

PONTIFÍCIA UNIVERDIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA:

Aplicações de hidrostática

WENDEL VENDREGLER ARAUJO MARTINS

GOIÂNIA-GO

2021

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

WENDEL VENDREGLER ARAUJO MARTINS

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA:

Aplicações de hidrostática

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Formação de Professores e Humanidades da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Física.

Orientador: Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues

Co-orientador: Me. Edson Vaz de Andrade

GOIÂNIA

Novembro de 2021

WENDEL VENDREGLER ARAUJO MARTINS

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA:

Aplicações de hidrostática

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Formação de Professores e Humanidades da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Física.

Prof. Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues – Orientador
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Prof. Me. Edson Vaz de Andrade – Coorientador
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Prof. Dr. Anderson Costa da Silva – Membro da
Banca e Coordenador do Curso de Física
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Goiânia, 29 de novembro de 2021

A todos os educadores e alunos...

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que proporcionou este momento e todo o conhecimento que será apresentado neste trabalho. Quero agradecer também aos meus pais e irmão, que apesar de todos os conflitos que tivemos estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando em momentos difíceis ao longo de minha graduação.

Um agradecimento especial vai ao meu grande amigo Gilberto. Amigo, companheiro e parceiro de estudos. Desde o momento que começamos nossa amizade fundamos ali uma relação de confiança e parceria. Com seus conselhos, ensinamentos e empurrões os dias dentro de sala e fora dela também foram mais interessantes e desafiadores. Estar ao seu lado fez de mim uma pessoa melhor e um aluno dedicado aos estudos e que sempre o admirou.

O agradecimento se estende também a todos os professores da Universidade Católica, que me apoiaram, ensinaram e conduziram rumo a este “desfecho”. Em especial aos meus orientadores, que aceitaram este desafio e foram, de maneira sinérgica, conduzindo a elaboração deste trabalho.

Cabe também um agradecimento mais do que especial ao motorista do transporte escolar do município de Goianira-GO, no qual moro atualmente. Emerson, você me ajudou de maneira singular em momentos nos quais pensei em desistir e não mais frequentar a faculdade. Se você ler este trabalho um dia saiba que sua contribuição em minha vida foi impactante e fundamental para o meu crescimento. Tenho profunda admiração e respeito por você.

Resumo

Este trabalho tem por objetivo analisar detalhes acerca do campo da hidrostática e da hidrodinâmica, bem como suas conexões ao cotidiano. Busca-se, por meio deste, mostrar os detalhes, as características e a aplicabilidade deste conteúdo. Os leitores deste trabalho devem lê-lo não de maneira sistêmica e pragmática, mas com a finalidade de internalizar e levar tais aprendizados para o seu dia a dia.

A elaboração desta monografia foi embasada na teoria da aprendizagem significativa, que impactou grande parte do trabalho. Não obstante, existem questões a serem pensadas e respondidas de maneira introspectiva pelo próprio leitor ao longo do que será apresentado. Ou seja, há espaços para a reflexão e para o debate.

O trabalho foi dividido em um contexto histórico, escolhido como ponto de partida; em seguida, foram trabalhados alguns conceitos a respeito do campo da hidrostática e da hidrodinâmica, bem como os conceitos relacionados à diferença entre força e pressão, o princípio de Bernoulli, diferença entre grandezas vetoriais e escalares. Em seguida foram apresentadas duas situações corriqueiras a fim de relacionar o conteúdo em questão com a prática. Em um último momento foram propostos dois experimentos, os quais servem como suporte ao aluno e ao educador que tenha interesse em aplicá-los em sala de aula.

Palavras-chave: hidrostática; fluidos; aprendizagem significativa; experimentos didáticos.

Figura 1: Aqueduto Romano	14
Figura 2: Representação de Arquimedes e a coroa do rei Hierão	16
Figura 3: Tubo de Pitot	17
Figura 4: Relação Força x Pressão	20
Figura 5: Esfera maciça na água	21
Figura 6: Tubo de Bernoulli	25
Figura 7: Vista inferior de uma caixa d'água	28
Figura 8: Vista frontal a partir do chuveiro em direção à caixa d'água.....	29
Figura 9: Esboço do triângulo formado entre a caixa d'água e o chuveiro	30
Figura 10: Modelo de bomba pressurizadora.....	31
Figura 11: Imagem ilustrativa das dimensões de um prego e um martelo.....	32
Figura 12: Materiais utilizados.....	34
Figura 13: Tensão superficial da água em um copo.....	34
Figura 14: Palito dentro d'água	35
Figura 15: Variação da pressão com a profundidade	36
Figura 16: Vista lateral e superior do copo com água e ovo submerso.....	38
Figura 17: Vista lateral e superior do copo com água salgada e ovo.....	41
Figura 18: Vista lateral e superior do copo com água salgada, óleo e ovo	43

Sumário

INTRODUÇÃO	9
CONTEXTO HISTÓRICO	12
AQUEDUTOS ROMANOS	14
COROA DE ARQUIMEDES	15
TUBOS DE PITOT	16
GRANDEZAS VETORIAIS E ESCALARES	17
PRESSÃO E FORÇA	19
EMPUXO E TEOREMA DE ARQUIMEDES	20
HIDRODINÂMICA	22
TIPOS DE ESCOAMENTO	24
<i>ESCOAMENTO ESTACIONÁRIO</i>	24
<i>ESCOAMENTO TURBULENTO</i>	24
<i>Vazão</i>	24
EQUAÇÃO DE BERNOULLI	24
APLICAÇÕES PRÁTICAS	27
<i>ALTURA DA CAIXA D'ÁGUA E PRESSÃO NA TORNEIRA OU CHUVEIRO</i>	27
<i>POR QUE É FÁCIL MARTELAR UM PREGO EM OBJETOS RÍGIDOS?</i>	31
ELABORAÇÃO DE EXPERIMENTOS DIDÁTICOS	33
PRIMEIRO EXPERIMENTO: ÁGUA “ANTI GRAVIDADE”	33
<i>OBJETOS UTILIZADOS</i>	33
<i>IMAGENS EXPERIMENTAIS</i>	34
<i>EXPLICAÇÃO TEÓRICA</i>	36
SEGUNDO EXPERIMENTO: LÍQUIDOS E DENSIDADES EM SITUAÇÕES DISTINTAS	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

Introdução

Durante todo o trajeto de graduação do curso de Licenciatura Plena em Física, na Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-Goiás), existe uma rigorosa e ampla bagagem de conhecimentos relacionados às metodologias no ensino e com ênfase nas práticas pedagógicas aplicadas em sala de aula. Este, sem dúvida, é o ponto nevrálgico da fundamentação teórica que sustenta toda a matriz curricular da universidade, tornando-a humanizada e comprometida com a reestruturação e ressignificação formativa de seus alunos. Compreender também a forma de pensar e agir dentro de sala de aula como futuros professores faz parte do *script* da instituição para com seus alunos. Sendo assim, o seu grande diferencial formador está justamente atrelado ao olhar mais sensível e empático no que diz respeito às dificuldades mundanas e suas possíveis implicações na educação.

Desde os primeiros períodos do curso existe um rigor teórico e filosófico em todas as abordagens feitas em sala. Sejam em disciplinas específicas do curso como Geometria Analítica, Cálculo Diferencial e Integral ou também nas consideradas “formação em humanidades”. Desta forma o tratamento feito em relação ao papel do professor para com o aluno no que tange aos métodos convencionais e tradicionais do ensino passa a ser mais delicado e pedagógico. A grande questão é compreender o que significa ser “pedagógico”. Seguindo por este viés

“Detalhadamente, estabeleceu-se que trabalho pedagógico seria a produção do conhecimento em aula, tanto dos professores, quanto dos estudantes. Mas vai além. Considera-se, ainda, que a produção do conhecimento pressupõe envolvimento e participação política em todos os momentos escolares, além de intenso imbricamento, comprometimento e responsabilidade com o projeto pedagógico institucional. Trata-se, pois, de um movimento dialético entre o individual e o coletivo: entre o que os professores concebem seu projeto pedagógico individual, e o que a escola, comunidade articulada, estabeleceu em seu projeto pedagógico institucional em consonância com o contexto histórico, social, político, econômico.” (FERREIRA, 2018, p. 594).

Sendo assim, fica evidente que o saber pedagógico está devidamente presente nas escolas e universidades. No entanto, existem diversas maneiras de se aprender determinado conteúdo e/ou disciplina. Pensar que história, filosofia e/ou sociologia não são necessárias no decorrer da trajetória acadêmica de um aluno é se ater apenas aos conhecimentos cognoscíveis e inatos a determinado grupo. Isso está diametralmente oposto ao que foi dito por Polanyi (2010) em seu livro:

“No entanto, eu, pelo contrário, vejo antes a psicologia da forma (Gestalt) como resultado da conformação ativa da experiência que acontece na procura do conhecimento. Digo que esta conformação ou integração corresponde ao importante e indispensável poder tácito pelo qual todo o conhecimento é descoberto e, uma vez descoberto, é acreditado como sendo verdadeiro.” (POLANYI, 2010, p. 17).

Partindo deste ponto há uma questão crucial a ser pensada. Decerto existe uma dicotomia entre o que Polanyi (2010) chamou de saber tácito com o saber pedagógico. Indubitavelmente faz-se necessária uma análise na subjacência de ambos para que haja a verdadeira compreensão de seus significados.

Estudar física é como estudar a vida. Todos os dias coisas novas estão sendo descobertas e/ou aprimoradas. Esta é uma área abrangente o suficiente para conter uma demasiada gama de conteúdos e conhecimentos inerentes à vida humana. As observações feitas e repassadas geração após geração fazem com que esta, a física, seja uma disciplina belíssima e desafiadora no que concerne ao seio educacional brasileiro. No entanto, aprender física tem sido, e poderá continuar sendo, uma tarefa complexa aos olhos da maioria da população global. Entretanto, aqueles que se permitem deixar conhecer este ramo educacional, estará submetido a uma formação muito mais completa e rica em termos de conhecimento. Logo, aqueles que creem na sua incapacidade em aprender esta disciplina não gozarão de uma parte majestosa e promissora dos conhecimentos cognoscíveis ao homem.

O principal ponto deste trabalho é trazer à tona as facetas e utilidades da hidrostática e hidrodinâmica e suas implicações no cotidiano. Sejam em pequenos experimentos feitos em casa ou até mesmo nos estudos em grandes universidades. A Hidrodinâmica é uma disciplina de caráter formativo que se expande de maneira tácita ao longo da vida. As crianças, por exemplo, desde pequenas aprendem onde devem fazer suas necessidades sanitárias e que não podem jogar comida dentro da pia da cozinha, pois poderão interromper o fluxo de águas nos canos hidráulicos. Nas escolas aprendem sobre as usinas hidrelétricas, as quais são as grandes fornecedoras de energia elétrica em todo o Brasil. De acordo com Goldemberg e Lucon (2007) tem-se que:

“A geração de Eletricidade no Brasil cresceu a uma taxa média anual de 4,2% entre 1980 e 2002. Sempre a energia hidráulica foi dominante, uma vez que o Brasil é um dos países mais ricos do mundo em recursos hídricos. Por sua vez, é modesta a contribuição do carvão, já que o país dispõe de poucas reservas e elas são de baixa qualidade. A capacidade instalada de hidroeletricidade é de cerca de 70.000 megawatts (MW, milhões de watts) e existem 433 usinas hidrelétricas em operação”. (GOLDEMBERG e LUCON, 2007, p. 9).

A hidrostática traz consigo um peso um tanto quanto intrigante. Imagine saber coisas como é o funcionamento do vaso sanitário de sua casa; como a água chega às torneiras da pia de sua cozinha e/ou nas oficinas mecânicas espalhadas por todo o território nacional; e até mesmo como a água chega às grandes usinas hidrelétricas. Aqueles que detém o conhecimento nestas áreas podem estar acima de um número considerável de pessoas no que tange ao conhecimento mundano. Ou seja, aprender tais conteúdos pode não ser apenas um diferencial, mas também de certa forma uma libertação. Sendo assim, o caráter democrático do ensino de física pode e deve ser questionado neste ponto uma vez que poucas são as pessoas interessadas nesses assuntos. Talvez, porque este assunto geralmente seja tratado de maneira superficial e às vezes nem é visto nas aulas de física. Portanto, a grande questão é: A educação falhou com o mundo ou o mundo falhou com a educação? Responder isso certamente é algo complicado e não deve ser pensado de maneira superficial. Uma análise na subjacência da pergunta é necessária, pois, somente assim, obter-se-á uma resposta mais passível de proximidade com a realidade do dia a dia.

Contexto Histórico

A importância de usar fatos históricos no ensino de física nos parece ser bem aceita por parte dos professores, mas ao mesmo tempo, frequentemente não se percebe aplicações desta metodologia nas salas de aula do Ensino Médio. Fato que pode ser percebido em:

A necessidade de incorporação de elementos históricos e filosóficos no ensino médio chega a ser praticamente consensual, o que passou a orientar currículos de parcela significativa das licenciaturas. No entanto, os professores do nível médio dificilmente incorporam esse tipo de conhecimento em suas práticas. (MARTINS, 2007, p. 112)

Em geral o estudo de qualquer disciplina (seja matemática, biologia, física etc.) vem carregado de teorias e conceitos adjacentes à matéria em questão, tais como os fatos históricos relacionados estas disciplinas. Em muitos casos, estes fatos históricos são usados apenas como fator de motivação no estudo de determinados conteúdos, sendo que, em determinadas situações, as discussões históricas deixam de se basear em fatos e baseiam-se em mitos. Falando mais especificamente da física pode-se intuir que praticamente todo aluno já estudou ou pelo menos ouviu falar da lendária “maçã de Newton” relacionada aos conceitos de gravitação. Entretanto, este não deve ser o único papel da história no ensino de ciências como um todo, e em específico no ensino de física.

Em sintonia com esta colocação, Martins (2007) faz a seguinte afirmação, a respeito do uso História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino:

Mesma quando pensada em termos de conteúdo, é algo a ser acrescentado, quase como uma *introdução aos assuntos* e temas “regulares” do currículo. Como estratégia, limita-se praticamente ao aspecto motivacional, visando despertar o interesse dos alunos para – novamente – os assuntos “regulares”. Os próprios professores não parecem levar muito a sério a perspectiva de *aprender Física* com a HFC. Mas como “ilustração”, sabemos que ela dificilmente cumpre o seu papel. (MARTINS, 2007, p. 128, grifos do autor).

A história carrega todo o passado, ou melhor, a construção dos problemas e toda sua complexidade até se chegar aos dias atuais. Logo, o educador que sabe, de maneira magistral, trazer aos seus alunos a física e, não obstante, agregar a ela toda sua história dará um enorme presente aos alunos, uma nova perspectiva que há muito tempo deixou de ser ensinada em livros didáticos.

A partir desta análise pode-se entender que o papel da história na educação transcende a questão dos fatos simplesmente. A história é como uma máquina do tempo, que consegue resgatar todas as dificuldades, sofrimentos e alegrias de momentos distantes. Sendo assim, seu papel neste trabalho seguirá por esta linha de raciocínio, como diz Boff e Barros (2014):

“Infere-se que a dificuldade do aprendizado possa ser solucionada mostrando aos estudantes, por meio de discussões abertas, conhecimentos construídos pelo homem ao longo de sua história, como as questões foram respondidas ao longo dos tempos e os caminhos percorridos para sua solução, criando uma situação mais propícia para que os alunos possam contextualizar os conceitos estudados, bem como suas angústias, preocupações, dificuldades e certezas.” (BOFF e BARROS, 2014).

Ou seja, a história tem como papel fundamental elucidar as dúvidas dos alunos mais curiosos e criar a curiosidade naqueles que não possuem tanta afeição pela disciplina. Logo, torna-se indiscutível o papel da história para com o ensino de física nas escolas de todo o Brasil.

Essas discussões podem justificar a importância de introdução de fatos históricos na formação dos professores, mesmo sabendo-se que a introdução desses fatos históricos, por si só, não garante sua utilização de maneira adequada em salas de aula da educação básica.

Assim, a HFC surge como uma *necessidade formativa do professor*, na medida em que pode contribuir para: evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compreensão mais refinada dos aspectos envolvendo o processo de ensino aprendizagem da ciência; proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula. [...] No entanto, a simples consideração de elementos históricos e filosóficos na formação inicial de professores das áreas das científicas – ainda que feita com qualidade – não garante a inserção desses conhecimentos nas salas de aula do ensino básico, tampouco uma reflexão mais aprofundada, por parte dos professores, do papel da HFC para o campo da didática das ciências. As principais dificuldades surgem quando pensamos na *utilização* da HFC para fins didáticos, ou seja, quando passamos dos cursos de formação inicial para o contexto aplicado do ensino e aprendizagem das ciências. (MARTINS, 2007, p. 115. Grifos do autor)

Neste sentido, como recurso didático para a compreensão futura do que será trabalhado ao longo desta monografia, parte deste trabalho é relatar um pouco da história da hidrostática e hidrodinâmica.

Aquedutos Romanos

Roma sempre foi um símbolo de força e conhecimento. E quando o assunto é água, ela ainda continua uma referência. A cidade de Roma é conhecida por sua engenhosa arquitetura e suas demasiadas construções complexas, que perduram há vários séculos, intactas, deixando qualquer arquiteto e/ou engenheiro impressionado. Não obstante, por volta do ano 315 a.C. foi construído o primeiro aqueduto em Roma. Sua funcionalidade, para a época, era bastante engenhosa. A gravidade fazia a maior parte do trabalho, sendo que a cada 90 m havia uma depressão de cerca de 30 cm para que a água continuasse seu fluxo normal. Os aquedutos, em sua grande maioria eram construídos próximos a montanhas, por dois motivos: pela altitude e para aproveitar o degelo que ocorria no entorno delas. Sendo assim, a partir do momento da criação destes aquedutos Roma prosperou, mesmo em períodos de escassez hídrica.

Figura 1: Aqueduto Romano



Fonte: https://assetsnffrgf-a.akamaihd.net/assets/m/102014404/univ/art/102014404_univ_lsr_xl.jpg. Acessado em: 09 de setembro de 2021. Imagem livre de direitos autorais.

Um período curioso de Roma foi por volta do ano 35 d.C., quando o então imperador romano, *Tibérius Claudius*, precisou se impor e ordenar a construção de um novo aqueduto na então mais populosa localidade do planeta: Roma. Seu trabalho foi ardiloso, porém, compensatório. Seu posto dependia da aprovação popular, logo, o fez com rapidez e eficiência, estendendo seu “mandato” até sua morte, em 54 d.C.

Coroa de Arquimedes

Muitos já devem ter ouvido falar da coroa de Arquimedes. Um acontecimento controverso que intrigou a muitos, inclusive o grande matemático Galileu Galilei, que não acreditava nesta façanha feita por um dos, senão o maior, matemático, engenheiro e físico de todos os tempos. Arquimedes nasceu na cidade de Siracusa, na Sicília, por volta do ano de 287 a.C., e morreu por volta do ano de 212 a.C. Arquimedes era tão brilhante em suas facetas que o então rei da época, Hierão, pediu-lhe um favor. Pediu que verificasse a composição de sua coroa, temendo ser esta feita não completamente de ouro, como fora dito. O que diz a lenda é que Arquimedes estava dentro de uma banheira com a coroa em mãos e a partir daí ele mergulhou a coroa e notou que ao fazer isso a água subia para mais perto da borda da banheira. A partir daí surgiu então, segundo a história, o teorema do empuxo de Arquimedes, que será melhor trabalho posteriormente em um tópico específico desta monografia.

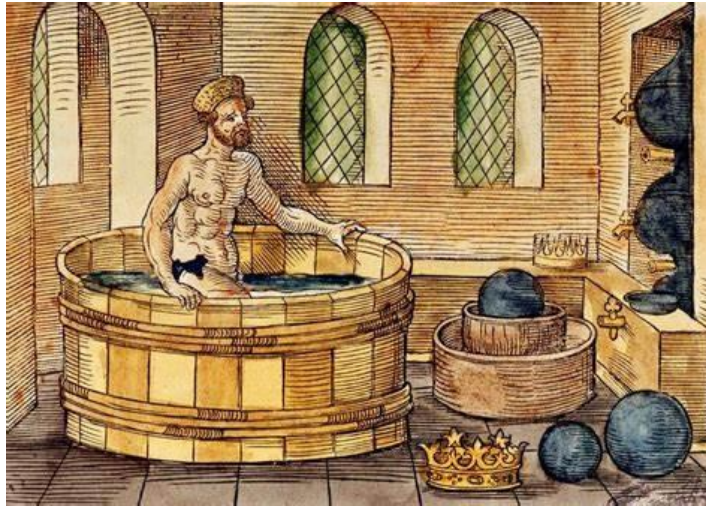
Devido à falta de documentos da época que pudessem esclarecer o que realmente ocorreu, temos vários questionamentos em relação à metodologia usada por Arquimedes, na qual envolvia medidas de líquido derramado. Inclusive questionamentos feitos por Galileo Galilei. Segundo Martins (2000)

Esta história, relatada pela primeira vez por Vitruvius, é repetida constantemente em livros didáticos e em salas de aula. Esse método atribuído a Arquimedes não seria, no entanto, adequado, por causa dos erros introduzidos pela tensão superficial do líquido. Galileo já suspeitava que Arquimedes teria utilizado outro método, empregando pesagens (balança hidrostática) e não medidas de líquido derramado. (MARTINS, 2000. P. 115).

O uso de história no ensino deve ser feito com muito cuidado. É importante discutir o contexto da época e principalmente a falta de documentação adequada. Mesmo com estas questões, acreditamos no valor dos fatos ou lendas históricas na facilitação da aprendizagem.

A ideia nesse momento é mostrar o que em geral se conhece da história da hidrostática a partir de exemplos corriqueiros, e então, por meio deles, construir uma ponte entre o saber comum e o científico. A Figura 2 é meramente ilustrativa, e representa a situação aqui comentada.

Figura 2: Representação de Arquimedes e a coroa do rei Hierão



Fonte: <http://2.bp.blogspot.com/-K53YqxLKclU/UJfa7TaHW-I/AAAAAAAAACzI/N4WusgIuMCM/s1600/Blog+do+Iba+Mendes+-+Eureka.jpg>. Acessado em 09 de setembro de 2021. Imagem livre de direitos autorais.

Tubos de Pitot

Lançando mão de um exemplo que prevalece até os dias de hoje, seja na parte hidráulica ou aerodinâmica, os tubos de Pitot são amplamente utilizados. A aviação é uma das áreas que mais foram beneficiadas por esse instrumento, cujo funcionamento básico se explica pela dinâmica de fluidos.

O tubo de Pitot é um instrumento capaz de medir a velocidade de fluidos a partir de modelos matemáticos feitos em laboratórios. Outra aplicação direta está atrelada à medição da vazão de represas, rios e redes de abastecimento de água em geral.

Henri Pitot foi um físico hidráulico que nasceu no ano de 1695, na França, e contribuiu largamente para o desenvolvimento tecnológico de aviões que atualmente utilizam dessa tecnologia. Com o tubo de Pitot a aviação se tornou muito mais segura, visto que para o piloto de uma aeronave o conhecimento sobre o valor da velocidade desta é fundamental para um voo controlado. A Figura 3 ilustra esquematicamente um tubo de Pitot.

Figura 3: Tubo de Pitot



Fonte: http://2.bp.blogspot.com/-OE090tn_2bQ/TbL4Cqd1HQI/AAAAAAAAACFo/tRgugiFicEY/w1200-h630-p-k-no-nu/pitot-tube+0.jpg. Acessado em 09 de setembro de 2021. Imagem livre de direitos autorais.

A partir do que foi comentado pode-se entender a importância e amplitude do tema proposto neste trabalho. Em poucos exemplos foi possível verificar a aplicação e presença de tecnologias atuais, que ao serem criadas, tornaram-se revolucionárias para seu tempo. Um dos objetivos deste trabalho é justamente mostrar a relevância deste tema no cotidiano e tentar despertar o interesse em nossos jovens alunos.

Grandezas Vetoriais e Escalares

O estudo da matemática, de modo geral, traz consigo conceitos que sempre remetem a problemas cotidianos. No entanto, ao se adentrar o mundo da física conceitos cada vez menos tangíveis e abstratos passam a vigorar frente aos desafios inerentes a ela. Uma das ideias mais difundidas na área das ciências exatas, em específico da física, é a diferença entre grandezas vetoriais e grandezas escalares. Este tópico, sem dúvida, permeia a mente de todo estudante de ciências exatas, em sua trajetória do ensino médio ao universitário.

Conforme Steinbruch e Winterle:

“Existem dois tipos de grandezas: as escalares e as vetoriais. As escalares são aquelas que ficam completamente definidas por apenas um número real

(acompanhado de uma unidade adequada). Comprimento, área, volume, massa, temperatura, densidade, são exemplos de grandezas escalares [...]. Existem, no entanto, grandezas que não são completamente definidas apenas por seu módulo, ou seja, pelo número com sua unidade correspondente. Falamos das grandezas vetoriais, que, para serem perfeitamente caracterizadas, necessitamos conhecer seu módulo (ou comprimento ou intensidade), sua direção e seu sentido. Força, velocidade, aceleração, são exemplos de grandezas vetoriais.” (STEINBRUCH e WINTERLE, 2000).

A partir do que foi supramencionado fica clara a necessidade de se compreender a grande diferença entre ambos os tipos de grandezas, uma vez que suas aparições serão constantes ao longo deste trabalho, bem como durante todo o processo de aprendizagem de diversos conteúdos matemáticos e físicos de um aluno.

Um grande desafio para qualquer educador ao se transmitir esse tipo de conceito está atrelado, principalmente, ao fato da não tangibilidade. Um vetor não pode ser estocado ou pego em mãos. Sua característica fundamental é a representação feita universalmente através de uma seta. No entanto, apresentar isso para um aluno torna-se uma tarefa laboriosa e exaustiva, porém, necessária. A introdução deste tema pode ser auxiliada por imagens e exemplos do cotidiano, de modo a esclarecer na mente do educando algo que para ele já é conhecido, porém, de outra perspectiva, tal como o deslocamento, grandeza constantemente relacionada ao cotidiano das pessoas e costumeiramente confundida com distância percorrida. O fato de usar conhecimentos já existentes na mente dos alunos para gerar outros conhecimentos pode ser justificado lançando mão do que David Ausubel propõe em sua teoria da aprendizagem significativa: através dos subsunçores já existentes é possível criar um conhecimento na mente do aluno (TAVARES,2004).

Nas próximas seções serão tratados alguns tópicos a fim de esclarecer ao leitor, seja ele estudante de física ou não, o conceito central de algumas importantes definições físicas. Estas definições serão tratadas de maneira mais palpável e próxima à linguagem comum. Ou seja, o foco a partir de agora não é complicar ou carregar matematicamente uma definição (a menos que seja necessário), e sim criar uma ponte para aqueles que buscam compreender de maneira clara e objetiva os tópicos que serão aqui trabalhados, porém, sem perder o rigor científico da física.

Pressão e Força

Ao se trabalhar, nos anos iniciais do ensino médio, o professor de exatas, em especial o de física, pode ter uma grande dificuldade de comunicação com os alunos. Isso pode ocorrer devido ao fato de todos terem experiências de vida diferentes uns dos outros. Ou seja, as perspectivas variadas acabam tornando a precisão de um conceito um trabalho mais complexo do que o normal. Um dos degraus é a diferenciação entre o conceito de pressão e força. Quando perguntados em sala sobre estes conceitos, os alunos costumam usar palavras e afirmações do tipo: “Professor, pressão é quando você está empurrando um carro. Eu estou fazendo pressão no carro.” ou “Professor, a força está relacionada com o movimento de um corpo”. Todas essas afirmações são comuns no dia a dia de uma sala de aula. O grande desafio de um professor é usar as ideias trazidas pelos alunos acerca do tema estudado e juntar com os conceitos estabelecidos a fim de criar um conceito em sua mente. Um erro que um educador pode cometer nesse tipo de situação é, sem dúvida, a afirmação de que a fala do aluno está errada. Isso pode criar, imediatamente, um bloqueio na mente do aluno, fazendo com que ele tenha vergonha e retração em relação à aula. Logo, é importante que o educador tenha cuidado com certas afirmações levianas a fim de zelar pelo prazer e entusiasmo do aluno para com a disciplina em questão.

Mas, o que de fato é força e o que é pressão? Pense numa situação hipotética na qual uma pessoa está em um supermercado guardando suas compras dentro de sacolas. Para impressionar os espectadores ao seu redor esta pessoa tenta pegar o máximo de sacolas possíveis ao mesmo tempo. Apesar da dor em suas mãos ela resiste o quanto pode. Ao guardar as sacolas em seu carro percebe que suas mãos ficaram marcadas e avermelhadas, decorrente do “peso” presente nas sacolas. Se esta pessoa fosse um professor de física ou um aluno curioso teria mais chances de não se desgastar tanto.

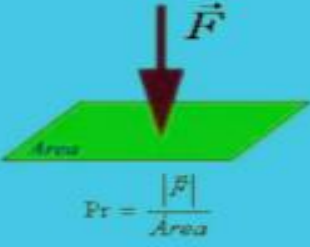
Nesta situação hipotética o conceito de pressão está totalmente atrelado ao de força, de acordo com a Figura 4.

Figura 4: Relação Força x Pressão

PRESSÃO

- É a força a que um objeto está sujeito, dividida pela área (a) da superfície sobre a qual a força age. Definimos que a força age perpendicularmente à superfície (área).

$P = \text{Pressão (Pa)}$;
 $F = \text{Força (N)}$;
 $A = \text{Área (m}^2\text{)}$

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


Pressão é uma grandeza escalar que no SI é dada em newton/m² = pascal (Pa)

Fonte: os autores

Ao se definir a pressão entende-se que ela é razão entre o **módulo** da força normal à superfície e a área da seção transversal em questão. Em outras palavras, seria o mesmo que dividir a intensidade da força pelo valor da área de aplicação desta força. Retomando o exemplo do supermercado, seria mais fácil de se carregar muitas sacolas caso suas alças fossem mais largas, aumentando a área de contato com as mãos e, por conseguinte, diminuindo a pressão. Perceba então que força e pressão estão relacionadas, porém, são dois conceitos diferentes. A força diz respeito mais àquilo que tem a capacidade de retirar um corpo da inércia. Ou seja, força é uma grandeza vetorial, uma vez que alguém pode fazer uma força para cima, para os lados, na direção vertical ou horizontal. Enquanto isso, a pressão é uma grandeza escalar, pois fica perfeitamente definida com o valor da razão entre o módulo da força normal e a área, que também é outra grandeza escalar.

A partir daqui o aluno começa a ter uma visão mais clara de ambos os conceitos e começa a definir, partindo do pressuposto que ele saiba a diferença entre grandezas vetoriais e escalares, seus próprios conceitos lançando mão ao que foi apresentado pelo professor e o conhecimento trazido por ele próprio para dentro de sala.

Empuxo e Teorema de Arquimedes

O teorema ou princípio de Arquimedes é um dos princípios mais conhecidos na física. Isso se dá devido a diversos fatores, mas assim como a *maçã de Newton*, existe um mito por

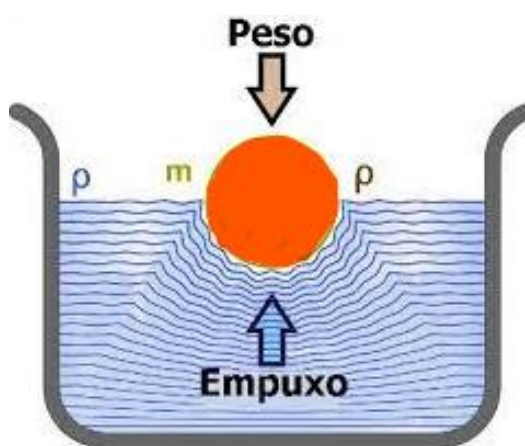
trás desta descoberta. A coroa do rei Hierão, entregue à Arquimedes, é amplamente discutida dentro de sala de aula. Na verdade, geralmente o primeiro contato que todo aluno tem com essa parte da física é justamente através dessa história, mencionada anteriormente no corpo deste trabalho. A grande questão aqui a se pensar é a relação de tal princípio com o cotidiano de um aluno que estuda a física ou de qualquer outra pessoa, seja ela aluna ou não.

Partindo desse pressuposto, imagine uma situação em que uma criança se encontra em frente à uma piscina. Sua primeira reação instintiva é pular dentro dela. No entanto, a mãe dessa criança está por perto e a aconselha a usar uma boia salva-vidas. Apesar de não gostar muito da ideia a criança as usa mesmo assim. Agora perceba, neste simples exemplo foi aplicado o princípio de Arquimedes de maneira prática. Mas o que de fato é este princípio?

O teorema do **empuxo**, conhecido também como princípio de Arquimedes traz consigo a noção de peso, fluido e deslocamento, todos ligados de maneira sinérgica. Em outras palavras, o empuxo tem uma relação direta com o *peso do fluido deslocado pelo corpo*. Ao dizer tal frase dentro de sala a mente de um jovem aluno pode ficar confusa. Porém, este conceito pode ficar mais claro para o aluno, com o uso da linguagem matemática

Imagina uma segunda situação em que uma esfera maciça é mergulhada dentro de um recipiente contendo água. No momento em que a esfera é colocada dentro do recipiente percebe-se que ela não afunda completamente, apenas uma parte fica submersa e a outra fica exposta à superfície. A figura 5 ilustra bem este exemplo.

Figura 5: Esfera maciça na água



Fonte: os autores

A primeira coisa que pode passar na mente de um aluno ao ser indagado o porquê de isso acontecer é que seria devido ao peso da esfera ser muito pequeno. Aqui novamente está presente uma situação perigosa nas mãos do professor. Dizer que o aluno está completamente

errado pode ser prejudicial, segundo Ausubel (1963), para o desenvolvimento e armazenamento de ideias futuras para o aluno. Sendo assim, é importante ter cuidado com certas afirmações a partir daqui. O empuxo é uma **força** de direção vertical, e sentido para cima. Perceba a importância dos conhecimentos relacionados a vetores neste ponto. Além disso, o empuxo é uma força que está sempre presente no dia a dia de alguém, pois vale lembrar, o ar também é um fluido. Porém, o empuxo do ar é tão pequeno em situações corriqueiras que se torna desprezível sua participação neste caso.

Recapitulando o exemplo da piscina, quando a criança entrou na água com sua boia foi imediatamente jogado para a superfície. No momento em que o corpo da criança perfura a superfície da água há uma troca de espaços. A água que antes tinha seu lugar definido o perdeu para o corpo da criança. Não obstante, a água tenta retomar seu estado (lugar) original, expulsando o corpo da criança dali. É a partir deste instante que o empuxo passa a exercer grande papel. Sua relação matemática pode ser expressa por

$$E = \rho V g, \quad (1)$$

Onde E é o módulo da força de empuxo, ρ é a densidade do fluido, V é o volume submerso do corpo e g é o módulo da aceleração da gravidade.

Com base nisso pode-se inferir que o empuxo é uma força que só existe quando há contato de um determinado corpo com um fluido. Nesse exemplo, a criança e a água. Logo, à medida que a criança afunda mais o seu corpo na água maior será a força de empuxo, visto que V aumenta.

Neste ponto cabe distinguir a diferença entre os conceitos de pressão e empuxo. A pressão é uma grandeza escalar, que varia com a profundidade. Ou seja, quanto mais profundo estiver um corpo em um fluido maior será a pressão exercida sobre este corpo. Já a intensidade da força de empuxo em um corpo não é dependente da profundidade, mas sim do volume submerso deste corpo.

Hidrodinâmica

As pessoas costumam usar água no seu dia a dia durante toda a sua vida. No entanto, quase nunca pensam no funcionamento da distribuição desta água. Em geral, quando se tem a quebra de algum encanamento e/ou entupimento de uma pia, por exemplo, esta pessoa passa a ter interesse em compreender a mecânica por trás de tudo isso.

Partindo dessa ideia, nesta seção abordaremos explicações mais teóricas relacionadas ao conceito da hidrodinâmica. Pois, diferentemente da hidrostática este é um tópico mais completo e que se aproxima ao cotidiano de uma pessoa.

A hidrodinâmica é conhecida como dinâmica dos fluidos. Nesta parte da física são estudados os movimentos dos fluidos em geral (perfeitos ou reais), como gases e líquidos. É a partir daqui que também será inserido um novo conceito extremamente importante: a chamada *equação de Bernoulli*, que fundamenta o estudo da hidrodinâmica.

Neste tópico do trabalho serão introduzidos conceitos primordiais da hidrodinâmica como: o conceito de escoamento, os tipos de escoamento, o conceito de vazão, e por fim, a demonstração da equação de Bernoulli. O interesse será manter o foco voltado aos alunos que se interessem por este tópico e aos educadores que já lecionam esta disciplina. Ou seja, o carregamento matemático será deixado de lado a fim de impactar o maior número de pessoas, sejam elas leigas ou mestres no assunto.

Tipos de Escoamento

Escoamento Estacionário – é comumente chamado de escoamento laminar. O escoamento estacionário pode ser visto quando a velocidade de escoamento de um determinado fluido é muito pequena, ou seja, quando sua velocidade de escoamento for constante em todos os pontos da trajetória. Tem-se como exemplos o escoar de um rio com águas calmas, ou então, a irrigação em uma plantação. Estes dois casos podem ser facilmente encontrados por donos de lavouras ou pessoas que vivem às margens de rios ou lagos.

Escoamento Turbulento – nesse tipo de escoamento acontece exatamente o oposto do caso anterior. As velocidades aqui variam conforme o tempo passa. Ou seja, as velocidades são diferentes se olhadas em um mesmo ponto. Exemplos como rios de águas turbulentas, cachoeiras, usinas hidrelétricas, entre outros, podem mostrar este caso de maneira clara.

Vazão

A vazão, Q , é o volume de fluido ΔV que atravessa uma seção reta A por intervalo de tempo Δt . Em termos matemáticos tem-se que:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} . \quad (2)$$

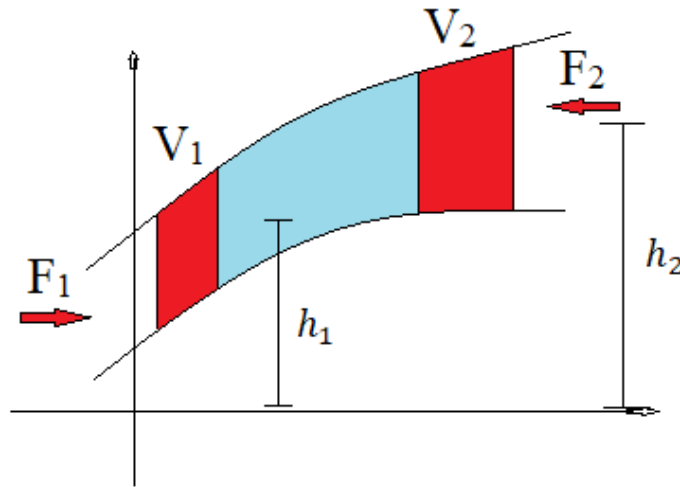
Apesar de ser um conceito aparentemente simples, sua aplicação se estende de maneira abrangente. Usinas hidrelétricas, indústrias, e diversas empresas utilizam este conceito constantemente. Sua aplicabilidade é direta na vida de milhões de pessoas, sendo assim, seu estudo é de grande importância para a população em geral.

Equação de Bernoulli

A equação de Daniel Bernoulli é amplamente utilizada no dia a dia. Sua importância para o desenvolvimento tecnológico é incomensurável. Desde sua descoberta vem abrindo portas para novas descobertas e criações, como por exemplo, os tubos de Pitot, anteriormente citados.

A seguir será apresentada a demonstração da equação de Bernoulli, de maneira objetiva e ilustrativa. A Figura 6 ilustra um fluido com uma vazão constante ao longo de um tubo.

Figura 6: Tubo de Bernoulli



Fonte: os autores

Cabe ressaltar que as forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 que aparecem na figura (6) são vetores. As setas representativas de um vetor (\rightarrow) foram deixadas de lado apenas para não sobrecarregar a figura. Além disso $V_1 = v_1$ e $V_2 = v_2$, onde v_1 e v_2 são as velocidades de entrada e saída do fluido, respectivamente, da figura (6).

A equação de Bernoulli pode ser deduzida pela lei da conservação da energia utilizando o teorema do trabalho e energia cinética, ou seja, o trabalho realizado pelas forças que atuam no sistema, τ , é igual à variação da energia cinética do sistema ΔE_c . Assim

$$\tau = \Delta E_c. \quad (3)$$

Note conforme ilustrado na Figura 6 que as forças que atuam no sistema são: a força peso \vec{P} e as forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 . Assim temos um trabalho τ_1 relativo à força \vec{F}_1 , um trabalho τ_2 relativo à força \vec{F}_2 e um trabalho τ_p relativo à força \vec{P} . Assim, a Eq. (3) fica

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_p = E_2 - E_1$$

onde E_2 é a energia cinética da massa de fluido Δm que se desloca na região 2 e E_1 é a energia cinética da massa Δm de fluido que se desloca na região 1. A variação da energia cinética é uma consequência da variação da velocidade do fluido entre as extremidades do tubo. Assim

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_p = \frac{\Delta m v_2^2}{2} - \frac{\Delta m v_1^2}{2}. \quad (4)$$

Usando a definição do trabalho realizado por uma força constante, isto é $\tau = \vec{F} \cdot \vec{d} = Fd \cos(\theta)$, tem-se

$$\tau_1 = F_1 d_1 \cos(0^\circ) = (p_1 A_1) d_1 = p_1 (A_1 d_1) = p_1 \Delta V, \quad (5)$$

e analogamente

$$\tau_2 = p_2 \Delta V. \quad (6)$$

Onde

- $A = \text{Área de seção transversal de entrada e saída do fluido};$
- $p = \text{Pressão exercida nos pontos de entrada e saída do tubo};$
- $d = \text{Deslocamento do fluido ao longo do tubo};$
- $V = \text{volume do fluido}$

Já o trabalho τ_p é o trabalho realizado pela força gravitacional sobre o fluido de massa Δm durante o seu deslocamento. Assim

$$\tau_p = -(\Delta m)g\Delta h = -\Delta mg(h_2 - h_1), \quad (7)$$

sendo que o sinal negativo nesta última equação se justifica pelo fato de a força gravitacional atuar em sentido contrário ao movimento de subida da massa Δm . Com os resultados das Eqs. (5), (6) e (7), a Eq. (4) fica

$$p_1 \Delta V + p_2 \Delta V - \Delta mg(h_2 - h_1) = \frac{\Delta m v_2^2}{2} - \frac{\Delta m v_1^2}{2}$$

Quando se trata do estudo de fluidos é sempre muito conveniente utilizar a densidade do fluido ao invés de utilizar valores de massa ou volume, visto que a densidade de um fluido é uma constante que o caracteriza muito bem. Sabe-se que a densidade ρ de um fluido é $\rho = \Delta m / \Delta V$, assim a massa Δm pode ser expressa como $\Delta m = \rho \Delta V$, e a última equação fica

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

Note que nesta última equação a quantidade ΔV está em todos os termos, podendo, então, ser simplificada. Rearranjando esta última equação de forma que todos os termos com índice 1 fiquem do lado esquerdo da igualdade e todos os termos com índice 2 fiquem do lado direito da igualdade, temos finalmente a equação de Bernoulli

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

Aplicações Práticas

Altura da caixa d'água e pressão na torneira ou chuveiro

A grande maioria das casas que são projetadas no Brasil possuem bons abastecimentos de água, encanamentos adequados e ainda arquitetos e engenheiros qualificados por trás dos projetos. No entanto, em muitos casos pode ocorrer um problema comum da não distribuição correta de pressão em torneiras e/ou chuveiros de uma residência. Este é um dos exemplos mais conhecidos no ramo da hidrostática e da hidrodinâmica, que pode afetar você ou qualquer outra pessoa, uma vez que nem todas as residências ou construções são planejadas da maneira correta.

Muitas pessoas podem pensar, de maneira superficial, e intuir que quanto maior for a caixa d'água maior será sua pressão. Isto está parcialmente correto. No entanto, a maior parte do trabalho feito é pela energia potencial gravitacional. E neste caso, dependerá da altura em que se encontra a caixa d'água em relação à saída de água, seja um chuveiro ou a torneira de uma pia. A recomendação é que essa diferença de altura seja, no mínimo, de 1,0 m a 1,5m. Logo, se em sua residência a pressão de água está muito baixa nas torneiras e/ou chuveiros é fortemente recomendado verificar a altura em que sua caixa d'água se encontra em relação às saídas d'água.

As figuras 7 e 8 ilustram uma situação real, onde foram coletados os seguintes dados:

A_1 = Altura do chão à caixa d'água

A_2 = Altura do chuveiro à caixa d'água

D_1 = Distância horizontal da caixa d'água ao chuveiro

D_2 = Distância real¹ da caixa d'água ao chuveiro

$A_1 = 4,50\text{m}$

$A_2 = 1,80\text{m}$

$D_1 = 4,30\text{m}$

$D_2 = 4,66\text{m}$

¹ A distância chamada de “real” nesta situação faz referência à hipotenusa obtida através do triângulo retângulo formado na figura 9.

Figura 7: Vista inferior de uma caixa d'água



Fonte: os autores

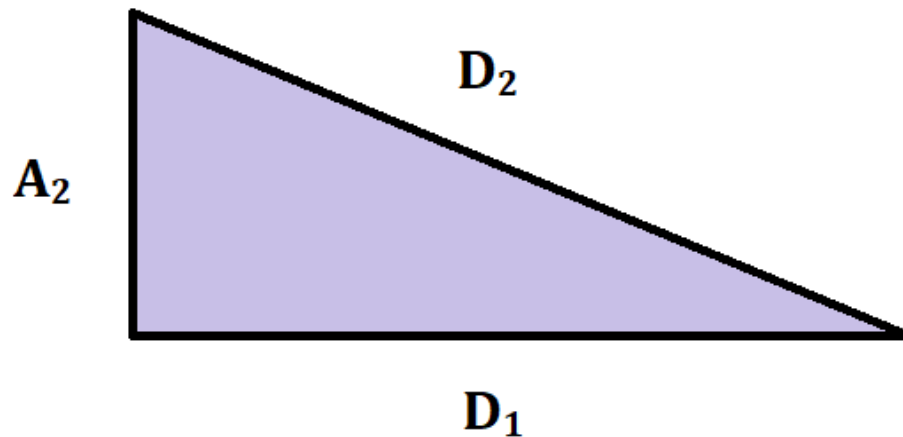
Figura 8: Vista frontal a partir do chuveiro em direção à caixa d'água



Fonte: os autores

As figuras 7 e 8 trouxeram um exemplo prático da aplicação do que foi proposto anteriormente. Há uma relação entre a altura e a distância entre os dois pontos citados fazendo com que haja um fluxo de água satisfatório. Na figura 9 pode ser observado o triângulo “imaginário” formado entre a caixa d'água e o chuveiro.

Figura 9: Esboço do triângulo formado entre a caixa d'água e o chuveiro



Fonte: os autores

O cálculo do valor de D_2 pode ser feito utilizando-se o teorema de Pitágoras, mostrado na equação (8)

$$D_2^2 = D_1^2 + A_2^2 \quad (8)$$

A partir disso o que pode ser aferido é que quanto mais distante estiver um determinado ponto em relação à caixa d'água, maior deverá ser a altura dela em relação ao ponto em questão. Com base nisso uma dúvida pode surgir: existe diferença entre pessoas que moram em casas para pessoas que moram em prédios e apartamentos? Sim, existe uma diferença. Existem prédios onde as caixas d'água são mais próximas ao chão. Porém, há aqueles que fazem o oposto, colocam suas caixas d'água nos terraços dos prédios. O mais indicado é verificar o projeto que foi implantado no edifício. Existem bombas pressurizadoras como a apresentada na figura 10 que ajudam a aumentar a pressão de água que será fornecida aos moradores. Este problema pode ser resolvido caso as caixas d'água sejam colocadas no terraço. No entanto, cria-se outro problema, a sobrecarga. Logo, o mais aconselhável é sempre consultar um engenheiro licenciado e de sua confiança para verificar qual será a melhor opção.

Figura 10: Modelo de bomba pressurizadora



Fonte: <https://img.lojadomecanico.com.br/IMAGENS/33/619/82385/Bomba-Pressurizadora-120W-220V-ferrari-bpf159-1201.JPG>. Acessado em 09 de setembro de 2021. Imagem livre de direitos autorais.

A figura 10 mostra apenas um dos diversos modelos de bombas pressurizadoras que existem no mercado nacional. Sua utilização é indicada após a consulta a um técnico especializado.

No caso de apartamentos em prédios onde a pressão da água é muito forte pode haver um gasto relativamente mais alto do que em casas residenciais. Este fato é explicado justamente pelo conceito de vazão, explicado anteriormente. Como a pressão aumenta mais água passará pela torneira e/ou chuveiro a cada segundo, conseqüentemente, um maior consumo será visto também ao final de um dia ou mês. Portanto, vale ressaltar a necessidade da tomada de medidas simples para que se tenha uma economia de água satisfatória, como por exemplo, fechar torneiras durante a escovação; diminuir a abertura das torneiras ao lavar louças e/ou tomar banho; reutilizar a água que cai do chuveiro com o auxílio de um balde ou bacia; etc.

Por que é fácil martelar um prego em objetos rígidos?

Acredita-se que grande parte dos leitores deste trabalho já pregaram ou ao menos tentaram pregar um prego em sua vida. Muitos podem ter se machucado ao tentar realizar essa tarefa. Apesar de simples existe um conceito muito importante por trás dessa atividade. Como visto no tópico de *pressão e força* a pressão possui grande papel neste caso.

Imagine, por exemplo, que você queira pregar uma porta de seu guarda-roupas ou de sua cômoda que possa estar solta. Nesta atividade você recorrerá ao martelo e aos pregos. Quando a ponta do prego entra em contato com a superfície de contato, madeira por exemplo, aquele exerce uma força de pressão neste que, conseqüentemente, será distribuída ao longo de toda a superfície. Mas o que de fato ajuda na execução é o fato que o prego possui uma ponta afinada. E se você lembrar da relação entre pressão e área certamente entenderá que ao diminuir **área** de contato aumenta-se a **pressão**. Da mesma forma, o diâmetro de um martelo, se comparada ao de um prego, é relativamente maior, o que contribui para que haja uma maior pressão imediatamente após o contato de ambos. Logo, ficará fácil encaixar um prego numa superfície de madeira. É importante lembrar também que existe diversos modelos de pregos, sendo que cada um possui uma finalidade diferente. A figura 11 mostra de perto as dimensões de alguns pregos e de um martelo.

Figura 11: Imagem ilustrativa das dimensões de um prego e um martelo



Fonte: <https://www.fazfacil.com.br/wp-content/uploads/2012/01/20180115-pregos-martelo.jpg>. Acessado em 09 de setembro de 2021. Imagem livre de direitos autorais.

Elaboração de Experimentos Didáticos

A partir deste ponto, ter-se-á, como objetivo precípuo, apresentar, de maneira experimental, conhecimentos relacionados ao conteúdo de hidrostática que poderá ser aplicado dentro ou fora de sala de aula. Além disso, busca-se também uma melhor internalização dos alunos ou leitores em geral após a aplicação deste experimento como recurso didático.

Como o objetivo deste trabalho é atingir o maior público possível serão utilizados materiais de baixo custo e de fácil acesso, facilitando a reprodução *a posteriori* destes experimentos em casa ou dentro de sala de aula.

Primeiro experimento: água “anti gravidade”

O experimento consiste em colocar água em um recipiente (copo de vidro) até sua borda ou preenchê-lo parcialmente. Em seguida, de maneira ágil, o copo deve ser tampado com um pedaço de papel, que deve ser maior que a largura da boca do copo, evitando que entre ar no interior do copo. Em seguida, o copo deve ser virado de “boca” para baixo. Logo após virar o copo, deve-se manter o copo na posição vertical, sem inclinação. O resultado que se espera é que a água presente no copo não caia e fique totalmente “presa” na borda do copo. Porém, algo que poderá ocorrer durante a execução do experimento é que parte da água comece a gotejar para fora do copo. Isso dependerá do tipo de papel que será utilizado. Quanto mais grosso o papel menor será a chance de isso ocorrer. Alguns objetos, como um palito de dente por exemplo, podem ser colocados no copo que está de “boca” para baixo para ver o efeito resultante, que será flutuar até o fundo do copo que está, nesse momento, virado com a boca para baixo. A força gravitacional é vencida pela força de pressão atmosférica e o empuxo realizado pela água. Por conseguinte, o palito subirá ao invés de descer. As figuras (12), (13) e (14) foram obtidas de maneira experimental.

Objetos Utilizados

- Copo de vidro (recipiente uniforme).
- Água.
- Elástico (liga).
- Palito de dente (opcional).
- Pedaço de papel toalha, guardanapo ou folha A4.

Imagens experimentais

Figura 12: Materiais utilizados



Fonte: os autores

Figura 13: Tensão superficial da água em um copo



Fonte: os autores

Como pode ser notado na Fig. 13, devido à tensão superficial da água, forma-se uma superfície de água acima do copo (uma calota). Este excedente deve ser eliminado para que a água não molhe o papel que será colocado em sua boca. Isto pode ser feito passando uma régua nesta camada superior de água até que ela fique totalmente aplainada.

Figura 14: Palito dentro d'água



Fonte: os autores

Este procedimento pode ser feito com papel de folha A4 ou um guardanapo, o mais importante é o modo de execução, que deve ser ágil. Porém, cabe ressaltar que a liga que envolve o papel, como mostrado na Fig. 14, não é a responsável por segurar o papel, e sim a pressão atmosférica na direção vertical e no sentido de baixo para cima. Neste caso a liga foi utilizada devido ao papel em questão, guardanapo, ter ficado com sobras nas laterais do copo, ou seja, sua utilização foi meramente para auxílio visual. Logo, caso haja um papel mais resistente para a execução do experimento a liga poderá ser descartada.

O que se espera, naturalmente, é que a água caia devido à força gravitacional exercida sobre a água que está no interior do copo. No entanto, quando feito da maneira correta o experimento pode surpreender não apenas crianças e jovens, mas também adultos, pois os

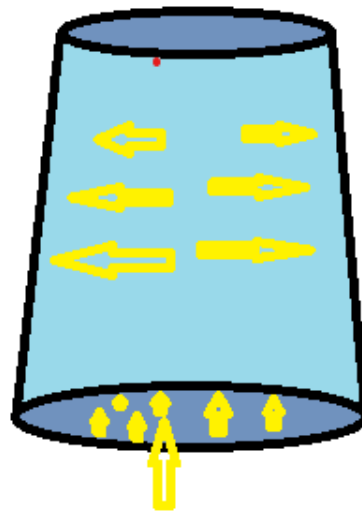
efeitos observados estão distantes do senso comum. Além disso, seu entendimento não é tão simples de ser compreendido.

Explicação teórica

A pressão atmosférica é a grande chave para que o experimento dê certo. Pois é devido a ela que a água não cai do copo quando virado de boca para baixo. O copo quando preenchido até sua borda e tampado com um papel (ou guardanapo) não permite que entre ar em seu interior. Ou seja, toda e qualquer força de pressão que está agindo é a força de pressão atmosférica, que empurra toda a superfície do copo sob um ângulo de 90 graus.

Para que se tenha um melhor entendimento imagine uma caixa dentro de uma piscina completamente cheia. A água que foi substituída pelo espaço tomado pela caixa tenta, a todo momento, retomar o seu antigo lugar. Essa tentativa (força) é o que se denomina “força de pressão”, ou seja, a força que exerce pressão na caixa é uma força *normal* à superfície de contato e que age de maneira gradual. Mas o que significa gradual neste contexto? Nos pontos que estão mais próximos do fundo da piscina a pressão tende a aumentar. A figura 15 ilustra bem o que está acontecendo.

Figura 15: Variação da pressão com a profundidade



Fonte: os autores

Para que se tenha uma noção da grandiosidade da pressão atmosférica, imagine uma coluna de água. Qual deve ser a altura H de uma coluna de água necessária para que a pressão seja igual a 1 atm? Tome por base as considerações feitas a partir da Eq. (9).

$$P_{col} = \rho g H, \quad (9)$$

onde P_{col} é a pressão da coluna de líquido, ρ é a densidade do fluido (água neste caso), g é a aceleração da gravidade e H é altura da coluna de líquido

Note que 1 atm é aproximadamente $10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$, a densidade da água é aproximadamente 1000 Kg/m^3 , e tomando o módulo da aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 , a Eq. (9) fica

$$10^5 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) = 10^3 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 10 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot H \quad (10)$$

$$H = 10 \text{ m.}$$

Pelo resultado obtido usando a Eq. (10) chega-se à conclusão de que a cada 1 atm tem-se uma coluna de água equivalente de 10 m de altura (H). Ou seja, a todo momento é como se você, leitor, estivesse sendo “esmagado” por 10 m de água. Esse é o poder que a pressão atmosférica tem sobre todos os seres vivos. Não obstante, o mesmo acontece com a água contida no copo. Quando submetido à pressão atmosférica a água fica impedida de sair. Tal fato foi confirmado por Longhini e Nardi (2009), a saber:

“Sugerimos colocar um pouco de água em uma garrafa transparente e em uma bacia. Em seguida, essa mesma garrafa é colocada, de ponta cabeça, dentro da bacia. A água que está no recipiente transparente não escoar para baixo para se juntar com a da bacia; pelo contrário, permanece na garrafa. O mesmo resultado foi obtido com o tubo de Berti, na Itália do século XVII, desde que a altura do líquido não ultrapasse dez metros de altura, aproximadamente.” (LONGHINI e NARDI, pp. 13-14, 2009).

Mas uma dúvida que pode surgir é a seguinte: “Professor, mas e se nós tivermos um recipiente hipotético que tenha mais de 10 m de altura e que esteja completamente cheio de água e que nós possamos fazer este experimento também. A água irá cair ou permanecerá imóvel ao virarmos o recipiente de boca para baixo?” Esta, sem dúvida, é uma pergunta intrigante que até o momento não percebi nenhuma discussão acerca do tema, pois os recipientes utilizados neste tipo de experiência chegam a ter no máximo 1 m de comprimento. Ou seja, seria decerto inviável realizar esse mesmo experimento com um recipiente com a proporção de mais de 10 m de comprimento. Mas, de maneira hipotética, provavelmente sim, a água deverá cair assim que a coluna de líquido (água neste caso) for maior que 10 m. Vale lembrar que esse comprimento de 10 m pode variar dependendo da densidade (ρ) de cada fluido. Nesse sentido, para todo fluido cuja densidade seja igual ou aproximadamente igual a densidade da água, a altura também será 10 m.

Segundo experimento: líquidos e densidades em situações distintas

Para a realização deste experimento são necessários os seguintes itens: um copo de vidro transparente (de 300 ml), água, óleo de cozinha, sal de cozinha, um ovo e uma colher de sopa. Três situações serão apresentadas e analisadas.

Situação 1

O primeiro passo é colocar água no copo e adicionar o ovo na água, Fig. 16. É importante que o ovo fique totalmente submerso e que toque o fundo do copo quando este estiver quase cheio de água (Serway e Jewett, 2014).

Figura 16: Vista lateral e superior do copo com água e ovo submerso



Fonte: os autores

Nessa situação, ilustrada pela Fig. 16, verificamos que o peso do ovo superou o empuxo da água doce e fez com que o ovo afundasse, vindo a parar somente no fundo do copo. Concluímos então que a intensidade do peso P do ovo (vertical para baixo) supera a intensidade da força de empuxo E (vertical para cima) que o líquido exerce sobre o ovo. Matematicamente

$$P > E, \quad (11)$$

$$Mg > \rho_a g V_d, \quad (12)$$

onde M é a massa do ovo, ρ_a é a densidade da água doce, e V_d é o volume de água doce deslocado, que neste caso é igual ao volume do ovo, uma vez que o ovo ficou totalmente submerso. Assim nesta situação, se o volume do ovo é V , tem-se que $V_d = V$. A densidade do ovo, ρ_{ovo} , pode ser escrita como: $\rho_{\text{ovo}} = M/V$. Assim, a massa M do ovo pode ser definida como o produto de sua densidade pelo seu volume: $M = \rho_{\text{ovo}}V$ (e lembre que na situação aqui analisada: $V = V_d$). Assim, a Eq. (12) fica:

$$\rho_{\text{ovo}}Vg > \rho_a g V,$$

e simplificando Vg em ambos os lados da expressão obtemos

$$\rho_{\text{ovo}} > \rho_a. \quad (13)$$

Assim, concluímos que para que um corpo fique totalmente submerso em um fluido a condição necessária é que a densidade do corpo seja maior que densidade do fluido, como sintetiza a expressão (13).

E por que o ovo para no fundo do copo? A resposta é que no fundo do copo existe um equilíbrio de forças que faz com que o ovo fique em repouso. O equilíbrio estático das forças que atuam no ovo no fundo do copo pode ser descrito em módulo como:

$$P = E + N, \quad (14)$$

onde N é o módulo da força normal exercida pelo fundo do copo sobre o ovo, ou seja, N é uma força de reação da superfície do fundo do copo em virtude do contato do ovo com esta superfície. Usando as definições da força peso do ovo e da força de empuxo, a última equação fica:

$$Mg = \rho_a g V + N$$

e usando que a massa do ovo é $M = \rho_{\text{ovo}}V$, tem-se

$$\rho_{\text{ovo}}Vg = \rho_a g V + N$$

e isolando N nesta última equação:

$$N = \rho_{\text{ovo}}Vg - \rho_a g V. \quad (15)$$

Observe que nesta última equação o primeiro termo do lado direito da igualdade é o módulo do peso P do ovo e o segundo termo é a força de empuxo. Ou seja, o módulo da força N é o peso do ovo subtraído pela força de empuxo. Conclui-se, então, que N é menor do que P pela quantidade $\rho_a g V$. Por este motivo N é rotineiramente chamado de “peso aparente” do corpo e é menor que P , e o peso P passa a ser chamado de “peso real” do corpo. Se colocássemos uma balança no fundo do copo, o valor que ela marcaria seria N e não P . É por isto que ao segurarmos um corpo que está dentro da água em uma piscina, por exemplo, “sentimos” que este corpo está mais “leve” que se o segurássemos fora da piscina. Com estas considerações podemos escrever a Eq. (15) da seguinte forma:

$$P_{\text{aparente}} = P_{\text{real}} - E. \quad (16)$$

onde $P_{\text{aparente}} = N$, $P_{\text{real}} = \rho_{\text{ovo}} V g$ e $E = \rho_a g V$.

Situação 2

O próximo passo deste experimento é a adição de uma colher de sopa de sal na água doce que está contida no copo. Para tanto, retira-se o ovo do copo com uma colher, adiciona-se o sal e mistura-se bem o sal até que a água recupere um pouco da transparência. Em seguida, coloca-se novamente o ovo no copo. O resultado nesta situação está ilustrado na Fig. 17.

Figura 17: Vista lateral e superior do copo com água salgada e ovo



Fonte: os autores

Observa-se que a adição de sal à água causou a flutuação do ovo, com exposição de uma pequena calota acima da superfície do líquido. Conclui-se, então, que a adição de sal à água provocou alguma mudança em relação à Situação 1. Sabemos que a adição de sal não aumenta o peso do ovo, logo, a mudança em relação à Situação 1 deve ter ocorrido na força de empuxo. Observe que a força de empuxo, veja Eq. (1), depende da densidade do fluido, e na Situação 2 a adição de sal à água doce provoca um aumento da densidade da água. Isto acontece porque ao se misturar sal à água doce este se dissolve de tal forma a aumentar a massa do líquido com uma mudança desprezível no volume². Nesta situação o módulo da força de empuxo será:

$$E = \rho_{a,s}gV_d$$

onde $\rho_{a,s}$ é a densidade da água salgada, g é a aceleração da gravidade e V_d é volume de água salgada deslocado pelo ovo. Como nesta situação uma pequena calota do ovo fica para fora da água tem-se que $V_d < V$, onde V é o volume do ovo. Note aqui a diferença em relação à Situação 1, onde tínhamos: $V_d = V$.

Na situação de equilíbrio estático das forças que atuam no ovo, quando o ovo está flutuando na superfície da água, a intensidade do peso P do ovo (vertical para baixo) é igual à

² A solubilidade do Cloreto de Sódio em água é de 36 g a cada 100 ml de água a uma temperatura de 20°C. Se adicionarmos, por exemplo, 50 g de cloreto de sódio em 100 ml de água, não haverá sua dissolução total. Ressalta-se que o aumento da temperatura, favorece a completa dissolução.

intensidade da força de empuxo E (vertical para cima) que a água salgada exerce sobre o ovo. Matematicamente

$$\begin{aligned} P &= E, \\ Mg &= \rho_{a,s}gV_d, \end{aligned} \quad (17)$$

e escrevendo a massa do ovo em termos de sua densidade e volume ($M = \rho_{\text{ovo}}V$), tem-se

$$\rho_{\text{ovo}}Vg = \rho_{a,s}gV_d,$$

e simplificando g ,

$$\rho_{\text{ovo}}V = \rho_{a,s}V_d. \quad (18)$$

Como $V_d < V$, a igualdade da Eq. (18) só pode ser satisfeita se $\rho_{a,s} > \rho_{\text{ovo}}$. Podemos, então, retirar uma informação importante da Eq. (18): para que um corpo possa flutuar em um fluido, a densidade do fluido deve ser maior que a densidade do corpo.

Situação 3

O próximo passo consiste na inserção de óleo à configuração anterior da Situação 2, isto é adicionar óleo à água salgada. Esta é uma situação mais complexa. A configuração de equilíbrio é mostrada na Fig. 18. Observe que o óleo não se mistura com a água salgada e por ser menos denso que a água salgada fica na parte superior do copo e cobre totalmente o ovo.

Figura 18: Vista lateral e superior do copo com água salgada, óleo e ovo



Fonte: os autores

Considerando o ovo em equilíbrio situado na interface entre a água salgada e óleo (NUSSENZVEIG, 2002), tem-se:

$$P = E_{total} = \sum E_i, \quad (19)$$

sendo P o módulo do peso do ovo e E_{total} o módulo do empuxo total que é igual à soma dos empuxos de cada um dos fluidos eventualmente deslocados pelo ovo.

Na Situação 2 o ovo desloca água salgada e ar. O empuxo do ar, no entanto, é desprezível, porque a sua densidade é muito baixa quando comparada à densidade da água e conseqüentemente na Situação 2, a maior parte do volume do ovo desloca água, e somente um pequeno volume (calota) desloca ar.

Analisando a Situação 3, tem-se que o óleo substitui o ar, entra em contato com o ovo e tem parte de seu volume deslocado também pelo ovo. Assim no equilíbrio estático de forças, conforme a Eq. (19), teremos

$$P = \rho_{a,s} g V'_d + \rho_{\text{óleo}} g V_\sigma, \quad (20)$$

onde $\rho_{a,s}$ é a densidade da água salgada (a mesma da Situação 2), V'_d é o novo volume deslocado de água salgada, e V_σ é o volume deslocado de óleo. Na Eq. (20) foi desprezado o empuxo devido ao ar.

Como não houve mudança no peso P do ovo, na densidade da água salgada $\rho_{a,s}$, e no valor da gravidade g da Situação 2 para a Situação 3, a igualdade expressa pela Eq. (20) só pode ser verdadeira se o novo volume de água deslocado V'_d for menor que o volume de água salgada deslocado V_d da Situação 2. Matematicamente, evidenciamos melhor esta conclusão igualando as Eqs. (20) e (17):

$$\rho_{a,s}gV'_d + \rho_{\text{óleo}}gV_\sigma = \rho_{a,s}gV_d,$$

$$\rho_{\text{óleo}}gV_\sigma = \rho_{a,s}g(V_d - V'_d),$$

$$\rho_{\text{óleo}}V_\sigma = \rho_{a,s}(V_d - V'_d),$$

e como o lado esquerdo desta última equação é uma quantidade positiva, o termo entre parêntesis do lado direito deve satisfazer a condição: $V_d - V'_d > 0$, ou seja: $V_d > V'_d$. Esta terceira situação ilustra claramente a soma dos empuxos em razão dos dois líquidos.

Apesar do tratamento matemático considerado nas três situações acima analisadas, o professor pode optar por ilustrar apenas de forma qualitativa a força de empuxo com base no experimento, a fim de não carregar em excesso uma aula inicialmente experimental. Para uma aula de revisão, todavia, o formalismo matemático pode ser inserido sem que a exposição se torne excessivamente densa, uma vez que se parte do princípio que o assunto foi trabalhado anteriormente e que os alunos possuem certo domínio das relações e dos cálculos.

Uma sugestão seria, por exemplo, o professor gravar uma vídeo-aula mostrando estas três situações experimentais para que os alunos vissem o experimento antes da exposição teórica a ser realizada pelo professor em sala de aula.

E no caso em não seja possível a visualização pelos alunos de uma vídeo-aula gravada pelo professor, o docente poderia apresentar aos seus alunos em sala de aula mesmo o experimento antes da demonstração matemática do fenômeno. Como os três experimentos aqui propostos podem ser facilmente realizados em sala, por utilizarem materiais baratos, de fácil acesso e que não oferecem riscos aos alunos, esta opção é até mais interessante e motivadora que uma gravação que será vista na tela de um celular ou computador.

Após o término do experimento o estudante poderá descartar o óleo de maneira adequada. Recomenda-se a utilização de um recipiente com um furo no fundo. O furo deverá

ser tampado até a separação do óleo com a água, e depois o estudante deve deixar a água sair pelo furo, ficando apenas o óleo no recipiente. Essa preocupação é importante a preservação do meio ambiente e que poderá ser levada para universidades, por exemplo, quando se for estudar separação de misturadas, em química, e o modo correto de descarte de determinadas substâncias. Este é inclusive um erro muito comum aos calouros de universidades, que não têm em mente ainda a forma correta de descartar certos resíduos dentro das salas de laboratório. O descarte de maneira incorreta pode acarretar problemas tanto para o estudante quanto para o meio ambiente.

Considerações Finais

Infere-se, portanto, que o campo da hidrostática e da hidrodinâmica são extremamente vastos e aplicáveis. Partindo desde a criação dos aquedutos em Roma até se chegar aos dias atuais tem-se uma demasiada gama de conhecimentos acumulados ao longo do tempo. Tais conhecimentos são amplamente utilizados e passados de geração a geração. Este trabalho foi elaborado com a premissa de introduzir um pouco das ideias centrais da hidrostática e da hidrodinâmica. Entretanto, tais ideias não substituem um livro ou até mesmo o conhecimento tácito que se aprende no dia a dia. Sendo assim, a fundamentação deste trabalho está atrelada no que diz respeito a aprendizagem significativa.

A partir do que foi supracitado pode-se auferir a ideia de que este trabalho é apenas introdutório e não deve substituir um livro texto ou então uma pesquisa mais aprofundada do assunto. Sendo assim, tudo o que foi trazido até o momento é um convite ao leitor para se aventurar por este ramo da física, não por obrigação e sim por prazer. Pois, aquele que busca o conhecimento de maneira coercitiva está fadado a nunca aprender. Sendo assim, leitor, use este trabalho como ponte para dar início a sua jornada na Física.

Referências Bibliográficas

BOFF, Cleber Adelar; BARROS, Gílian Cristina. Importância da história no ensino da hidrostática. **Revista Intersaberes**, v. 9, n. 17, pp. 189-198, 2014.

FERREIRA, Liliana Soares. Trabalho Pedagógico na Escola: do que se fala?. **Educ. Real**. Porto Alegre, v. 43, n. 2, pp. 591-608, jun. 2018. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-62362018000200591&lng=pt&nrm=iso

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estud. av.** São Paulo, v. 21, n. 59, pp. 7-20, abr. 2007. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100003&lng=en&nrm=iso.

LONGHINI, Marcos Daniel; NARDI, Roberto. Como age a pressão atmosférica? Algumas situações-problema tendo como base a história da ciência e pesquisas na área. **Caderno brasileiro de ensino de física**, v. 26, n. 1, pp. 7-23, 2009.

POLANYI, Michael. **A dimensão tácita**. Inovatec Press, 2010.

WINTERLE, Paulo; STEINBRUCH, Alfredo. **Geometria Analítica**. Makron Books, São Paulo, 2000.

TAVARES, Romero. Aprendizagem significativa. **Revista conceitos**, v. 10, n. 55, pp. 55-60, 2004.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. Vol. 2, 4ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Princípios de Física: Oscilações, Ondas e Termodinâmica**, v. 2. Tradução da 5ª ed. norte americana. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MARTINS, A. F. P. **História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho....** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 1, pp. 112-131, 2007.

MARTINS, R. A. **Arquimedes e a Coroa do Rei: problemas históricos**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 17, n. 2, pp. 115-121, 2000.

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Wendel Vendregler Araujo Martins do Curso de Licenciatura em Física, matrícula 2018.1.0018.0011-8, telefone: 86188541, e-mail: vendregler21@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Atividades Experimentais no Ensino de Física: Aplicações de Hidrostática, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 07 de dezembro de 2021.

Assinatura do autor: *Wendel V. A. Martins*

Nome completo do autor: Wendel Vendregler Araujo Martins

Assinatura do professor-orientador: *Rodrigues*

Nome completo do professor-orientador: Clóves Gonçalves Rodrigues