



INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS NATAL – CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

APLICAÇÃO DA HIDRODINÂMICA EM UM ESPAÇO NÃO-FORMAL DE ENSINO, COM OS EQUIPAMENTOS DO CORPO DE BOMBEIROS

Manaceis Mariano da Silva

Produto Educacional apresentado em Dissertação de Mestrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) no curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) como Parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de mestre em Ensino de Física.

Orientador: Melquisedec Lourenço da Silva

Natal, RN

JAN/2022

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a sua fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores ou produção própria e utilizadas para fins didáticos. Caso sinta que houve violação de seus direitos autorais, por favor, contate os autores para solução imediata do problema. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	09
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (HIDROSTÁTICA)	11
2.2	FLUIDOS.....	12
2.3	DENSIDADE E MASSA ESPECÍFICA.....	15
2.4	DENSIDADE RELATIVA.....	17
2.5	PRESSÃO.....	19
2.6	PRESSÃO HIDROSTÁTICA.....	20
2.7	TEOREMA DE STEVIN.....	23
2.8	CONSEQUÊNCIAS DO TEOREMA DE STEVIN.....	25
2.8.1	Líquidos que não se misturam.....	27
2.8.2	Pressão absoluta.....	28
2.8.3	Pressão manométrica.....	29
2.9	EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI.....	30
2.10	PRINCÍPIO DE PASCAL.....	33
2.10.1	Exemplos e aplicações.....	35
2.11	PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES.....	36
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (HIDRODINÂMICA)	41
3.1	INTRODUÇÃO A HIDRODINÂMICA.....	41
3.2	FLUIDOS IDEAIS.....	43
3.2.1	Escoamento uniforme.....	43
3.2.2	Escoamento incompressível.....	45
3.2.3	Escoamento não viscoso.....	45
3.2.4	Escoamento não rotacional.....	45
3.2.5	Linhas de escoamento.....	45
3.3	VAZÃO.....	47
3.4	EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE.....	50
3.5	EQUAÇÃO DE BERNOULLI.....	53
3.6	CASOS PARTICULARES (MEDIDOR DE VENTURI)	57
3.7	APLICAÇÃO DE BERNOULLI.....	59
3.7.1	Arrastamento.....	59
3.7.2	Efeito Magnus.....	65

3.8	DEMONSTRAÇÃO DA EQUAÇÃO DE BERNOULLI.....	70
3.9	EQUAÇÃO DE TORRICELLI.....	74
4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	77
4.1	OBJETIVO GERAL.....	77
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	77
4.3	CONTEÚDOS DE APRENDIZAGEM.....	78
4.3.1	Conceituais.....	78
4.3.2	Procedimentais.....	78
4.3.3	Atitudinais.....	79
4.4	SEQUÊNCIA DE ATIVIDADE.....	79
4.4.1	Sequência de aulas teóricas.....	79
4.4.1.1	Hidrostática.....	79
4.4.1.2	Hidrodinâmica.....	80
4.4.2	Sequência de Experimentos de fácil obtenção.....	82
4.4.2.1	Elevação de uma folha de papel.....	82
4.4.2.2	Dinâmica dos fluidos com garrafa PET.....	85
4.4.2.3	Medidor de Venturi.....	92
4.4.3	Experimentos principais.....	103
4.4.3.1	Objetivo geral.....	103
4.4.3.2	Objetivos Específicos.....	103
4.4.3.3	Conteúdos de aprendizagem.....	103
4.4.3.4	Sequência de atividades.....	104
4.4.3.5	Aspirador de secreção VTR.....	105
4.4.3.6	Aspirador de secreção portátil.....	113
4.4.3.7	Proporcionador de espuma.....	120
5	REFERÊNCIAS.....	139
6	ANEXO.....	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mergulhadores na lagoa.....	12
Figura 2: Avião se deslocando sobre um fluido, ar.....	14
Figura 3: Navio de aço flutuando em água.....	14
Figura 4: Densidades das substâncias.....	16
Figura 5: Comparação das densidades dos corpos.....	16
Figura 6: Cama de pregos.....	18
Figura 7: Faca afiada cortando uma laranja.....	18
Figura 8: Representação da pressão exercida por corpos em superfícies.....	19
Figura 9: Representação da pressão sobre fluidos.....	20
Figura 10: Pressão da coluna de líquido sobre o ponto.....	21
Figura 11: Mergulhador sofrendo a pressão da coluna de fluido.....	23
Figura 12: Representação da variação de pressão em um fluido.....	24
Figura 13: Representação da variação de pressão e da pressão absoluta.....	24
Figura 14: Representação do teorema de Stevin.....	26
Figura 15: Mergulhadores a uma mesma profundidade.....	26
Figura 16: Vasos comunicantes.....	27
Figura 17: Líquidos não miscíveis em vasos comunicantes.....	28
Figura 18: Manômetro de um cilindro de O_2	29
Figura 19: Pressão do gás x pressão atmosférica.....	29
Figura 20: Tubo de vidro com água. Para experimento de Torricelli.....	30
Figura 21: Representação do experimento de Torricelli.....	31
Figura 22: Representação do experimento de Torricelli com água.....	32
Figura 23: Distribuição da força sobre um líquido numa Prensa hidráulica.....	34
Figura 24: Foto de Blaise pascal.....	34
Figura 25: Carro em uma oficina sobre um elevador hidráulico.....	35
Figura 26: Escavadeira hidráulica.....	35
Figura 27: Ronaldo Nazário em uma piscina.....	36
Figura 28: Aula de hidroginástica.....	37
Figura 29: Foto do Físico Arquimedes.....	38
Figura 30: Representação do teorema de Arquimedes.....	39

Figura 31: Corpos imersos em fluidos com peso e empuxo agindo.....	40
Figura 32: Tubarão se deslocando.....	41
Figura 33: Avião se deslocando.....	42
Figura 34: Comportamento uniforme no centro da água de um riacho calmo.....	44
Figura 35: Comportamento turbulento da água em uma corredeira.....	44
Figura 36: Representação de uma linha de escoamento.....	46
Figura 37: Carro com túnel de vento.....	47
Figura 38: Trecho de um tubo de secção reta exibindo o escoamento de fluido...	48
Figura 39: Dutos de Itaipu.....	49
Figura 40: Trecho de um tubo com duas seções retas S, exibindo o escoamento de um fluido.....	50
Figura 41: Tubo de escoamento de secção reta variável.....	51
Figura 42: Rio com largura variável.....	52
Figura 43: Água saindo na extremidade da mangueira com maior velocidade.....	52
Figura 44: Torneira com área de jato d'água variável.....	53
Figura 45: Tubulação com diâmetro variável.....	54
Figura 46: Daniel Bernoulli.....	56
Figura 47: Tubulação com área de secções transversais diferentes.....	57
Figura 48: Veias e artérias com diâmetros diferentes.....	58
Figura 49: Tira de papel para soprar.....	59
Figura 50: Tira de papel soprada.....	59
Figura 51: Igreja sendo destelhada por ventania.....	60
Figura 52: Carreta em velocidade com lona estufada.....	61
Figura 53: Janela estilhaçada pelo vento.....	62
Figura 54: Fluxo laminar do vento sobre uma asa de avião.....	63
Figura 55: Avião se deslocando sobre um fluido, o ar.....	64
Figura 56: Goleiro tentando evitar o gol produzido por uma bola rodopiando no espaço.....	65
Figura 57: Foto de Heirnrich Gustav Magnus.....	66
Figura 58: Falta batida por Roberto Carlos contra a França.....	67
Figura 59: Ilustração da falta batida por Roberto Carlos.....	68
Figura 60: Ilustração da trajetória da bola e das velocidades agentes sobre ela...	69
Figura 61: Ilustração da trajetória da bola.....	70

Figura 62: Ilustração de um escoamento por um tubo com secção variável e alturas diferentes.....	71
Figura 63: Recipiente cilíndrico sobre suporte.....	75
Figura 64: Água escoando por três orifícios feitos em uma garrafa PET.....	76
Figura 65: Tira de papel para sopra soprar.....	84
Figura 66: Tira de papel soprada.....	84
Figura 67: Medida do alcance horizontal do jato, proveniente de garrafa PET.....	86
Figura 68: Garrafa PET 2L aberta com 2 orifícios alinhados horizontalmente.....	88
Figura 69: Garrafa PET 2L fechada com 2 orifícios alinhados horizontalmente.....	88
Figura 70: Garrafa PET 2L aberta com 2 orifícios alinhados verticalmente.....	89
Figura 71: Garrafa PET 2L fechada com 2 orifícios alinhados verticalmente.....	89
Figura 72: Medidores de Venturi.....	93
Figura 73: Tubo de Pitot.....	94
Figura 74: Ilustrações dos principais tubos medidores.....	94
Figura 75: Tubo de Venturi industrial.....	95
Figura 76: Ilustração de um medidor de Venturi.....	96
Figura 77: Medidor de Venturi de fácil obtenção.....	101
Figura 78: Cilindros de Oxigênio (O_2), conectados a uma mangueira de saída.....	106
Figura 79: Manômetro do cilindro de Oxigênio (O_2)	107
Figura 80: Régua de gases com quadro de tomadas e luzes indicadoras.....	108
Figura 81: Régua de gases.....	108
Figura 82: Fluxômetro.....	109
Figura 83: Frasco de polycarbonato para depósito de secreção.....	110
Figura 84: Tubo de látex cirúrgico.....	111
Figura 85: Sonda de respiração traqueal.....	112
Figura 86: Cilindro de Oxigênio (O_2) com 625L.....	113
Figura 87: Fluxômetro do sistema de aspiração de secreção portátil.....	114
Figura 88: Manômetro do sistema de aspiração de secreção portátil.....	115
Figura 89: Frasco de polycarbonato para depósito de secreção do sistema portátil de aspiração de secreção.....	116
Figura 90: Mangueira de silicone flexível para acoplar no sistema portátil de aspiração de secreção.....	117
Figura 91: Cateter de respiração traqueal.....	118

Figura 92: Sistema de aspiração de secreção portátil.....	119
Figura 93: Proporcionador de espuma.....	121
Figura 94: Entrelinhas e detalhe do tubo de sucção ou tubo pick-up.....	121
Figura 95: Esquema do, entrelinhas e sucção pelo princípio Venturi.....	122
Figura 96: Desenho típico de um proporcionador de espuma.....	123
Figura 97: Esguicho lançador de espuma à baixa pressão.....	123
Figura 98: Esguicho regulável automático.....	124
Figura 99: Mangueira de incêndio tipo 4 de 1 ½"	125
Figura 100: Líquido gerador de espuma (LGE 6%)	126
Figura 101: Proporcionador de espuma, montado direto na expedição caminhão de incêndio pronto para fazer sucção do LGE.....	127
Figura 102: Esguicho regulável acoplado ao esguicho lançador de espuma.....	127
Figura 103: Sistema gerador de espuma montado na viatura de Incêndio.....	128

1 – Apresentação

Embora os conceitos de Hidrodinâmica não sejam lecionados no ensino médio, sendo mais comumente abordados em cursos superiores como nos cursos de engenharia, há uma série de perguntas feitas pelos alunos do ensino médio que só podem ser respondidas à luz da Hidrodinâmica. Perguntas como: por que um avião sendo mais denso que o ar, pode voar? por que se um tubarão parar de nadar ele desce? foi observando esse lapso no ensino de física do ensino médio e em casos de cursos técnico, como CFP'S (curso de formação de praças do Corpo de Bombeiros), pelo Brasil afora, que venho trazer uma proposta de abordagem com uma série de aulas seguidas de experimentos, com foco no conteúdo de Hidrodinâmica, lecionadas em um espaço não-formal de ensino.

Esse material consiste em um livro que compõe os conteúdos necessários para que, o professor possa aplicar na sua sala de aula, ou ainda um instrutor capacitado, de preferência com formação em Física, possa aplicá-lo nos cursos de formação de Bombeiros, sejam eles CFP (curso de formação de praças) ou CFO (curso de formação de oficiais), ou ainda em cursos de capacitação técnica, do Corpo de Bombeiros.

O livro é composto por um capítulo de Hidrostática, onde serão abordados os principais conceitos tais como: densidade, massa específica, pressão, pressão hidrostática, princípio de Stevin, princípio de Pascal, e por fim o princípio de Arquimedes e em seguida por um capítulo de Hidrodinâmica, onde serão abordados os principais conceitos que são: fluidos ideais, vazão, Equação da Continuidade, Equação de Bernoulli, Medidor de Venturi, Arrastamento e Efeito Magnus, fechando a parte teórica do livro.

O livro possui um capítulo com uma série de experimentos de fácil obtenção, que servirá como sugestão para os professores que não puderem levar os seus alunos a um espaço não-formal de ensino. Os experimentos são: Elevação de uma folha de papel, hidrodinâmica dos fluidos com garrafas Pet e Medidor de Venturi de fácil obtenção.

O capítulo seguinte, é composto pelos experimentos principais, onde serão abordados os conteúdos de Hidrodinâmica anteriormente aprendidos, para culminar

na aplicação do Produto Educacional. Serão apresentados três experimentos em um espaço não-formal de ensino, que neste caso, será o Quartel do Corpo de Bombeiros Militar, onde os alunos poderão presenciar a apresentação dos equipamentos, seu funcionamento, manipulação e consequentemente o seu funcionamento físico, com a apresentação e explicação dos fenômenos hidrodinâmicos presentes. Espera-se que após a aplicação do produto educacional, e a retirada de todas as concepções espontâneas, os alunos consigam compreender fenômenos hidrodinâmicos no seu dia a dia e possam relacioná-los com o aprendido neste trabalho.

2 - Fundamentação teórica

2.1 – Introdução a Hidrostática

A palavra Hidro significa água, e estática, significa corpos rígidos em equilíbrio, ambas as palavras são gregas que, quando juntas, definem a palavra Hidrostática, que segundo BISCOLO e VILLAS BÔAS em seu livro Tópicos da física, (2012), é a parte da mecânica que estuda os corpos em equilíbrio. Nos fluidos em equilíbrio não se pode ter forças cisalhantes ou tangenciais, por menores que elas sejam, uma vez que todas as forças que agem em fluidos em repouso, agem perpendicularmente a superfície livre do fluido.

O Matemático e Físico Arquimedes (287 – 212 a.C.), segunda a história, foi o primeiro a estudar a Hidrostática Segundo a história, foi o primeiro cientista a ser também um engenheiro por voltar muitas de suas teorias para uso prático, como cita Brennan, em seu livro Gigantes da Física:

“Arquimedes formulou o princípio da alavanca. Demonstrou com detalhes matemáticos que um pequeno peso a certa distância de um fulcro iria equilibrar um grande peso próximo do fulcro e que os pesos e as distâncias estavam em proporção inversa. Conta-se que, a propósito do princípio da alavanca, Arquimedes teria dito: Dê-me um ponto de apoio e posso mover o mundo”. (BRENNAN, 2008, p. 15).

Ao estudar hidrostática, não se pode deixar de falar sobre Pascal. Na Física, Pascal contribuiu no campo da hidrostática, desenvolvendo importantes estudos que tiveram como inspiração as descobertas do italiano Evangelista Torricelli sobre a pressão atmosférica.

Em 1653, Pascal enunciou e provou experimentalmente este princípio. Podemos conceituar o Princípio de Pascal dizendo que, pressão é diretamente proporcional a força e inversamente proporcional à área, sendo que esta, se distribui de maneira uniforme por todos os pontos do fluido (Halliday & Resnick, 2009). Uma aplicação deste princípio é encontrada em máquinas hidráulicas que são capazes de "multiplicar forças", tais como a prensa hidráulica e o freio hidráulico.

A proporção que um mergulhador aumenta sua profundidade na água, a força exercida por ela, sobre este mergulhador, aumenta de forma significativa, mesmo que esse mergulho seja um tanto raso como uma piscina, ainda sim os cuidados devem ser redobrados porque ele se encontra a uma pressão externa acrescida de uma pressão exercida pela coluna d'água.

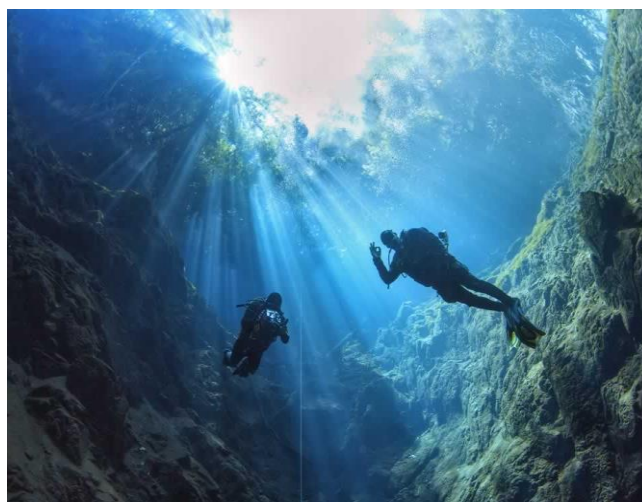


Figura:1 – Mergulhadores em uma lagoa

Fonte: https://lagoamisteriosa.eco.br/wp-content/uploads/2017/04/mergulho_com_cilindro_na_lagoa_misteriosa_6.jpg

2.2 – Fluido

Conceito que inclui líquidos e gases e estão presentes em nossas vidas. Pois, diariamente temos contato com algum deles, tais como: água e o próprio ar que respiramos, em nosso corpo, mais precisamente no sistema cardiovascular, circula um fluido vital para nossa saúde. Existem fluidos em vários lugares no planeta Terra, nos oceanos, na atmosfera, no manto terrestre que corresponde a maioria da camada da Terra, camada intermediária que se posiciona acima do núcleo interno e abaixo da crosta terrestre, com maior massa, extensão e volume, composto por rochas em estado pastoso, ou seja, fluido.

Segundo Sears, F. e Zemasnki (2008) descreve em seu livro, que fluido é qualquer substância que pode fluir e que o termo pode ser usado para gás ou para líquido e ainda que gases são considerados facilmente compressíveis enquanto os líquidos são quase incompressíveis, embora existam alguns casos excepcionais.

No texto abaixo temos outra definição abordada por (DOCA, Ricardo Helou, BISCUOLA, Gualter José e VILLAS BÔAS, Newton, em seu livro Tópicos da física, 2012).

“Classificamos como fluidos, indistintamente, os líquidos e os gases. Em uma primeira abordagem, os líquidos não têm forma própria, embora possuam volume definido. Já os gases, por sua vez, não têm forma nem volume próprios. Um litro de água, por exemplo, não sofre mudança de volume quando o transferimos de uma panela para uma garrafa. Nesse caso, apenas sua forma é alterada. Já uma determinada massa de gás sempre tende a ocupar todo o volume que lhe é oferecido, propriedade conhecida por expansibilidade. Devemos dizer, ainda, que a forma de certa porção de gás é a do recipiente que a contém”. [...]

A Hidrostática está fundamentada em Três teoremas que podem ser chamados de leis que são:

- Teorema de Stevin ou lei de Stevin;
- Teorema de Pascal ou Lei de Pascal;
- Teorema de Arquimedes ou Lei de Arquimedes.

A maioria do planeta terra é composta por água e ar, e várias atividades humanas são praticadas nesses meios: transportam-se cargas e pessoas através do ar, em rios e oceanos.

Antes de se iniciar o estudo da mecânica dos fluidos, é necessário que se conheça algumas definições importantes:



Figura: 2 – Avião se deslocando sobre um fluido, o ar

Fonte: <https://cdn.vezdavoiz.com.br/wp-content/uploads/2018/03/avi%C3%A3o-voando-alto.jpg>



Figura: 3 – Navio de aço flutuando em água

Fonte: <https://assistentedeviagem.com.br/blog/wpcontent/uploads/2021/04/cruzeiro-viagem-de-navio.jpg>

2.3 – Densidade e massa específica

Ambas são definidas como a razão entre a massa de um corpo e seu volume total, porém, a ideia de densidade é aplicada para um corpo na totalidade, podendo este ser composto de várias substâncias diferentes. Utiliza-se a definição de massa específica quando se referir-se a uma substância pura e homogênea.

No caso dos fluidos aqui estudados, são coincidentes os valores de massa específica e densidade.

Matematicamente:

$$\mu = \frac{m}{V} \quad \text{Eq. (2-1)}$$

Onde:

- μ : é a densidade ou massa específica (kg/m^3);
- m : é a massa do corpo ou de fluido (kg);
- V : é o volume do corpo ou de fluido (m^3).

Usualmente, utiliza-se a unidade g/cm^3 para densidade ou massa específica. Para relacionarmos essas unidades, usamos o seguinte fator de conversão:

$1\text{g/cm}^3 = 1000\text{kg/m}^3$. Na (ver figura 4) temos uma tabela contendo os valores mais usuais das massas específicas de algumas substâncias.

Densidade ρ das substâncias			
	g/cm^3		kg/m^3
Ouro	19,3	Amônia	0,7714
Ferro	7,86	Cloro	3,214
Água	1,0	Oxigênio	1,43
Gelo (a 0° C)	0,917	Ar	1,23
Prata	13,54	Nitrogênio	1,2505

Figura: 4 – Tabela de densidade das substâncias mais usuais

Fonte: https://www.google.com/search?tbs=sbi:AMhZZisDkPjqP4BJPQl2xjeW2hWa0Wd66kHNuJI0aOLfRBit5Qt_1PolYhqcXnp8Yam_1fAq4DlwGvxVUQQ5TPFtiffguFqR0Eevt8p2DSO6J6Yb8cc2GI_1LV-ZEnJkA9ZBkYBKEBtjAhGDD11QlcQ3bWtQR_1hiVAQ



Figura: 5 – Comparação das densidades dos corpos

Fonte: https://www.google.com/search?tbs=sbi:AMhZZitsZplszOEvzxaXfnI2_1PQb66Y_1emV1ViHJiz_1eNCI3mwvSNvucpsWI0pvxvVcQO2fz9SGoQzsTP0tGdOik7sY_1jGQKNTXpAnmdMLGffKumqv65ZuU2z0AH4C7On6DL1t5c7C3toMU-vuVMrte7hP7M4z5mQ

Conforme Biscuola, Doca e Newton (2012), a água, que subordina a vida na Terra, é o líquido mais abundante no planeta, cobrindo cerca de 2/3 da sua superfície, em razão disso o estudo da Hidrostática dar uma tenção especial a este fluido.

2.4 – Densidade relativa

A densidade relativa de uma substância A em relação a uma substância B, é dada pela razão entre a massa específica da substância A (μ_A) e a massa específica da substância B (μ_B) quando essas substâncias estão nas mesmas condições normais de temperaturas e pressões (CNTPs.).

$$\mu_{A,B} = \frac{\mu_A}{\mu_B} \quad \text{Eq. (2-2)}$$

Caso essas substâncias tenham volumes iguais ($V_A = V_B = V$), teremos:

$$\mu_{A,B} = \frac{\mu_A}{\mu_B} = \frac{\frac{m_A}{V}}{\frac{m_B}{V}}$$

$$\mu_{A,B} = \frac{m_A}{m_B} \quad \text{Eq. (2- 3)}$$

Observe que a densidade relativa é definida pela razão de duas grandezas iguais, com isso as unidades de medidas delas são canceladas resultando em uma grandeza adimensional.

Por que o homem não se fura em uma tábua de pregos e em apenas um prego, ele se fura?



Figura: 6 – Cama de pregos

Fonte: https://cdn.w600.comps.canstockphoto.com.br/pregos-cama-banco-de-imagens_csp1469280.jpg

Por que uma faca bem afiada corta melhor que outra sem fio?



Figura: 7 – Faca afiada cortando uma laranja

Fonte: <http://obagastronomia.com.br/wp-content/uploads/2013/12/Descascar-laranja.jpg>

A resposta a esta pergunta está no fato de a área de contato entre a lâmina da faca afiada e a laranja ser menor que no outro caso.

2.5 - Pressão

Da ideia enunciada acima pode-se tirar a definição de pressão que é a razão entre a força e uma área onde a força é aplicada. Do livro de Aberto Gaspar, Física Mecânica, (2000, p. 305), enuncia que, quanto menor for a área de contato de um certo corpo afiado, maior será o efeito produzido pela força, e a este efeito denomina-se pressão.

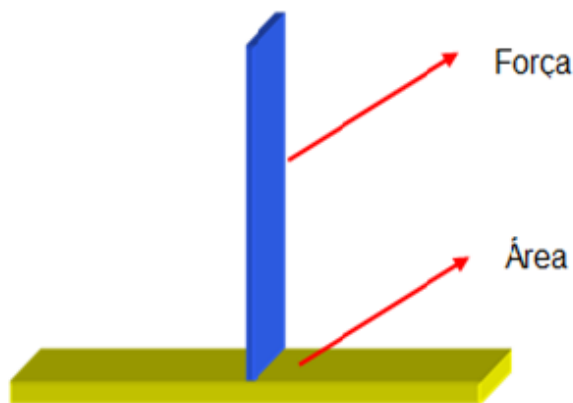


Figura: 8 – Representação da pressão exercida por corpos em superfícies

Fonte: Elaborada pelo autor

Matematicamente: $P = \frac{F}{A}$

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (2- 4)}$$

Onde:

- P: é a pressão ($\text{N/m}^2 = \text{Pa}$);
- F: é a força aplicada (N);
- A: é a área sobre a qual se aplica a força (m^2).

Outras unidades:

- 1atm = 76cm Hg = 760mmHg
- 1atm = 10^5 N/m
- 1bar = 14,5031psi
- 1kgf $\approx$ 1Pa



Figura: 9 – Representações da pressão sobre fluidos

Fonte: https://www.google.com/search?tbs=sbi:AMhZZit3ZZ7kK3Bf8LjanpykHZ99_1ESniYd6b_1sErL_14AEr7hkztLIEJ57qaLTFsAGeqi3zi70Rm_17u_1P0uRkbYX8K8DJzzPMRppuNUxoNEXiICw9FitR_11F25qpCHC9KCVcgedWTI_1LDEV4XXtn8aUjsyiFp8LrQ

2.6 – Pressão hidrostática

Considere, agora, certa quantidade de um líquido de densidade (μ) depositado num recipiente de forma cilíndrica.

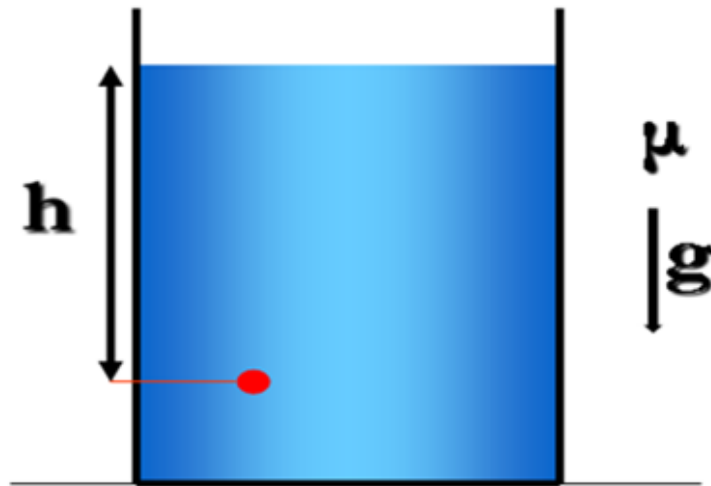


Figura: 10 – pressão da coluna de líquido sobre um ponto

Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se afirmar que o líquido exerce certa pressão sobre o fundo do recipiente que o contém (a força que o líquido exerce sobre a área da base do recipiente cilíndrico).

Essa pressão recebe o nome de pressão hidrostática. Podemos determiná-la da seguinte forma:

$$P = \frac{p}{A} \quad (I)$$

$$p = mg \text{ e } \mu = \frac{m}{V} \rightarrow m = \mu V$$

Assim:

$$p = \mu V g \quad (II)$$

Considerando que o recipiente é cilíndrico, se volume é dado por:

$$V = A h \quad (III)$$

Substituindo (III) em (II) teremos:

$$V = \mu A h g \quad (\text{IV})$$

Substituindo (IV) em (I), obtemos:

$$P = \frac{\mu A h g}{A}$$

$$P = \mu g h$$

Eq. (2- 5)

Para:

- P : Pressão hidrostática (N/m^2)
- μ : é a massa específica do líquido (kg/m^3)
- g : é a aceleração gravitacional (m/s^2)
- h : é a profundidade (m)

Nesta equação pode-se perceber que, a pressão P não depende da área A e que μ e g sendo constantes, a pressão P será proporcional a h .

Visando obter um dado importante para análise de uma situação hidrostática, calcula-se um acréscimo de pressão sofrida por um mergulhador que desce a uma profundidade de $h=10\text{m}$, como descrito por Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 442). Para uma massa específica $\mu = 1,0 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ e $g=10\text{m/s}^2$, teremos:

$$\Delta P = \mu g \Delta h$$

$$1,0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10(\text{Pa})$$

$$\Delta P = 1,0 \cdot 10^5 (\text{Pa}) = 1,0 \text{ atm.}$$



Figura: 11 – Mergulhador sofrendo a pressão da coluna de líquido

Fonte: http://www.ecobrasil.eco.br/images/IMAGENS/ATIVIDADES/Noronha_mergulhador-tartaruga-zaida-matheus.jpg

Segundo Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 442), um mergulhador aprofundando-se numa água. Para cada 10 m percorridos no movimento descendente vertical, acrescenta-se uma pressão de $1,0 \cdot 10^5$ Pa ou 1,0 atm.

2.7 – Teorema de Stevin

De acordo com Gaspar, A. (2000, p. 308), A diferença de pressão entre dois pontos no interior de um líquido em repouso é igual ao produto da densidade desse líquido pela aceleração da gravidade local pelo e desnível vertical entre esses dois pontos, já Biscuola, Doca e Newton descreve:

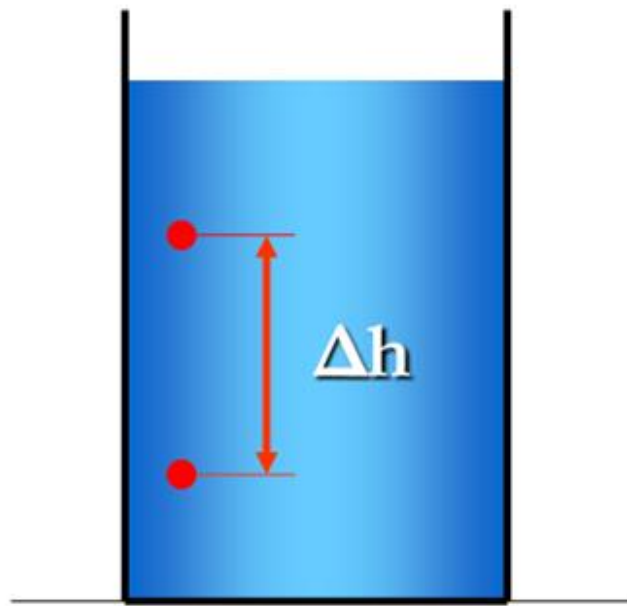


Figura: 12 – Representação da variação da pressão em um fluido

Fonte: Elaborada pelo autor

$$\Delta P = \mu g \Delta h \quad \text{Eq. (2- 6)}$$

Se considerarmos, dois pontos em horizontais diferentes em um mesmo líquido, a diferença de pressão entre eles pode ser calculada por:

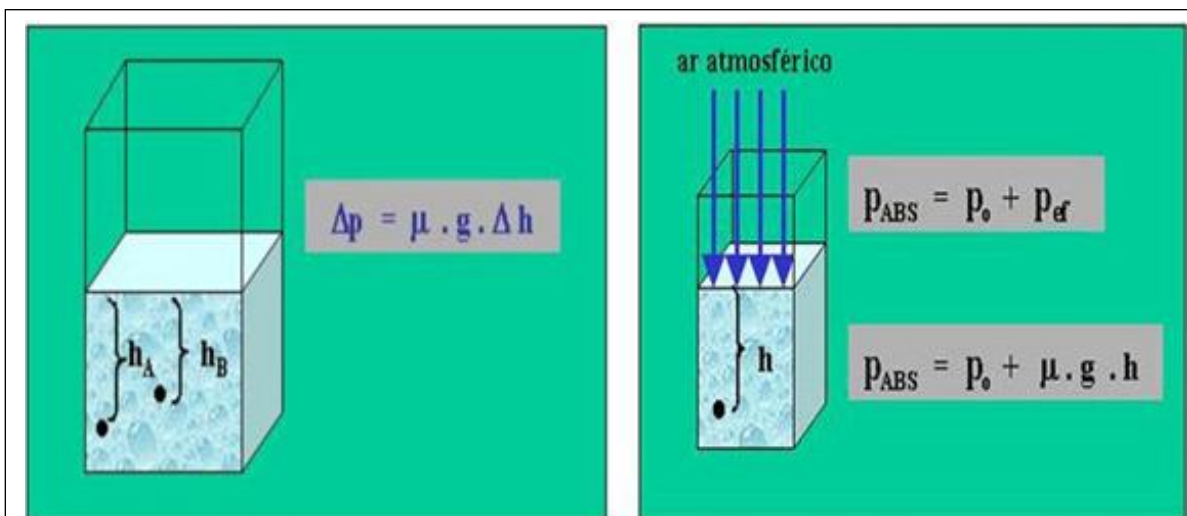


Figura: 13 – Representação da variação de pressão e da pressão absoluta.

Fonte: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=3280857>

“Traduzindo” as duas figuras anteriores, dizemos que a pressão sobre um ponto no interior de um fluido é determinada pela soma das pressões exercidas por todas as quantidades de fluidos que se encontram sobre ele naquele momento. Voltando ao ponto A da figura (profundidade h_A), determinamos a pressão total sobre ele somando a pressão exercida pela coluna de líquido acima dele com a pressão que a coluna de ar atmosférico exerce sobre a superfície livre do líquido (pressão atmosférica).

2.8 – Consequência do Teorema de Stevin

1ª Consequência

Pontos mergulhados no mesmo fluido e no mesmo nível horizontal, estão sujeitos a mesma pressão, constituindo uma região isobárica. Biscuola, Doca e Newton enuncia que todos os pontos de um líquido em equilíbrio sob a ação da gravidade, situados em um mesmo nível horizontal, suportam a mesma pressão configurando assim uma região isobárica, já Gaspar, A. (2000, p. 310), em seu livro Física descreve que:

Segundo a lei de Stevin a diferença de pressão Δp entre dois pontos de um líquido é diretamente proporcional ao desnível vertical Δh entre eles. Mas para quaisquer pontos situados na mesma superfície horizontal, o desnível vertical é $\Delta h=0$, portanto $\Delta p = 0$. Logo pontos situados na mesma superfície horizontal estão submetidos à mesma pressão. É reciprocamente, pontos submetidos à mesma pressão devem se situar na mesma superfície horizontal, mas acompanha a superfície terrestre, portanto é esférica. [...]

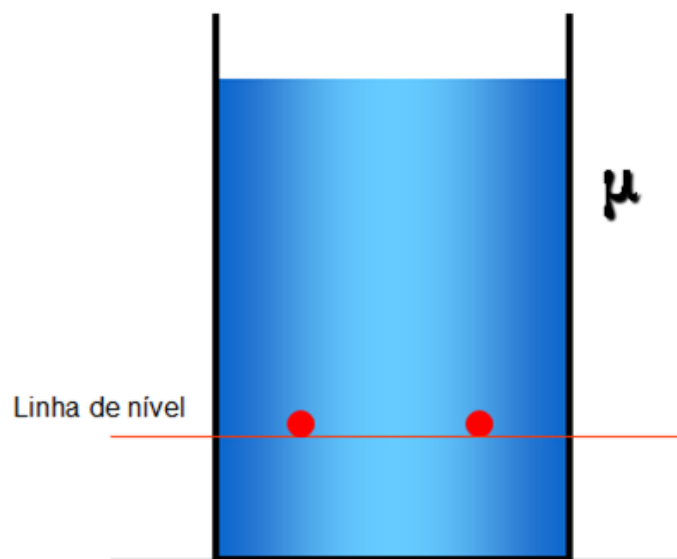


Figura: 14 – Representação do Teorema de Stevin.

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura: 15 – Mergulhadores a uma mesma profundidade.

Fonte: <https://images.pexels.com/photos/1540108/pexels-photo-1540108.jpeg>

2ª Consequência

Segundo Gaspar, A. (2000, p. 311), a superfície livre de qualquer líquido submetido à mesma pressão atmosférica é sempre horizontal, já para Biscuola, Doca e Newton (2012, P. 445), desprezando fenômenos relativos à tensão superficial, a superfície livre de um líquido em equilíbrio sob a ação da gravidade é plana e horizontal.

Uma aplicação evidente desta conclusão, são os vasos comunicantes como os das figuras a seguir. Segundo Gaspar, A. (2000, p. 311). A superfície livre de um líquido em repouso, dentro de recipientes que se comunicam, mantém-se sempre na mesma horizontal, independentemente da forma ou volume de líquido nele contido.

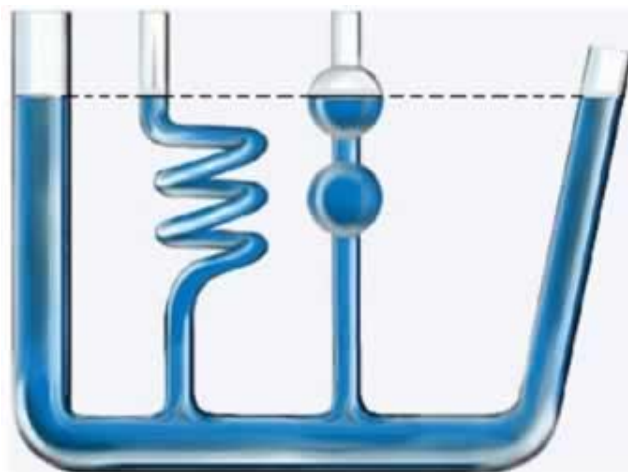


Figura: 16 – Vasos comunicantes

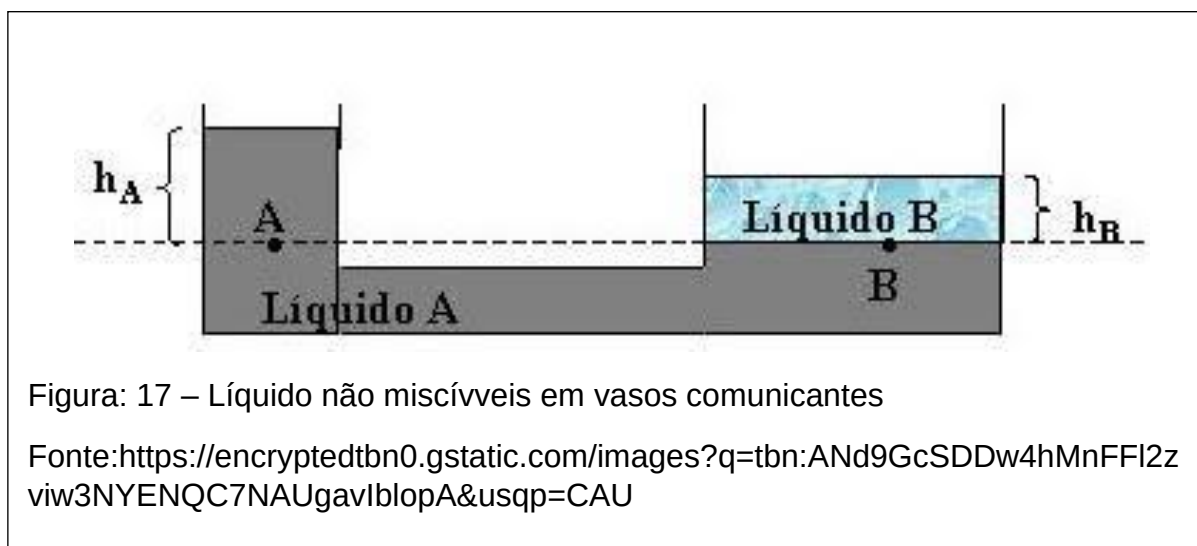
Fonte: https://static.preparaenem.com/conteudo_legenda/b51c8bb66e21253d7e4bef58cebdd7de.jpg

2.8.1 - Líquidos que não se misturam em equilíbrio

Um tubo em forma de U aberto nas duas extremidades, contendo dois líquidos diferentes e imiscíveis, A e B, em repouso.

Considere que as densidades μ_A e μ_B desses líquidos difiram, pode-se demonstrar que as superfícies livres desses líquidos possuem níveis também diferentes, o que pode ser facilmente comprovado pela relação demonstrada abaixo.

Ver (figura - 17) abaixo.



$$P_A = P_B$$

$$P_0 + \mu_A g h_A = P_0 + \mu_B g h_B$$

$$\mu_A h_A = \mu_B h_B \quad \text{Eq. (2-7)}$$

2.8.2 – Pressão absoluta

É a pressão total, ou seja, a pressão da coluna de líquido adicionada da pressão atmosférica. Segundo Relerbrock, Rafael, Pressão. Brasil Escola, disponível em: <<https://brasilestola.uol.com.br/fisica/pressao.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

pressão absoluta é a **pressão total** exercida sobre um corpo na superfície da Terra e para calcularmos a pressão absoluta sobre um corpo, devemos considerar a atuação de duas pressões distintas: a **pressão atmosférica** e a **pressão manométrica** (exercida por um fluido). (ver figura 18), abaixo:



Figura: 18 – Manômetro de uma cilindro de O₂

Fonte: Elaborada pelo autor

2.8.3 – Pressão manométrica

É a pressão que o gás exercesse, que neste caso, será igual à pressão, apenas da coluna de líquido, ou seja, não se considerando a pressão atmosférica. Sears e Zemanski, Young e Freedman, (2008, p. 76), retrata que a pressão manométrica, é o excesso da pressão acima da pressão atmosférica. Já Abert Gaspar (2000, p. 312), descreve que, pontos do mesmo líquido em repouso, no mesmo nível, estão à mesma pressão, temos então que para figura (19-a):

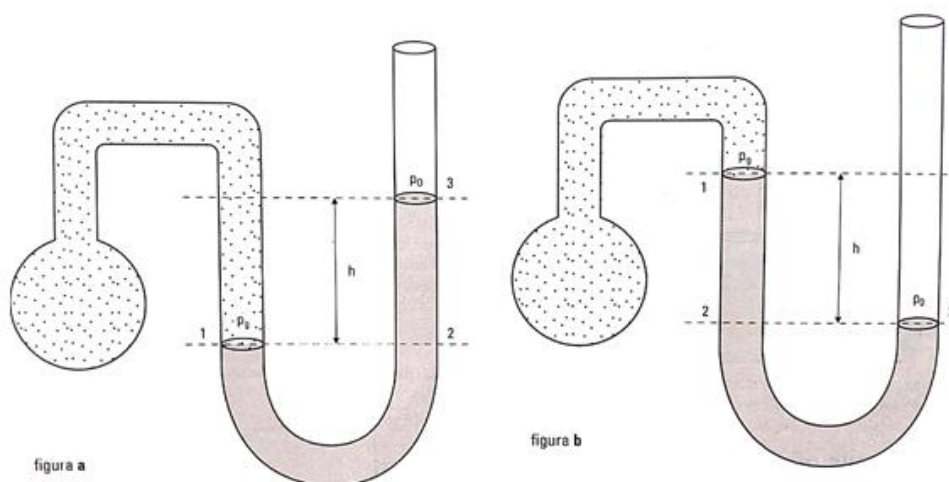


Figura: 19: a figura 19-a, a pressão do gás é maior que a pressão atmosférica e na figura 19-b, a pressão do gás é menor eu a pressão atmosférica.

Fonte: Aberto Gaspar Física (2000)

$$P_1 = P_2 \rightarrow P_g = P_o + \mu g h \text{ (I)}$$

E para figura (2.19-b):

$$P_2 = P_3 \rightarrow P_g + \mu g h + P_g \rightarrow P_o - \mu g h \text{ (II)}$$

As expressões (I) e (II) podem ser reunidas em uma só

$$P_g = P_o \pm \mu g h \quad \text{Eq. (2-8)}$$

Ainda de acordo com Aberto Gaspar (2000, p. 312), utiliza-se o sinal positivo quando o nível do líquido em contato com o gás estiver abaixo do nível do ramo aberto (figura 2.19-a), e negativo quando estiver acima (figura 19-b), o termo $(\mu g h)$ corresponde à pressão do desnível h do líquido contido no tubo em U.

2.9 – Experiência de Torricelli

Torricelli realizou um simples experimento para a determinação da pressão atmosférica. Sabendo que a pressão sobre dois pontos no interior de um mesmo fluido e numa mesma horizontal é a mesma, executou o que se segue.

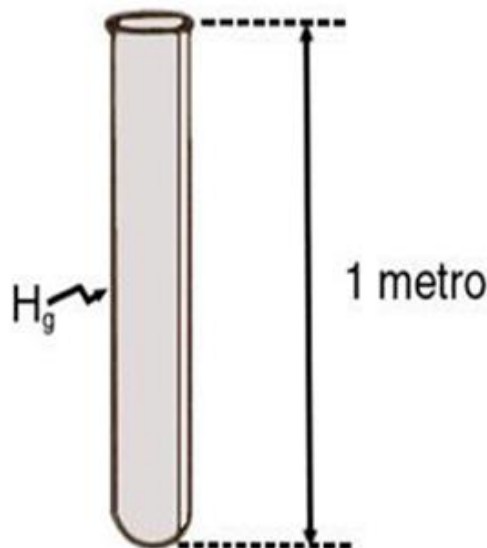


Figura: 20 – Tubo de vidro com água, para experimento de Torricelli

Fonte: [chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf)

Tomou um tubo de ensaio de 1m de comprimento totalmente preenchido com mercúrio (ver figura 20), e o depositou de boca para baixo em outro recipiente contendo também mercúrio. A coluna que permaneceu no interior do tubo passou a ter 76cm de altura (ver figura 21). Concluiu que na horizontal que passa pela superfície livre do líquido a pressão é a mesma em todos os pontos. Assim, determinando a pressão hidrostática da coluna de mercúrio dentro do tubo sobre sua base, sabia que esse valor corresponde ao valor da pressão da coluna de ar atmosférico sobre a superfície de mercúrio fora do tubo.

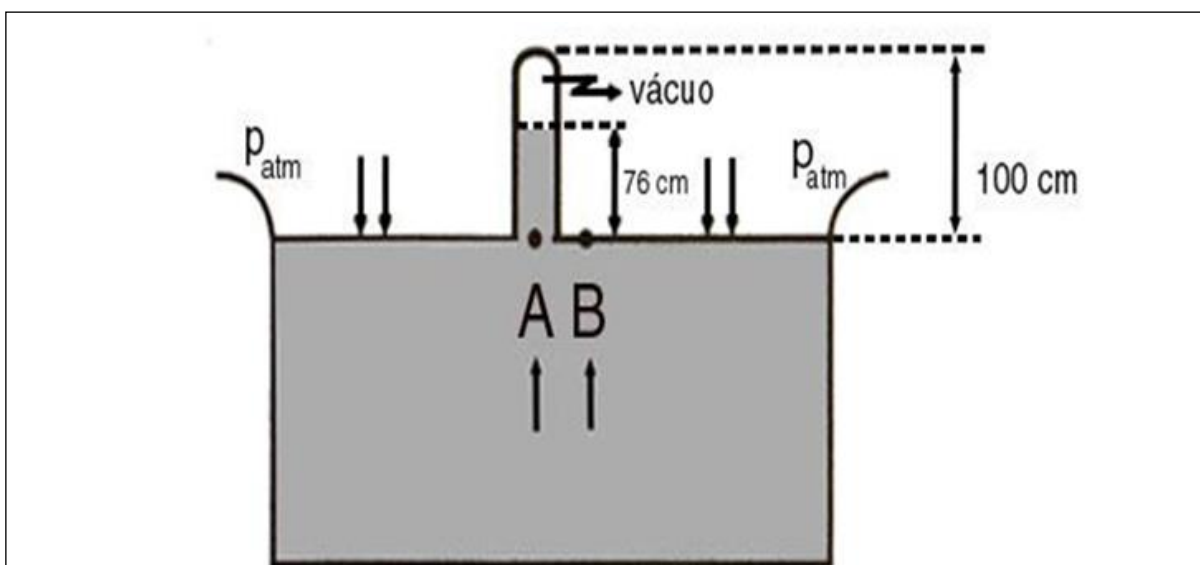


Figura: 21 – Representação do experimento de Torricelli

Fonte: [chromeextension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf)

De que maneira a experiência de Torricelli explica o limite de 10,3 m para a subida da coluna de água nas bombas aspirantes?

A água é 13,6 vezes menos densa que o mercúrio. Assim, para que uma coluna de água exerça em sua base a mesma pressão exercida pela atmosfera, como acontece com a coluna de mercúrio, a relação entre a altura das colunas deve ser:

$$\frac{\text{altura da coluna de água}}{\text{altura da coluna de mercúrio}} = 13,6$$

$$\text{altura da coluna de água} = 13,6 \cdot 0,76 = 10,3 \text{ m}$$

Assim, podemos dizer que 760 mmHg = 10,3 mca (mca: metros de coluna de água).

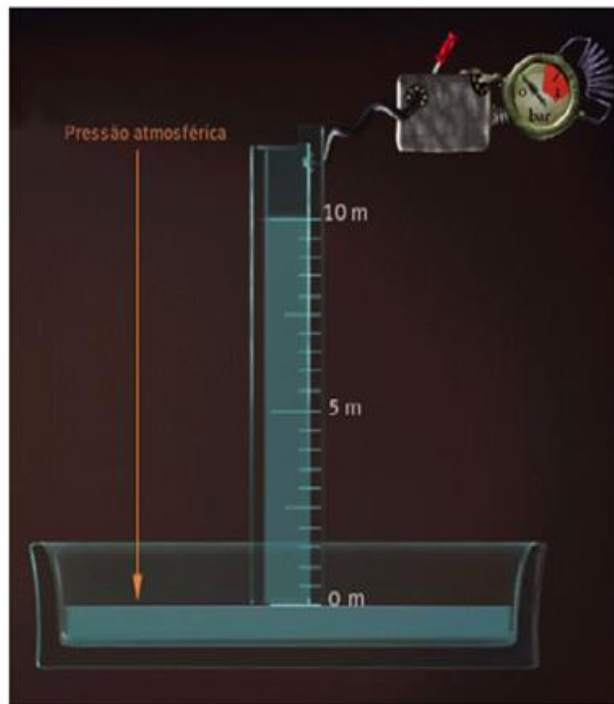


Figura: 22 – Representação do experimento de Torricelli com água

Fonte: chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgltcllefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf

Outra unidade usada para medir a pressão é a atmosfera (atm), logo caso essa experiência fosse realizada com água seria necessário um tubo de 10m de altura, o que tornaria inviável a realização dessa experiência nas dependências de um laboratório comum.

Utilizando a expressão $p = \rho gh$, encontrou, para a pressão atmosférica, o valor:

$$p_{\text{atm}} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Ou, aproximadamente:

$$p_{\text{atm}} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Resumindo:

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 10,3 \text{ mca} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Essa pressão deve sempre ser acrescida ao valor da pressão sobre um ponto no interior de um fluido quando sua superfície for livre, isto é, aberta à atmosfera.

Uma consequência importante do que estudamos até agora sobre pressão hidrostática é que líquidos na superfície do planeta, com superfície aberta, ficarão num mesmo nível por estarem sujeitos a uma mesma pressão, no caso, a pressão atmosférica.

2.10 – Princípio de Pascal

Conforme Aberto Gaspar (2000, p. 322), enuncia que a variação de pressão aplicada a um fluido contido em um recipiente fechado é transmitida integralmente a todos os pontos desse fluido.

Biscuola, Doca e Newton (2012, P. 450) descreve:

“Um incremento de pressão comunicado a um ponto qualquer de um líquido incompressível em equilíbrio transmite-se integralmente a todos os demais pontos do líquido, bem como às paredes do recipiente”. [...]

Considere a situação a seguir onde um líquido é submetido a uma variação de pressão em um de seus pontos pela aplicação de uma força F_1 . Tal alteração provoca uma elevação na pressão em todo o líquido. Finalmente, o êmbolo S_2 , ficando sujeito à ação da força F_2 , inicia um movimento ascendente.

O dispositivo estudado aqui é denominado prensa hidráulica que, na prática, constitui um multiplicador de forças. A relação de descreve o funcionamento de uma prensa é dada por:

$$\boxed{\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}} \quad \text{Eq. (2-9)}$$

Onde: F_1 e F_2 são as forças aplicadas, respectivamente, sobre os êmbolos 1 e 2 medidas em newtons; A_1 e A_2 são as áreas dos êmbolos da prensa hidráulica em m^2 .

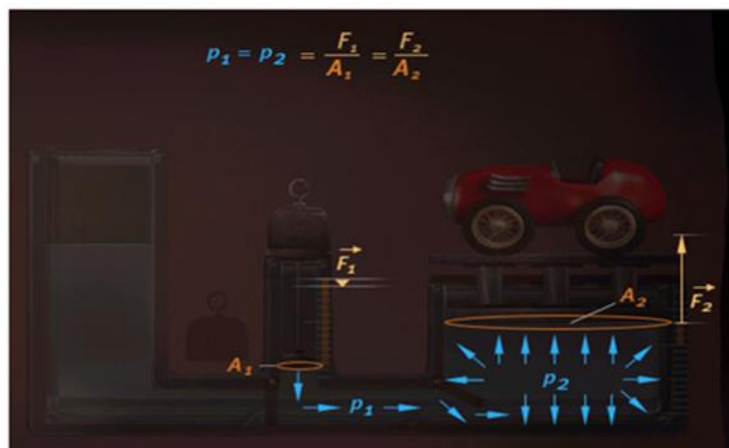


Figura: 23 – Distribuição da força sobre um líquido numa prensa hidráulica.

Fonte: chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf

Pascal, o coração tem razões... (Texto, Biscuola, Doca e Newton)

Blaise Pascal (1623-1662), cujo retrato, de uma coleção particular, foi pintado por Philippe de Champaigne no século XVII, nasceu em Clermont – Ferrand, França, tendo manifestado, ainda criança, grande habilidade em Matemática. Estudou Geometria, Probabilidade e Física, chegando a importantes descobertas. Aos 19 anos, depois de dois anos de trabalho intenso, terminou a construção de uma revolucionária calculadora mecânica que permitia a realização de operações aritméticas sem que o usuário precisasse saber os respectivos algoritmos. Buscando outros conhecimentos, embrenhou-se na Filosofia e na Teologia, tendo legado uma frase memorável em que deixou clara sua insatisfação com as coisas meramente racionais: “O coração tem razões que a própria razão desconhece”.



Figura: 24 – Blaise Pascal (1623 - 1662) Físico, matemático e filósofo

Fonte: <https://www.explicatorium.com/biografias/blaise-pascal.html>

2.10.1 – Exemplos e aplicações

1.º Exemplo:

Carro em sendo elevado em um elevador hidráulico.



Figura: 25 – Carro em uma oficina sobre um elevador hidráulico

Fonte: <https://www.boxtop.com.br/blog/elevador-de-carros-saiba-tudo-sobre/>

2.º Exemplo:

Escavadeira hidráulica funcionando.



Figura: 26 – Escavadeira hidráulica

Fonte: <https://universus.loja2.com.br/7205868-Curso-de-Operador-de-Escavadeira>

2.11 – Princípio de Arquimedes

Depois de três meses combinando uma série de exercícios e uma alimentação adequada, **Ronaldo** chegou ao seu objetivo e conseguiu perder os quilos propostos pelo quadro 'Medida certa', no programa "Fantástico ". Em um dos episódios da série, o “fenômeno”, sentiu o joelho, porém estava previsto, uma corrida para aquele dia. O preparador físico Márcio Atalla, para não quebrar a sequência de exercícios, colocou uma esteira na piscina e fez o “fenômeno cumprir à risca o exercício previsto. Qual o motivo do preparador físico Márcio Atalla colocar a esteira na piscina, e qual a relação com o Princípio de Arquimedes?



Figura: 27 – Ronaldo treinando na piscina

Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=ronaldo+fen%C3%B4meno+em+uma+piscina+medida+certa>

Ginástica é uma atividade muito saudável, porém, determinados exercícios físicos, se feitos em excesso, podem provocar danos, muitas vezes irreversíveis, aos tendões, à coluna, etc. para evitar os efeitos danosos que podem ocorrer quando o corpo sofre impacto contra o solo, foi criado um tipo de ginástica que se pratica dentro d'água (hidroginástica) para que uma parte do peso seja anulada por uma força denominada EMPUXO, a figura (28) retrata bem a atividade física dentro d'água (Hidroginástica).



Figura: 28 – Aula de hidroginástica

Fonte: <https://www2.tatui.sp.gov.br/2019/10/03/piscina-publica-esta-aberta-a-populacao-e-conta-com-aulas-de-hidroginastica/>

Segundo Silva, Marco A. **Arquimedes e a Descoberta do Empuxo**, Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/fisica/arquimedes-descoberta-empuxo.htm>>. Acesso em: 6 dez. 2022.

O sábio grego Arquimedes (282-212 a.C.) verificou, enquanto tomava banho, que um corpo imerso na água se torna mais leve devido a uma força, exercida pelo líquido sobre o corpo vertical para cima, que “alivia” o peso do corpo. Foi assim, meio que ao acaso, que o princípio do empuxo foi descoberto.

Essa força é denominada EMPUXO, possui o mesmo módulo do peso do líquido deslocado pelo corpo quando total ou parcialmente nele imerso

Arquimedes foi físico, matemático e inventor grego que viveu no século III antes de Cristo, na cidade de Siracusa, uma pequena colônia grega localizada no sul da Itália. Ele fez descobertas importantes na área da geometria. Foi no campo da Física que ele fez a maior de suas descobertas, o princípio do empuxo, no entanto seus trabalhos são muito extensos, apresentando contribuições não só na área da física, como também na matemática e na tecnologia. Arquimedes construiu engenhosas invenções que se tornaram muito populares em sua cidade. Uma das invenções mais populares ficou conhecida como o parafuso de Arquimedes.



Foto: 29 – Foto do físico Arquimedes

Fonte: <http://fisicaessencial.blogspot.com/2012/03/empuxo-de-arquimedes.html>

Conforme escrito no livro de Sears e Zemanski, Young e Freedman, (2008, p. 79), o princípio de Arquimedes prever que quando um corpo está parcial ou completamente imerso em um fluido, este exerce sobre o corpo uma força de baixo para cima igual ao peso do volume do fluido deslocado pelo corpo, já Biscuola, Doca e Newton (2012 P. 450) descreve:

“Quando um corpo é imerso total ou parcialmente em um fluido em equilíbrio sob a ação da gravidade, ele recebe do fluido uma força denominada empuxo (ou impulsão de Arquimedes). Tal força tem sempre direção vertical de baixo para cima e intensidade igual à do peso do fluido deslocado pelo corpo”. [...]

Assim temos que:

$$E = P$$

Para: $P = m g \quad m = \mu V_{\text{desl.}}$

Logo teremos:

$$E = \mu V g \quad \text{Eq. (2- 10)}$$

Temos que:

- E: Empuxo (N)
- μ : Massa específica do líquido (g/cm^3)
- V: Volume deslocado (m^3)
- g: Aceleração da gravidade (m/s^2)

Portanto, num corpo que se encontra total ou parcialmente imerso em fluido, agem duas forças: a força peso, devida à interação com a Terra e o empuxo devido à interação com o fluido (ver figura 30).

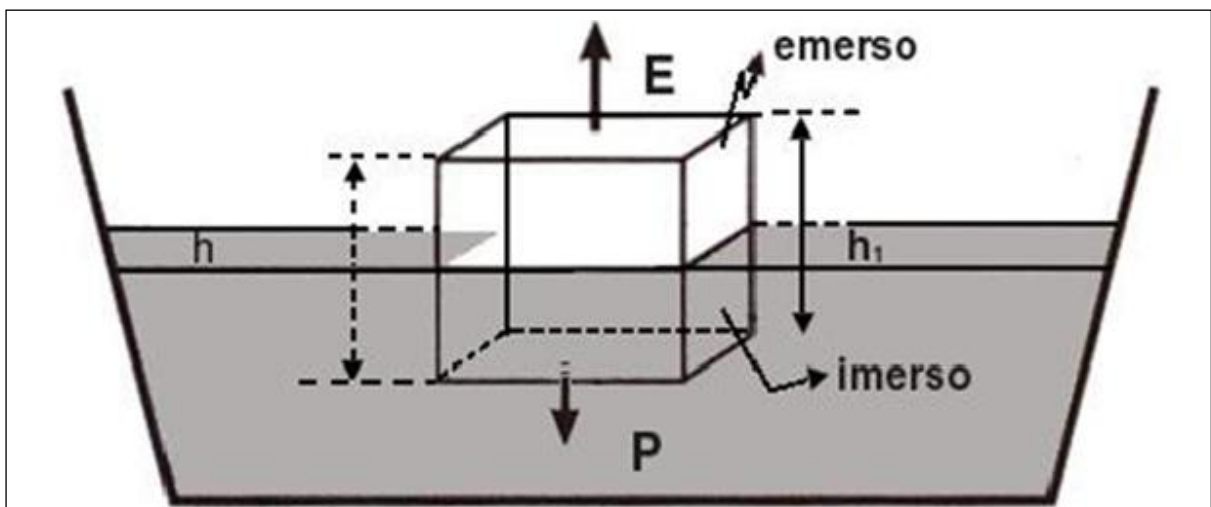


Figura: 30 – Representação do Teorema de Arquimedes, bloco imerso

Fonte: chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf

É importante salientar que quando a densidade média do corpo totalmente imerso no fluido for:

- Igual à do fluido, ele permanecerá em equilíbrio em qualquer ponto no fluido.

$$P=E$$

- Maior que a do fluido, ele entrará em movimento acelerado vertical e descendente pois.

$$P>E$$

- Menor que a do fluido, ele entrará em movimento acelerado vertical ascendente pois.

$$E>P$$

- Quando total ou parcialmente imerso no fluido, o peso aparente do corpo será dado por

$$P_{ap}=P-E$$

Peso, empuxo, peso aparente, e peso de líquido deslocado quando do corpo imerso, (ver figura 31)

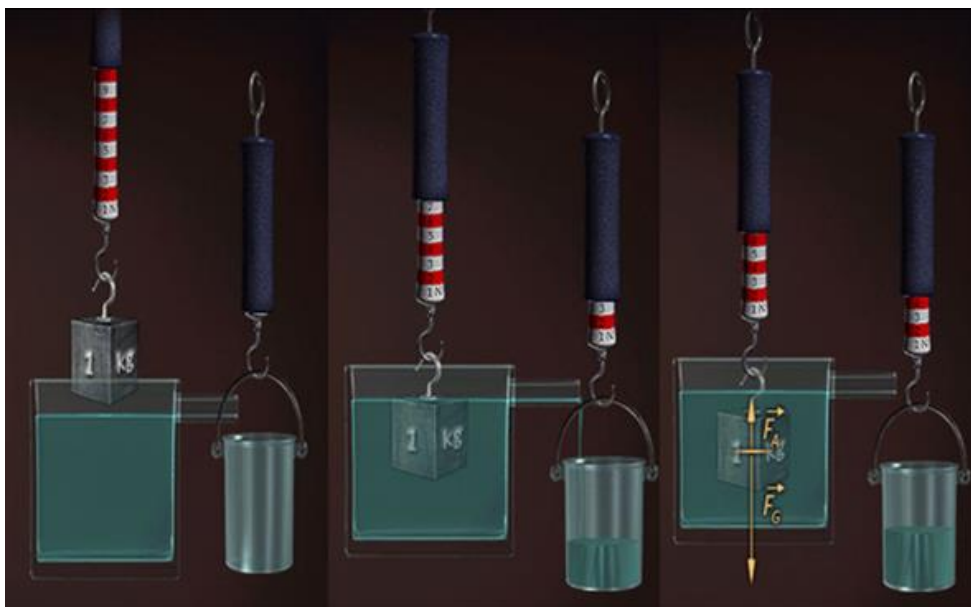


Figura: 31 – Corpos imersos em fluidos, com peso e empuxo agindo

Fonte: [chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5824505/mod_resource/content/1/Aula%2015.pdf)

3- Fundamentação teórica - Hidrodinâmica

3.1 – Introdução a Hidrodinâmica

O conteúdo de Hidrodinâmica para o ensino médio, é considerado dispensável, para a maioria dos sistemas de ensino do país, uma vez que, este conteúdo não está previsto para o ENEM, porém, existem diversas situações e exemplos em que só por meio do conhecimento da Hidrodinâmica, poderemos explicá-los, tais como: o deslocamento constante dos tubarões, pois como estes animais são bem mais densos que a água e caso eles parassem, certamente afundariam, logo, para que isso não aconteça, eles precisam nadar constantemente, pois é o movimento do tubarão em relação à água que o impede de afundar (ver figura 32).



Figura: 32 - Tubarão se deslocando

Fonte: https://www.hypeness.com.br/1/2021/06/b9772513edit_tubaro%CC%83es_extinc%CC%A7a%CC%83o_horizontal.jpg

Outro exemplo, é o motivo das aeronaves conseguirem se manter voando, conforme a figura (33), retrata abaixo, tendo também densidades muito maiores que o ar, a explicação é semelhante, as asas da aeronave funcionam como as nadadeiras do tubarão, elas possuem um desenho específico de modo que o ar passará com maior velocidade pela parte de cima das asas, fazendo com que a pressão embaixo das asas, seja maior que na parte de cima, criando assim uma força de sustentação vertical para cima e que se opõe a tendência de queda da aeronave.



Figura: 33 - Avião se deslocando

Fonte: <https://useargo.com/wp-content/uploads/2016/08/O-desafio-de-reformar-o-aviao-em-pleno-voo-1024x500.jpg>

O conteúdo de Hidrostática é sequenciado pelo conteúdo da Hidrodinâmica, porém este só é abordado em cursos de Ciências exatas como Física, Engenharia e áreas afins, no ensino superior. A forma com que vamos abordar aqui, é bastante superficial e simplificada, para poder ser compreendida por alunos do ensino médio.

O deslocamento de fluidos reais é bem complexo, não sendo ainda muito bem compreendido, por isso, vamos discutir o movimento dos **fluidos ideais**, os quais possuem uma maior facilidade matemática.

Ainda que os resultados não concordem plenamente com o comportamento dos gases, teremos uma boa aproximação que será de grande valia para o nosso estudo.

A Hidrodinâmica trata dos movimentos dos fluidos tais como água de um rio, água em uma tubulação, movimento de gases em tubos, circulação sanguíneas nas veias e artérias em seres humanos.

3.2 – Fluidos Ideais

Os fluidos são constituídos por grande número de moléculas em movimento desordenado. Para estudarmos o comportamento destes fluidos, poderíamos utilizar equações de movimento da Mecânica para cada molécula que os constituem. Porém, tal procedimento é muito laborioso visto que necessitaríamos trabalhar com um número muito grande de equações. Ao invés disso, em se tratando de estabelecer relações entre grandezas macroscópicas como pressão, volume e velocidade de escoamento, associadas ao equilíbrio ou ao escoamento de fluidos, iremos substituir o fluido real por um modelo simplificado chamado de Fluido ideal. Com isso, iremos facilitar o tratamento matemático.

Este fluido, para ser considerado ideal, deve apresentar algumas características no que se refere a sua continuidade, homogeneidade, incompressibilidade e viscosidade. Baseado nessa discussão, faremos algumas considerações a respeito deste fluido ideal:

3.2.1 – Escoamento uniforme – A velocidade do fluido em qualquer ponto não muda com o tempo. Ou seja, seu módulo, direção e sentido são constantes. O contrário de um escoamento uniforme seria um escoamento turbulento. Como exemplo podemos imaginar um riacho. A velocidade da água no centro do riacho calmo é constante, porém, nas margens do riacho teremos turbulências provocadas pelas pedras e pela terra. Na figura (34) podemos observar as águas calmas de um riacho em oposição as águas turbulentas na cachoeira da figura (35).



Figura: 34 - Comportamento uniforme da água no centro de um Riacho calmo.

Fonte: <https://criandoumjardim.files.wordpress.com/2019/01/%C3%A1gua.jpg>



Figura: 35 - Comportamento turbulento da água em uma cachoeira.

Fonte: https://cdn.pixabay.com/photo/2015/03/18/17/48/rafting-679719_960_720.jpg

3.2.2 - Escoamento incompressível – Fluido que possui massa específica (densidade absoluta) uniforme, ou seja, a mesma densidade em qualquer ponto do fluido. Os líquidos são aproximadamente incompressíveis, também podemos considerar os gases, caso a pressão em diferentes pontos não sejam tão diferentes.

3.2.3 – Escoamento não-viscoso – Tipo de escoamento em que as camadas dos fluidos não trocam forças de atrito entre si, nem com as paredes do conduto, ou seja, não causam resistência ao escoamento. Por exemplo, o mel e o óleo são mais viscosos que a água, pois em iguais condições, o mel e o óleo têm maior dificuldade de escoamento que a água.

3.2.4 – Escoamento não rotacional – As partículas do fluido não giram em torno do seu próprio eixo, colocando-se um objeto mergulhado neste fluido, ele não irá girar em torno de um eixo que passe pelo seu centro de massa.

3.2.5 – Linhas de escoamento – Uma linha de escoamento é uma linha imaginária traçada por uma partícula mergulhada em um fluido. Essas linhas são semelhantes às linhas imaginárias utilizadas para estudar uma região de campo gravitacional. A linha de escoamento nos permite estudar a velocidade do fluido em cada posição. A figura (36) mostra linhas de escoamento de um fluido em torno de um obstáculo circular.

Quando a configuração global do escoamento de um fluido não varia com o tempo, o chamamos de escoamento estacionário. As linhas de corrente, que no caso de escoamento estacionário, coincide com as linhas de escoamento, é uma curva que em qualquer ponto dela, o vetor tangente neste ponto da curva, nos fornece a direção e o sentido da velocidade do fluido neste local. Em um escoamento de um fluido ideal, as linhas de corrente nunca se cruzam. Pois, se assim o fizessem, uma partícula que encontrasse este cruzamento assumiria valores diferentes e simultâneos para a velocidade, o que seria impossível. Quanto mais próximas estiverem as linhas de escoamento no fluido, maior será o valor da velocidade do fluido naquele ponto.

Um conjunto linhas de escoamento formam o que chamamos de tubo de escoamento. As paredes em um tubo de escoamento podem ser reais, como em uma mangueira, ou imaginária, quando isolamos uma pequena seção do escoamento no meio do fluido em escoamento.

Este tubo de escoamento nos ajuda a acompanhar e estudar o fluido durante seu escoamento. Nenhuma molécula do fluido pode escapar do tubo de escoamento. Pois caso isto acontecesse, recairíamos no caso anterior de cruzamento de linhas de corrente, que no caso é impossível.

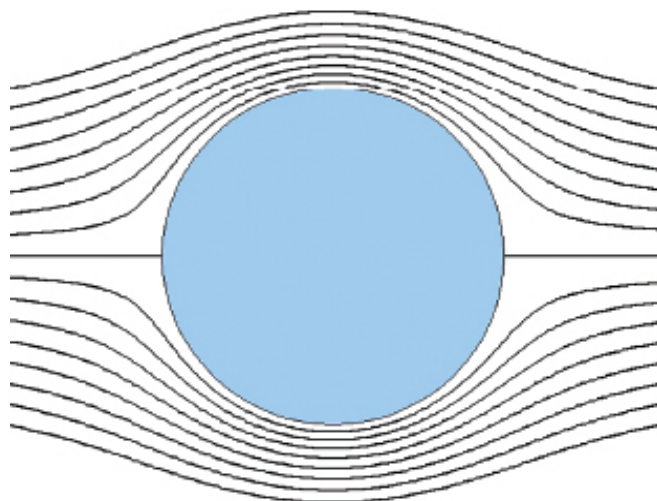


Figura: 36 - Representação de linhas de escoamento

Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/tsvTgNcxwdxScrcCQtznGkK/?lang=pt#ModFigfig5>

A figura (37) nos mostra linhas de escoamento do vento utilizadas para estudar o desenho aerodinâmico de um carro sendo projetado. Com base nesta figura podemos afirmar que a velocidade do vento na parte superior do carro é maior, uma vez que as linhas de escoamento estão mais próximas naquele local.



Figura: 37 - Carro em um túnel de vento

Fonte: <https://thumbs.dreamstime.com/b/modelo-de-ve%C3%ADculo-desportivo-prot%C3%B3tipo-t%C3%BAnel-aerodin%C3%A2mico-d-ilustra%C3%A7%C3%A3o-um-carro-imagin%C3%A1rio-conceitual-no-interior-do-231247341.jpg>

3.3 – Vazão (Z)

Iremos considerar que um líquido não-viscoso, incompressível e de escoamento uniforme, que passará por um trecho de uma tubulação. Por uma secção transversal (S) passará um certo volume deste líquido (ΔV) em um certo intervalo de tempo (ΔT). A figura (38) abaixo exhibe esta situação.

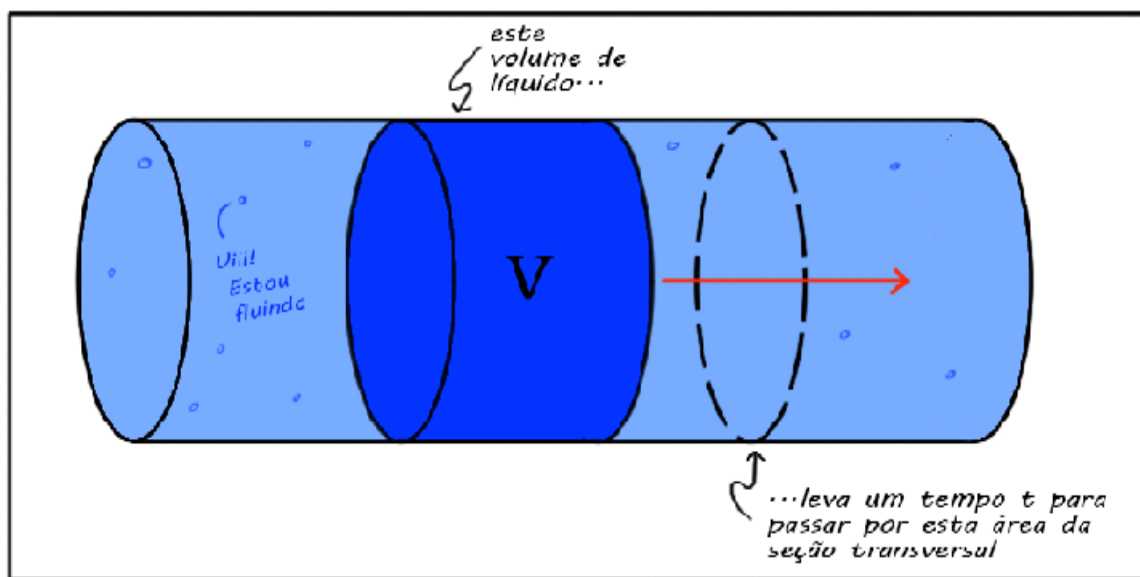


Figura: 38 - Trecho de um tubo de seção reta, exibindo o escoamento de um fluido.

Fonte: <https://cdn.kastatic.org/ka-perseu-images/3dafefa3578534e833181b0f59d210bf119b3bb0.png>

A Vazão volumétrica representa a taxa do volume do fluido que atravessa uma seção reta do tubo de escoamento. Definimos a grandeza Vazão volumétrica (Z) como sendo a razão entre um certo volume (ΔV) e o intervalo de tempo (ΔT), que leva para essa quantidade do fluido passar numa seção transversal do tubo:

$$Z = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad \text{Eq. (3-1)}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a vazão é dada por m^3/s .

Na figura (39) abaixo, temos um dos tubos da hidrelétrica de Itaipu. Esse duto despeja água sobre uma turbina acoplada a um gerador de tensão elétrica. Em cada tubo desta usina temos, em média, uma vazão de água é de 700.000 L/s.



Figura: 39 - Dutos de Itaipu

Fonte: https://www.google.com.br/search?q=Dutos+de+el%C3%A9trica+de+itaipu&hl=ptBR&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwih76zEhfH0AhWKrpUCHXk6COIQ_AUoAnoECAEQBA&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgrc=AQYulMdl9rsf1M

A Itaipu tem 20 unidades geradoras. A última unidade instalada começou a transformar energia mecânica em elétrica em 2007. Cada uma tem capacidade de 700 megawatts (MW), potência suficiente para abastecer uma cidade com 1,5 milhão de habitantes. Juntas, as 20 unidades geradoras somam 14 mil MW.

O volume de um líquido que passa pela secção S, em um certo intervalo de tempo, pode ser calculado por:

$$\Delta V = A \Delta s \quad \text{Eq. (3-2)}$$

Onde A é a área da secção reta e Δs é o deslocamento do líquido no tempo. Δt Considerando um volume ΔV pequeno, podemos utilizar a velocidade média v das moléculas de água de ΔV para calcular a vazão volumétrica como sendo:

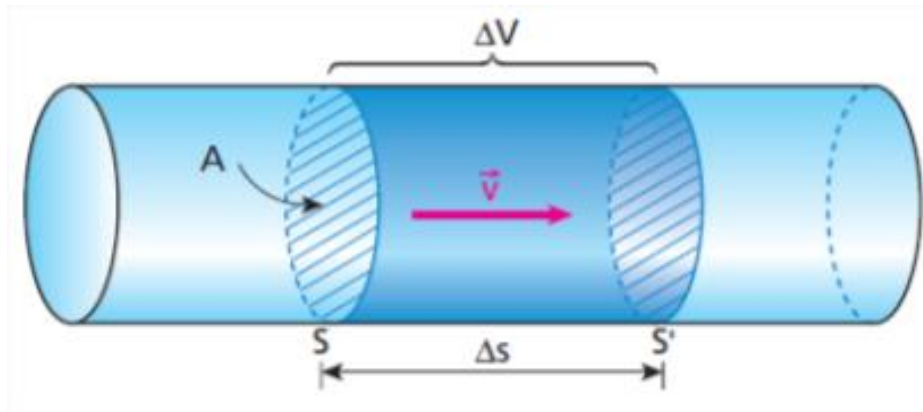


Figura: 40 - Trecho de um tubo com duas seções reta S, exibindo o escoamento de um fluido.

Fonte: Tópicos da Física (2012)

Considerando um volume ΔV pequeno, podemos utilizar a velocidade média v das moléculas de água de ΔV para calcular a vazão volumétrica como sendo:

$$Z = \frac{A \Delta s}{\Delta T}$$

$Z = A \cdot v$

Eq. (3-3)

3.4 – Equação da continuidade

Consideremos um líquido incompressível, não viscoso e de escoamento uniforme, em um tubo de diâmetro variável como o mostrado na figura (41) a seguir.

Sejam as áreas A_1 e A_2 das seções S_1 e S_2 , e V_1 e V_2 as velocidades de escoamento deste fluido, em S_1 e S_2 .

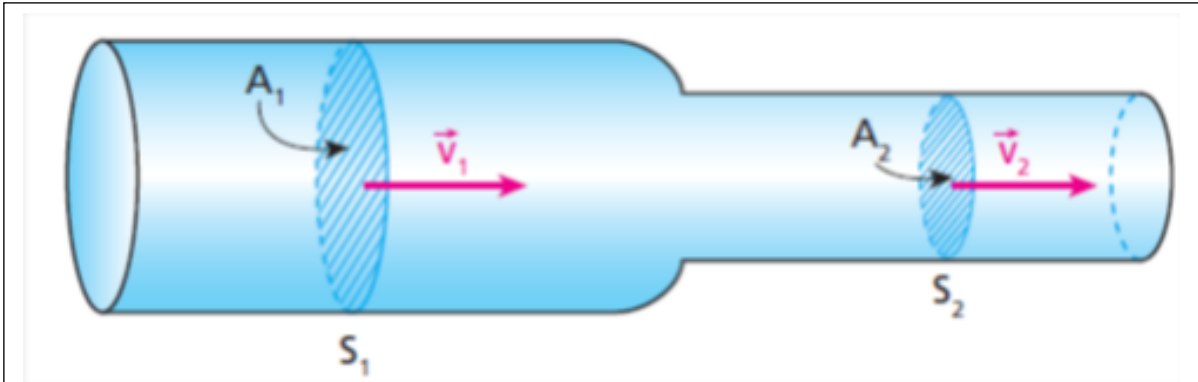


Figura: 41 - Tubo de escoamento de secção reta variável

Fonte: Tópicos da física (2012)

Como este escoamento é uniforme, a massa total em um intervalo do tubo permanece constante. Ou seja, a quantidade de massa que passa por S_1 deve ser igual à quantidade de massa que atravessa S_2 , corroborando com o princípio da conservação da massa. Desta forma, a massa que passa pela secção S_1 é a mesma que passa pela secção S_2 . Assim, a vazão nos pontos 1 e 2 devem ser iguais:

$$Z_1 = Z_2$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad \text{Eq. (3-4)}$$

A última expressão é a equação da continuidade e ela, nos permite observar

$$A_1 > A_2 \quad \Rightarrow \quad V_1 < V_2$$

que O produto $A \cdot v$ em um fluido incompressível é constante e a área e a velocidade são inversamente proporcionais, sendo assim quanto menor for a área de secção transversal maior será a velocidade de escoamento deste líquido.

A figura (42) abaixo, mostra um rio com largura variável. Considerando que este rio possui profundidade uniforme, a velocidade de escoamento dele é maior na parte mais estreita que na mais larga.



Figura: 42 - Rio com largura variável

Fonte: <https://portalamazonia.com/images/p/33436/1632456819.png>



Figura: 43 - Água saindo na extremidade da mangueira com maior velocidade.

Fonte: <https://s1.static.brasilecola.uol.com.br/be/conteudo/images/ao-diminuir-area-saida-mangueira-velocidade-agua-aumentada-56f3d25c9764e.jpg>

A medida em que apertamos a extremidade da mangueira diminuimos a área da secção transversal. Logo, neste ponto, a velocidade da água torna-se maior, como pode ser observado na figura (43). O mesmo comportamento pode acontecer com a água ao sair de uma torneira como ilustrado na figura (44).



Figura: 44 - Torneira com com área do jato d'água, variável

Fonte: https://img.freepik.com/fotos-gratis/torneira-e-fluxo-de-agua-no-banheiro_51195-23.jpg?size=626&ext=jpg

Observe que na parte superior, próximo à torneira, o escoamento da água se dá com maior diâmetro, à medida que a água vai caindo o seu filete passa a ficar cada vez mais fino e sua velocidade vai aumentando devido à aceleração da gravidade.

3.5 – Equação de Bernoulli

Vamos considerar um tubo ou mesmo um cano por onde escoar um líquido incompressível, não viscoso, de densidade constante " ρ " e de regime permanente como mostrado na figura (45), ou seja, o volume que entra no cano deve ser o mesmo volume sai deste cano. Sejam h_1 , v_1 , e p_1 , a elevação do centro de S_1 em relação a um plano horizontal de referência " p_i ", a velocidade e a pressão, do líquido, quando entra no tubo.

A_1 e S_1 , a área da seção de entrada deste líquido pelo tubo, h_2 , v_2 e p_2 , a elevação do centro de S_2 em relação a um plano horizontal “ π ”, a velocidade e a pressão, do líquido, quando sai do tubo. A_2 e S_2 , a área e a seção da saída deste líquido pelo tubo. Sejam ainda “ π ” o plano horizontal e “ g ” a gravidade local

$$p_1 + dgh_1 + \frac{dv_1^2}{2} = p_2 + dgh_2 + \frac{dv_2^2}{2} \quad \text{Eq. (3-5)}$$

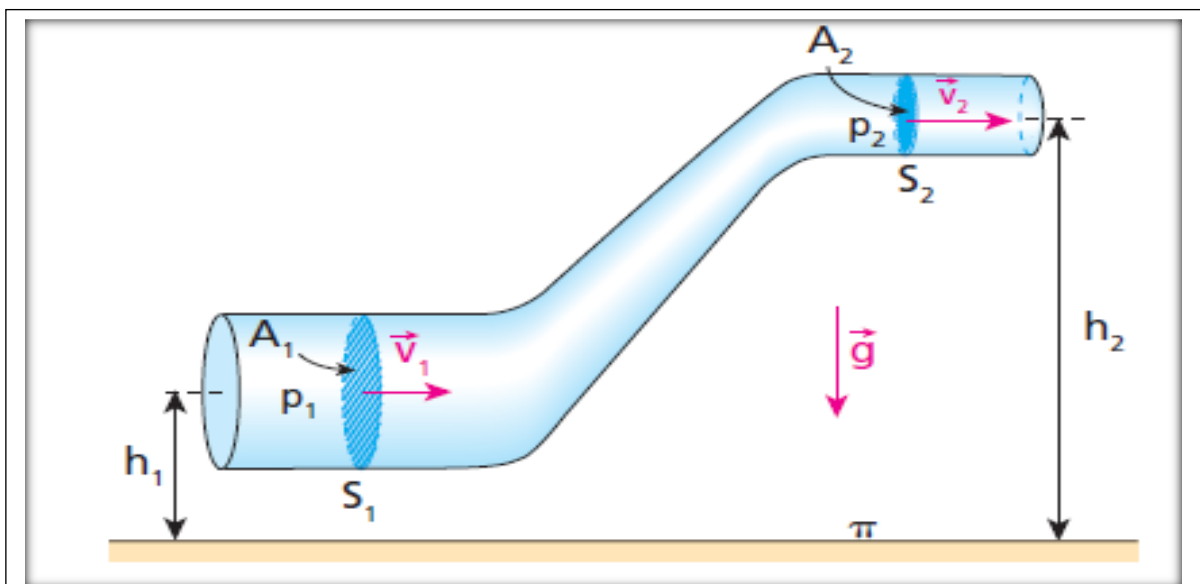


Figura: 45 - Tubulação com diâmetro variável

Fonte: tópicos da Física (2012)

O físico, médico e fisiologista suíço Daniel Bernoulli (1700-1782), que estudou o escoamento dos fluidos no século XVIII, relacionou as grandezas citadas acima em uma expressão de grande importância que pode explicar vários fenômenos, tais como: o escoamento em sistemas de encanamentos, em hidrelétricas, nos voos de aeronaves e tantos outros fenômenos. Assim como a equação da continuidade, a equação de Bernoulli não é um princípio novo, mas simplesmente uma reformulação de um princípio conhecido, o princípio da conservação de energia, que sofreu adequação para a mecânica dos fluidos.

Como a velocidade do fluido ao longo do tubo na figura varia, ele está acelerado. Isso significa que as variações de pressão produzem uma força resultante em cada elemento do fluido, conforme a ΔV equação da continuidade, o volume do fluido ΔV que passa em qualquer secção reta do tubo no intervalo de tempo Δt deve ser o mesmo. Assim:

$$\Delta V = A_1 \Delta s_1 = A_2 \Delta s_2.$$

Por outro lado, o trabalho realizado sobre o elemento do fluido, ΔV , pelas forças não conservativas que atuam no fluido será:

$$\Delta W = \Delta E_M = \Delta E_c + \Delta E_p$$

$$\Delta W = \frac{1}{2} m \cdot \Delta v^2 + mgh = \frac{1}{2} (d \cdot \Delta V) \cdot (v_2^2 - v_1^2) + (d \cdot \Delta V)g(h_2 - h_1)$$

Onde, ΔE_M , ΔE_c e ΔE_p são as variações da energia mecânica total, energia cinética e energia potencial gravitacional do fluido.

Podemos calcular o trabalho ΔW realizado sobre o fluido, também, utilizando a definição da pressão nos pontos 1 e 2 do tubo, como segue:

$$\Delta W = F_1 \Delta s_1 - F_2 \Delta s_2 = (p_1 A_1) \Delta s_1 - (p_2 A_2) \Delta s_2$$

$$\Delta W = p_1 \Delta V - p_2 \Delta V$$

Onde utilizamos as forças devido à pressão que atuam no fluido $F_1 = p_1 A_1$ e $F_2 = p_2 A_2$ nos pontos 1 e 2. Igualando as duas equações escritas para o trabalho, encontramos:

$$\frac{1}{2} (d \cdot \Delta V) \cdot (v_2^2 - v_1^2) + (d \cdot \Delta V)g(h_2 - h_1) = p_1 \Delta V - p_2 \Delta V$$

Manipulando esta expressão, encontramos a equação de Bernoulli:

Eq. (3-6)

$$p_1 + \frac{1}{2} d \cdot v_1^2 + dgh_1 = p_2 + \frac{1}{2} d \cdot v_2^2 + dgh_2$$

Onde P_1 e P_2 são as **pressões estáticas**, enquanto as parcelas, $\frac{d.V_1^2}{2}$ e $\frac{d.V_2^2}{2}$ são as **pressões dinâmicas ou energia cinética específica** (energia por unidade de volume).

Como a equação (3-6) (equação de Bernoulli) foi determinada para um ponto qualquer do tubo de escoamento, pode-se suprimir os índices naquela equação e reescrevê-la na forma:

$$p + dgh + \frac{dv^2}{2} = \text{Constante} \quad \text{Eq. (3-7)}$$

Evidenciando o fato que esta soma não se altera quando calculada em qualquer ponto do fluido em movimento.



Figura: 46 - Daniel Bernoulli

Fonte: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSV8yWliw42e8Nb_dZpLzcb9NsZ-

Daniel Bernoulli (Groninga, 8 de fevereiro de 1700 — Basileia, 17 de março de 1782) foi um matemático suíço, membro de uma família de talentosos matemáticos, físicos e filósofos. É particularmente lembrado por suas aplicações da matemática à mecânica, especialmente a mecânica de fluidos, e pelo seu trabalho pioneiro em probabilidade e estatística, e o primeiro a entender a pressão atmosférica em termos moleculares. É o mais antigo escritor que tentou formular uma teoria cinética de gases, aplicando-a para explicar a Lei de Boyle-Mariotte.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Daniel_Bernoulli

3.6 – Casos particulares – Medidor de Venturi

I - Quando h_1 for igual a h_2 , o tubo estará na horizontal e, pela Equação da Continuidade, temos que, sendo $A_1 > A_2$, então $v_1 < v_2$, logo a equação de Bernoulli se reduzirá a:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 \quad \text{Eq. (3-8)}$$

Para $v_1 > v_2$, decorre que $p_1 < p_2$. Assim, para uma maior velocidade de escoamento teremos uma menor pressão estática. Podemos verificar por dois tubos colocados de forma perpendicular nas duas regiões, de maior e menor diâmetro. À medida que o líquido escoar na tubulação, na região mais espessa verificamos que a altura atingida pelo líquido é maior que na região de menor espessura, isso ocorre devido à pressão estática na região de maior espessura ser maior, e na região de menor espessura, a pressão estática ser menor. Esse aparato é chamado de **Tubo de Venturi** e explica vários fenômenos que ocorre em nossa volta.

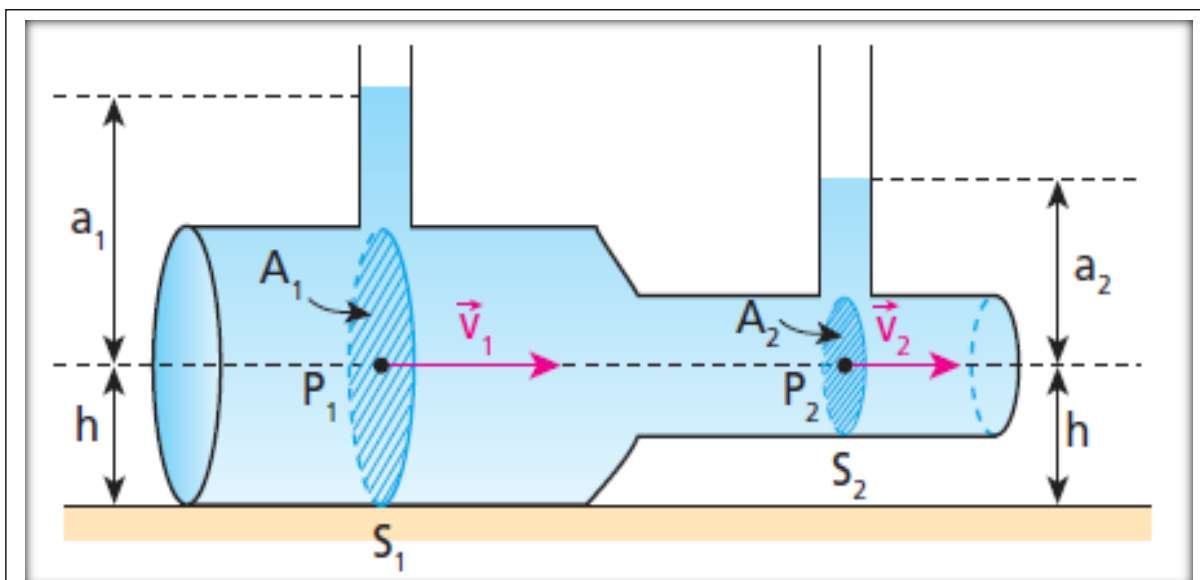


Figura: 47 - Tubulação com áreas de secções transversais diferentes

Fonte: Tópicos da Física (2012)

$$A_1 > A_2$$

$$P_1 < P_2$$

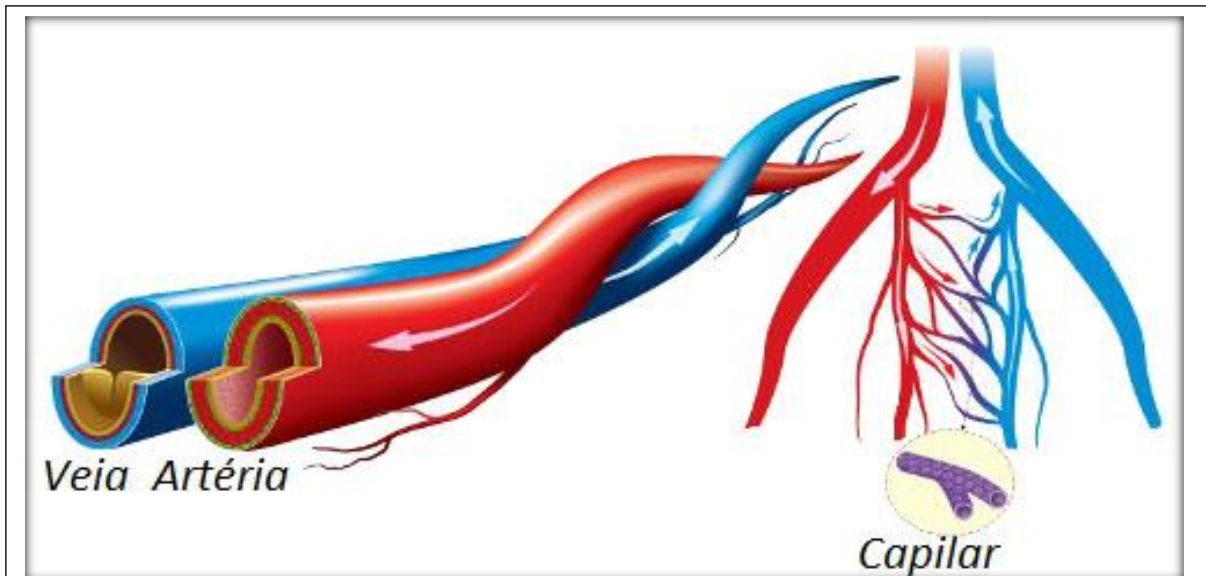


Figura: 48 - Veias e artérias com diâmetros diferentes

Fonte: https://static.mundoeducacao.uol.com.br/mundoeducacao/conteudo_legenda/d0980178dcef4dffbc537a33ce0b9dcc.jp

Podemos observar este comportamento também na circulação sanguínea, admitindo-se condições ideais, em veias e artérias de maior diâmetro teremos uma menor velocidade de escoamento deste sangue e consequentemente uma maior pressão, já em veias e artérias com menor diâmetro teremos uma maior velocidade de escoamento e consequentemente uma menor pressão.

II – Com o líquido em repouso, as pressões dinâmicas serão nulas, logo o teorema de Bernoulli se resume ao Teorema de Stevin da Hidrostática.

Para $V_1 = V_2 = 0$, tem-se:

$$p_1 + dgh_1 = p_2 + dgh_2$$

$$p_1 - p_2 = dg(h_2 - h_1)$$

Eq. (3-9)

3.7 – Aplicações de Bernoulli

Vamos relacionar alguns exemplos de aplicações práticas que podem ser explicadas baseando-se no Teorema de Bernoulli.

3.7.1 – Arrastamento

I - Podemos demonstrar o efeito de arrastamento soprando sobre uma folha de papel que deve ficar abaixo do seu lábio inferior (ver figura 49), como sugere as fotos a seguir. A intensidade da velocidade na parte superior da folha adquirida pela impulsão dos pulmões, faz com que a pressão nessa região fique menor que a pressão exercida sobre a face de baixo da folha, baseando-se no caso particular da aplicação do Teorema de Bernoulli, que prever que para uma maior velocidade teremos uma menor pressão estática, a pressão atmosférica abaixo da folha a força a subir (ver figura 50), ficando esta, praticamente na horizontal.



Figura: 49 - Tira de papel para soprar

Fonte: Elaborada pelo



Figura: 50 - Tira de papel soprada

Fonte: Elaborada pelo autor

II – Em caso de tempestade com ventos muito intenso (grande velocidade de ar) pode provocar o destelhamento de diversas construções. Essa é uma consequência prevista na equação de Bernoulli pois a velocidade sobre as telhas é muito maior que abaixo delas. A diferença de pressão acima e abaixo das telhas ocasiona uma força resultante para cima, provocando o destelhamento como mostrado na figura (51) abaixo.



Figura: 51 - Igreja sendo destelhada por ventania

Fonte: <https://www.vocenoticias.com/noticia/12450/telhado-da-igreja-da-divisa-e-destruido-pela-tempestade-desta-terca-feira-30.html>

III – Em cortinas instaladas em janelas abertas podem ser lançadas para fora pela ação do vento. A corrente de ar do lado de fora reduz a pressão do ambiente externo, fazendo com que elas sejam deslocadas no sentido da maior para a menor pressão, o mesmo ocorre com lonas de caminhões em alta velocidade estufam, movendo-se também no sentido da maior para a menor pressão (ver figura - 52). É fácil observar que nesta imagem, a lona que, reveste a carga da carreta, está estufada, isto é um dos vários exemplos da aplicação da prática do Teorema de Bernoulli.



Figura: 52 - Carreta em velocidade com lona estufada

Fonte: <https://lh3.googleusercontent.com/proxy>

A velocidade com que o ar se desloca por cima da carroceria da carreta é relativamente grande, em comparação com a parte de baixo da lona. Isto causa uma diferença de pressão entre a parte de cima e a de baixo e, de acordo com a equação de Bernoulli, quanto menor a velocidade maior a pressão, para uma mesma altura. Como a velocidade do vento embaixo da lona é menor temos, nesta parte, uma maior pressão que estufa a lona. Da mesma forma, copos descartáveis sobre o painel de carro podem sair pelas janelas devido a velocidade do vento fora do carro ser maior, o que acaba tornando a pressão externa menor que a pressão interna expulsando assim o copo.

IV – Se um vento forte soprar paralelo a uma janela esta pode estourar devido a velocidade do vento na parte externa ser muito maior que na parte interna, como a velocidade fora é maior a pressão será menor e na parte interna o ar estará em repouso, logo na parte interna teremos uma maior pressão sobre a janela podendo estourá-la.



Figura: 53 - Janelas estilhaçadas pelo vento

Fonte: <https://oglobo.globo.com/epoca/brasil/vento-estilhaca-janelas-atinge-caixas-de-supermercado-em-sc-veja-video-24781092>

A imagem acima é referente ao estrago de um supermercado, em Itajaí Santa Catarina, onde ventos fortes com cerca de 80Km/h, deixaram um supermercado na Praia Brava com suas vidraças da frente da loja estouradas. Por volta das 4h, uma câmera interna gravou o momento em que as janelas quebram com a força do **vendaval**. As imagens mostram ainda partes do teto soltas, que caíram no chão. Isto foi mais um exemplo do efeito Bernoulli, onde a diferença de velocidade do vento dentro e fora do supermercado causaram uma diferença de pressão. A velocidade externa é maior e interna menor, pois o ar dentro estava em repouso. Isto implica uma pressão interna maior, estourando assim as janelas.

V – Quando um avião está em movimento, o ar passa pelas asas em um fluxo laminar (escoamento uniforme). A força de sustentação do avião depende de muitos fatores, sendo os principais: a velocidade do avião, a curvatura das asas, a área das asas e o ângulo das asas com a horizontal.

As superfícies da asa são construídas de tal maneira que o ar escoa com uma velocidade maior na parte de cima que embaixo dela. A figura (54) mostra as linhas de corrente do ar em torno da secção reta da asa de um avião. As linhas agrupam-se fortemente acima da asa, indicando uma maior velocidade de escoamento. Isso gera uma diferença de pressão de acordo com a equação de Bernoulli.

Essa diferença de pressão gera mais uma força de sustentação para a asa, auxiliando na sustentação do avião e se opondo a sua tendência de queda.



Figura: 54 - fluxo laminar do vento sobre uma asa de avião.

Fonte: <https://nascidosparavolar.files.wordpress.com/2016/08/aviao1.jpg?w=640>



Figura: 55 - Avião se deslocando sobre um fluido, o ar

Fonte: <http://2.bp.blogspot.com/-YQvdcuICwpg/>

Segundo BISCOLO, Gualter José e VILLAS BÔAS, Newton (2012). A velocidade de escoamento do ar é maior na face de cima das asas do avião. Assim, predominam as forças de pressão de baixo para cima, o que dá sustentação à aeronave.

“Com a tração exercida pelos motores, o avião é empurrado para frente, deslocando o ar para trás. ... A curvatura da asa direciona o fluxo de ar resultante do movimento de tração, gerando um empuxo forte o suficiente para superar o peso da aeronave, o que possibilita a sustentação e faz o avião voar”. (https://passageirodeprimeira.com/como-os-avioes-voam/#:~:text=Com%20a%20tra%C3%A7%C3%A3o%20exercida%20pelos,deslocando%20o%20ar%20para%20tr%C3%A1s.&text=A%20curvatura%20da%20asa%20direciona,e%20faz%20o%20avi%C3%A3o%20voar)) [...]

3.7.2 - Efeito Magnus

Goleiros que jogaram contra cobradores de faltas tais como: Juninho Pernambucano, Roberto Carlos, Ronaldinho Gaúcho, Cristiano Ronaldo e Lionel Messi, tiveram pesadelos antes do jogo, principalmente com as cobranças de faltas. Esses jogadores escreveram seus nomes definitivamente na história do futebol como exímios cobradores de falta, devido as suas maneiras peculiares de bater na bola. A bola chutada por eles saía com “grande efeito” saindo com curvas esplêndidas e decidindo jogos. No deslocamento da bola, esta girava em torno do seu eixo central imaginário interagindo fortemente com ar defletindo sua trajetória, dessa forma a bola saía de sua trajetória previsível fazendo os goleiros se desdobrarem para defender tais chutes, o que na maioria das vezes eram frustradas.



Figura: 56 - Goleiro tentando evitar gol produzido com uma bola rodopiando no espaço. Esse é o chamado “Efeito Magnus”.

Fonte: https://static-wp-tor15-prd.torcedores.com/wpcontent/uploads/2018/07/14302703917_99c8d70665_o1.jpg

Uma bola ao ser chutada por um jogador que imprime tais efeitos citados anteriormente, causa dificuldades extremas a maioria dos goleiros, que precisam prever, quase sempre frustrados, a trajetória da bola.

O efeito Magnus também pode ser observado em outros esportes como segundo Helou, Gualter e Newton (Tópicos da Física – 2012).

“Isso também pode ser notado no tênis quando um jogador imprime um topspin. Nessa maneira de golpear a bola, a pequena esfera amarela e felpuda segue rodopiando, o que impõe um itinerário imprevisível que burla o adversário, dificultando um possível contragolpe. A irregularidade nas curvas exibidas por bolas que se deslocam através do ar em movimento conjunto de translação e rotação constitui o chamado efeito Magnus, que recebeu essa denominação em razão das explicações fundamentais dadas pelo físico-químico alemão Heinrich Gustav Magnus (1802-1870) à correta compreensão do fenômeno”.

Heinrich Gustav Magnus (Berlim, 2 de maio de 1802 — Berlim, 4 de abril de 1870) foi um físico alemão. Em suas pesquisas constatou a ocorrência de desvios nas trajetórias balísticas em relação à direção que teoricamente se esperaria, em consequência de um fenômeno que ficou conhecido como efeito Magnus. Magnus também obteve resultados importantes na determinação da velocidade de difusão do hidrogênio. Mediu ainda o grau geotérmico, a dilatação do ar com o calor e descobriu o cloreto platinoso, também chamado sal verde de Magnus. Descobriu ainda o ácido periódico.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Gustav_Magnus

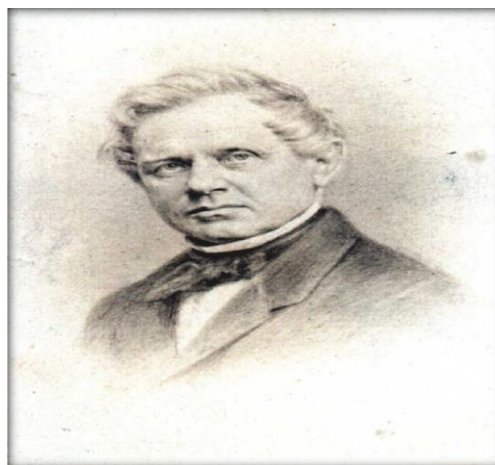


Figura: 57 - Foto de Heinrich Gustav Magnus

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Heinrich_Gustav_Magnus.jpg

O chute que desafiou a física

Há 24 anos, Roberto Carlos acertava um dos chutes mais espetaculares da história. No dia 3 de junho de 1997, o ex-lateral esquerdo desafiou as leis da física e fez seu gol mais famoso na carreira, cobrando falta com muito (mas muito!) efeito para marcar pela seleção brasileira no empate por 1 a 1 com a França, em partida pela abertura do Torneio da França. A batida de três dedos, que "foge" da barreira dos *Bleus* e faz uma curva incrível, deixa o goleiro Fabien Barthez completamente perplexo, já que a bola parecia se dirigir para a bandeira de escanteio. No entanto, ela acaba "voltando", belisca a trave esquerda do arqueiro e morre no fundo das redes, num lance histórico.

http://www.espn.com.br/noticia/700107_até-hoje-nao-sei-como-fiz-aquele-gol-ha-20-anos-roberto-carlos-acertava-o-chute-que-desafiou-a-fisicastórico.



Figura: 58 - Falta batida por Roberto Carlos contra a França.

Fonte: http://cdn.espn.com.br/image/wide/960_3cf994dc-df5c-33ee-ad5f-cdaedfd592be.jpg?random=648

Segundo Prof. Dr. José Fernando Fontanari,

"Embora a física explique perfeitamente a trajetória da bola, as condições, como potência do chute, ponto do impacto do pé do Roberto Carlos na bola e distância às traves, que fizeram com que ela ocorresse são tão raras que podemos chamá-la de milagrosa", decreta o Prof. Dr. José Fernando Fontanari, professor titular do IFSC (Instituto de Física de São Carlos) da USP (Universidade de São Paulo) e membro do corpo editorial dos periódicos *Physics of Life Reviews* e *Theory in Biosciences*, em entrevista ao **ESPN.com.br**.

De acordo com o que foi visto em várias reportagens sobre esse jogo, foi constatado que Roberto Carlos, jogador canhoto, estava a 35 m de distância da trave do Goleiro Fabien Barthez, ele chuta a bola rumo ao gol. Veja a ilustração seguir. A bola é disparada com rotação anti-horária, pois o chute é de 3 dedos, o chamado

“Trivela”, como seria visto por um observador que olhasse de cima. Vamos representar a velocidade a angular imprimida a bola no ato do chute de W.

Essa bola fará uma curva para esquerda. Como veremos no esquema a seguir.



Figura: 59 - Ilustração da Falta batida por Roberto Carlos contra a França.

Fonte: <http://cdn.espn.com.br/image/livre/49da06d7-6847-3d69-903a-f513caee1374.jpg>

Acima, uma ilustração representando o efeito Magnus em um chute de falta cobrada por um jogador canhoto.

Considere que V_0 é a velocidade de translação do ar em relação a bola e $V_1 = W.R$ é a velocidade de arraste do ar no ponto B, imposta pelo giro da bola, indicados na figura (60), onde R é o raio da bola. Utilizando a composição de movimentos, teremos que próximo ao ponto A, a velocidade vetorial do ar resultante terá intensidade $V_A = V_0 + V_1$ e próximo ao ponto B, teremos uma velocidade vetorial do ar com intensidade $V_B = V_0 - V_1$. Dessa forma, observamos que $V_A > V_B$.

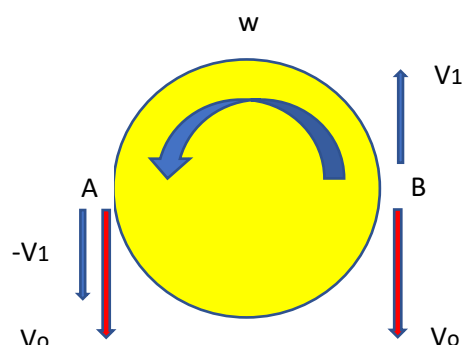


Figura: 60 - Ilustração da trajetória da bola e das velocidades agentes sobre ela.

Fonte: Elaborada pelo autor

Considerando a densidade “d” do ar constante, consoante o teorema de Bernoulli, sendo $V_A > V_B$, teremos uma diferença de pressão no local, $P_A < P_B$. Com isso, a bola recebe do ar uma pressão mais intensa na região do ponto B produzindo uma força resultante para esquerda.

Ainda segundo o Prof. Dr. José Fernando Fontanari que, caso a bola não tivesse entrado no gol e parado nas redes do goleiro Barthez, ela continuaria em uma incrível trajetória de espiral, **como mostra o pontilhado da arte abaixo** figura (61).



Figura: 61 - Ilustração da trajetória da bola

Fonte: <http://cdn.espn.com.br/image/livre/49da06d7-6847-3d69-903a-f513caee1374.jpg>

3.8 – Demonstração da equação de Bernoulli

Vamos considerar o nosso sistema, baseado na figura a seguir, um líquido incompressível, não viscoso, de escoamento estacionário e de densidade constante “ ρ ” que escoa por um trecho do cano, colocado verticalmente sobre um local de gravidade “ g ”. Vamos estudar o deslocamento desse líquido da esquerda para direita compreendido em uma seção “S1” de área A_1 e S2 de A_2 , em um intervalo de tempo, nesta situação iremos considerar a velocidade de escoamento nas seções S1 e S2 de V_1 e V_2 , respectivamente.

Essa porção líquida recebe do fluido fora da região uma força F_1 e F_2 aplicadas a S1 e S2, em que as pressões estáticas são P_1 e P_2 e h_1 e h_2 , as alturas dos centros de S1 e S2 em relação ao nível de referência.

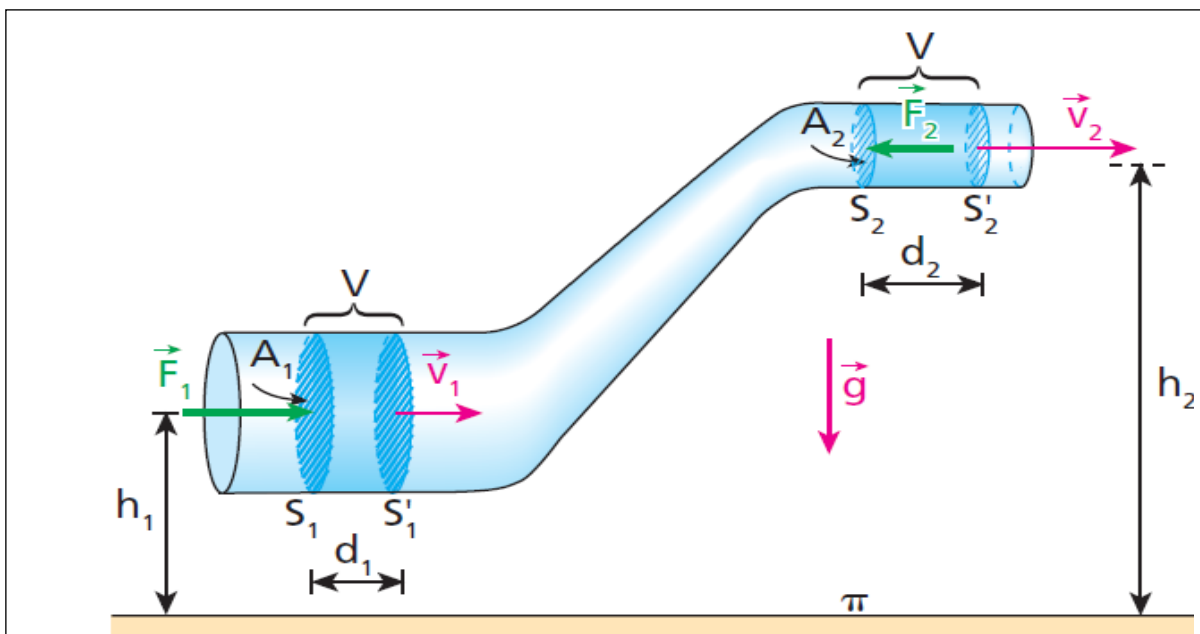


Figura: 62 - Ilustração de um escoamento através de um tubo com secção variável e alturas diferentes.

Fonte: Tópicos da física (2012).

Durante um certo intervalo de tempo, o líquido se desloca nos trechos delimitados entre as secções S1 e S1', S2 e S2'.

Consideremos ainda que todo líquido que sair da parte baixa ou esbelta do duto chegará à parte alta e esbelta do mesmo e como o fluido mantém todas as suas propriedades inalteradas, precisaremos apenas analisar o início e o final do trajeto, ou seja, suas extremidades. O volume delimitado pelas secções citadas acima pode ser calculado da seguinte forma:

$$V = A_1 \cdot d_1$$

Eq. (3-10) ou

$$V = A_2 \cdot d_2$$

Eq. (3-11)

Onde d1 e d2 são os deslocamentos das massas “m” de líquido nas partes baixas e altas do duto.

Vamos aplicar a lei da conservação de energia na forma do teorema do trabalho-energia cinética,

$$\mathcal{T} = \Delta E_c$$

Eq. (3-12)

A qual diz que o trabalho sobre um sistema dever ser igual à variação da energia cinética deste sistema, e neste caso a variação da energia cinética depende da variação da velocidade entre as extremidades do duto, $\mathcal{T}$ e deve valer

$$\Delta E_C = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} \quad \text{Eq. (3-13)}$$

$$\Delta E_C = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \quad \text{Eq. (3-14)}$$

$$\Delta E_C = \frac{1}{2} d V(v_2^2 - v_1^2) \quad \text{Eq. (3-15)}$$

Para $m = d V$, onde m é a massa do fluido que entra pela esquerda e sai pela direita da tubulação durante um pequeno intervalo de tempo Δt e “ d ” a densidade do fluido.

O trabalho do sistema vem de duas fontes. O trabalho realizado pelo peso $\mathcal{T}_p$ para elevar a massa do nível de entrada (baixo) até o nível de saída (alto) da tubulação.

$$\mathcal{T}_p = -mg(h_2 - h_1) \quad \text{Eq. (3-16)}$$

$$\mathcal{T}_p = -dVg(h_2 - h_1) \quad \text{Eq. (3-17)}$$

Esse trabalho é negativo, pois o deslocamento do fluido é para cima e o peso é para baixo, logo apontam em sentidos opostos.

Teremos também um trabalho realizado pela força F_1 , sobre o sistema, (extremidade de entrada de da secção S_1), que empurra o fluido para frente ao longo da tubulação e um trabalho realizado pelo sistema na extremidade de saída do sistema que o empurra para a saída do duto.

Neste caso o trabalho é feito por uma força F , que age sobre uma porção de fluido em um duto de área A , para deslocá-lo por uma distância d .

I – Trabalho da força F_1 e F_2

Para:

$$F = P.A \text{ e } V = A.d \text{ e } V_1 = V_2$$

$$\mathcal{C}_{F1} = F_1 d_1 \rightarrow \mathcal{C}_{F1} = P_1 A_1 d_1 \rightarrow \mathcal{C}_{F1} = P_1 V_1$$

$$\mathcal{C}_{F1} = P_1 V \rightarrow (\mathcal{C} > 0 \rightarrow \text{Força no mesmo sentido do deslocamento})$$

$$\mathcal{C}_{F2} = F_2 d_2 \rightarrow \mathcal{C}_{F2} = P_2 A_2 d_2 \rightarrow \mathcal{C}_{F2} = P_2 V_2$$

$$\mathcal{C}_{F2} = P_2 V \rightarrow (\mathcal{C} > 0 \rightarrow \text{Força no mesmo sentido do deslocamento})$$

Logo teremos:

$$\mathcal{C}_f = \mathcal{C}_{F1} + \mathcal{C}_{F2}$$

$$\mathcal{C}_f = (P_1 + P_2)V \quad \text{Eq. (3-18)}$$

II - Teorema do trabalho-energia cinética temos:

$$\mathcal{C}_{\text{total}} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

$$\mathcal{C}_p + \mathcal{C}_F = \frac{1}{2} d V (v_2^2 - v_1^2) \quad \text{Eq. (3-19)}$$

Substituindo eq.1 e eq. 2 na eq. 3 temos:

Eq. (3-20)

$$(P_1 - P_2)V - dVg(h_2 - h_1) = \frac{1}{2}dV(v_2^2 - v_1^2)$$

Assim encontramos:

Eq. (3-21)

$$P_1 + \frac{1}{2}d v_1^2 + d g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}d v_2^2 + d g h_2$$

3.9 – Equação de Torricelli

Consideremos um tanque cilíndrico, com um líquido incompressível, não viscoso e de densidade constante “d”, imagine ainda que um certo atirador acerta este tanque fazendo-lhe um furo a uma distância “h” da superfície da água próximo à base do recipiente, este líquido vazará pelo orifício com velocidade horizontal com representado na figura abaixo.

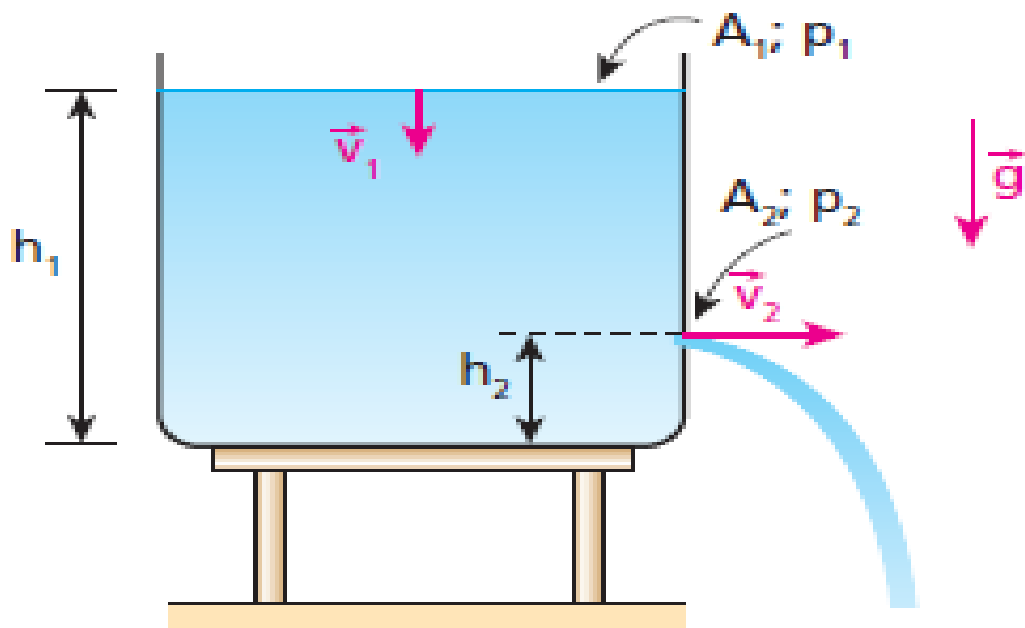


Figura: 63 - Recipiente cilíndrico sobre suporte

Fonte: Tópicos da física (2012).

Vamos aplicar a equação de Bernoulli a este sistema para calcularmos a intensidade da velocidade “V” de escoamento deste líquido que vaza pelo orifício, da velocidade “V” de escoamento deste líquido que vaza pelo orifício, em função da altura “h” que representa o desnível entre o furo e a superfície do líquido.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Eq. (3-21)

Observando a figura, notamos que o diâmetro do furo é muito menor que o diâmetro do tanque, logo é plausível adotarmos a velocidade V_1 (velocidade de abaixamento do nível do líquido no tanque) é aproximadamente nula $V_1 \rightarrow 0$ notamos ainda que a pressão no topo do tanque é também a pressão que age no furo e ela é a pressão atmosférica, logo as pressões estáticas na superfície do líquido e no orifício são iguais à pressão atmosférica.

Logo teremos que:

$$\frac{1}{2} d v_2^2 = d g (h_1 - h_2)$$

$$\frac{1}{2} d v_2^2 = d g (h)$$

Como $h_1 - h_2 = h$ e $V_2 = V$, teremos a equação de Torricelli.

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Eq. (3-22)

Que representa a mesma velocidade de queda de um corpo de uma altura “h”.



Figura: 64 - Água escoando através de três orifícios feitos em uma garrafa PET.

Fonte: Tópicos da Física (2012)

Consoante a figura acima percebemos que à medida que o furo fica mais próximo à base temos uma velocidade horizontal maior de escoamento deste líquido e isto está de pleno acordo com a equação de Torricelli a qual prevê que a velocidade de saída de um fluido dobra quando a profundidade do orifício quadruplica.

4 – Sequência Didática

4.1 - Objetivo Geral

Utilizar experimentos de baixo custo em sala de aula ou equipamentos do Corpo de Bombeiros, para despertar o interesse e a curiosidade dos alunos na aprendizagem dos conceitos da hidrodinâmica, via aulas práticas, que podem ser realizadas tanto em sala de aula, com os experimentos de fácil obtenção, quanto com os equipamentos do Corpo de Bombeiros em um espaço não formal de educação.

4.2 – Objetivos Específicos

Como ações para alcançar o objetivo geral, temos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Planejar uma sequência de aulas teóricas de Hidrostática para os alunos com o intuito de prepará-los para entender os conceitos de Hidrodinâmica que virão.

- ✓ Planejar uma sequência de aulas teóricas de Hidrodinâmica para que os alunos possam, com os conhecimentos adquiridos, compreender os experimentos que compõem o trabalho.

- ✓ Elaborar uma avaliação diagnóstica, com perguntas abordando o tema de cada experimento apresentado.

- ✓ Apresentar, como sugestão, aos professores, experimentos de fácil reprodução, com o intuito principal de promover as discussões, investigações e diagnóstico dos conhecimentos prévios com relação aos conteúdos relacionados ao ensino de Hidrodinâmica, substituindo os experimentos principais, quando na ocasião não for possível, para o professor, levar os alunos a um Quartel do Corpo de Bombeiros.

- ✓ Elaborar uma avaliação diagnóstica, com Google Forms, visando mensurar os conhecimentos prévios dos alunos no tocante aos conceitos de Hidrodinâmica.

✓ Apresentar os experimentos principais, in loco, explicando e mostrando detalhadamente os fenômenos Hidrodinâmicos presentes.

✓ Aplicar uma avaliação de desempenho dos alunos com relação aos conhecimentos adquiridos e à metodologia aplicada.

4.3 – Conteúdos de Aprendizagem

Hidrostática e Hidrodinâmica

4.3.1 – Conceituais:

Densidade, pressão, **vazão**, equação da continuidade, Teorema de Bernoulli, Demonstração do teorema de Bernoulli e Equação de Torricelli.

4.3.2 – Procedimentais:

Inicialmente, o professor deverá definir os conceitos relacionadas a Hidrostática e a Hidrodinâmica, para que os alunos consigam reconhecer esses conceitos nos experimentos apresentados. Na sequência teremos três experimentos básicos que podem ser desenvolvidos em sala de aula, pelo professor, que servirá como subsídio para o entendimento do funcionamento dos experimentos que serão apresentados no Corpo de Bombeiros Militar.

Em relação aos experimentos que serão apresentados no quartel, deveremos conhecer as partes que compõem os equipamentos a serem utilizados no produto educacional, o proporcionador de espuma e o aspirador de secreção, (chaves, esguicho, mangueiras LGE, tubos e recipientes dos sistemas) e o funcionamento dos mesmos; identificar os fenômenos hidrodinâmicos quando os mesmos estiverem em pleno funcionamento; verificar o comportamento do LGE ao surgir a sucção bem como observar a sucção do líquido com corante, representando uma secreção, ao utilizar o sistema de aspiração de secreção; exemplificar as aplicações cotidianas ao montar esses equipamentos fazendo-os funcionar.

Nesta sequência didática, serão apresentados os objetivos de cada uma das atividades propostas, além do tempo de duração de cada uma delas.

4.3.3 – Atitudinais:

Valorizar seus conhecimentos prévios sobre tais assuntos, levantar hipóteses, e deixar que o conhecimento científico substitua as concepções espontâneas que porventura exista, valorizar a construção do conhecimento por meio da história da ciência, desenvolver atitudes inclusivas no âmbito não formal de sala de aula, refletir sobre a importância dos conceitos relativos à Hidrodinâmica para a compreensão dos fenômenos apresentados no produto educacional e no seu cotidiano.

4.4 – Sequência didática

A sequência didática será dividida em duas partes: sequência de aulas teóricas e sequência de atividades práticas.

4.4.1 – Sequência de aulas teóricas

Serão necessárias, 4 aulas com 50 minutos cada aula.

4.4.1.1 - Hidrostática

Neste conteúdo, falaremos sobre todos os conceitos importantes da Hidrostática, definindo e exemplificando cada um deles, com o intuito de preparar o aluno teoricamente, para compreender tanto os conceitos da Hidrodinâmica, bem como os experimentos secundários e principais apresentados neste Unidade Didática.

✓ Aula – 01 (Densidade e pressão)

Tempo estimado – 25 min

Neste momento serão apresentados os conceitos de densidade, massa específica, unidades, diferenças e semelhanças, bem como apresentação da fórmula e descrição dela.

Conceito de pressão, relação de proporcionalidade com a força e área, suas unidades de medida, exemplos do dia a dia e aplicações;

Pressão hidrostática, demonstração da fórmula, exemplos do dia a dia e aplicações tais como: por que nos furamos ao pisarmos em um prego e ao se deitar em uma cama de pregos, não?

✓ **Aula – 01 (Experiência de Torricelli e Princípio de Stevin)**

Tempo estimado – 25 min

Nesta aula o professor deve falar sobre a experiência de Torricelli, como se deu, historicamente, a descoberta da pressão atmosférica, suas unidades e transformações, como se daria o experimento caso ele utilizasse água no lugar de mercúrio, e aplicações.

Sobre o Princípio de Stevin, sugere-se iniciar falando sobre a diferença de pressão em fluido, vasos comunicantes, exemplos do dia a dia e aplicações como a utilização do nível de mangueira do pedreiro.

✓ **Aula – 02 (Princípio de Pascal – prensa hidráulica)**

Tempo estimado – 25 min

Neste momento o professor deve enunciar o princípio de pascal, mostrar onde pode ser aplicado no dia a dia, apresentar sua fórmula, sua relação com o trabalho de uma força, como a expressão de trabalho na definição de pascal, e mostrar aplicações de prensa hidráulica.

✓ **Aula – 02 (Princípio de Arquimedes – Empuxo)**

Tempo estimado – 25 min

Sugere-se ao professor, que ele enuncie o princípio de Arquimedes, fale sobre o empuxo, demonstre sua expressão, relacione empuxo com fluabilidade e densidade dos corpos e por fim dê exemplos do dia a dia e faça algumas aplicações tais como: os movimentos dos submarinos é um exemplo das aplicações das teorias de Arquimedes. Portanto, quando o submarino estiver flutuando na superfície o seu peso terá a mesma intensidade do empuxo que incide nele, assim estará em equilíbrio.

4.4.1.2 - Hidrodinâmica

A partir da 3.^a aula, o professor deverá lecionar quatro aulas de Hidrodinâmica, abordando os principais conceitos do conteúdo, para dar embasamento teórico a este aluno, que posteriormente verá experimentos gradativos de Hidrodinâmica.

✓ **Aula – 03 (Conceito de vazão e Equação da continuidade)**

Tempo estimado – 25 min

O professor deverá iniciar falando sobre vazão, apresentar a fórmula, sua unidade de medida, deverá fazer alguns exercícios relacionados com o cotidiano, bem como apresentar a equação da continuidade para os alunos, especificar cada termo da expressão, apresentar exemplos em que se pode fazer aplicações da equação.

✓ **Aula – 03 (Teorema de Bernoulli)**

Tempo estimado – 25 min

Nesta aula o professor deverá apresentar aos alunos o teorema de Bernoulli, partindo de figuras ilustrativas onde se pode observar o escoamento incompressível de um líquido, a ação das pressões estáticas e dinâmicas, apresentar ainda aos alunos aplicações práticas desta equação bem como fazer exercícios com ela.

✓ **Aula – 04 (Teorema de Bernoulli – casos particulares)**

Tempo estimado – 25 min

Agora o professor poderá falar sobre o tubo de Venturi, fazer a aplicação da equação de Bernoulli, neste caso particular, trazer vários exemplos do dia a dia em que exista aplicação prática deste conceito e equação.

✓ Aula – 05 (Teorema de Bernoulli – casos particulares)

Tempo estimado – 25 min

Neste momento, o professor deve falar sobre outro caso particular da aplicação da equação de Bernoulli, que dará origem a equação de Torricelli, após demonstrar a nova equação, deverá descrever cada componente da mesma, dá exemplos no cotidiano de sua aplicação e fazer alguns exercícios para que os alunos possam conseguir entender e relacionar com os experimentos que virão, tanto os iniciais como o experimento principal, que será demonstrado como os equipamentos do Corpo de Bombeiros Militar.

4.4.2 – Sequência de Experimentos de fácil obtenção

Neste momento serão apresentados uma sequência de três experimentos básicos sobre Hidrodinâmica de forma gradativa de complexidade, tanto no entendimento como na confecção deles.

Estes experimentos servirão como alternativas, caso o professor não queira ou tenha tido dificuldade de conseguir levar os alunos ao Corpo de Bombeiros Militar, ou ainda pode servir como experimentos iniciais para capacitar o aluno no tocante ao entendimento dos equipamentos do Corpo de bombeiros Militar, equipamentos estes, que exigirá do aluno, um conhecimento mais abrangente do conteúdo de Hidrodinâmica.

4.4.2.1 - (Experimento – 1) - Elevação de uma folha de papel!

✓ Aula – 01 (Aplicação da avaliação diagnóstica)

Tempo estimado – 25 min

Nesse momento o professor aplicará a avaliação diagnóstica aos alunos, com o objetivo aferir os seus conhecimentos prévios e com isso, saber o melhor método de aplicação do experimento.

✓ **Aula – 01 (Apresentação do experimento)**

Tempo estimado – 25 min

Neste momento será feita a apresentação do experimento, onde o professor, apenas mostrará o equipamento, como foi confeccionado e descrição das suas peças.

✓ **Aula – 02 (Aplicação do experimento)**

Tempo estimado – 25 min

Nesse momento, o professor fará a aplicação do experimento executando todo procedimento necessário ao entendimento do aluno, retomando de forma pontual o conteúdo abordado no experimento, que no caso é a explicação qualitativa da expressão de Bernoulli, para dar subsídio aos alunos responder algumas perguntas, posteriormente.

Objetivos: Ilustrar o princípio de Bernoulli

Material utilizado: uma folha de papel ofício.

Procedimentos: O experimento consiste em segurar uma folha de papel horizontalmente em frente a boca, como ilustram as figuras abaixo, e ao soprar fortemente por cima do papel o fenômeno acontece.



Figura: 65 - Tira de papel para soprar

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura: 66 - Tira de papel soprada

Fonte: Elaborada pelo autor

Explicação: Daniel Bernoulli, físico, médico e fisiologista suíço (1700-1782), estudando a relação de várias grandezas e em especial a velocidade de um fluido e a pressão exercida neste, através de uma expressão que relaciona tais grandezas, descobriu um fenômeno interessante no qual hoje leva seu nome, ou seja, o princípio de Bernoulli que diz:

Quando a velocidade de um fluido aumenta em um ponto, a pressão deste fluido diminui naquele ponto.

Baseado neste princípio observa-se que, para qualquer fluido em movimento, no ponto onde este tiver maior velocidade, ali terá uma menor pressão.

O experimento acima observado nas figuras (65) e (66) retrata muito bem este princípio, pois à medida que o garoto sopra na parte superior da folha, nesta região teremos uma maior velocidade de escoamento do fluido, que no caso é o ar, logo nesta região têm-se uma menor pressão, em relação à pressão abaixo da folha, que neste caso é a pressão atmosférica, e isto faz a folha se elevar.

✓ **Aula – 02 (Aplicação e correção da avaliação comparativa)**

Tempo estimado – 25 min

Neste tempo o professor aplicará a avaliação comparativa com quatro questões, visando avaliar o que o aluno aprendeu do conteúdo, e se ele pode relacionar o conteúdo de Hidrodinâmica e em especial o princípio de Bernoulli com seu dia a dia.

4.4.2.2 - (Experimento – 2) - Dinâmica dos fluidos com garrafa PET!

✓ **Aula – 01 (Aplicação da avaliação diagnóstica)**

Tempo estimado – 25 min

Nesse tempo, o professor aplicará a avaliação diagnóstica, cuja função é fazer um levantamento dos conhecimentos iniciais do aluno, para que na explicação do experimento se possa retirar todas as concepções alternativas dos alunos.

✓ **Aula – 01 (Experimento – 2)**

Tempo estimado – 25 min (Apresentação do experimento)

Nesse momento, o professor irá apenas apresentar o experimento, mostrando do que é feito e como foi confeccionado.

Objetivos: Investigar a hidrodinâmica dos fluidos incompressíveis.

Material utilizado: Garrafa PET de 2L, pregos de diâmetros (2,45 + 0,05) mm isqueiro, fita métrica, e água.

Propostas da prática: Pretende discutir e entender o funcionamento da equação de Bernoulli a partir de duas atividades práticas:

1.^a atividade – Consiste na medição direta da velocidade de saída de um jato d'água em um orifício situado na parte inferior de uma garrafa PET de 2 L, ver figura (67), utilizando o conhecimento básico da cinemática do lançamento horizontal e sua comparação com o resultado esperado pela equação de Bernoulli.

2.^a atividade – discute a dinâmica de vazão no caso em que são feitos dois orifícios alinhados horizontalmente na parte inferior de uma garrafa PET, ver figura (68) e no caso em que os orifícios são alinhados verticalmente. Os orifícios nas garrafas foram feitos cuidadosamente com um prego quente de diâmetro $(2,45 \pm 0,05)$ mm.

Atividade - 1 – Será feito um orifício na base inferior da garrafa PET de 2L. A garrafa estará completamente cheia de água com a tampa não rosqueada, pode-se observar o escoamento do líquido de forma contínua, como ilustrado na figura (67) abaixo.

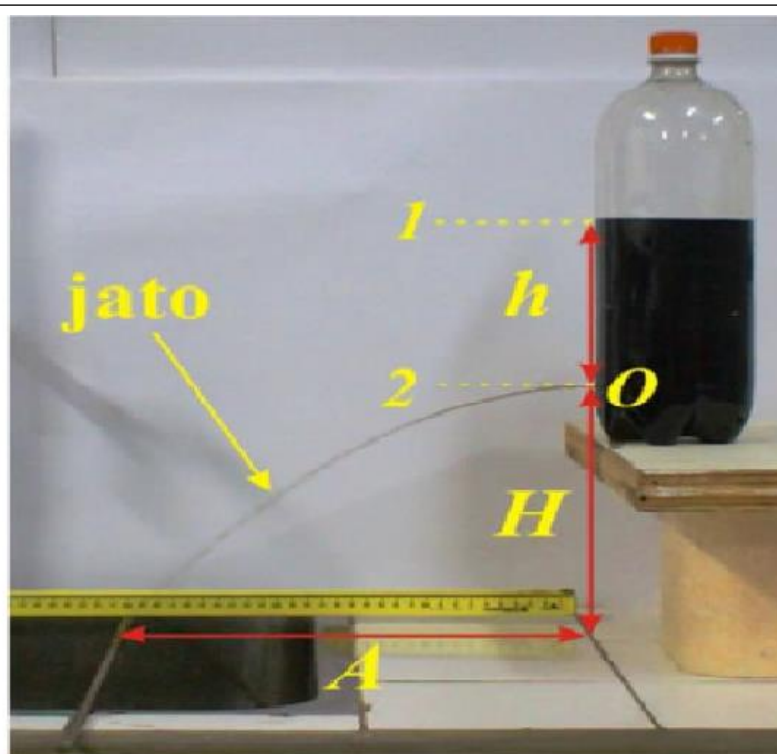


Figura: 67 - Medida do alcance horizontal do jato, proveniente de garrafa PET

Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/YH7zSNTYwbCZN6HrDLSyYqB/?lang=pt#>

A figura acima possui as medidas de h e H que são respectivamente as medidas da altura do orifício até a linha d'água (ponto 1), e do orifício (ponto 2), até a mesa onde está sendo feito o experimento. O alcance é representado por A , que é o ponto escolhido para realizar todas as medidas. Para que essa medida seja feita com precisão, deve-se rosquear a tampa da garrafa, quando o jato d'água tiver o alcance determinado previamente, ou seja, marcado com uma barra metálica (ou uma linha) colocada perpendicularmente à barra métrica. A linha d'água, ao atingir a altura h ,

deve-se rosquear a tampa da garrafa, mantendo-se constante, para que se possa conseguir realizar todas as medidas com tranquilidade.

A equação (4.1) é a equação de Bernoulli para líquidos incompressíveis, que representa um dos pilares da Hidrodinâmica.

Eq. (4-1)

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Consideremos que as pressões P_1 e P_2 na superfície do líquido e na saída do orifício são iguais à pressão atmosférica local, e como o diâmetro do orifício é muito pequeno em comparação com o diâmetro do recipiente (no caso a garrafa PET), temos que a velocidade com que a linha d'água baixa na garrafa, tende a zero, $V_1 \rightarrow 0$, logo a equação deduzida da equação de Bernoulli resume-se a:

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{Eq. (4-2)}$$

Após os cálculos, foi obtido o valor (1,58) m/s para a velocidade do jato de saída no orifício, para $g=10\text{m/s}^2$ e $h = 0,125\text{ m}$

A outra forma, que será utilizada, consiste em obter a velocidade de saída do jato d'água pelo orifício, recorrendo aos conhecimentos da cinemática do lançamento horizontal, para isso deve-se utilizar as medidas de H e A, que são respectivamente a altura do orifício até a mesa e o alcance horizontal.

$$v_{LH} = A \sqrt{\frac{g}{2H}} \quad \text{Eq. (4-3)}$$

Após os cálculos, foi obtido o valor (1,41) m/s para a velocidade do jato de saída no orifício.

Atividade - 2 – Será discutido a vazão do líquido em dois casos, o primeiro quando se faz dois orifícios alinhados horizontalmente na parte inferior da garrafa PET de 2L com mostrado na figura (7.4) e (7.5), e o segundo caso, quando se faz dois furos alinhados verticalmente, como mostrado nas figuras (68) e (69).

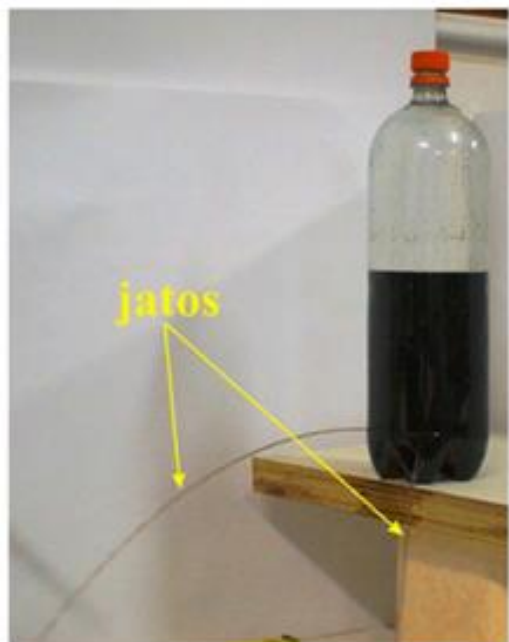


Figura: 68 - Garrafa PET 2L aberta com 2 orifícios alinhados horizontalmente.

Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/YH7zSNTYwbCZN6HrDLSyYqB/?lang=pt#>



Figura 69 - Garrafa PET 2L fechada com 2 orifícios alinhados horizontalmente.

Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/YH7zSNTYwbCZN6HrDLSyYqB/?lang=pt#>

Tem-se que na figura (68), é mostrada uma garrafa PET de 2 L que possui dois orifícios alinhados horizontalmente. Quando esta garrafa está cheia e a tampa da mesma não está rosqueada, o jato que sai nos dois orifícios são contínuos e com alcances parecidos, como mostrado na figura (68) – foto à esquerda), de fato não poderia diferir, uma vez que os dois furos possuem distâncias iguais à superfície livre do líquido. Quando a tampa é rosqueada, o fluxo de água em ambos os orifícios é interrompido como na figura (69) - foto à direita). Tanto neste caso como no primeiro, em que só havia um orifício na base da garrafa PET, o fluxo do líquido é interrompido devido à pressão do bolsão formado entre a superfície do líquido e a parte vazia da garrafa, ser muito menor que a pressão atmosférica local. A soma da pressão do bolsão e a pressão da coluna de fluido (neste caso água), é igual à pressão que age

no orifício, logo se a pressão interna total é igual à pressão externa (neste caso pressão atmosférica), não há fluxo de líquido. Por isso a explicação tanto para um orifício quanto para dois alinhados na horizontal será a mesma, já que ambos os orifícios estão a uma mesma altura, h , da linha d'água.

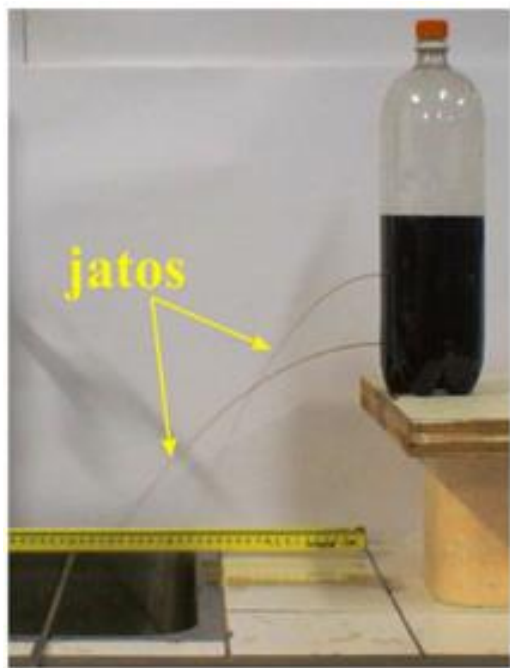


Figura: 70 - Garrafa PET 2L aberta com 2 orifícios alinhados verticalmente.

Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/YH7zSNTYwbCZN6HrDLSyYqB/?lang=pt#>



Figura: 71 - Garrafa PET 2L fechada com 2 orifícios alinhados verticalmente.

Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/YH7zSNTYwbCZN6HrDLSyYqB/?lang=pt#>

Tem-se que na figura (70), é mostrada uma garrafa PET de 2 L que possui dois orifícios alinhados verticalmente. Quando esta garrafa está cheia e a tampa da mesma não está rosqueada, o jato que sai nos dois orifícios e possuem alcances distintos, como mostrado na figura ((70) – foto à esquerda), de fato não poderia diferir, uma vez que os dois furos possuem distâncias diferentes à superfície livre do líquido. Quando a tampa é rosqueada, o fluxo de água em ambos os orifícios não é interrompido como ilustrado na figura (71) – (foto à direita).

Toma-se uma garrafa PET de 2L e faz-se dois furos alinhados verticalmente, com a garrafa fechada, fecha-se o primeiro orifício (superior) e percebe-se então que,

o fluxo de líquido não ocorre pelo segundo orifício (inferior). Esses orifícios são distanciados entre si, de Z figura (71). Antes de destampar o furo superior, deve-se determinar a pressão inicial (P_0) para este ponto e para o bolsão de ar confinado entre superfície livre do líquido e a tampa da garrafa.

A pressão da água na altura do orifício superior (ainda fechado) é dada pela Eq. (7-4) e a pressão inicial do bolsão de ar pela Eq. (7-5), onde z representa a distância do orifício superior até a superfície da linha d'água.

$$P(\text{orifício superior}) = P_{\text{atm}} - \rho g Z$$

Eq. (4-4)

$$P(\text{bolsão de ar}) = P_{\text{atm}} - \rho g (Z + z)$$

Eq. (4-5)

À medida que retiramos a vedação do orifício superior, a pressão que age externamente a ele também será a pressão atmosférica (p_{atm}). A pressão interna no orifício superior dada pela Eq. (7-4) é menor que a pressão atmosférica e isto explica o motivo das bolhas de ar adentrarem o orifício e se deslocarem até a superfície do líquido (linha d'água) como mostra a figura (7). A diferença entre as pressões externa e interna no orifício superior é dada por $\rho g Z$. Como a variação de pressão deve ser aplicada em todos os pontos do fluido e nas paredes do recipiente como prever o Princípio de Pascal, a pressão na superfície do líquido passa a ser:

$$P(\text{bolsão ar}) + \rho g Z = P_{\text{atm}} - \rho g z$$

Eq. (4-6)

Neste momento a água começa a fluir pelo orifício inferior. Aplicando-se a equação de Bernoulli (1) nos pontos 1 e 2 que estão localizados respectivamente na superfície do líquido (linha d'água) e no orifício inferior, pode-se demonstrar que a velocidade máxima do jato d'água depende unicamente da distância Z entre os dois orifícios superior e inferior:

$$v_{\text{máx}} = \sqrt{2gZ}$$

Eq. (4-7)

Com esta equação pode-se medir a velocidade máxima que o jato d'água atinge.

Observa-se ainda uma pequena oscilação no alcance do jato, isso se deve ao fato de que, à medida que o nível da água desce, a pressão interna no nível do orifício superior vai se tornando novamente menor que a pressão atmosférica externa. Aqui não teremos uma explicação mais detalhada deste caso particular, por julgarmos não adequado ao ensino médio, pois seria necessário o uso de cálculos superiores como a derivada.

Conclusão: A proposta experimental abordada neste trabalho vem mostrar que é possível, com experimentos de baixo custo, abordar e descrever tópicos da Hidrodinâmica de forma qualitativa, como de forma mais precisa, com medições cuidadosas e comparação de resultado, e desta forma, trazer o aprendizado completo do aluno.

✓ **Aula – 02 (Experimento – 2)**

Tempo estimado – 25 min (Aplicação do experimento)

Nesse momento, o professor irá aplicar o experimento, levantando hipóteses e instigando a curiosidades dos alunos, sem trazer as soluções prontas, deixando que suja a tempestade de ideias na cabeça dos alunos. O professor deve trabalhar como mediador das discussões, promovendo e observando se há alguma concepção espontânea nas respostas dos alunos, catalogando-as para posteriormente retirá-las no momento da explicação do experimento.

✓ **Aula – 02 (Experimento – 2)**

Tempo estimado – 25 min (Aplicação da avaliação comparativa)

Neste tempo o professor irá aplicar o experimento e submeter a turma a avaliação comparativa, composta por quatro questões, visando avaliar o que o aluno aprendeu do conteúdo, e se ele pode relacionar as etapas abordadas no experimento com seu dia a dia.

4.4.2.3 - (Experimento – 3) - Medidor de Venturi de fácil obtenção

✓ Aula – 01 (Aplicação da avaliação diagnóstica)

Tempo estimado – 25 min

Neste momento, o professor deve agir como mediador do conhecimento, realizar perguntas que despertem nos estudantes a curiosidade e possibilitem um debate considerando as concepções iniciais de cada um. Logo, sugere-se 8 questões que podem ser levantadas pelo educador e as possíveis respostas dos discentes:

Segue abaixo sugestão **de avaliação diagnóstica**, com suas possíveis respostas.

1 – Vocês já perceberam que durante dias de intensas chuvas, a água escoe do teto das casas e prédios, muitas vezes por meio de canos e vão para rua?

Possíveis respostas: *já; nunca observei; já percebi, quando chove muito, alaga a rua; entre outras.*

2 – O que será que acontece com toda aquela água que vai para rua?

Possíveis respostas: *deve ir para o esgoto; vai para lagoa que tem perto da minha casa; não sei; vai para o rio; entre outras.*

3 – Como será que eles levam toda essa água para uma lagoa de captação, por exemplo?

Possíveis respostas: *por canos; usando uma bomba; não sei; entre outras.*

4 – Se chover muito o que pode acontecer?

Possíveis respostas: *a rua alaga; a lagoa transborda; acontece enchente; entre outras.*

O professor pode utilizar estas quatro perguntas para explorar problemas urbanos como drenagem e saneamento básico, explicar que a drenagem de águas de chuva não pode ser misturada com esgoto, por isso o saneamento básico é tão importante.

Além disso, pode-se explicar a importância da reutilização da água em estruturas de grande porte como shoppings centers e galpões industriais que acumulam uma abundância de água e reaproveitam essa água em sistemas de hidráulicos e de ar-condicionado.

5 – Vocês já perceberam que em muitas ruas tem tubulações embaixo do chão?

Possíveis respostas: *já; nunca percebi; já, e às vezes o esgoto sobe na rua; entre outras.*

6 – Como será que a companhia de água e esgotos controla toda essa água?

Possíveis respostas: *não sei; deve reutilizar; entre outras.*

7 – Vocês sabiam que tem como medir a vazão dessa água usando um aparelho?

Possíveis respostas: *sim; não; entre outras.*

8 – Vocês sabiam que estes dispositivos não são usados somente em tubulações, mas até em aviões?

Possíveis respostas: *não sabia; sabia, já vi na internet; entre outras.*

✓ Aula – 01 (Apresentação do experimento)

Tempo estimado – 25 min Agora é interessante mostrar, aos estudantes, imagens reais dos medidores, no caso os mais comuns são: o de Venturi e o de Pitot (este muito utilizado na aviação), como mostrados na Figura abaixo:



Figura: 72 - Medidores de Venturi

Fonte: http://gomez2010.weebly.com/uploads/5/8/0/2/5802271/medidores_de_fluxo_maria.pdf



Figura: 73 - Tubo de Pitot

Fonte: <http://culturaaeronautica.blogspot.com/2011/04/tubo-de-pitot-como-funciona.html>

Em seguida, o professor deve inserir os conceitos já trabalhados em sala sobre hidrodinâmica, no contexto dos tubos de Venturi e Pitot, explicando seu funcionamento, e aplicações, até mesmo desenvolvendo ilustrações no quadro como mostram a Figura (74).

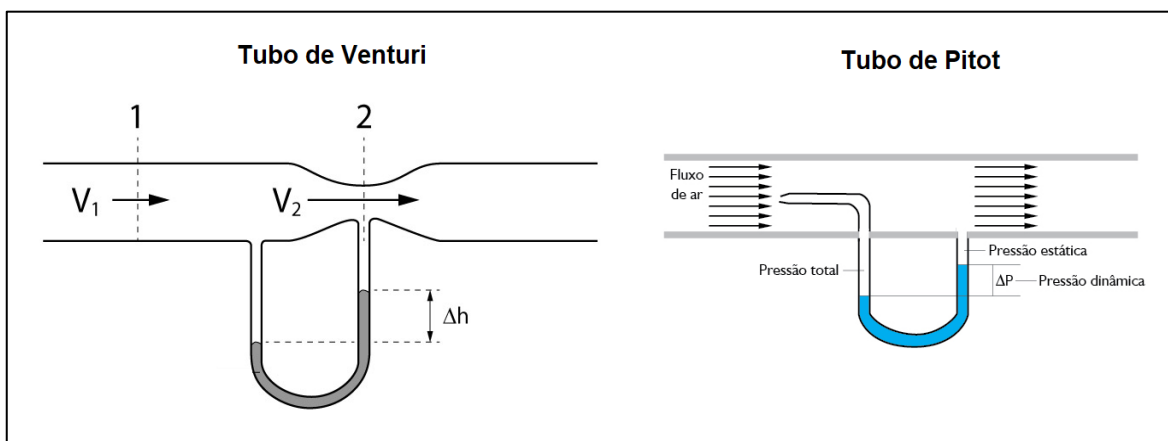


Figura: 74 - Ilustrações dos principais tubos medidores.

Fonte: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/52/3/8>

Nesta discussão, não é necessário que o professor faça estudos analíticos para encontrar equações que calculem parâmetros, como a velocidade de escoamento, por exemplo, no entanto, é importante que o professor mostre a equação para o tubo de Venturi, devido à prática experimental e comente alguns termos da equação.

✓ Aula – 05 (Explicação do experimento)

Tempo estimado – 25 min

Medidores e sensores são muito utilizados em aplicações da engenharia. Estes medidores utilizam fluidos como o material sensorial, normalmente possuem a capacidade de medir pressão e velocidade de escoamento. Um dos medidores mais comuns para aplicações em hidrodinâmica, é o medidor de Venturi. É muito utilizado para medir a velocidade de um fluido em uma tubulação.



Figura: 75 - Tubo de Venturi industrial

Fonte: <https://www.ituflux.com.br/tubo-venturi-industrial> (Acesso: 20/11/2021)

O medidor de Venturi consiste num tubo com um estreitamento que pode ser usado para medir a velocidade de um escoamento incompressível. Suponha que pelo tubo escoa um gás de densidade, ρ e que o tubo em U contém um líquido de densidade ρ_0 . O tubo em “U” tem um dos seus extremos conectado no estreitamento e o outro na zona mais larga do conduto, como pode ser verificado na Figura abaixo.

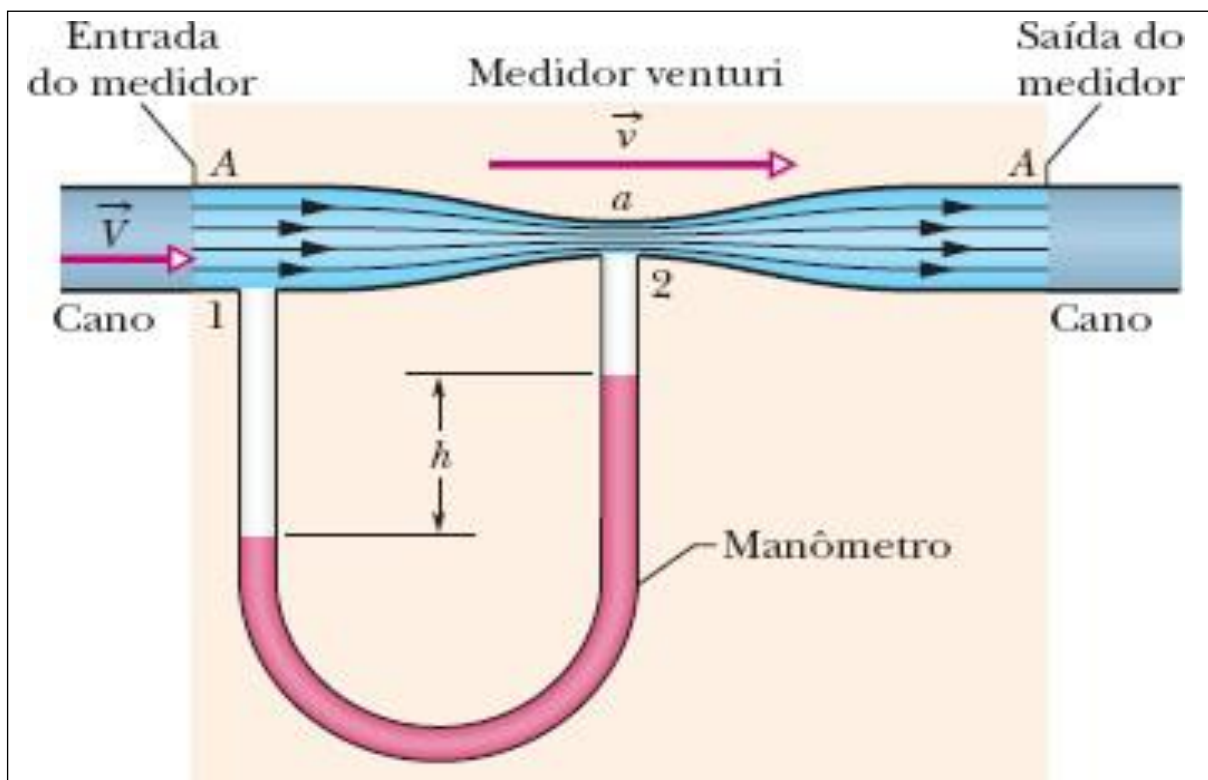


Figura: 76 - Ilustração de um medidor de Venturi

Fonte: Halliday & Resnick (2016)

O fluido, na região mais larga do tubo de área A_1 , possui velocidade de escoamento v_1 e ao encontrar a “garganta” do tubo (região mais estreita de área) A_2 , a velocidade de escoamento v_2 é maior que a velocidade anterior, pois consoante a Equação da continuidade:

$$A \cdot v = \text{Constante}$$

Logo, existe uma relação de inversa proporcionalidade entre a área do conduto e a velocidade. Sendo assim, na região 2 a área diminui com relação à região 1, portanto, a velocidade na região 2 aumentará, mantendo assim o valor do produto constante.

Além disso, percebe-se que no tubo em formato de U (manômetro), existe uma diferença de altura no nível da água, logo, pode-se concluir que existe uma diferença de pressão entre as regiões 1 e 2 do tubo. Observa-se que a coluna 2 é maior que a coluna 1, revelando uma diferença de pressão entre as regiões, concluindo-se que a pressão no ponto 1 é maior que no ponto 2.

No ponto 1, temos as seguintes coordenadas:

$$v_1, A_1, \rho, P_1 \text{ (variáveis no ponto – 1)}$$

No ponto 2, temos as seguintes coordenadas:

$$v_2, A_2, \rho, P_2 \text{ (variáveis no ponto – 2)}$$

Como a vazão é constante, então:

$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$

 Eq. (4-8)

A diferença de pressão é dada pela pressão na garganta menos a pressão no tubo.

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

Como:

$$P_1 > P_2$$

Logo:

$$\Delta P < 0$$

Aplicando a equação de Bernoulli, temos:

$$\boxed{P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2} \quad \text{Eq. (4-9)}$$
$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 - P_1 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Logo:

$$v_1^2 = \frac{2\Delta P}{\rho} + v_2^2$$

Como:

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

Então:

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot A_1}{A_2}$$

Substituindo na equação anterior temos:

$$v_1^2 = \frac{2\Delta P}{\rho} + \left(\frac{v_1 \cdot A_1}{A_2}\right)^2$$

Sendo assim a velocidade de escoamento é dada por:

$$\boxed{v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P \cdot A_2^2}{\rho(A_2^2 - A_1^2)}}} \quad \text{Eq. (4-10)}$$

Sendo a diferença entre as áreas:

$$(A_2^2 - A_1^2) < 0$$

Como:

$$\Delta P < 0$$

Logo a razão:

$$\frac{2 \cdot \Delta P \cdot A_2^2}{\rho(A_2^2 - A_1^2)} > 0$$

É possível observar que a diferença de pressão no tubo em U, é dada por:

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

A diferença de pressão ΔP pode ser calculada por:

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = \rho_0 \cdot g \cdot h_2 - \rho_0 \cdot g \cdot h_1$$

$$\Delta P = \rho_0 \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Delta P = \rho_0 \cdot g \cdot h \quad \text{Eq. (4-11)}$$

Portanto, a medida da velocidade de escoamento de um fluido utilizando um tubo de Venturi pode ser escrita da seguinte forma:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot A_2^2}{\rho(A_2^2 - A_1^2)}} \quad \text{Eq. (4-12)}$$

Logo, é necessário conhecer alguns parâmetros para obter a velocidade de escoamento do fluido: as áreas ao longo do tubo, a densidade do fluido que se quer obter, a velocidade e a densidade do fluido usado no manômetro. O único valor que é medido é a diferença de altura (h) no manômetro. Assim, substituindo os valores na equação da velocidade, é possível estimar a velocidade de escoamento do fluido ao longo do conduto (exceto na região de estreitamento).

Para calcular a velocidade do escoamento na região da “garganta”, basta utilizar a equação da continuidade, após obter o valor da velocidade, v_1 logo:

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot A_1}{A_2}$$

Eq. (4-12)

Normalmente, o medidor de Venturi é colocado em uma parte da tubulação, para se medir a velocidade de escoamento, logo, não se está interessado a velocidade na região de estreitamento.

Pela complexidade matemática, este medidor é normalmente estudado em cursos de nível superior, em cursos de Engenharia e Física. No entanto, é possível introduzir conceitos básicos acerca de hidrodinâmica no ensino básico, desde que o professor atue como mediador do conhecimento e esteja preparado para os desafios das práticas experimentais.

Uma forma de construir um medidor de Venturi de baixo custo, é utilizar duas garrafas pet, uma mangueira de nível transparente, régua ou paquímetro, fitas adesivas, tesouras e cola. Pode-se utilizar um ventilador, ou um secador de cabelo, para assim utilizar o ar como o fluido em movimento através do tubo, e usar água com algum corante, como o fluido do manômetro, como mostra a Figura (77).



Figura: 77 - Medidor de Venturi de fácil obtenção

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=R1kjfHtl9xc&ab_channel=ProfessorRafaelCampos (Acesso: 20/11/2021)

Deve-se retirar o fundo das garrafas, e em seguida com o auxílio de um paquímetro medir o diâmetro interno da região mais larga da garrafa como também da região mais estreita (abertura da tampa). Logo após, unir as regiões mais estreitas usando uma fita adesiva ou uma cola. Em seguida, deve-se fazer um buraco com o diâmetro aproximado da mangueira de nível, em cada região do medidor (região mais larga e a região mais estreita) para assim acoplar a mangueira já com água, como mostrado na Figura (77).

✓ **Aula – 02 (Prática Experimental – aplicação)**

Tempo estimado – 25 min

Inicialmente o professor, deverá apresentar o medidor de Venturi construído, para os alunos, e compará-lo com os desenhos feitos no quadro na aula anterior.

Para a realização do experimento recomenda-se adotar os seguintes dados:

- Densidade da água: $1,00 \text{ g/cm}^3$
- Densidade do ar: $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
- Aceleração da gravidade: 980 cm/s^2
- OBS: É recomendável usar medidas em centímetros devido o experimento ser pequeno, fazendo isto, unificamos as unidades.

Então o professor deve apoiar o secador ou o ventilador na entrada do tubo, e pedir para os seus alunos medirem a diferença de altura (h) com o auxílio de uma régua. Pode-se repetir a prática para diferentes velocidades que o aparelho possua, e assim montar grupos e pedir que os alunos, calculem os valores da velocidade de escoamento de posse da equação de v_1 e preencham a seguinte tabela:

Nível de velocidade do aparelho	$h(\text{cm})$	$v_1(\text{cm/s})$
1		
2		
3		

Por fim, o professor poderá discutir os resultados com os grupos e introduzir outras problemáticas inseridas nas práticas experimentais, como análise estatísticas e erros experimentais.

✓ Aula – 02 (Prática Experimental – avaliação comparativa)

Tempo estimado – 25 min

Neste momento, serão aplicadas 8 questões avaliativas, com o intuito de mensurar a fixação dos conteúdos ministrados aos alunos. Esses conteúdos estão relacionados ao experimento aplicado e será de grande valia para o entendimento dos

conteúdos posteriores relacionados com os próximos experimentos. É importante ressaltar que se sugere repetir algumas questões da avaliação diagnóstica para efeito de comparação das respostas antes e depois do conteúdo ministrado.

4.4.3 – Experimentos principais

- Aspirador de secreção usado na Ambulância.
- Proporcionador de espuma usado no caminhão de incêndio

4.4.3.1 - Objetivo Geral

Utilizar equipamentos do Corpo de Bombeiros Militar para despertar o interesse e a curiosidade dos alunos na aprendizagem dos conceitos da Hidrodinâmica, através aulas práticas em um espaço não-formal de educação.

4.4.3.2 – Objetivos específicos

Levar os alunos para vivenciar, na prática, as aplicabilidades do teorema de Bernoulli, utilizando para isto, experimento, em um espaço não formal de aprendizagem com os equipamentos do Corpo de Bombeiros Militar, tais como: proporcionador de espuma do caminhão de incêndio;

Observar, manipular e descrever e o sistema de aspiração de secreção usado na ambulância do Corpo de Bombeiros Militar, baseando-se no conceito do tubo de Venturi.

4.4.3.3 - Conteúdos de Aprendizagem

Conceituais:

Vazão, Equação da continuidade, Teorema de Bernoulli, Demonstração do teorema de Bernoulli e Equação de Torricelli.

Procedimentais:

Conhecer as partes que compõem os equipamentos a serem utilizados no produto educacional, **o proporcionador de espuma e o tubo de Venturi**, (chaves, esguicho, mangueiras, LGE, tubos e recipientes dos sistemas) e o funcionamento dos mesmos; identificar os fenômenos hidrodinâmicos quando os mesmos estiverem em pleno funcionamento; verificar o comportamento do LGE ao surgir a sucção bem como observar a sucção do líquido com corante, representando uma secreção, ao utilizar o tubo de Venturi; exemplificar as aplicações cotidianas ao montar esses equipamentos fazendo-os funcionar.

Atitudinais:

Valorizar seus conhecimentos prévios sobre tais assuntos, levantar hipóteses, e deixar que o conhecimento científico substitua as concepções espontâneas que porventura exista, refletir sobre a importância dos conceitos relativos à hidrodinâmica para a compreensão dos fenômenos apresentados no produto educacional e no seu cotidiano.

4.4.3.4 – Sequência de atividades

Na sequência de atividades, estão descritos os passos seguidos pelo professor em cada um dos encontros propostos de uma forma bastante detalhada. Na sequência didática, são apresentados os objetivos de cada uma das atividades propostas, além do tempo de duração de cada uma delas.

A sequência didática é pautada nos três momentos pedagógicos, de Delizoicov e Angotti (1992). A **problematização inicial**, na qual o professor deve promover uma tempestade de ideias na cabeça do aluno, excitando-os e instigando-os a expor seu entendimento sobre o tema apresentado. Lembrando que o professor em nenhum momento deverá apontar as respostas, ele deve agir como mediador das discussões incentivando o debate e promovendo o diálogo entre os participantes do grupo. Foram elaboradas cinco questões diagnósticas para os alunos, onde deixarão latentes, suas dúvidas e concepções alternativas, colaborando para que o professor tenha todas as informações necessárias para a aplicação do próximo momento pedagógico, que será a **organização do conhecimento**, na qual o professor deverá inserir todo conhecimento científico, estruturando e usando toda metodologia necessária para o

entendimento dos conceitos científicos. Ainda nesta etapa, o professor deve fazer os experimentos e retirar todas as dúvidas colhidas na etapa anterior. Por fim teremos a **aplicação do conhecimento** onde o professor aplicará cinco questões, testes para medir o aprendizado dos alunos e fazer possíveis ajustes no que for preciso. É nesta etapa onde os alunos deverão ter o conhecimento necessário para aplicá-los nas situações problemas do dia a dia, conseguir explicar os fenômenos científicos com propriedade, e em se tratando do Produto Educacional aqui aplicado, deverá saber montar, utilizar e explica fisicamente o seu funcionamento.

4.4.3.5 - (Experimento – 1) - Aspirador de secreção - VTR

✓ Aula – 01 (A avaliação diagnóstica)

Tempo estimado – 25 min

Foi elaborado um formulário com cinco perguntas problematizadoras sobre o aspirador de secreção tanto fixo na régua de gases da ambulância quanto o móvel (portátil).

✓ Aula – 01 – (Apresentação dos componentes do experimento)

Tempo estimado – 25 min

Nessa aula, teremos a apresentação do plano de curso, a apresentação dos componentes do sistema de aspiração de secreção por tipo Venturi. que serão utilizados na sequência das aulas, com o objetivo de aproximar os conceitos da hidrodinâmica à realidade dos alunos, mostrando-os que ela é empregada em vários lugares como nas ambulâncias tanto do CBM-RN, SAMU como em quaisquer outras. Na apresentação deste equipamento, o professor irá destacar todos os componentes que constituem o mesmo: cilindros de O₂, manômetro, régua de gases, fluxômetro, frasco de polycarbonato para depósito de secreção, tubo de látex cirúrgico, sonda traqueal, e em seguida, montará o sistema para que os alunos, em grupo, vejam e depois montem o sistema e observem o fenômeno. O professor deve dividir os alunos em grupos de 10 alunos, para observar, a fim de que seja garantida observação perfeita da **montagem, funcionamento e dos fenômenos Físicos envolvidos**.



Figura: 78 - Cilindros de Oxigênio (O_2), conectados a uma mangueira de saída.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Observe na figura (78) acima que, os **Cilindros de oxigênios (O_2)** estão interligados para oferecer uma maior demanda de Oxigênio à régua de gases, onde serão colocados tanto equipamentos para aspiração de secreção como equipamentos para ministração de oxigênio puro às vítimas que deste tratamento necessite.

Será apresentado aos alunos, o **Manômetro** (medidor de pressão de fluidos), figura (79) conceituando e mostrando, na prática, o princípio do seu funcionamento.



Figura: 79 - Manômetro do cilindro de Oxigênio (O₂).

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Será apresentado aos alunos **Painel ou Régua de gases** conforme figura (80) e (81) abaixo, onde serão conectados os equipamentos tanto para ministração de O₂ quanto para aspiração de secreção.



Figura: 80 - Régua de gases com quadro de tomadas e luzes indicadoras.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura: 81 - Régua de gases.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Será mostrado o **Fluxômetro** como mostrado na figura (82) abaixo, que é um aparelho usado em procedimentos clínicos e médicos para medir e controlar o fluxo de Oxigênio, ar comprimido e outros gases medicinais.



Figura: 82 - Fluxômetro.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O professor mostrará aos alunos o elemento mais importante do sistema, o **Frasco de polycarbonato para depósito de secreção**, conforme figura (83) abaixo, e é nele que o fenômeno acontece, pois, acoplada a sua tampa existe uma peça metálica onde acontecerá o estrangulamento do gás Oxigênio, e é neste ponto em que a pressão diminui fazendo a sucção da secreção por efeito Venturi.



Figura: 83 - Frasco de policarbonato para depósito de secreção.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ainda na apresentação dos equipamentos que compõem o sistema de aspiração de secreção, os alunos verão o **Tubo de látex cirúrgico** conforme a figura (84), e que mesmo possui outras várias utilidades tais como: transportar gás Oxigênio e outros procedimentos laboratoriais não cirúrgicos, será utilizado aqui, como extensor de passagem para o procedimento de aspiração de secreção de fluidos.



Figura 84: Tubo de látex cirúrgico.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Será apresentada a **Sonda de respiração traqueal**, conforme figura (85) abaixo, ela é confeccionada em tubo de PVC, atóxico, epirogênico, cristal transparente de paredes finas e maleáveis, com 50 cm de comprimento e nos calibres 04, 06 e 08 (infantil), 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24 (adulto) com ponta arredondada e aberta, com 02 furos laterais e provida na outra extremidade de um conector padrão ou conector em Y para controle da aspiração.



Figura: 85 - Sonda de respiração traqueal.

Fonte: Elaborada pelo autor.

✓ Aula – 02 - (Montagem e Manipulação)

Tempo estimado – 25 min

Agora, após a apresentação, teremos a manipulação e montagem dos equipamentos, feitos pelo professor, este, dividirá a turma em pequenos grupos de Cinco Alunos, e eles repetirão todos os procedimentos feitos pelo professor, montando o sistema de aspiração de secreção da VTR, e explicando os fenômenos físicos observados, baseados no Princípio de Bernoulli e Efeito Venturi. Feitas as devidas observações pelo professor, este deverá aplicar, para toda turma, cinco questões problematizadoras, que servirão para avaliação do aprendizado teórico/prático dos alunos.

4.4.3.6 - (Experimento – 2) - Aspirador de secreção - PORTÁTIL

✓ Aula – 02 - (Apresentação dos componentes do experimento)

Tempo estimado – 25 min

Apresentação dos equipamentos que compõem o **Sistema de aspiração de secreção portátil**, o qual difere do fixo, que se encontra na VTR, por poder ser transportado para perto das vítimas e assim poder oferecer um serviço mais rápido sem a necessidade de a vítima ser levada ao hospital ou até mesmo à VTR, no caso desta não ter possibilidade de chegar até o local da ocorrência. Este sistema possui boa parte dos equipamentos usados no sistema fixo, porém o cilindro de O_2 , geralmente de 625L (ver figura 86) pode ser levado até o local da ocorrência. O oxigênio é acondicionado em cilindro de aço ou alumínio. Segundo as normas internacionais, o cilindro deverá estar pintado na cor verde, quando para uso



Figura: 86 - Cilindro de Oxigênio (O_2) com 625L

Fonte: Elaborada pelo autor.

medicinal. O **Cilindro de O₂ do sistema portátil** possui um manômetro (medidor de pressão de fluido) acoplado a ele e na sua extremidade será conectado os demais componentes.

Será apresentado o **Fluxômetro** (ver figura 89) que tem função de medir o fluxo de O₂ que passa no sistema, com o intuito de regular melhor esta passagem de O₂ de forma coerente com o tipo de fluido a ser aspirado. O conjunto Manômetro fluxômetro destina-se a reduzir a alta pressão do interior do cilindro (150-200 kgf/cm²) para uma pressão de consumo em torno de 3 a 5 kgf/cm². O **Manômetro**, como ilustrado na figura (87), indica em kgf/cm² a quantidade de O₂ no interior cilindro e o fluxômetro destina-se a controlar e dosar, em litros por minuto, a administração de oxigênio



Figura: 87 - Fluxômetro do sistema de aspiração de secreção portátil

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura: 88 - Manômetro do sistema de aspiração de secreção portátil
Fonte: Elaborada pelo autor.

O professor apresentará mais uma vez o **Frasco de polycarbonato para depósito de secreção**, (figura 89) onde de fato acontece o efeito Venturi. Este frasco possui um interruptor de fluido, que funciona como uma espécie de boia, evitando que, no frasco, haja um aumento do material particulado, o qual nesse tempo de pandemia aumentaria o risco de contaminação, uma vez que estas partículas de fluidos ficam dispersas no ar e podem, na hipótese de uma vítima com Covid-19, contaminar o socorrista.



Figura: 89 - Frasco de policarbonato para depósito de secreção do sistema portátil de aspiração de secreção.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Serão apresentadas as Mangueiras que são **Tubos flexíveis** confeccionado em silicone ou similar, (figura 90). É acoplado ao equipamento e conduz oxigênio até a máscara facial, que permite a administração de O_2 ao paciente ou ainda para fazer aspiração de secreções em pacientes que dela necessitem.



Figura: 90 - Mangueira de silicone flexível para acoplar no sistema portátil de aspiração de secreção.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Será ainda mostrado para os alunos um **Cateter ou sonda de aspiração**, como mostrado na figura (91), abaixo. Este Cateter, é um Tubo utilizado para aspirar secreções, sendo mais indicado para atendimento pré-hospitalar, o tubo rígido, este em conjunto com o aspirador manual.



Figura: 91 - Cateter de respiração traqueal.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a apresentação de todos os equipamentos, o professor montará o **Sistema de aspiração de secreção** conforme a figura (92) abaixo e mostrará aos alunos o princípio de Bernoulli, na prática, e o efeito Venturi a medida em que o líquido estiver sendo aspirado pelo sistema, este líquido será água com um corante, para que o fenômeno seja bem observado pelos alunos, em seguida o professor dividirá em grupos de 5 alunos para que eles manipulem os equipamentos e montem o sistema, observando e explicando o princípio de Bernoulli e o Efeito Venturi.



Figura: 92- Sistema de aspiração de secreção portátil.

Fonte: Elaborada pelo autor.

✓ Aula – 03 (Montagem e Manipulação)

Tempo estimado – 25 min

Após a apresentação, manipulação e montagem dos equipamentos, feitos pelo professor, este, dividirá a turma em pequenos grupos de cinco Alunos, e eles repetirão todos os procedimentos feitos pelo professor, montando o sistema de aspiração de secreção da VTR, e explicando os fenômenos Físicos observados, baseados no Princípio de Bernoulli e Efeito Venturi. Feitas as devidas observações pelo professor, este deverá aplicar, para toda turma, a Avaliação Comparativa.

✓ **Aula – 03 (A avaliação comparativa)**

Tempo estimado – 25 min

É a avaliação aplicada ao final de uma aula para avaliar de forma pontual se o aluno compreendeu o conteúdo ensinado naquele dia.

4.4.3.7- (Experimento – 3) – Proporcionador de espuma

✓ **Aula – 01 (A avaliação diagnóstica)**

Tempo estimado – 25 min

Foi elaborado um formulário com cinco perguntas problematizadoras, referente à avaliação diagnóstica sobre ***proporcionador de espuma entre linha***. Essa avaliação tem o intuito de colher os conhecimentos prévios dos alunos, para posteriormente aplicar o experimento de forma eficiente, retirando, dos alunos, todas as concepções alternativas.

✓ **Aula – 01 (Apresentação do proporcionador de espuma)**

Tempo estimado – 25 min

Nesta aula inicial, dividiremos em grupos de dez alunos para uma melhor visualização dos equipamentos. Faremos inicialmente uma apresentação da VTR – ABTS-03(caminhão de incêndio) e em seguida os equipamentos formadores de espuma tais como: proporcionador de espuma, esguicho lançador, esguicho regulável, mangueira de ½”, e por fim o LGE (líquido gerador de espuma) que será usado na formação de espuma.

Será a apresentado aos alunos o ***proporcionador de espuma entre linhas***, como mostrado na figura (93) abaixo. Segundo o Manual técnico de Bombeiros MTB-43, de São Pulo (2006, p. 19), O proporcionador de espuma entre linhas é chamado assim, pelo mesmo ser acoplado entre dois lances de mangueiras, a figura (94), retrata bem o que foi dito acima. Na mangueira dele tem-se, na extremidade, um cano metálico que segundo o MTB-43, de São Pulo (2006, p. 21), é um dos dispositivos de sucção do LGE e deve ser introduzido no recipiente que contém o líquido gerador de

espuma (LGE). O proporcionador entre linhas possui uma válvula que regula a dosagem correta da mistura de água e LGE, que geralmente possui uma regulagem que varia de 1% a 6%, como descrito no detalhe da figura (93).

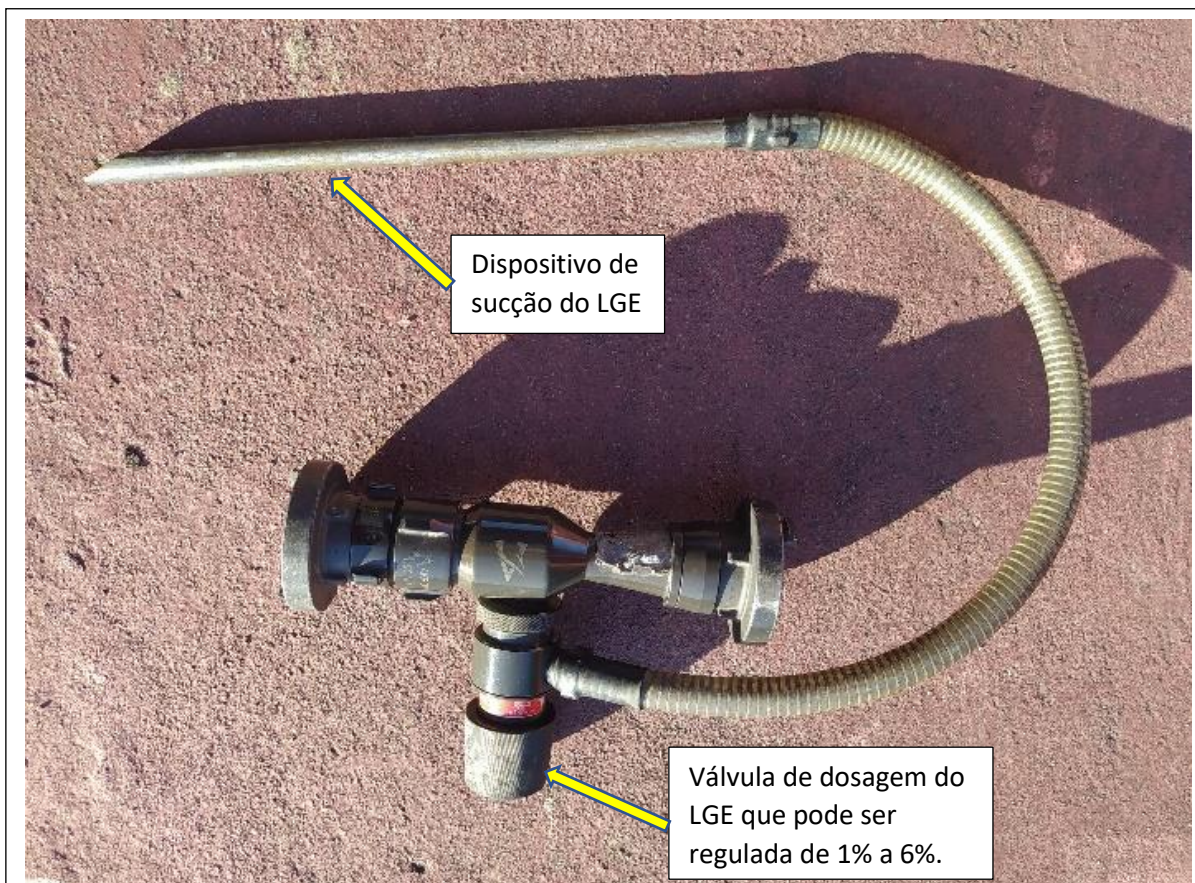


Figura: 93 - Proporcionador de espuma.

Fonte: Elaborada pelo autor.



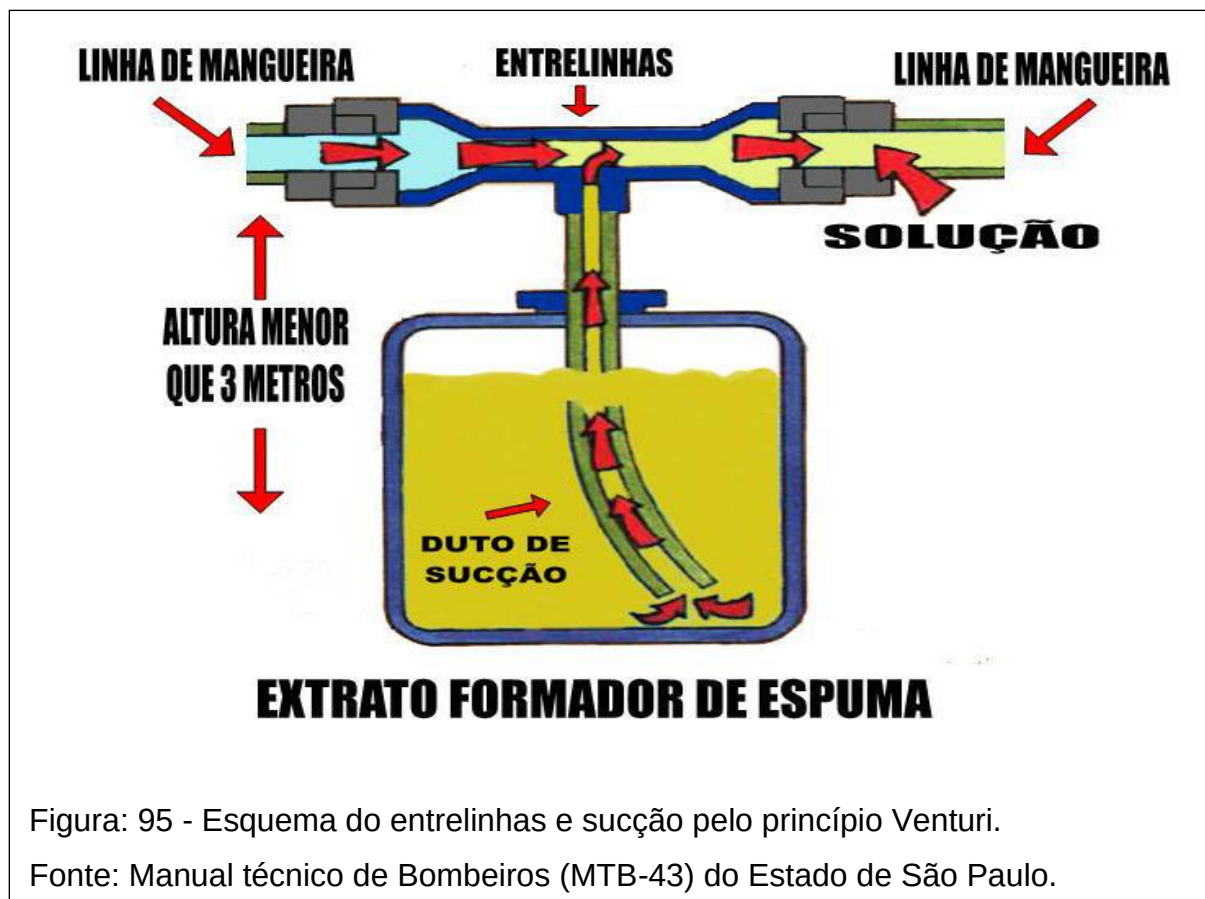
Figura: 94 - Entrelinhas e detalhe do tubo de sucção ou tubo pick-up.

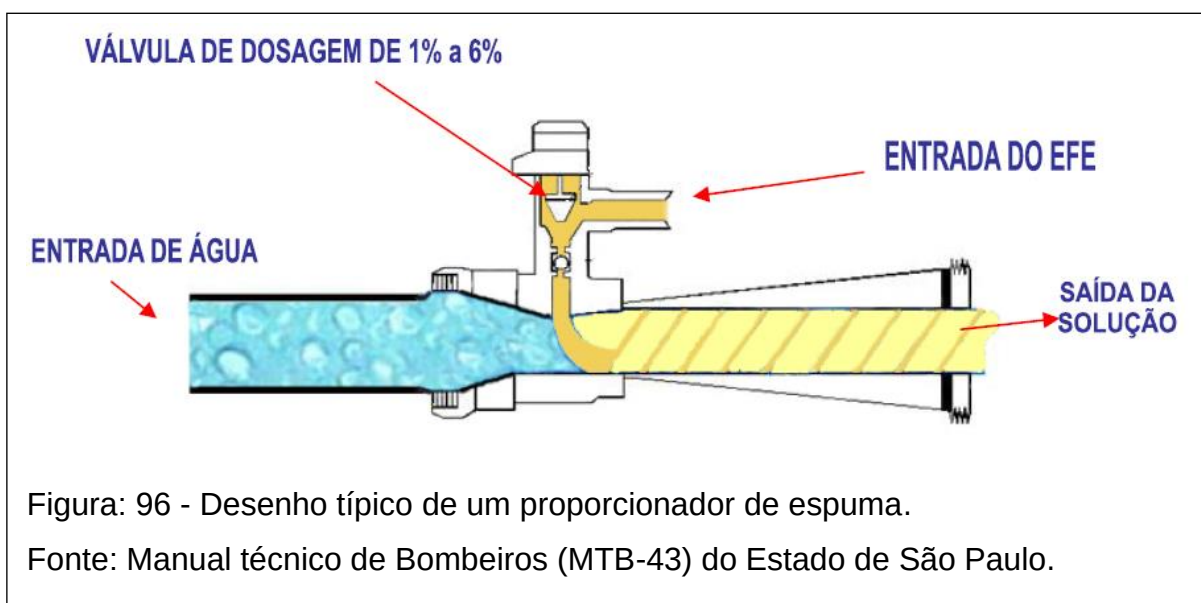
Fonte: Manual técnico de Bombeiros (MTB-43) do Estado de São Paulo.

Segundo o manual técnico de Bombeiros do Estado de São Paulo (MTB-43), (2006, p. 18) diz que:

“O proporcionador de linha, redutor, ou entrelinhas trabalha com o princípio de Venturi. A água é introduzida sob pressão na entrada do equipamento e passa por um orifício reduzido, que aumenta a velocidade da água, fazendo com que o tubo coletor realize a sucção do EFE”. [...]

No caso do equipamento que está se abordando neste tópico o líquido que sofrerá sucção será o LGE (líquido gerador de espuma). Tem-se abaixo na figura (95) uma ilustração do funcionamento do equipamento fazendo a sucção do líquido gerador de espuma e posteriormente fazendo a mistura com água, resultando na espuma.





Será apresentado aos alunos o **Esguicho lançador de espuma**, figura (97), que serve para lançar espuma de baixa expansão no foco do incêndio através do processo de aeração da solução.



Figura: 97 - Esguicho lançador de espuma à baixa pressão.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Confeccionado em tubo de alumínio com engate tipo storz em latão. Equipamento trabalha em conjunto com proporcionador que deve acompanhar a mesma vazão.

O professor apresentará o **Esguicho regulável** que é um tipo de esguicho de vazão variável usados hoje no exterior e mais recomendados para a atividade de combate a incêndio, conforme está ilustrado na figura (98) abaixo, esses esguichos são considerados automáticos. Esguichos automáticos, também chamados de esguichos de pressão constante, são basicamente esguichos de vazão variável com possibilidade de mudança na forma do jato e capacidade de manter a pressão no esguicho



Figura: 98 - Esguicho regulável automático.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Será apresentado pelo professor aos alunos a **Mangueira de incêndio** que é o duto flexível utilizado para transportar água da fonte de suprimento ao lugar onde deva ser aplicada, ver figura (99). Em razão de sua finalidade, a mangueira deve ser flexível, resistir à pressão interna e ser, tanto quanto possível, leve e durável.



Figura: 99 - Mangueira de incêndio tipo 4 de 1 ½"

Fonte: Elaborada pelo autor.

O professor apresentará ainda o **LGE (líquido gerador de espuma)** que é um extrato à base de substâncias fluoretadas, solventes e hidro carbonos. Utilizado somente para incêndios em hidrocarbonetos na dosagem de 6%. Ver figura (100).



Figura: 100 - Líquido gerador de espuma (LGE 6%)

Fonte: Elaborada pelo autor.

✓ Aula – 02 (Montagem e manipulação do sistema)

Tempo estimado – 25 min

E por fim o professor mostrará o passo a passo da montagem do **Sistema gerador de espuma**. Agora o professor, mais uma vez, dividirá a turma em grupos de 10 alunos para melhor visualização de todos, tanto da montagem quanto da execução da sucção do LGE sendo misturado a água. Este fenômeno está baseado no princípio de Bernoulli e no efeito Venturi.



Figura: 101 - Proporcionalizador de espuma, montado direto na expedição do caminhão de incêndio pronto para fazer sucção do LGE.
Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura: 102 - Esguicho regulável acoplado ao esguicho lançador de espuma.
Fonte: Elaborada pelo autor.

✓ **Aula – 02 (Observação e explicação do fenômeno)**

Tempo estimado – 25 min

Neste momento o professor dividirá a turma em grupos de Cinco alunos e os mesmos, com a ajuda do operador da VTR e sob a supervisão do professor, solicitará ao motorista e operador da VTR, que ligue a mesma e a deixe pronta para acionar a bomba d'água, em seguida o professor dividirá as tarefas entre esses cinco alunos, para a montagem do sistema de formação de espuma. Após montar o sistema, solicitarão do operador da VTR que ele ligue a bomba d'água. Os alunos revezarão nas funções para que todos possam observar o fenômeno da sucção de LGE (líquido gerador de espuma) por efeito Venturi. Nesta aula os Quatro primeiros grupos farão todo processo e por fim, darão explicação física sobre o que estão vendo, da forma que foi, tanto na sala de aula como anteriormente, ensinado pelo professor in loco



Figura: 103 - Sistema gerador de espuma montado na viatura de Incêndio.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesta aula, os quatro últimos grupos, farão todo o procedimento, anteriormente falado nas aulas anteriores e por fim, mais uma vez, explicarão para o professor e para os outros grupos que já passaram pela etapa, os fenômenos observados, que estão baseados no Princípio de Bernoulli e no Efeito Venturi. Após todos os grupos terem passado pelas etapas de montagem, manipulação e observação do fenômeno físico, desmontarão o sistema, guardarão todo material utilizado em seus devidos locais, e limparão o local a qual foi destinado para a aula.

✓ **Aula – 03 (Aplicação da avaliação comparativa)**

Tempo estimado – 25 min

Nesse momento o professor disponibilizará um questionário, com cinco questões da avaliação comparativa, que deverá ser aplicada a toda a turma e que servirá para mensurar o aprendizado do aluno, se ele conseguiu responder às questões propostas, agora, com clareza e de forma correta, demonstrando domínio do conteúdo e livre de concepções espontâneas.

✓ **Aula – 03 (Considerações finais)**

Tempo estimado – 25 min

Na última aula, o professor fará as suas considerações finais, destacará os pontos positivos e negativos e fará observações em pontos que podem ser melhorados. Por fim disponibilizará um questionário onde conterà perguntas que podem trazer melhorias e sugestões, por parte dos alunos, para as próximas turmas que passarão por este aprendizado.

5 – Manual de montagem

5.1 – Sistema de aspiração de secreção fixo



1° PASSO: Verificar se o cilindro está pressurizado, olhando no manômetro (relógio ao lado), que é um medidor de pressão. Se o ponteiro estiver na faixa vermelha, o cilindro estará despressurizado.

2° PASSO: Abrir por completo registro do cilindro para que o O₂ preencha toda tubulação e a régua de gases.



Válvula de abertura



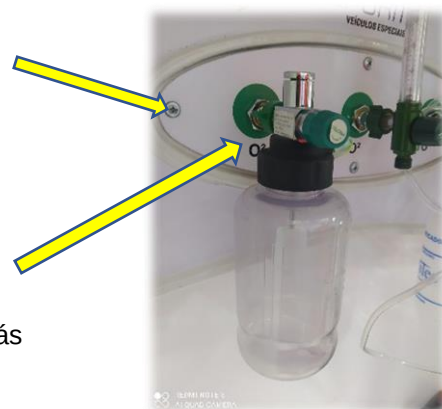
Rosca do frasco

3° PASSO: Rosquear o frasco para depósito de secreção na régua de gases.

4° PASSO: Régua de gases, onde o frasco deve ser rosqueado.

Rosca da régua de gases

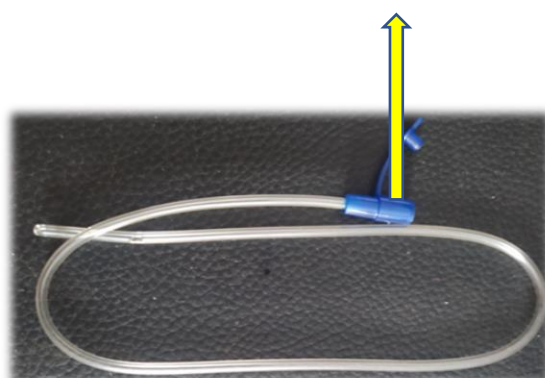
Registro de abertura do gás



5° PASSO: encaixar a extremidade do tubo de látex na extremidade do frasco para depósito de secreção.

6° PASSO: encaixar a extremidade do tubo do cateter nasal na extremidade do tubo de látex.

Extremidade do cateter nasal



Ao final da montagem, deve-se abrir o registro do gás, no frasco para depósito de secreção, que o sistema começa a funcionar e a secreção passa a ser aspirada para o interior do frasco.

5.2 – Sistema de aspiração de secreção móvel



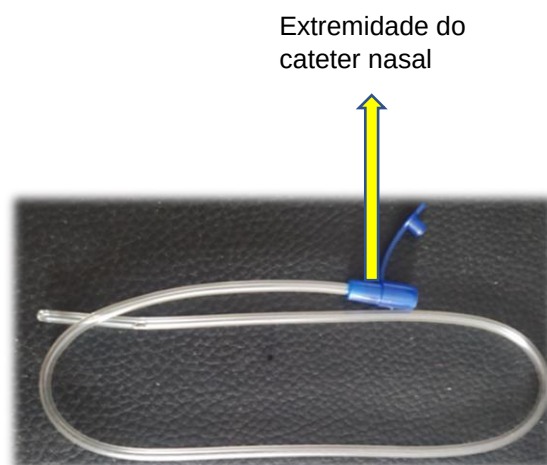
1º PASSO: Verificar se o cilindro (bala) está pressurizado, olhando no manômetro (relógio), que é um medidor de pressão. Se o ponteiro estiver na faixa vermelha, o cilindro estará despressurizado.

2º PASSO: Rosquear o frasco para depósito de secreção no cilindro.



3º PASSO: Encaixar o conduto de látex na abertura do frasco para coleta de secreção.

4° PASSO: encaixar a extremidade do tubo do cateter nasal na extremidade do conduto de látex.



5° PASSO: Sistema de aspiração de secreção móvel montado, este serve para levar a um local onde a VTR não consegue chegar.

5.3 – Proporcionador de espuma



1º PASSO: Conectar uma das extremidades dessa mangueira na expedição de 1, ½" da VTR ABTS.

1º PASSO: Extremidade da mangueira conectada na expedição da ABT- 09 do 1º SGB do 2º GBM, CBM-RN em Parnamirim-RN.



Junta storz da mangueira acoplada ao proporcionador



2ºPASSO: Conectar a outra extremidade da mangueira no proporcionador de espuma e acoplar outra mangueira de 1, ½" na outra extremidade do proporcionador entre linhas.

3ºPASSO: inserir o cano de metal do proporcionador no balde de LGE, para que o líquido seja aspirado com a passagem da água.



4ºPASSO: Acoplar a junta storz da mangueira à do esguicho regulável.

4ºPASSO: junta storz





5ºPASSO: Acoplar o esguicho lançador de espuma ao esguicho regulável.

6º PASSO: Após o sistema de formação de espuma estiver montado, deve-se ligar a bomba do caminhão e abrir a expedição que está acoplada à mangueira em seguida abrir a água e a espuma será formada.

7 – Anexos

O professor interessado em aplicar esse produto educacional no quartel do Corpo de Bombeiros do RN, deve seguir os trâmites de solicitação para uso do espaço e equipamentos do CBM-RN. A instituição, onde o professor trabalha, deve enviar um ofício endereçado ao Comande Geral do Corpo de Bombeiros, que, nesse caso, será do Rio grande do Norte.

No documento dever conter detalhes desta solicitação tais como:

- Data e hora em que será aplicado o produto educacional;
- Nome e documentos do professor responsável pala turma;
- Quantos alunos serão levados ao quartel;
- Qual a série e média de idades dos alunos;
- Qual a unidade do CBM-RN será usada na aplicação, exemplo, 1°SGB do 2°GBM – Parnamirim-RN
- Baseado no produto educacional, o professor deve solicitar o material a ser utilizado no dia da aplicação, exemplo, proporcionador de espuma, tubo de Venturi e outros.
- É importante informar que, necessitará do apoio dos bombeiros que operam as VARS que serão utilizadas na apresentação, exemplo, motoristas, socorristas, combatentes de ABTSS entre outros.

Sugiro ao professor interessado que vá ao quartel em dias anteriores para fazer a verificação de todo material, viatura e pessoal disponível, etc., para minimizar a probabilidade de dar algum erro no uso dos equipamentos. É importante lembrar que o LGE (líquido gerador de espuma), é um material extintor de incêndio de alto valor, logo o CBM, não disponibilizará esse material, o que pode ser substituído por sabão líquido, o qual foi usado na aplicação desse produto. Deve-se levar ao menos 9L para que se tenha uma formação de espuma consistente e visível para todos os alunos.

Segue em anexo um modelo de ofício criado pelo autor deste trabalho, baseado em um ofício enviado para o Comando do Corpo de Bombeiros do Rio Grande do Norte, solicitando uma visita às dependências da corporação.



Escola Viver a vida

Onde ser feliz é o que importa

Rua Mar dos Sertões Mariano, 1987 – Lagoa santa, Natal/RN

OFÍCIO N ° 01/2015

Natal, 22 de setembro de 2015

AO

Comando Geral do Corpo de Bombeiros do Rio Grande do Norte
Av. Alm. Alexandrino de Alencar, 959 — Barro Vermelho, Natal — RN

Att. Cel. Luiz Monteiro da Silva Junior Assunto:
Solicitação para visita

Nesta

Venho, por meio deste, solicitar junto a este comando agendamento para uma visita a esta instituição pela Escola Viver a vida, em data e horários previamente marcados (segunda, 10/10/2015, período matutino), conforme disponibilidade, para um grupo de 35 alunos com idade de 15 a 18 anos, da 2.ª série, mais professor e acompanhante totalizando 40 visitantes.

O objetivo desta visita é mostrar para nossas crianças o mais alto grau de relevância desta atividade para sociedade, sua estrutura física e Missão.

Atenciosamente,

Astrogildo da Silva

Sócio — Diretor

Referências

ATÉ HOJE NÃO SEI COMO FIZ AQUELE GOL': O DIA EM QUE ROBERTO CARLOS ACERTOU O CHUTE QUE DESAFIOU A FÍSICA: ESPN, Disponível em: https://www.espn.com.br/historias-da-bola/artigo/_/id/6842209/ate-hoje-nao-sei-como-fiz-aquele-gol-dia-roberto-carlos-acertou-chute-que-desafiou-fisica. Acesso em 20 de novembro de 2021.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da física**: uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Zahar (Ciência e Cultura), 2000.

CASCAIS, MGA, & TERÁN, AF. **Educação formal, informal e não formal na educação em ciências**: contribuições dos diversos espaços educativos. 2011. Artigo Científico.

CASCAIS, MGA, & TERÁN, AF. **Educação formal, informal e não formal na educação em ciências**. ciência em Tela, 2014.

COMO CITAR A CONSTITUIÇÃO FEDERAL: Normas ABNT, trabalhos e TCC: Dicas de citação da Constituição Federal, Disponível em: <https://projetoacademico.com.br/citar-constituicao-federal/>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

COLETÂNEA DE MANUAIS TÉCNICOS DO CORPO DE BOMBEIROS: AZEVEDO, Marcelo et al. **Emprego de espuma mecânica no combate a incêndios**: PMESP, 2006.

COLETÂNEA DE MANUAIS TÉCNICOS DO CORPO DE BOMBEIROS: MAGOSSO, Sandro et al. **Emprego de mangueiras, esguichos e acessórios hidráulicos:** PMESP, 2006.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física.** São Paulo: Cortez, 1991.

DELIZOICOV, Demétrio. **Problema e problematização.** São Paulo: Cortez, 1991.

FW Sears, MW Zemansky, HD Young, RA Freedman. **Física.** 12. ed. v.2. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

DOCA, Ricardo Helou, BISCUOLA, Gualter José e VILLAS BÔAS, Newton, **Tópicos de Física.** 21. ed. — São Paulo: Saraiva, 2012.

D **Halliday**, R **Resnick**, J Walker - 10.^a edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, **2016**

EQUAÇÃO da continuidade. Mundo educação, 2002. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/equacao-continuidade.htm>. Acesso em 10 de novembro de 2021.

GADOTTI, Moacir -**A escola e o professor:** Paulo Freire e a paixão de ensinar. 1. Ed. São Paulo: Publisher Brasil, 2007

GADOTTI, Moacir - **Educação e poder: introdução a pedagogia do conflito.** 1. Ed. São Paulo: Cortez, 2005

GASPAR, A. **Compreendendo a Física.** 2. ed. São Paulo: Editora Ática, 2013

GOHN, Maríá da glória Marcondes. **educação não-formal, participação da sociedade civil e estruturas colegiadas nas escolas**. v.14, n.50, p. 27-38, Rio de Janeiro: 2006. Artigo Científico.

GOHN, Maríá da glória Marcondes. **Novas teorias dos movimentos sociais**, São Paulo: Edições Loyola, 2008.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **Como a bola de futebol faz curva?** . Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/equacao-continuidade.htm>. Acesso em 20 de novembro de 2021.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **Equação da continuidade**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/equacao-continuidade.htm>. Acesso em 30 de dezembro de 2021.

MANUAL PARA ELABORAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS, 23. Ed. Rio Grande do Sul: UNISINOS, 2021.

RASIA, Carlos Alberto, BARROS, Cláudio Caetano e MARCELINO, Sílvia Cláudio, **M 326 Manual de Atendimento Pré-hospitalar**, Brasília: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2007.

SD Vasconcelos, E Souto- **Ciência & Educação (Bauru)**. Volume 9. Bauru - SP – Brasil: SciELO Brasil, 2003

MARQUES, M. I. M. O conceito de espaço rural em questão. **Terra Livre**, [S. l.], v. 2, n. 19, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/160>. Acesso em: 8 mar. 2023.

MA Moreira - **Uma análise crítica do ensino de Física**, Estudos avançados, 2018 - SciELO Brasil.

