável colocado no centro de uma das fileiras, deixe a plataforma flutuante flutuar na água. Meça a altura submersa da plataforma, determine a posição do centro de carena (CC) e trace um plano paralelo ao fundo da plataforma que passe por CC. Coloque o peso ajustável em outras duas posições quaisquer e marque as novas posições ponto para o centro de carena (CC'), as quais podem ser encontradas observando, em cada caso, a intercessão do plano paralelo, traçado anteriormente, e o pêndulo. Meça a distância entre CC e CC'. Para cada nova posição do CC', trace uma vertical que passe por CC' e encontre a posição do metacentro (M). Meça a distância de CC' a M. Em cada posição, meça o ângulo que a linha do pêndulo, a partir do topo da vela, faz com o eixo de simetria da vela. Sempre determine as dimensões da parte submersa da plataforma. O equipamento utilizado está apresentado na Figura 7.

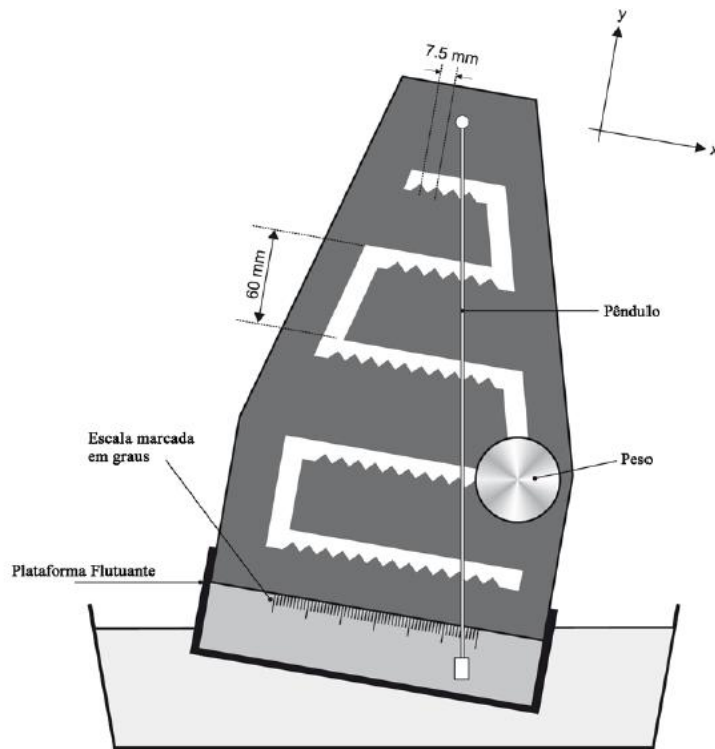


Figura 7 – Estrutura da plataforma flutuante.

Informações sobre a plataforma flutuante:

- Massa total = 2,607 kg;
- Massa do peso ajustável = 0,387 kg;
- Largura = 0,20 m;
- Comprimento = 0,36 m.

Altura submersa inicial (cm)	Ângulo (°)	Comprimentos submersos (cm)		Distância CC' ao CC (cm)	Distância de CC' ao M (cm) (experimental)

Resultados

Adotar $g = 10,0 \text{ m}^2/\text{s}$

Profundidade de CC (cm)	Momento de inércia (m^4)	Volume submerso (m^3)	Distância de CC' ao M (cm) (calculada)