



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS – ICE
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04

JOSÉ VICTOR BEZERRA TEIXEIRA

PRODUTO EDUCACIONAL

ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE FÍSICA MODERNA: EFEITO DOPPLER-FIZEAU
EM ONDA ELETROMAGNÉTICA

MANAUS – AM
2024

JOSÉ VICTOR BEZERRA TEIXEIRA

ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE FÍSICA MODERNA: EFEITO DOPPLER-FIZEAU
EM ONDA ELETROMAGNÉTICA

Material instrucional vinculado à dissertação de Mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, no Polo 04, da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Denilson da Silva Borges.

.

Biblioteca do *Campus* Manaus Centro - IFAM

T266a Teixeira, José Victor Bezerra.

Abordagem experimental de física moderna: efeito doppler-fizeau em onda eletromagnética. / José Victor Bezerra Teixeira. – Manaus, 2024.

70 p.: il. color.

Produto educacional proveniente da dissertação - O efeito doppler de ondas eletromagnéticas a partir de sequência didática. – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Denilson da Silva Borges. ISBN

978-65-85652-70-4

1.Física – ensino. 2. Efeito Doppler – ondas eletromagnéticas.
3.Arduino. 4. TDIC. I. Borges, Denilson da Silva. (Orient). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 530.07

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela força e capacidade para superar todos os desafios.

Agradeço também à minha família, minha mãe Maria do Carmo Bezerra Teixeira, meu pai Raimundo Teixeira da Costa (*in memoriam*), meu irmão Arthur José Bezerra Teixeira, e em especial aos meus avós, Anice Barros Bezerra (*in memoriam*), Eduardina Teixeira da Costa e Vildo Teixeira da Costa, assim como, todos os tios, tias e primos que puderam de alguma forma contribuir para esta nobre conquista.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Denilson da Silva Borges, pela paciência e instrução na vida acadêmica, profissional inspirador que me ajudou a desbravar este e outros trabalhos ao longo do mestrado, muito obrigado mestre!

A minha querida Companheira Mariana Araujo Moraes pela paciência, amor, carinho, incentivo e a quem tenho grande admiração.

Aos meus amigos, em especial Tiago Pereira, Soetânia Oliveria, José Carlos e Diego Lima, Jéssica Ariana e demais colegas do mestrado, pela ajuda, conversas e companheirismo, valeu galera, consegui!

Aos Gestores Salomão e Adriano por toda a colaboração nos ajustes de horários de trabalho para que eu pudesse conciliar com os estudos e, todos os demais colegas pela contribuição direta e indireta.

Aos meus alunos que participaram da realização deste trabalho, obrigado.

A Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

Ao Instituto Federal do Amazonas – IFAM.

Ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela oportunidade de conceder a realização do curso.

Aos professores do MNPEF Polo 04 que contribuíram para minha formação através de suas aulas inspiradoras.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas por financiar meu curso de mestrado.

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	7
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1 Breve desenvolvimento histórico do efeito Doppler-Fizeau	8
2.2 O efeito Doppler-Fizeau no Som.....	11
2.3 O efeito Doppler-Fizeau em OEM	15
3. METODOLOGIA DE ENSINO	19
3.1 Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel.....	19
4. PROPOSTA EXPERIMENTAL	23
4.1 Apresentação dos materiais: Arduino e Sensor HB100	23
4.1.1 Arduino	24
4.1.2 Sensor Doppler Radar – HB100.....	25
4.2 Descrição das Atividades	26
4.2.1 Atividade introdutória – Compreendendo o Arduino	26
4.2.2 Experimentos do Efeito Doppler-Fizeau.....	30
4.2.2.1 Experimento 1 - Visualização da Frequência detectada	32
4.2.2.2 Experimento 2 – Velocidade de um alvo por Efeito Doppler-Fizeau	34
4.2.2.3 Experimento 3 – Automação de uma porta por Efeito Doppler-Fizeau	37
5. SEQUÊNCIA DE ENSINO	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7. REFERÊNCIAS.....	47
8. APÊNDICES	48
Apêndice A – Manual de Laboratório	48
Apêndice B - Questionário inicial	54
Apêndice C - Material complementar 1	56
Apêndice D – Slide aula dialogada 1.....	57
Apêndice E – Material complementar 2.....	58

Apêndice F – Slide aula dialogada 2	59
Apêndice G – Material complementar 3.....	60
Apêndice H – Slide aula dialogada 3.....	61
Apêndice I – Material complementar 4	63
Apêndice J – Material complementar 5 – Parte 1.....	66
Apêndice K – Material complementar 5 – Parte 2	68
Apêndice L – Questionário final	70

1. APRESENTAÇÃO

Este material foi produzido visando proporcionar ao leitor, professor ou estudante de física e afins, uma alternativa para a abordagem da física moderna no ensino médio dentro da temática do estudo das ondas eletromagnéticas, em específico a ocorrência do Efeito Doppler-Fizeau, uma vez que este fenômeno na maioria das vezes é abordado em caráter abstrato.

Dessa forma, ao analisar os trabalhos relacionados ao ensino do Efeito Doppler-Fizeau no ensino médio, constatou-se sua abordagem apenas para ondas mecânicas, porém, dentre as aplicações tecnológicas observadas no cotidiano, a maioria são derivadas desse fenômeno em ondas eletromagnéticas, assim, surge uma demanda, como possibilitar essa abordagem em sala de aula? Será que o estudante compreende e se interessa por esse fenômeno apenas lendo ou visualizando representações?

Diante desse cenário, enquanto docente, indaga-se: será que é possível desenvolver um experimento que comprove e torne palpável o efeito Doppler-Fizeau em ondas eletromagnéticas? Neste trabalho temos a resposta, sim, é possível, bem como factível.

Este documento é integrante de uma dissertação de mestrado desenvolvida no âmbito do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), que tem como um dos principais objetivos a contribuição e capacitação profissional de professores da educação básica.

A seguir, serão descritos os passos para a elaboração de um experimento que possibilita tal abordagem e, em seguida, propõe-se uma sequência didática na qual é norteada pela Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Com isso, acredita-se na contribuição deste trabalho no ensino de física na educação básica, pois, ao buscar para o perfil do aluno uma formação integral, são necessárias práticas que contemplem uma aprendizagem efetiva, com criticidade para o mundo contemporâneo.

Este produto foi elaborado a partir das intenções reais de um docente em propor alternativas que visam a melhoria no ensino de física, e espero que este produto possa ser inspiração para a realização de novos trabalhos. Para aqueles que se dispuserem a aplicar este produto, ou partes deste, desejo sucesso na sua abordagem, e que estou à disposição para sanar dúvidas quanto aos passos descritos nesta obra.

Atenciosamente, Prof. José Victor Bezerra Teixeira.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados pressupostos teóricos para a contextualização deste trabalho, que versará sobre breve desenvolvimento histórico do efeito Doppler-Fizeau e a teoria física do efeito Doppler-Fizeau.

2.1 Breve desenvolvimento histórico do efeito Doppler-Fizeau

Esta seção discutirá a obra de Christian Andreas Doppler (1803 – 1853), publicada em 1842¹, proporcionando ao leitor o ponto de vista e algumas observações do próprio idealizador da teoria do Efeito Doppler.

Figura 1 – Capa da obra de Christian Andreas Doppler em 1842.



Fonte: DOPPLER, 1842.

Conforme descrito no trabalho pioneiro sobre o efeito Doppler-Fizeau, exposto na Figura 1, durante o ano de 1842, no dia 25 de maio, o austríaco Christian Andreas Doppler publica sua obra intitulada: “*Sobre a luz colorida das estrelas duplas e outras estrelas do céu. Tentativa de uma teoria geral que contém como parte integrante de si o Teorema da Aberração de Bradley*”, e neste trabalho o fenômeno que descreve uma alteração percebida na frequência de ondas devido o movimento relativo entre a fonte e observador foi idealizado, assim, conhecido então como efeito Doppler, em sua homenagem. Nessa obra publicada pelo autor, constam 11 seções, e dentre elas descreve-se a respeito do que pode ser percebido ao aproximar ou afastar-se de uma fonte, seja o som ou a luz, e para isso demonstra-se por meio de equações e esboços de experimentos mentais descritos no final da obra. Ressalta-se que em seu trabalho é discutido a respeito do efeito que o éter e o ar causam na percepção da tonalidade da luz e tom de uma onda sonora. Neste famoso trabalho, em sua primeira seção, Doppler menciona a primeira teoria da luz apresentada por Euler e Huygens e seus sucessores Young, Fresnel e Cauchy, etc. e destaca as dificuldades da aceitação e necessidade de fé nos resultados encontrados pelos próprios pesquisadores. Além destes, é comentado sobre Laplace e Poisson que discordam da teoria, porém admiram o desenvolvimento analítico. Ao final da seção é

¹

Disponível

em:

<https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/OANG66G4YKUSV3GADCLOX5PAVWXASXWM>

chamado a atenção do leitor para futuras divergências sobre a interpretação óptica da natureza, pois conforme os escritos em seu trabalho, era previsível uma disputa acirrada para a compreensão da luz e a insegurança dos resultados obtidos por estes famosos pesquisadores da época.

Em suas deduções, é possível observar que em seus experimentos mentais, Doppler afirma que se um observador se movimenta com a velocidade própria do som afastando-se de uma fonte sonora, ele jamais poderá ouvi-la e que na situação de a fonte afastar-se do observador com a velocidade do som, este ouvirá o som em uma oitava abaixo da frequência original. Na segunda seção do seu trabalho, Doppler explica a percepção dos “golpes de ondas” com mais ou menos intensidade usando um experimento mental que consiste em um navio deslocando-se em direção as ondas, e demonstra ao final que dessa forma é possível notar que para o observador (navio), as ondas possuem sua intensidade alterada dependendo do movimento contra ou a favor das ondas, porém, ao tentar visualizar esse efeito ocasionado pelas ondas de ar do éter torna-se difícil essa compreensão.

Nas seções 3 e 4, é feito o desenvolvimento da equação e discussão qualitativa proposta por doppler mostrando que na hipótese de movimento de afastamento do observador com velocidade própria da fonte torna-se impossível perceber a onda emitida e/ou em afastamento com velocidade menor que a própria ocorre a percepção com uma oitava abaixo. É interessante notar que em seu trabalho, a luz e o som são descritos como ondas e ambas se comportam de forma igual, logo, o comportamento do efeito Doppler para a luz foi previsto, porém, percebem-se apenas descrições qualitativas, conforme será exposto nas seções seguintes.

Sabemos que a velocidade da luz é dada por $c = 3.10^8 m/s$, porém, Doppler define a velocidade da luz em 67.592.448 m/s (42000 milhas/segundo). Nesse sentido, é mencionado pelo autor sobre o desvio que a luz branca ou roxa sofre ao afastar-se de um observador, até que desaparecesse. Além disso, fazem-se outras observações sobre as cores que uma fonte luminosa emite ao afastar-se, enfatizando que a luz de um corpo sofre mudança, alterando em uma sequência: violeta para azul, verde, amarelo, laranja, vermelho e até se tornar insensível para os olhos.

Na seção 6, são apresentadas conclusões pontuadas em: (1) alteração da cor de um corpo luminoso ou iluminado, e até mesmo o desaparecimento da luz de um corpo ao alcançar determinada velocidade; (2) fonte em repouso e observador em movimento, ocasionando o mesmo efeito citado anteriormente; (3) mudança na cor e intensidade da fonte devido movimento com determinado ângulo corroborado a teoria da aberração de Bradley.

Nas seções 7 e 8, discute-se sobre a velocidade dos planetas no sistema solar, que não são significativas para observar mudança de cor neles ou desaparecimento (completo ou temporário). Doppler supõe que, se a Terra possuísse velocidade dez vezes maior, seria observado a cor azul ou esverdeada das estrelas nas áreas orientais e as estrelas ocidentais com cores laranja ou vermelho. Ainda nesse sentido, é comentado sobre a possível alteração na coloração do cometa Halley. É interessante notar que o autor menciona que a velocidade de alguns corpos celestes depende de sua massa, e que poderiam até mesmo expor algumas aberrações, nesse caso, velocidade superior à da luz.

Nas seções 10 e 11, são feitas outras observações sobre as estrelas duplas fixas e outras variáveis. Por fim, Doppler destaca que Olaf Roemer havia descrito em seus trabalhos anteriores sobre a impossibilidade de que corpos celestes pudessem adquirir velocidades comparáveis à da luz, e que grandes velocidades poderiam provocar alterações nas cores emitidas por esses corpos.

Deste modo, podemos perceber que Doppler prevê um fenômeno que certamente é responsável por grandes aplicações tecnológicas civis e militares, no entanto, após a publicação desta obra, a comunidade científica da época atribuiu pouca importância às descobertas de Doppler, e somente no ano de 1845 comprova-se esse efeito experimentalmente, em que o meteorologista holandês Christoph Hendrik Diederik Buys Ballot (1817-1890) demonstra o efeito acústico percebido ao colocar vários trompetistas em um vagão aberto puxado por uma locomotiva (HALLIDAY E RESNICK, 2016). Durante muito tempo, a teoria de Doppler foi rejeitada, mesmo após a comprovação experimental de Ballot, e posteriormente Ernst Mach em 1860, com um aparelho possibilitando visualizar esse efeito em laboratório e sem menção ao idealizador do fenômeno.

Após as contribuições iniciais de Doppler para a investigação deste efeito nas ondas, no ano de 1848, o físico francês Armand-Hyppolyte-Louis Fizeau (1819 – 1896), propõe que esse mesmo efeito no som seja possível ser observado em ondas luminosas e proporcionaria determinar a velocidade das estrelas em movimento na mesma linha do observador, sendo possível a aplicação em estrelas. No ano de 1900, o físico russo Aristarkh Appolonovich Belopolsky (1854-1934) desenvolve instrumentos de observação capazes de comprovar as previsões realizadas por Doppler-Fizeau. (BASSALO, [s.d.]).

A partir desses pressupostos históricos, observa-se que a teoria do efeito Doppler-Fizeau possuiu diversas contribuições de grandes pesquisadores do século XIX, e conseqüentemente vastas aplicações tecnológicas. Além destas contribuições, em 1905, Albert Einstein (1879-1955), físico alemão-suíço-norte-americano, descreve que é possível obter o

efeito Doppler-Fizeau através de sua conhecida teoria da relatividade restrita. Dessa forma, integra-se ao efeito o comportamento relativístico (Efeito Doppler-Fizeau relativístico) (BASSALO, [s.d.]). Nas seções a seguir, serão descritas a ocorrência desse efeito em ondas mecânicas e eletromagnéticas.

2.2 O efeito Doppler-Fizeau no Som

O efeito Doppler-Fizeau é um dos fenômenos que ocorre de modo geral em ondas (mecânicas ou eletromagnéticas), e consiste na percepção de mudança na frequência detectada (f_d) em relação à frequência emitida pela fonte (f_f) devido ao movimento relativo entre fonte e observador. Um exemplo clássico desse efeito ocorre quando estamos parados em relação a uma ambulância que passa pela via com a sirene acionada, exposto na Figura 2 abaixo. Constata-se de imediato que o som fica agudo (aumento de frequência) quando ocorre a aproximação, logo a frequência aparente é maior que a emitida pela fonte ($f_d > f_f$), e durante o afastamento dessa fonte sonora, percebe-se um som menos agudo (redução na frequência), nesse caso a frequência aparente torna-se menor que a frequência emitida pela fonte ($f_d < f_f$).

Figura 2 – Percepção do som em Efeito Doppler-Fizeau.



Fonte: HEWITT (2015, p. 366)

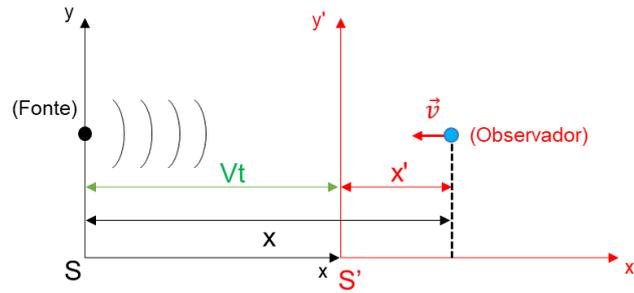
A descrição teórica desse fenômeno será deduzida a partir do som, e para isso usa-se a descrição da onda sonora em relação a equação geral da onda unidimensional (equação 1), descrita por

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

E neste caso, será considerado uma fonte emitindo uma onda sonora harmônica que pode ser descrita em termos das variáveis de deslocamento, pressão e densidade. Vale ressaltar que, cada equação de deslocamento da onda, $u(x,t)$, é correspondente a uma equação de onda de pressão, $p(x,t)$ e densidade, $\rho(x,t)$.

Inicialmente será tratado a situação de uma **fonte sonora estacionário com observador em movimento**, conforme descrito na Figura 3 abaixo

Figura 3 – Referenciais para fonte de onda sonora (S) e observador em movimento (S').



Fonte: autor (2023).

A partir da descrição dos referenciais, para o referencial S' no observador, descrevemos,

$$x' = x + Vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Onde V , é dado como a velocidade do observador aproximando-se da fonte. Considerando a fonte emitindo uma onda sonora harmônica, com equação (2) de deslocamento dada por,

$$U(x, t) = U \cos(kx - \omega t + \varphi) \quad (2)$$

Adotamos que a pressão descrita na onda é dada pela equação (3)

$$\delta P = P_{\text{máx}} \text{Sen}(kx - \omega t + \varphi) \quad (3)$$

Sendo x , descrito pelo referencial S, obtém-se

$$P(x, t) = P \cos[K(x' - Vt) - \omega t + \varphi]$$

$$P(x, t) = P \cos[Kx' - KVt - \omega t + \varphi]$$

$$P(x, t) = P \cos[Kx' - t(Ku + \omega) + \varphi]$$

Onde o termo entre parênteses é descrito como ω' , assim

$$P(x, t) = P \cos[Kx' - t\omega' + \varphi]$$

Sabendo que através da equação da velocidade de propagação, expressa na equação (4) abaixo,

$$v = \lambda f \quad (4)$$

Sendo que, para uma onda periódica tem-se

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{frequência})$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{K} \quad \text{ou} \quad K = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{número de onda})$$

Substituindo estas definições na equação (4), determina-se a frequência angular em função da velocidade e número de onda, logo

$$\omega = Kv \quad (\text{referencial S})$$

$$\omega' = K(v + V) \quad (\text{referencial S'})$$

Relacionando a frequência angular ω e ω' nos referenciais S e S', dá-se

$$\frac{\omega'}{\omega} = \frac{f'}{f_0} = \frac{Kv + KV}{Kv} = 1 + \frac{V}{v}$$

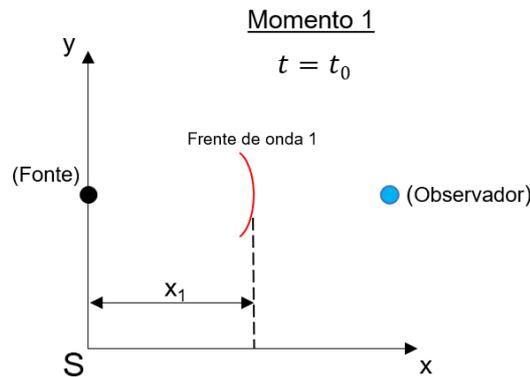
Portanto, obtemos a equação (5) da frequência aparente (f')

$$f' = f_0 \left(1 \pm \frac{V}{v}\right) \quad \text{ou} \quad f' = f_0 \left(\frac{v \pm V}{v}\right) \quad (5)$$

Note que, o sinal dos parênteses será positivo em caso de aproximação do observador na direção da fonte, logo a frequência aparente da fonte é maior que a original, e negativo em caso de afastamento do observador em relação a fonte, e conseqüentemente frequência aparente menor que a original. Sabendo que, o termo (f'), refere-se a frequência percebida pelo observador, (f_0) a frequência da onda emitida pela fonte, (v) trata-se da velocidade do som no meio de propagação e (V) a velocidade do observador em relação a fonte.

Para o caso de um **observador estacionário e uma fonte em movimento**, temos a seguinte análise da Figura 4,

Figura 4 – Referencial estático: análise da frente de onda 1 de uma fonte em relação ao observador estático.



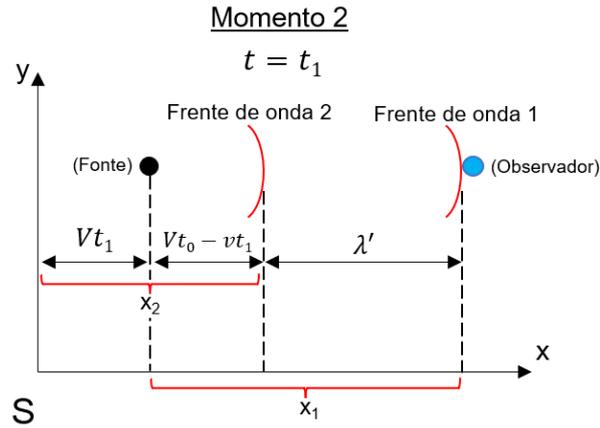
Fonte: autor (2023).

Para a distância percorrida pela primeira frente de onda emitida no tempo $t=t_0$, tem-se que,

$$x_1 = vt_0$$

Sendo (v) referente a velocidade do som no meio e (t_0) o tempo de propagação dessa onda no espaço (x_1). Enquanto, que no momento da emissão da segunda frente de onda, tem-se a fonte deslocando-se, conforme descrito na Figura 5 abaixo,

Figura 5 – Referencial estático: análise das frentes de onda 1 e 2 emitidos por fonte em movimento em relação ao observador estático e discriminação das distâncias percorridas (x_1 e x_2).



Considerando as informações destacadas na Figura 5 acima, podemos descrever o deslocamento para a segunda emissão de onda (frente de onda 2), sabendo que (V) refere-se a velocidade de deslocamento da fonte, assim,

$$x_2 = vt_0 - vt_1 + Vt_1$$

Sendo conhecido a distância das duas frentes de onda (cristas), pode-se descrever o comprimento de onda percebido pelo observador (λ'), assim,

$$\lambda' = x_1 - x_2$$

$$\lambda' = vt_0 - v(t_0 - t_1) - Vt_1$$

Portanto, o comprimento de onda aparente fica,

$$\lambda' = (v - V)t_0$$

Onde temos para o comprimento de onda da fonte descrito por

$$\lambda_0 = \frac{v}{f} = vT = vt_0$$

Assim, relacionando λ_0 e λ' , obtemos

$$\frac{\lambda'}{\lambda_0} = \frac{(v - V)t_0}{vt_0} = \frac{v - V}{v}$$

Ou,

$$\frac{\lambda'}{\lambda_0} = \left(1 - \frac{V}{v}\right) = \lambda_0 \left(1 - \frac{V}{v}\right) \quad (6)$$

Sendo, a frequência da fonte (f_0) e a frequência aparente (f'), possibilita-se descrever o comportamento da frequência detectada relacionando com a Equação (6) acima,

$$\frac{\lambda'}{\lambda_0} = \frac{f'}{f_0} = \frac{1}{\left(1 - \frac{V}{v}\right)}$$

Logo, a frequência aparente para o observador estacionário com fonte em movimento, é dado pela equação (7) abaixo,

$$f' = \frac{f_0}{\left(1 \pm \frac{v}{v}\right)} \quad (7)$$

O sinal negativo refere-se ao caso estudado como exemplo, portanto, usa-se para o caso de fonte aproximando do observador estático, assim tem-se uma frequência maior que a real, e em caso contrário, durante o afastamento, aplica-se o sinal positivo, logo a frequência tenderá a ser menor que a original.

Para a situação de **fonte e observador em movimento**, pode ser descrito comparando-se os termos que multiplicam nas equações (6) e (7), logo, temos que,

$$f' = f_0 \left(\frac{1 + \frac{u}{v}}{1 - \frac{v}{v}} \right) \quad (8)$$

$$f' = f_0 \left(\frac{1 - \frac{u}{v}}{1 + \frac{v}{v}} \right) \quad (9)$$

Sendo na equação (27), a descrição da frequência percebida pelo observador devido o encontro (aproximação mútua) entre fonte e observador, enquanto que, na equação (28), corresponde ao movimento de afastamento mútuo entre fonte e observador. Dessa forma, com a descrição explícita do efeito Doppler para uma onda mecânica, na seção seguinte, aborda-se este fenômeno para o âmbito de ondas eletromagnéticas.

2.3 O efeito Doppler-Fizeau em OEM

Nesta seção, discute-se o efeito Doppler-Fizeau para uma onda eletromagnética, e para isso será incorporado termos da relatividade restrita e por fim a dedução desse efeito para uma fonte que emite frentes de onda eletromagnética.

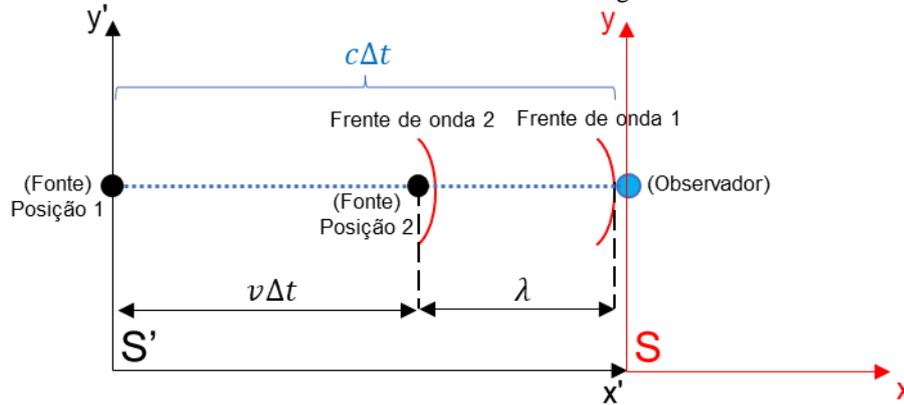
A necessidade da descrição relativística em relação ao efeito Doppler-Fizeau para OEM, deve-se ao fato de que na mecânica newtoniana é considerado um referencial inercial privilegiado e o tempo é absoluto. Além disso, a relatividade (transformação) de Galileu ao tratar da adição de velocidades em referenciais inerciais distintos, torna-se incompatível com a descrição das equações de Maxwell, pois a velocidade da luz é constante para qualquer direção e sentido de propagação (MACHADO, 2002).

Ao introduzir a Teoria da Relatividade Restrita (TRR), desenvolvida por Einstein em 1905, tem-se dois postulados que em linhas gerais descrevem as leis da física permanecendo iguais para quaisquer referenciais inerciais e a velocidade da luz constante com velocidade definida (c) (PIRES, 2011).

A partir disso, os efeitos estendem-se para o estudo das ondas eletromagnéticas, uma vez que possuem velocidade (c), conseqüentemente implicando no efeito Doppler-Fizeau, resultando em alterações no tempo de detecção com os incrementos do fator de dilatação temporal (transformação de Lorentz), comprimento de onda e frequência aparente.

Na Figura 6 abaixo demonstra-se a situação utilizada para explicitar a dedução matemática que descreve tal fenômeno ondulatório.

Figura 6 – O movimento de uma fonte emissora de onda eletromagnética com observador em repouso.



Fonte: autor (2023).

Nota-se que a distância percorrida pela fonte está descrita como $v\Delta t$, onde $c\Delta t$ representa a distância percorrida pela frente de onda 1, com c sendo a velocidade de propagação da luz emitida, e o comprimento de onda λ descrevendo a distância entre duas cristas. A fonte assume duas posições, em que a posição 1, caracteriza-se como o momento de emissão da frente de onda 1, enquanto que a posição 2 refere-se ao momento em que a frente de onda 2 é emitida. Portanto, a frente de onda 2 foi emitida quando a fonte e a frente de onda 1 assumiram as posições descritas na Figura 6 acima.

Dessa forma, a frequência detectada pelo observador, é dada por

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Das descrições do problema na figura anterior, temos

$$c\Delta t = v\Delta t + \lambda$$

$$\lambda = \Delta t(c - v) \quad (10)$$

Sabendo que,

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Substituindo em (10),

$$\frac{c}{f} = \Delta t(c - v)$$

$$f = \frac{c}{\Delta t(c-v)} \quad (11)$$

De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita (TRR), os tempos nos referenciais são diferentes, logo,

$$t_0 = \textit{tempo pr\u00f3prio}$$

$$t = \textit{tempo para o observador}$$

Sendo, o tempo pr\u00f3prio referente ao referencial S' da fonte, na qual as ondas s\u00e3o emitidas em intervalos de tempo iguais, por\u00e9m para o observador h\u00e1 diverg\u00eancia no tempo de detec\u00e7\u00e3o, assim, de acordo com a TRR, o intervalo de tempo para o observador \u00e9 descrito pela rela\u00e7\u00e3o

$$\Delta t = \gamma t_0 \quad (12)$$

Onde o termo γ , fator relativ\u00edstico, \u00e9 dado por,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sendo que, relacionando o tempo pr\u00f3prio com o per\u00edodo, temos

$$t_0 = T_0 = \frac{1}{f_0}$$

Que descreve o per\u00edodo de oscila\u00e7\u00e3o da onda, dado pelo inverso da frequ\u00eancia pr\u00f3pria.

Assim, substituindo na equa\u00e7\u00e3o (12), fica,

$$\Delta t = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{T_0}{\sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c^2}}} = \frac{T_0}{\frac{1}{c}\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{T_0 c}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{c}{f_0 \sqrt{c^2 - v^2}} \quad (12.1)$$

Substituindo em (11),

$$f = \frac{c}{\frac{c}{f_0 \sqrt{c^2 - v^2}}} = f_0 [(c + v)(c - v)]^{1/2} (c - v)^{-1} = f_0 (c + v)^{1/2} (c - v)^{-1/2}$$

Assim,

$$f = f_0 \sqrt{\frac{c + v}{c - v}} = f_0 \sqrt{\frac{c \left(1 + \frac{v}{c}\right)}{c \left(1 - \frac{v}{c}\right)}}$$

Onde,

$$\beta = \frac{v}{c}$$

Obt\u00e9m-se,

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} \quad (13)$$

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \quad (13.1)$$

A equação (13) acima, descreve o movimento de aproximação da fonte em relação ao observador estático, e analogamente, invertendo os sinais devido o sentido da velocidade para o caso de afastamento, temos a equação (13.1).

3. METODOLOGIA DE ENSINO

O ramo docente engloba muito além do momento em sala de aula, previamente, deve-se associar teorias e métodos aos objetivos que se pretende alcançar. Para isso, o conhecimento das teorias de aprendizagem torna-se importante nessa construção, tendo em vista que vários teóricos buscam desde um longo período melhorias e alternativas para potencializar o processo de ensino aprendizagem, possibilitando que as metodologias behavioristas (tradicionais) fiquem ultrapassados. Nesse sentido, a teoria de ensino aprendizagem norteadora desta sequência didática, se baseia na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), associada a metodologias ativas por meio das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC), que serão discutidas a seguir.

3.1 Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi preconizada pelo norte-americano David Ausubel (1978), psicólogo e médico. Para MOREIRA (1995), A TAS de Ausubel descreve-se a partir do foco na aprendizagem cognitiva, na qual há um armazenamento organizado das informações, formando uma hierarquia de conceitos, sendo este conhecido como a estrutura cognitiva. Além disso, enfatiza-se nesta teoria o papel do professor em reconhecer aquilo que o aluno já sabe, fator esse primordial para ocorrer a aprendizagem, e a partir desse saber pré-existente, realizam-se associações com novos componentes do novo material apresentado proporcionando modificações (MOREIRA, 1999). Nessa perspectiva, nos próximos parágrafos serão discutidos os aspectos que contemplam a TAS de Ausubel.

Um dos pontos importantes descritos nesta teoria, diz respeito a atribuição dada por Ausubel sobre o conhecimento prévio do aluno especificamente relevante para uma nova aprendizagem, descrito como **subsunçor**, ou seja, para exercer a TAS deve-se considerar o subsunçor e relacioná-lo com o novo conhecimento, que após a interação, proporciona-se uma modificação ou extensão do subsunçor, processo esse nomeado de **ancoragem**. É interessante destacar que, esses subsunçores são relacionados hierarquicamente e dinâmicos, compondo a estrutura cognitiva, assim, pode haver deslocamentos entre a hierarquia dos subsunçores, devido à composição de um novo saber mais ou menos abrangente, ocorrendo uma incorporação, nomeada em sua teoria como **aprendizagem superordenada**.

Na ausência destes subsunçores, descreve-se que ocorra o uso da aprendizagem mecânica, prática descrita por Ausubel como aprendizagem arbitrária com pouco ou sem nexo a estrutura cognitiva existente, como forma de introduzir um conhecimento sem subsunçor, em tal ponto que se possa estabelecer essa estrutura prévia, mesmo que limitada, possibilitando estender para novas áreas posteriormente apresentadas. Para facilitar a inserção desses

subsunçores, Ausubel aponta para o uso de **organizadores prévios**, definidos como uma estratégia que emprega materiais introdutórios para estabelecer conexão entre o conhecimento prévio e o que se deve saber para formar os subsunçores e possibilitar a aprendizagem do conhecimento desejado.

Dessa forma, para ocorrer a AS, deve-se considerar dois fatores: o material de aprendizagem **potencialmente significativo** e **predisposição para aprender**.

Ao mencionar o material como potencialmente significativo, afirma-se que o material a ser usado apresenta ao aprendiz significado lógico (não-arbitrário e não-literal), relacionando especificamente com a estrutura cognitiva apropriada, além de um subsunçor adequado para estabelecer essa relação.

Quanto ao material potencialmente significativo, MOREIRA (2007, pág. 8) destaca que **“É importante enfatizar aqui que o material só pode ser *potencialmente significativo*, não *significativo*: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo, ..., pois o significado está nas pessoas, não nos materiais”**.

Portanto, esta primeira condição estabelece que o material a ser utilizado deve ser potencialmente significativo, e o aprendiz é quem irá dar significado para o novo conhecimento apresentado, podendo ser atribuído de forma rápida ou lenta, dependendo das condições do aprendiz.

O segundo aspecto condicional para uma AS, a predisposição para aprender, está vinculada exclusivamente ao estudante, pois é necessário existir a vontade de relacionar o novo conhecimento de forma não-arbitrária e não-literal a estrutura cognitiva pré-existente, sendo assim, não se trata de memorização, e sim modificações, incorporando nos subsunçores os novos saberes adquiridos, permitindo assim novas perspectivas enriquecedoras. Contudo, essa condição é tão importante quanto a primeira, pois sem ela, de nada adianta existir o material potencialmente significativo e vice-versa.

Ao contemplar essas condições, como analisar se houve AS? Para isso, não se deve apenas observar se o aprendiz consegue recitar aqueles conceitos mais importantes do conhecimento discutido, mas propor situações que estejam fora do contexto usado na apresentação do novo conhecimento, evitando uma aprendizagem significativa simulada.

Dessa forma, analisam-se três possibilidades de aprendizagem significativa: representacional, de conceitos e proposicional. A **aprendizagem representacional** define-se como aquela que está vinculada a símbolos e seus significados referentes (específicos), e trata-se de uma aprendizagem que está subordinada aos demais tipos de aprendizagem por ser a mais básica. De outro modo, a **aprendizagem de conceitos** inclui a aprendizagem representacional,

pois necessita ir além daquilo a que a própria palavra se refere, ou seja, o aprendiz trata de forma genérica tal símbolo, aplicando a outros conceitos relacionados. Por fim, a **aprendizagem proposicional**, como o próprio nome descreve, caracteriza-se na formação de proposições constituídas pelas palavras juntas descrevendo ideias, contradizendo a aprendizagem representacional. Enfatiza-se nesta última forma de aprendizagem que esta possui o pré-requisito de atingir previamente as aprendizagens anteriores, não tratando como uma soma, mas, por serem de fato, requisitos para desenvolver as ideias com proposições.

Ausubel, sobre a assimilação, descreve que esta ocorre no momento das crianças na escola e na fase adulta, pois esta é amplamente desenvolvida por relações como a ampliação do vocabulário e demais contato com objetos, favorecendo a assimilação de conceitos. Assim, com a formação de ideias estabelecidas na estrutura cognitiva, relaciona-se de forma substantiva e não-arbitrária com o novo conhecimento ou material potencialmente significativo. Como descreve MOREIRA (1999), sistematicamente sobre a assimilação, ao receber uma nova informação **a** (potencialmente significativa) relacionada por um subsunçor **A**, ocorre dessa interação uma modificação, resultando em um produto interacional (novo subsunçor **A'a'**). Naturalmente, se houve de fato a retenção, compreensão de **a'** e **A'** enriquecidos pela interação entre eles, com o avanço temporal, ocorrerá o esquecimento de parte da informação modificada pela apresentação de **a**, mas que, de fato, o subsunçor estabelecido dessa interação (**a'+ A' = A'a'**) será apenas **A'**, que constitui agora um novo subsunçor. Enfatiza-se que **A'** não pode ser tratado como o mesmo **A'** da primeira exposição, pois este é constituído de resíduos da interação com **a'**, processo esse chamado de **assimilação obliteradora**, pois **A'** é o resultado retido pela obliteração de **a'**.

A partir dos aspectos descritos a respeito da aprendizagem na TAS ausubeliana, mencionou-se até o momento apenas a aprendizagem **superordenada**, que compõe apenas um dos três tipos de aprendizagem desta teoria, sendo elas: **subordinada** e **combinatória**. A aprendizagem subordinada é caracterizada quando o novo conhecimento é apresentado ao aprendiz e ocorre a subordinação deste conhecimento com os subsunçores pré-existentes. Por outro lado, a aprendizagem combinatória, como sugere a palavra, consiste em uma combinação de conhecimentos novos com os existentes na estrutura cognitiva, de modo que, não será um conhecimento que subordina ou superordena o anterior, ou seja, haverá uma interação do subsunçor com o novo conhecimento por possuírem pontos em comum sem que ocorra uma mudança na posição da hierarquia conceitual.

A partir dos tipos de aprendizagens apresentadas, enfatizam-se dois processos que ocorrem durante a aprendizagem, sendo eles denominados como **diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (integradora)**.

O processo de diferenciação progressiva pode ser descrito a partir da progressão em um conceito geral e, ao serem apresentadas especificidades daquele conceito, ocorrem diferenciações do subsunçor. Portanto, é um processo que ocorre na aprendizagem por subordinação apresentado anteriormente. Enquanto isso, o processo de reconciliação integradora, comum na aprendizagem superordenada, supracitada, remete-se a relação que o aprendiz faz entre as ideias de modo a realizar combinações, possibilitando superar possíveis lacunas entre os conceitos, de forma integrativa.

Portanto, concluem-se condições básicas para ser possível ocorrer a aprendizagem significativa, devendo-se assim dispor de material relacionável aos subsunçores e o aprendiz precisa estar disposto para estabelecer as assimilações ao objeto de estudo de forma substantiva e não-arbitrária, logo não ocorrerá apenas por memorização literal.

Com a integração da TAS de David Ausubel ao presente trabalho, o uso de metodologias ativas se faz importante diante do contexto do processo educacional no Brasil, tendenciando para uma aprendizagem com formação voltada para um perfil integral.

Entende-se por metodologia ativa, um processo de construção em que o estudante possui postura ativa em relação ao seu aprendizado, utilizando-se de experiências que envolvam um contexto prático, instigando a busca por soluções que estejam relacionadas à realidade (ação-reflexão-ação) (FREIRE, 2006). Dessa forma, o discente é colocado no centro do processo de ensino-aprendizagem.

Para a abordagem das metodologias ativas, Anastasiou e Alves (2007) elencam formas que despertam práticas ativas, substituindo formas de ensino tradicional que possibilitam ganhos no processo ensino-aprendizagem: aula expositiva dialogada; estudo de texto; portfólio; tempestade cerebral; mapa conceitual; estudo dirigido; lista de discussão por meios informatizados; Phillips 66; grupo de verbalização e de observação (gv/go); dramatização; seminário; estudo de caso; júri simulado; simpósio; painel; fórum; oficina (laboratório ou workshop); estudo do meio; ensino com pesquisa. Dentre essas ferramentas, usaram-se para a realização deste trabalho aulas expositivas, estudo de caso e experimentação.

4. PROPOSTA EXPERIMENTAL

Nesta seção, serão apresentados os experimentos que abordam o efeito Doppler-Fizeau em ondas eletromagnéticas, possibilitando ao estudante visualizar a ocorrência desse fenômeno, e ao introduzir esta prática, intrinsecamente discute-se a física moderna. Dessa forma, apresentam-se os materiais utilizados (Arduino e sensor HB100) para a confecção do experimento e suas variações experimentais através dos códigos de programação que possibilitam avaliar gráficos, velocidade de um alvo e automação de sistemas. Nesse sentido, para a realização das atividades, será inicialmente discutido sobre o sensor empregado no experimento e seu funcionamento com o uso de Arduino.

Conforme supracitado, a primeira atividade proposta consiste na visualização do sinal da frequência detectada pelo sensor Doppler Radar (HB100), em que é observado através do software Excel, possibilitando investigar as oscilações das frequências ao aproximar ou afastar determinado alvo. Nessa primeira abordagem, o estudante pode comprovar que as ondas eletromagnéticas podem sofrer o efeito Doppler-Fizeau.

A segunda atividade experimental funciona a partir de uma nova programação do Arduino com o HB100, que atribui uma interpretação ao sinal da frequência aparente detectada, sendo apresentada em velocidade, através da equação na biblioteca do fabricante do sensor.

Por fim, na última atividade experimental, ao inserir outro código de programação, pode-se atribuir fatores condicionantes para os sinais das frequências detectadas, sendo assim, surgem inúmeras aplicações de automação, e neste trabalho simula-se através do monitor serial o acionamento de uma porta, tal como em um shopping, por exemplo. Dessa forma, aqui tem-se uma atividade que expõe o estudante ao desenvolvimento de atividades práticas que relacionam a teoria física com o desenvolvimento de tecnologias do cotidiano.

Dessa forma, com esse experimento, surgem abordagens de uma teoria amplamente difundida desde sua descoberta até os dias atuais, permitindo que o estudo do efeito Doppler-Fizeau no ensino médio exceda à sala de aula, relacionando a teoria e a prática.

4.1 Apresentação dos materiais: Arduino e Sensor HB100

Esta seção é destinada a familiarizar o leitor que não possui contato com a plataforma Arduino, em que se aborda de forma breve os aspectos introdutórios da prototipagem com esta ferramenta, ressaltando que existem inúmeras possibilidades. As informações contidas neste material foram retiradas do site oficial do Arduino².

² Site oficial do Arduino: <https://www.arduino.cc/>

4.1.1 Arduino

O Arduino surgiu a partir de um projeto desenvolvido no Ivrea Interaction Design Institute, Itália, no ano de 2005, em que possui um hardware (estrutura física) e software (estrutura digital) livre, ambos em código aberto, ou seja, o usuário pode realizar alterações de acordo com sua necessidade.

- O que é o Arduino?

O Arduino consiste em uma placa com processador microcontrolador (Atmel), com entradas e saídas digitais e analógicas, possibilitando a ligação com sensores e cada sensor possui uma função específica. Existem diversos modelos de Arduino, e seu tipo deve ser correspondente ao que se deseja fazer, uma vez que cada Arduino possui diferentes formatos e configurações de hardware. Para este trabalho, o Arduino Uno, Figura 7 abaixo, é adequado para a atividade.

Figura 7 – Arduino Uno.



Fonte: Arduino.CC, 2024.

- Como nos comunicamos com o Arduino?

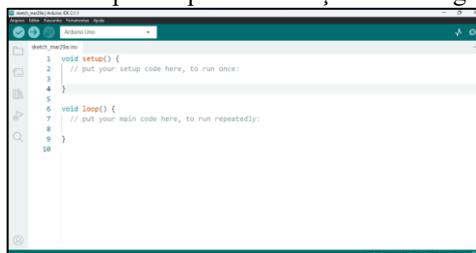
A princípio, o hardware dispõe de conexão mediante cabo USB (também chamado de Cabo Serial USB) e para que o conjunto (placa e sensores) funcione, usa-se o software IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento) que é nativo do Arduino e disponibilizado no site oficial, exposto na Figura 8, em que ao abrir o software, visualiza-se um terminal, exposto na Figura 9, para a escrita da **Linguagem de Programação para construir os códigos de programação** e possibilitar a comunicação do Arduino com os sensores conectados.

Figura 8 – Ícone do IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento)



Fonte: autor (2023).

Figura 9 – IDE do Arduino pronta para construção dos códigos de programação.



Fonte: autor (2023).

Para mais detalhes sobre o uso básico do Arduino, bem como a instalação dos programas necessários, recomenda-se visitar o site oficial, na aba guia³.

- O que é código de programação?

Para que o Arduino controle os sensores, é necessário enviar esse comando ao Arduino, caso contrário nada acontecerá. Dessa forma, você precisa construir o código de programação, e neste trabalho usamos a linguagem de programação C++, nativa do IDE do Arduino, que irá comunicar-se com a placa e este controlará os sensores que você conectou. Um dos diferenciais do uso de Arduino está em não exigir que o usuário seja um programador, pois há muito material disponível na internet que auxilia na escrita e sintaxe da programação, com isso, torna-se acessível e empolgante sua aplicação.

Ressalta-se que **cada sensor possui funções de programação próprias** (bibliotecas), que estão disponíveis no IDE ou sites de desenvolvedores (Arduino.CC, GitHub e blogs).

4.1.2 Sensor Doppler Radar – HB100

O sensor utilizado nesse experimento é o HB100, que é um transmissor de ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas, com frequência de 10 GHz, e o dispositivo possui dois pares de antenas emissoras (TX) e receptoras (RX) utilizando a reflexão dessas ondas para verificar a possível distorção na frequência devido aproximação ou afastamento, conforme demonstrado na Figura 10 abaixo.

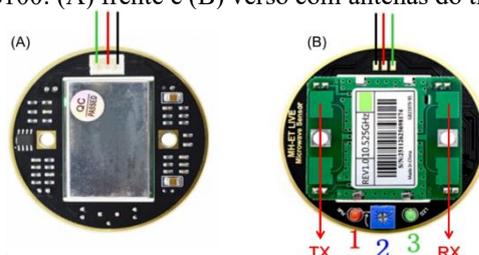
Figura 10 – Dispositivo experimental com suporte de isopor.



Fonte: autor (2023).

Na Figura 11 a seguir, pode-se observar a estrutura básica desse sensor.

Figura 11 – Sensor HB100: (A) frente e (B) verso com antenas do transmissor em destaque.



Fonte: adaptada de <https://pt.aliexpress.com/i/4001042561233.html>.

³ Baixando e instalando o Arduino IDE, disponível em: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/getting-started/ide-v2-downloading-and-installing/#windows>

Na Figura 11 (A), é possível observar os pinos de conexão, sendo saídas de sinal digital (fio verde), VCC ou positivo de 5 volts (fio vermelho) e GND ou negativo (fio preto), enquanto que na Figura 11 (B) destacam-se os indicadores 1, 2 e 3 que representam o estado ligado do sensor, ajuste de distância e detecção de alvo, respectivamente.

A aquisição deste módulo sensor pode ser realizada em sites na internet, como: Mercado Livre, *AliExpress*, *Shopee* e entre outros. Ressalta-se que no período de aquisição deste dispositivo, no ano de 2023, foi investido um valor de 50 reais no site *AliExpress*.

De acordo com o fabricante, em seu manual⁴, para o funcionamento ideal deste sensor, é necessário um circuito elétrico que contemple um amplificador de sinal para o transmissor, porém, como este trabalho possui fim qualitativo do fenômeno, não foi necessária sua aquisição, portanto, os valores de frequência detectada pelo sensor não são ideais para determinar a frequência, logo, implica em divergência do real valor da velocidade de um alvo, mas, destaca-se o nível de detecção do HB100 que é incrivelmente sensível para qualquer movimento.

Além disso, é destacado no manual que a frequência de deslocamento Doppler é proporcional à velocidade do movimento e é determinada pela equação abaixo:

$$F_d = 2V \left(\frac{F_t}{C} \right) \cos\theta$$

Sendo,

F_d : Frequência Doppler;

V : velocidade do alvo;

F_t : Frequência Transmitida;

C : velocidade da luz;

θ : O ângulo entre a direção de movimento do alvo e o eixo do módulo.

Dessa forma, com estes materiais, pode-se realizar as aplicações que possibilitam investigar o aspecto físico do Efeito Doppler-Fizeau de forma prática.

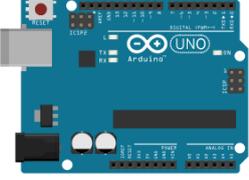
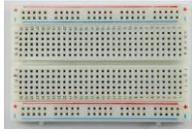
4.2 Descrição das Atividades

4.2.1 Atividade introdutória – Compreendendo o Arduino

A princípio, faz-se necessário propor uma atividade de apresentação do Arduino para a turma, e nesse caso, propõe-se realizar a comunicação do Arduino com um componente básico, o Diodo Emissor de Luz (LED). Dessa forma, serão necessários para esta atividade os materiais listados na tabela abaixo:

⁴ Acesso ao manual do Sensor HB100: https://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/MSAN-001_AGILSENSE.pdf

Tabela 1 – Materiais para realização dos experimentos

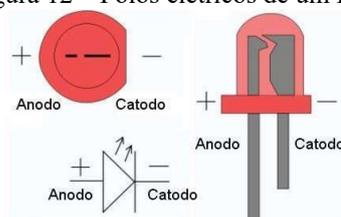
Arduino Uno	
7 Jumper (conectores tipo macho-macho)	
Protoboard	
Cabo Serial USB	
LEDs	

Fonte: autor (2023).

A partir da disposição destes componentes, pode-se realizar uma atividade que permitirá aos estudantes o contato com o microcontrolador, possibilitando a compreensão do uso do Arduino. Essa atividade consiste em acionar LEDs, onde se deve propor, ao final, desafiar os participantes a construírem um código de programação que simule um semáforo.

Nesta atividade experimental, busca-se inserir os alunos no contexto da prototipagem com Arduino através da programação para acionar um LED. A princípio, é necessário explicar sobre os polos que os LEDs possuem para serem conectados de forma correta com as saídas de energia da placa, evitando danificar as lâmpadas, conforme exposto na Figura 12.

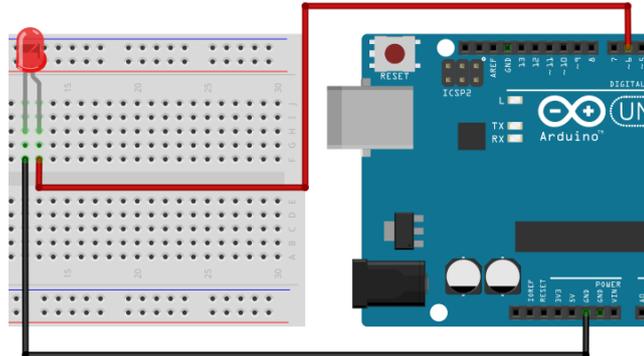
Figura 12 – Polos elétricos de um LED.



Fonte: www.tecnosolution.blogspot.com.

A partir disso, pode-se direcionar para a montagem do circuito elétrico demonstrado na Figura 13.

Figura 13 – Circuito elétrico Arduino com LED.



Fonte: Fritzing.org.

Veja que a polaridade negativa (catodo) é conectada no GND da placa e a polaridade positiva (anodo) na porta digital. Após a montagem do circuito acima, deve-se escrever o código da Tabela 2 abaixo no IDE do Arduino.

Tabela 2 – Código de programação para controlar um LED.

```
void setup ()
{
  pinMode (6, OUTPUT);
}
void loop ()
{
  digitalWrite (6, HIGH);
  delay (1000);
  digitalWrite (6, LOW);
  delay (1000);
}
```

Fonte: autor (2023).

Existem duas estruturas básicas na programação do Arduino: *void setup* e *void loop*. A função “*void setup*” é usada para inicializar a comunicação do Arduino com os pinos de entrada e/ou saída, além de outras funções de comunicação. Enquanto o “*void loop*” é executado logo após e de forma contínua, de cima para baixo.

Note que, podemos comparar o Arduino como se fosse uma pessoa lendo instruções para realizar uma atividade, no *void setup* é entendido o que existe disponível, e no *void loop*, a ordem com que as coisas devem ser feitas repetidas vezes.

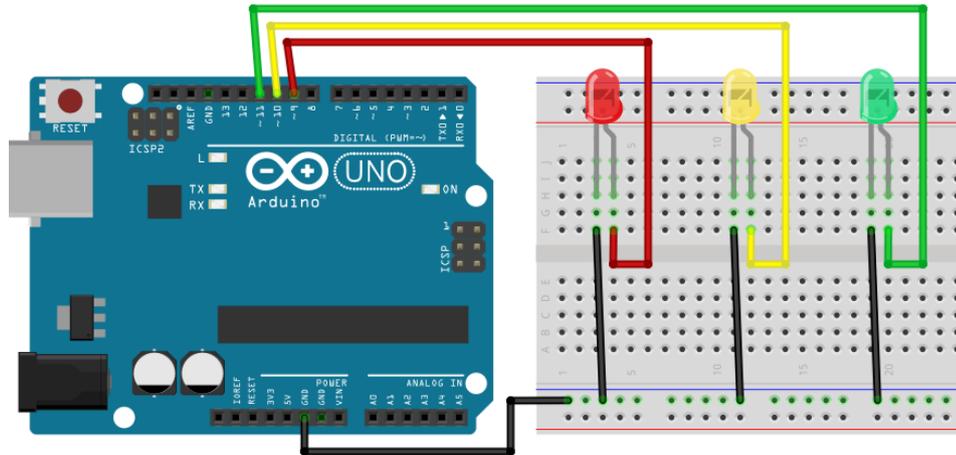
A função “**pinMode(6, OUTPUT)**” configura um pino de saída (*output*) ou entrada (*input*), nesse caso temos que o pino digital 6 do Arduino é uma saída, ou seja, acionar o LED conectado nesta porta.

Na estrutura do *void loop*, a função **digitalWrite** configura o estado da saída do pino, ligado (*HIGH*) ou desligado (*LOW*), por exemplo. Dessa forma, indica-se qual porta receberá

o sinal configurado, e por fim, a função *delay* consiste em um atraso na execução da leitura do código, significa uma pausa descrita em milissegundos.

Após esta atividade, é interessante desafiar os estudantes a usarem estas funções e componentes para criar um semáforo. O circuito elétrico pode ser estabelecido conforme exposto na Figura 14.

Figura 14 – Circuito elétrico do semáforo.



Fonte: FRITZING.ORG.

Nesse momento busca-se despertar o interesse nos participantes, criando um ambiente de criatividade. O código da Tabela 3 abaixo demonstra como resolver este desafio.

Tabela 3 – Código de programação do Desafio do Semáforo.

```
void setup ()
{
  pinMode (9, OUTPUT);
  pinMode (10, OUTPUT);
  pinMode (11, OUTPUT);
}
void loop()
{
  digitalWrite (9, HIGH);
  delay (2000);
  digitalWrite (9, LOW);
  digitalWrite (10, HIGH);
  delay (2000);
  digitalWrite (10, LOW);
  digitalWrite (11, HIGH);
  delay (2000);
  digitalWrite (11, LOW);
}
```

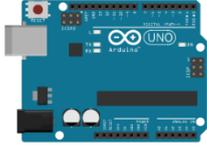
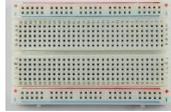
Fonte: autor (2023).

Superada esta atividade introdutória, espera-se que os participantes tenham compreendido o funcionamento básico do Arduino, possibilitando o início dos experimentos.

4.2.2 Experimentos do Efeito Doppler-Fizeau

Para as práticas experimentais com Arduino e Sensor HB100 serão necessários os itens listados na Tabela 4 a seguir.

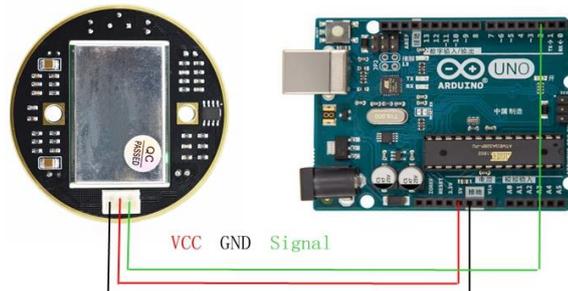
Tabela 4 – Itens necessários para a prática experimental do Efeito Doppler-Fizeau.

Arduino Uno	
Jumper (conectores)	
Protoboard	
Cabo Serial USB	
Sensor HB100	

Fonte: autor (2023).

Com esses componentes dispostos, pode ser realizado a montagem do circuito elétrico conforme as conexões indicadas na Figura 15 abaixo.

Figura 15 – Circuito elétrico Arduino-HB100.



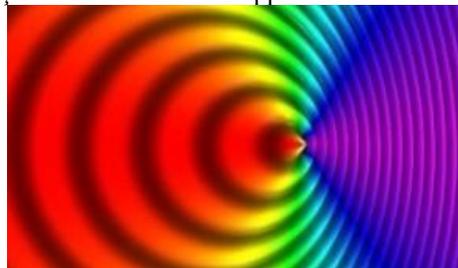
Fonte: ALI EXPRESS, 2024.

Veja que na Figura 15 não é utilizado protoboard, ou seja, é um componente opcional, e a conexão deve ser feita com a porta digital 3 ou 8, pois os dados nesse caso não são modulados PWM (~).

O dispositivo transmissor (Arduino e HB100), serão responsáveis por detectar o efeito Doppler-Fizeau que é um dos fenômenos que ocorre de modo geral em ondas, e consiste na percepção de mudança na frequência detectada em relação à frequência emitida por uma fonte devido o movimento relativo entre fonte e observador (HALLIDAY, 2016).

Outro ponto relevante, consiste nos movimentos de aproximação da fonte em relação ao observador, e nesse caso a frequência é aumentada, fenômeno chamado de *desvio para o azul*, e movimento de afastamento da fonte em relação ao observador, e aqui a frequência percebida é inferior àquela emitida, também conhecido como *desvio para o vermelho*. Na Figura 16 podemos observar uma ilustração deste fenômeno.

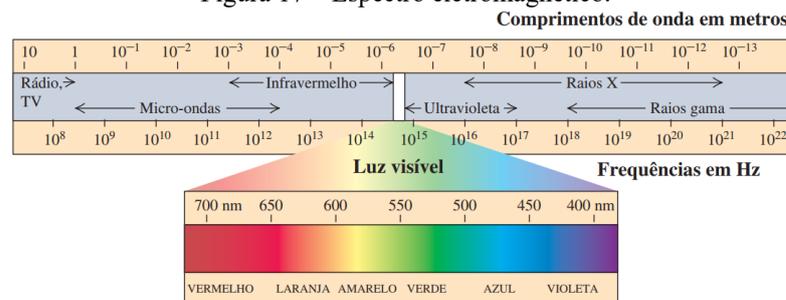
Figura 16 – Representação visual do Efeito Doppler-Fizeau em uma onda eletromagnética.



Fonte: WIKIMEDIA, 2006.

Os desvios observados se devem ao fato de que, no espectro eletromagnético, a luz visível com maior frequência, e menor comprimento de onda é o violeta, e, em contrapartida, a luz visível com menor frequência e maior comprimento de onda é o vermelho, conforme exposto na Figura 17 abaixo.

Figura 17 – Espectro eletromagnético.



Fonte: YOUNG; FREEDMAN. (2016, p. 414).

Com esses pressupostos, e com a disposição dos recursos supracitados, pode-se iniciar as práticas experimentais, e para auxiliar na implementação desta abordagem experimental, no

Apêndice A, é disponibilizado um Manual de Laboratório, com instruções de ação para nortear as atividades de efeito Doppler-Fizeau no laboratório de informática.

4.2.2.1 Experimento 1 - Visualização da Frequência detectada

Esse experimento consiste na observação da oscilação da frequência aparente detectada por reflexão, cujo objetivo interpretar o que significa os picos e vales observados na construção do gráfico. A Figura 18 abaixo demonstra como o conjunto pode ser aplicado para funcionamento.

Figura 18 – (A): vista panorâmica do dispositivo de experimento, (B) vista frontal e (C) vista traseira do transmissor.



Fonte: autor (2023).

Note que foi usada uma caixa de isopor para fixar o sensor, onde fizeram-se alguns furos para passagem dos cabos de alimentação e comunicação com o Arduino.

Para esse experimento, o código de programação na Tabela 5 abaixo deve ser inserido na IDE do Arduino, possibilitando a detecção (leitura) do sinal da frequência aparente.

Tabela 5 – Código de programação para plotagem de gráfico da frequência detectada no Excel.

```
#include <FreqMeasure.h> // Inclui a biblioteca FreqMeasure.h
int linha = 0; // Declara e inicializa a variável "linha" com o valor 0
int LABEL = 1; // Declara e inicializa a variável "LABEL" com o valor 1
float frequency = 0.0; // Declara e inicializa a variável "frequency" como um número de ponto flutuante (float) com o valor 0.0
float state; // Declara a variável "state" como um número de ponto flutuante (float)
void setup()
{
  Serial.begin(57600); // Inicializa a comunicação serial com a taxa de transmissão de 57600 bps
  FreqMeasure.begin(); // Inicializa a medição de frequência usando a biblioteca FreqMeasure
  Serial.println("CLEARDATA"); // Envia o comando "CLEARDATA" pela porta serial
  Serial.println("LABEL,linha,frequency"); // Envia os cabeçalhos dos dados pela porta serial
}
void loop()
{
```

```

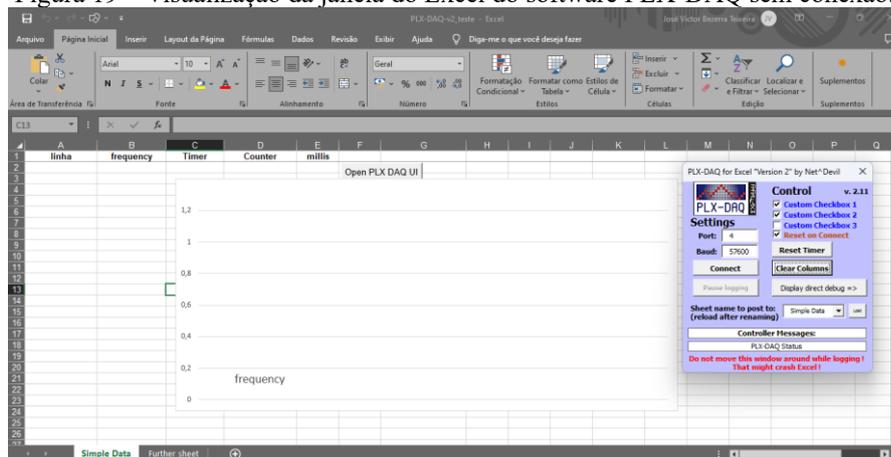
float frequency = FreqMeasure.read(); // Lê a frequência medida e
armazena na variável "frequency"
frequency = FreqMeasure.read(); // Lê a frequência medida novamente e
atualiza o valor da variável "frequency"
Serial.print("DATA,TIME,"); // Envia a string "DATA,TIME," pela porta
serial
Serial.print(frequency); // Envia o valor da variável "frequency" pela
porta serial
Serial.println(); // Envia uma quebra de linha pela porta serial
delay(500); // Aguarda 500 milissegundos
}

```

Fonte: autor (2023).

Após a inserção desse código, é necessário inicializar o Excel do software PLX-DAQ⁵, no qual demonstrará a janela abaixo, Figura 19.

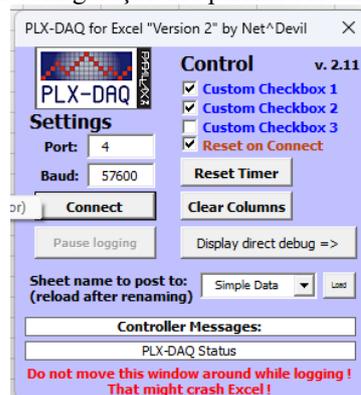
Figura 19 – Visualização da janela do Excel do software PLX-DAQ sem conexão.



Fonte: autor (2023).

Nesta janela, é importante verificar a aba do PLX-DAQ, inserindo a porta digital em que o sensor está conectado no Arduino em *Port* (porta), e na configuração *Baud* (transmissão) inserir o mesmo valor no código de programação do *void setup*, conforme visualizado na Figura 20 abaixo.

Figura 20 – Janela de configuração dos parâmetros utilizados no PLX-DAQ.

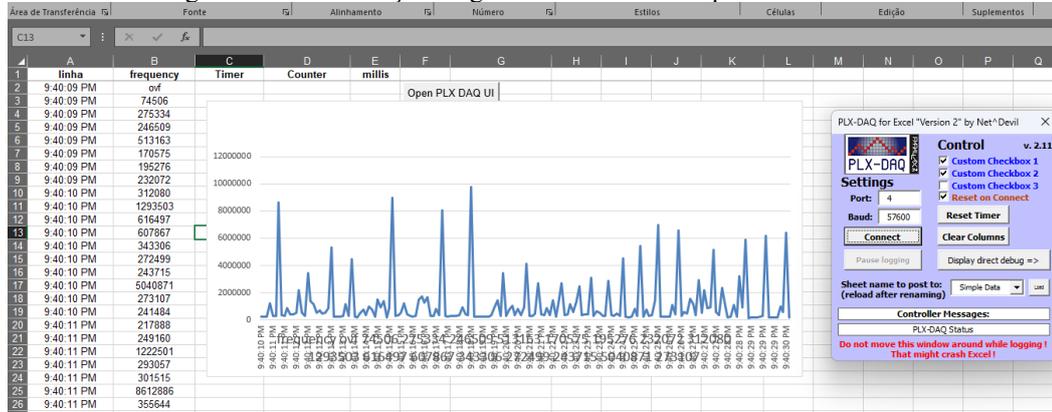


Fonte: autor (2023).

⁵ Para fazer o download do software, acessar: <https://www.parallax.com/package/plx-daq/>

Em seguida, pode-se acionar o botão *connect* (conectar), que iniciará a leitura dos dados do sinal da frequência detectada pelo Arduino através do HB100. A Figura 21 abaixo demonstra como será visualizada a onda detectada.

Figura 21 – Visualização do gráfico do sinal de frequência detectada.



Fonte: autor (2023).

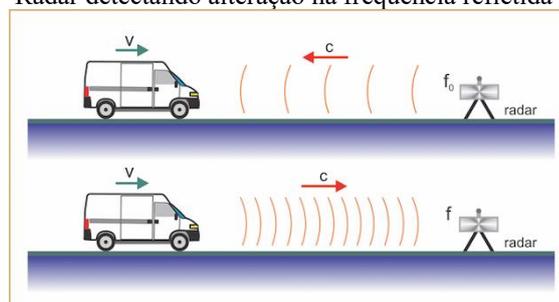
Observe que os picos da onda descrevem que algum objeto se aproximou do transmissor, enquanto nos vales justifica-se pelo afastamento, e na situação de *ovf* (*overflow*) no gráfico, na coluna de *frequency* (frequência), não houve movimentação, logo, não foi detectado divergência na frequência emitida e detectada.

Com esse experimento, espera-se que os participantes compreendam as informações do gráfico e interpretem os picos das ondas conforme a teoria do Efeito Doppler-Fizeau, pois são conhecimentos relevantes no estudo da ondulatória na física moderna.

4.2.2.2 Experimento 2 – Velocidade de um alvo por Efeito Doppler-Fizeau

No segundo experimento, a informação da frequência aparente detectada ganha significado para uma aplicação tecnológica, atribuindo um condicional para o sinal da frequência aparente detectada no código de programação, que resultará na aferição de velocidade de um objeto que está se aproximando do transmissor (radar) em repouso, conforme observado na Figura 22 abaixo.

Figura 22 – Radar detectando alteração na frequência refletida pelo veículo.



Fonte: AUTOMOVEIS.ONLINE. 2024.

Para a realização desta atividade, é utilizado o mesmo conjunto de componentes da atividade anterior, Experimento 1, e a única alteração a ser realizada está no código de programação, disponível na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Código de programação para medir a velocidade de um corpo em movimento por Efeito Doppler-Fizeau.

```
#include <FreqMeasure.h> // Inclui a biblioteca FreqMeasure
para medir frequências

#define DOPPLER_SHIFT_CONSTANT 19.49 // Define a constante
de desvio doppler como 19.49

#define MINIMUM_SPEED 0.3 // Define a velocidade mínima como
0.3

void setup()
{
    Serial.begin(57600); // Inicializa a comunicação serial
com a taxa de transmissão de 57600 bps

    FreqMeasure.begin(); // Inicia a medição de frequência
}

double freq_sum = 0; //Inicializa a soma das frequências como
0

int freq_count = 0; //Inicializa a contagem de frequências
como 0

unsigned long time_since_reading = 0; // Inicializa o tempo
desde a leitura como 0

float max_speed = 0.0; //Inicializa a velocidade máxima como
0.0

void loop()
{
    if (FreqMeasure.available()){ //Verifica se há uma leitura
disponível

    freq_sum = freq_sum + FreqMeasure.read(); // Soma a leitura
atual à soma das frequências

    freq_count++; // Incrementa a contagem de frequências

    unsigned long currentMillis = millis(); // Obtém o tempo
atual em milissegundos

    if (freq_count > 10) { // Verifica se a contagem de
frequências é maior que 10

    float frequency = FreqMeasure.countToFrequency(freq_sum /
freq_count); // Calcula a frequência média
```

```

float speed = frequency/DOPPLER_SHIFT_CONSTANT; // Calcula
a velocidade usando o desvio doppler

if (speed > MINIMUM_SPEED) { // Verifica se a velocidade é
maior que a velocidade mínima

if (speed > max_speed) { // Verifica se a velocidade atual
é maior que a velocidade máxima registrada

max_speed = speed; // Atualiza a velocidade máxima

}

Serial.print(speed); // Imprime a velocidade atual

Serial.print(" (");

Serial.print(max_speed); // Imprime a velocidade máxima
registrada

Serial.print(") km/h"); // Imprime a unidade de velocidade

time_since_reading = currentMillis; // Atualiza o tempo
desde a leitura

Serial.println(); // Imprime uma nova linha

}

freq_sum = 0; // Reinicia a soma das frequências

freq_count = 0; // Reinicia a contagem de frequências

}

}

}

```

Fonte: autor (2023).

Após o envio do código para o Arduino, você visualizará na IDE através do monitor serial as velocidades detectadas, conforme a Figura 23 a seguir.

Figura 23 – Visualização da velocidade de um corpo no monitor serial da IDE.

```

PROJETO_MESTRADO.ino
1 #include <FreqMeasure.h> // Inclui a biblioteca FreqMeasure para medir frequências
2 #define DOPPLER_SHIFT_CONSTANT 19.49 // Define a constante de desvio doppler como 19.49
3 #define MINIMUM_SPEED 0.3 // Define a velocidade mínima como 0.3
4 void setup()
5 {
6   Serial.begin(57600); // Inicializa a comunicação serial com a taxa de transmissão de 57600 bps
7   FreqMeasure.begin(); // Inicia a medição de frequência
8 }
9 double freq_sum = 0; //Inicializa a soma das frequências como 0
10 int freq_count = 0; //Inicializa a contagem de frequências como 0
11 unsigned long time_since_reading = 0; // Inicializa o tempo desde a leitura como 0
12 float max_speed = 0.0; //Inicializa a velocidade máxima como 0.0

```

Saída Monitor Serial x

Mensagem (Arduino Uno + Enter para enviar mensagem para 'COM3' em 'undefined')

2.78 (2.95) km/h
1.60 (1.60) km/h
0.86 (1.60) km/h
0.53 (1.60) km/h
0.65 (1.60) km/h
0.56 (1.60) km/h

Fonte: autor (2023).

Ressalta-se que, a velocidade verificada em parênteses, não está calibrada, tal atividade será realizada em trabalhos futuros, logo o código disponibilizado anteriormente possui uma abordagem qualitativa do Efeito Doppler-Fizeau usando as micro-ondas para verificar a velocidade de um objeto, cujos valores são aproximações e condizem com uma representação dos equipamentos medidores de velocidade desenvolvidos por fabricantes regulamentados e utilizados por agentes de trânsito.

Diante disso, essa atividade possibilita ao estudante visualizar como é realizada a aferição de velocidade nos radares de velocidade que estão dispostos nas vias, relacionando a teoria da física com a aplicação tecnológica empregada.

4.2.2.3 Experimento 3 – Automação de uma porta por Efeito Doppler-Fizeau

Neste experimento, busca-se proporcionar aos participantes outra aplicação tecnológica da teoria do Efeito Doppler-Fizeau em nosso cotidiano, assim, é feita a simulação de uma porta automatizada usando-se da onda refletida após a aproximação de uma pessoa (alvo) no campo de atuação das ondas emitidas pelo transmissor, conforme ilustrado na Figura 24 abaixo.

Figura 24 – Porta automática com área de atuação das ondas eletromagnéticas em destaque.



Fonte: HOTRON.COM.

O código de programação na Tabela 7 abaixo foi construído a partir de um sinal de dados da frequência própria do transmissor, sendo o valor 4294967295, valor máximo armazenado, assim, a lógica de programação baseia-se em condicionar a variação desse sinal que devido à aproximação será divergente da frequência da onda emitida, ocorrendo aumento na frequência, logo o sistema comunicará a mensagem “PORTA ABERTA”, e para o caso de não ocorrer movimento que possibilite alguma flutuação abaixo do sinal padrão, o sistema deverá mostrar a mensagem “PORTA FECHADA”, simulando a situação de uma pessoa afastando-se da porta ou nenhuma atividade.

Tabela 7 – Código de programação para simular a automação de uma porta.

```
#include <FreqMeasure.h> // Inclui a biblioteca FreqMeasure
para medir frequências
```

```

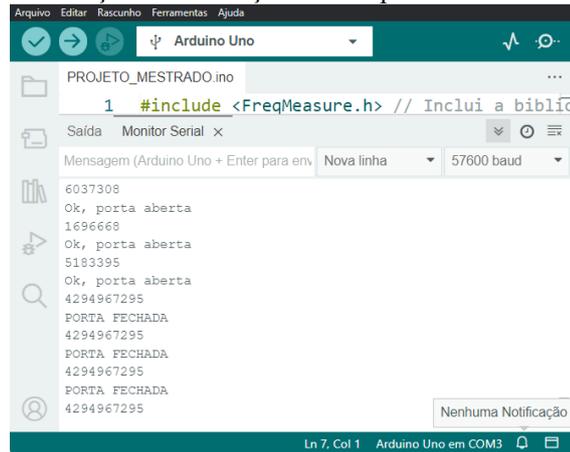
void setup() {
  Serial.begin(57600); // Inicializa a comunicação serial com
  uma taxa de transmissão de 57600 bps
  FreqMeasure.begin(); // Inicia a medição da frequência
}
void loop() {
  FreqMeasure.read(); // Lê o valor da frequência medida, mas
  não o utiliza
  Serial.println(FreqMeasure.read()); // Lê o valor da
  frequência medida e o imprime no monitor serial
  delay(500); // Aguarda 500 milissegundos
  if(FreqMeasure.read() <4294967295){ // Verifica se o valor da
  frequência medida é menor que 4294967295
  Serial.println("Ok, porta aberta"); // Imprime "Ok, porta
  aberta" no monitor serial se a condição for verdadeira
  if(FreqMeasure.read() <4294967295) // Verifica novamente se
  o valor da frequência medida é menor que 4294967295
  delay(2000); // Aguarda 2000 milissegundos se a condição for
  verdadeira
  }
  else{ // Executa se a condição na linha 11 for falsa
  if(FreqMeasure.read() >4194967295) // Verifica se o valor da
  frequência medida é maior que 4194967295
  Serial.println("PORTA FECHADA"); // Imprime "PORTA FECHADA"
  no monitor serial se a condição for verdadeira
  delay(2000); // Aguarda 2000 milissegundos
  }
}
}

```

Fonte: autor (2023).

Após encaminhar o código ao Arduino, é necessário clicar em monitor serial para monitorar o estado que o sensor está identificando, lembrando que o monitor serial é uma interface nativa da IDE do Arduino. A Figura 25 abaixo ilustra o código em funcionamento.

Figura 25 – Visualização da automação de uma porta no monitor serial da IDE.



Fonte: autor (2023).

Fica nítida a eficiência do sistema e sua aplicação prática em sala de aula, pois os dados são gerados instantaneamente na IDE, e o usuário pode realizar as mudanças no código conforme a necessidade de seu projeto. Uma atividade interessante para este experimento seria solicitar dos participantes a construção de uma porta de isopor com motores servos em maquete para representar como uma porta pode ser automatizada e expor em uma feira de ciências, por exemplo.

5. SEQUÊNCIA DE ENSINO

Esta seção é dedicada a descrever uma alternativa de ensino sobre a abordagem do Efeito Doppler-Fizeau de OEM no ensino médio, sendo uma sugestão idealizada pelo autor desta obra e, constitui-se de uma Sequência Didática (SD) com duração de oito tempos de aula para alunos do ensino médio, subdividindo-se em três momentos, a saber: (i) introdução, sendo aula expositiva dialogada e produção de mapas conceituais; (ii) introdução ao Arduino e códigos de programação; e (iii) construção do experimento e aplicações usando OEM através de sensor HB100 acoplado ao Arduino.

Na Tabela 8 abaixo, observa-se a organização geral da proposta de SD quanto à divisão em momentos.

Tabela 8 – Organização da Sequência didática.

Sequência didática							
Introdução				Desenvolvimento		Conclusão	
Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5	Aula 6	Aula 7	Aula 8
Roda de Conversa e questionário inicial	Aula dialogada: conceitos fundamentais	Aula dialogada: grandezas ondulatórias	Aula dialogada: efeito Doppler-Fizeau	Introdução ao Arduino e programação	Introdução ao Arduino e programação	Experimento com Arduino - HB100	Experimento com Arduino - HB100 e questionário final

Fonte: autor (2023).

Com essa abordagem, tem-se uma amplitude de conhecimentos que contemplam aprendizagens múltiplas e ativas, que interligam a física em uma abordagem experimental computacional, contribuindo para uma formação integral do estudante, sendo desenvolvidos em caráter conceitual, procedimental e atitudinal.

Portanto, em concordância com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), para a estruturação desta SD, utiliza-se a competência número 3.

“Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC)”. (BRASIL, 2018, p. 544).

Dessa forma, empregam-se as habilidades: (EM13CNT301) e (EM13CNT308), e com isso, pode-se estabelecer os objetivos.

Objetivo Geral de Ensino

Compreender a importância do desenvolvimento científico proporcionado pela física do efeito Doppler-Fizeau em ondas eletromagnéticas, evidenciando a relação teórico-prática usando Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC).

Objetivos Específicos de Ensino

1. Compreender as diferenças conceituais dos fundamentos da ondulatória;
2. Abordar a construção histórica do efeito Doppler-Fizeau em ondas mecânicas e eletromagnéticas;
3. Introduzir prototipagem com Arduino e Linguagem de programação;
4. Comprovar o Efeito Doppler-Fizeau em ondas Eletromagnéticas.

• Introdução

Aula 1

A primeira aula deve buscar introduzir os estudantes na temática da física e suas aplicações no cotidiano. Assim, é interessante iniciar a partir de uma roda de conversa, para contextualizar e verificar quais tecnologias eles reconhecem conforme as teorias da física, possibilitando analisar os conhecimentos prévios dos participantes. Nesse momento, após manifestarem suas observações cotidianas, é importante que o mediador possa especificar os radares de velocidade nas vias e as portas automáticas, para notar se os alunos conseguem relacionar ao efeito Doppler-Fizeau de ondas eletromagnéticas.

Com esta verificação, o mediador pode anunciar que nas próximas aulas tais explicações serão esclarecidas e então iniciar a aplicação do questionário inicial, disponível no Apêndice B.

Ao término destas atividades, explica-se aos participantes o que será feito ao longo das aulas seguintes, e que o propósito é que possam compreender a importância da física moderna aliada à tecnologia no seu cotidiano.

Aula 2

Nesta aula, serão abordados os conceitos fundamentais da ondulatória, destacando a natureza, meios de propagação, vibração e propagação (longitudinal ou transversal), e classificação do som e da luz.

Para isso, é necessário distribuir para cada aluno um material complementar, disponível no Apêndice C, que deve ser preenchido conforme a evolução da aula. Dessa forma, a aula será iniciada a partir de um slide, disponível no Apêndice D. É importante que os participantes participem do desenvolvimento da aula dialogada, pois além de contribuírem para o avanço do esclarecimento dos conceitos, precisarão ao final desta aula elaborar um mapa

conceitual ou algum tipo de mapa geral, desde que, seja descrito minimamente as relações entre os conceitos apresentados na aula.

A partir disso, pode-se avaliar como os participantes estão entendendo e valorizando os aspectos qualitativos abordados em aula e, caso necessário, suprir as necessidades observadas nos mapas e relatos durante a troca de informação na aula dialogada.

Aula 3

Este momento seguirá a mesma abordagem da aula anterior, onde inicia com a distribuição de novo material, Apêndice E, a ser preenchido no desenvolvimento da aula com slide, Apêndice F, e ao final é solicitado um novo mapa conceitual/geral. A diferença desta aula está contida em abordar os conceitos e definições das grandezas ondulatórias, tais como frequência e comprimento de onda, pois são pontos fundamentais para a compreensão do efeito Doppler-Fizeau.

Ao final desta aula, pode-se anunciar que será iniciado na próxima aula as explicações do funcionamento dos radares de velocidade e portas automáticas, e que posteriormente irão para o laboratório de informática construir esses experimentos, assim os participantes ficam motivados, evitando dispersão nas aulas.

Aula 4

Nesta aula, aborda-se o Efeito Doppler-Fizeau, que provavelmente os estudantes já devem ter ouvido falar apenas com o nome Doppler. Esta aula seguirá a mesma abordagem das aulas dialogadas anteriores, disponibilizando inicialmente um material complementar, Apêndice G, e uso de slide, Apêndice H.

Além disso, serão expostas às contribuições de Doppler e Fizeau para a construção da teoria e a amplitude de seu uso nas tecnologias. Ressalta-se a importância de enfatizar aos estudantes a ocorrência do fenômeno para o som, onda mecânica, e para a luz, onda eletromagnética, pois ao tratar deste fenômeno na luz, observam-se efeitos da teoria da relatividade restrita.

Um fator importante neste momento é que o mediador verifique e analise os resultados e observações desta aula, pois nas atividades experimentais serão instigados a investigar os resultados que o experimento proporciona.

• *Desenvolvimento*

Aula 5

Após a conclusão da introdução, é possível iniciar a introdução ao Arduino e lógica de programação. Nesse momento, é importante verificar o nível de conhecimento dos participantes sobre informática, e ficar atento para explicar todos os procedimentos básicos, manuseio do

mouse, teclado, e o que é a linguagem de programação e qual sua utilidade. Para isso, sugiro aqui uma conversa inicial sobre informática, com perguntas sobre noções básicas para manuseio do computador.

Essa aula, contemplará a inserção dos estudantes no meio informatizado, pois apesar de serem nativos digitais, muitos são apenas usuários destas tecnologias, com pouco conhecimento ou nenhum sobre o funcionamento básico destas ferramentas. Dessa forma, tem-se como objetivo a inclusão digital por meio do microcontrolador Arduino empregado na física moderna.

Inicialmente, caso exista um laboratório de informática, é interessante limitar a turma entre 4 e 5 equipes, assim, será proporcionado a cooperação entre os alunos no andamento das atividades, e o mediador poderá monitorar com eficiência. Na ocasião de não possuir um espaço com laboratório de informática, uma sugestão seria utilizar um projetor e um computador para ser feita a programação diante da turma, com todos participando, ou ainda, dispor das equipes para realizar cada etapa desta aula: programação, montagem do circuito elétrico e teste do código.

Para cada equipe, distribui-se um material complementar, Apêndice I, e em seguida o mediador deve instruir e explicar os componentes de Hardware (Arduino) e Software (IDE) que serão utilizados.

Após esta atividade, certamente muitos estarão interessados para o que será feito nas próximas aulas, onde será dada continuidade as atividades com Arduino. Ao final desta aula, observar os relatos dos participantes é fundamental para o andamento da próxima aula, pois não há como avançar sem que o básico apresentado neste momento seja compreendido.

Aula 6

Esta aula tem o fim de verificar a aprendizagem dos alunos sobre a lógica de programação do Arduino utilizando o mesmo material do Apêndice I, pois serão desafiados a construir o código de programação de um semáforo, exigindo pensamento crítico.

Durante a atividade, o mediador precisa acompanhar o código que está sendo confeccionado pelas equipes, dando suporte caso note alguma sequência que não compreende o propósito do desafio.

Ao final, cada equipe realizará o teste do seu código. Observe que o Arduino possui uma memória que armazena a linguagem de programação, ou seja, ao retirar de um computador e conectar em outro, o código iniciado será o da equipe anterior, fique atento para que as equipes encaminhem seu próprio código e não confundam com o já armazenado no Arduino pela equipe anterior, pois é necessário sobrescrever o código existente.

O término desta atividade implicará na compreensão básica de como o microcontrolador funciona, assim, a turma estará apta para iniciar o experimento do Efeito Doppler-Fizeau com Arduino.

- **Conclusão**

Aula 7

Esta aula irá interligar os conceitos trabalhados na introdução com o microcontrolador Arduino para possibilitar a investigação do efeito Doppler-Fizeau em onda eletromagnética.

Para isso, a turma pode ser dividida em equipes, igualmente nas aulas anteriores, em que inicialmente o mediador apresentará o sensor HB100 com auxílio de um material complementar, Apêndice J e K, e em seguida direcionará a primeira atividade para cada equipe, escrita dos códigos de programação.

Como a prática experimental é dividida em três aplicações, pode-se distribuir para cada equipe um código de programação, assim, cada uma estará responsável pela realização de um experimento: visualização das curvas do sinal de frequência detectada, velocidade de um corpo à distância, e simulação de porta automatizada.

Nesta aula deve ser dado o enfoque para a realização do primeiro experimento, pois é a base para a verificação do fenômeno ocorrendo, logo, seu entendimento é crucial para todas as equipes.

Ao concluir esta atividade, em que a equipe responsável ou a turma desenvolveu, é interessante indagar os estudantes sobre o comportamento que o gráfico está demonstrando. Note que o objetivo é que os alunos consigam visualizar o fenômeno através do gráfico formado pelo sensor no software do Excel. As demais aplicações podem ser exploradas no dia seguinte caso o tempo seja insuficiente.

Aula 8

Esta aula é dedicada à verificação das ondas eletromagnéticas para determinar a velocidade de um corpo e simulação de porta automática. Para isso, distribui-se novamente a turma em equipes responsáveis pelas programações, Apêndice K, de cada experimento.

Com a conclusão das programações, o mediador realizará os testes usando o projetor para que todos visualizem o monitor serial do IDE e interajam na investigação, buscando esclarecer como o processo está ocorrendo no experimento.

É importante que os participantes compreendam que a onda emitida é refletida por um corpo em movimento, e detectada pelo sensor, em que por meio desse movimento relativo entre a fonte estacionária e o alvo, forneça ao sensor uma frequência aparente diferente daquela emitida inicialmente, resultando no fenômeno do Efeito Doppler-Fizeau, do qual podemos

concluir a velocidade do corpo em movimento ou determinar a aproximação deste para o acionamento da abertura de uma porta.

É importante que as relações dos conceitos do fenômeno com o experimento sejam realizadas pelos participantes, o mediador apenas intervirá se necessário, possibilitando que todos os pontos a serem investigados no experimento sejam exauridos.

Com o término das atividades, o mediador pode aplicar um questionário final, Apêndice L, que consiste em 6 questões de vestibulares divididas em itens de ondas mecânicas e eletromagnéticas. Sugere-se que o resultado deste questionário possa ser integrado nas notas avaliativas bimestrais da turma, e, além disso, os itens do questionário trazem a realidade das provas dos processos seletivos que todos os alunos do ensino médio normalmente realizam para ingresso nas universidades públicas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia central deste produto educacional surgiu a partir da análise de trabalhos que abordam o efeito Doppler-Fizeau no Ensino Médio, que revelou uma lacuna na abordagem deste fenômeno voltado para ondas eletromagnéticas (OEM), logo, como possibilitar um estudo ativo experimental para as OEM? Essa indagação foi precursora para o desenvolvimento deste trabalho que culminou na composição desta Sequência Didática como alternativa viável a ser utilizada por demais profissionais que tenham interesse em ultrapassar a linha da abstração e reforçar o caráter investigativo que preconiza a ciência para a compreensão da natureza.

Diante disso, acredita-se que este trabalho possa contribuir com o ensino de física na educação básica, dando suporte ao professor que esbarre com a mesma indagação que me fiz no início, possibilitando até mesmo que seja proposto melhorias em sua reaplicação e que promova o entusiasmo nos estudantes e pessoas que tenham interesse na temática.

Esta Sequência Didática foi elaborada com base na aplicação realizada pelo autor em uma escola do interior do Amazonas, durante o curso do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Logo, nada impede a aplicação parcial das propostas sugeridas com as devidas adaptações.

Portanto, este trabalho é uma alternativa de inserir a física moderna através do efeito Doppler-Fizeau de ondas eletromagnéticas, estabelecendo uma abordagem contemporânea, que ao agregar o uso de TDIC busca-se uma aprendizagem contextualizada as tecnologias vigentes, permitindo um olhar atrativo e inspirador.

7. REFERÊNCIAS

- ALI EXPRESS. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/i/32928918187.html>>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- ANASTASIOU, Lea das Graças Camargo; ALVES, Leonir Pessate. **Processos de ensinagem na universidade: Pressupostos para as estratégias de trabalho em aula**. Ed. Joinville, SC, 2007.
- ARDUINO.CC. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- AUTOMOVEIS-ONLINE. **Efeito Doppler e radar de velocidade, sabe o que é?** Disponível em: <https://noticias.automoveis-online.com/efeito-doppler-e-radar-de-velocidade-sabe-o-que-e/>. Acesso em: 18 de Jan. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 2006.
- FRITZING.ORG. Disponível em: <https://fritzing.org/>. Acesso em: 14 jul. 2023.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Vol. IV. Grupo Gen-LTC, 2016.
- HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 12ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HOTRON.COM. **Puertas Corredoras - HR50/HR50-UNI**. Disponível em: <https://hotron.com/es/product/hr50-hr50-uni/>. Acesso em: 06 jan. 2024.
- MOREIRA, M.A. (1995). Monografia nº 10 da *Série Enfoques Teóricos*. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS. Originalmente divulgada, em 1980, na série "Melhoria do Ensino", do Programa de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino Superior (PADES)/UFRGS, Ne 15. Publicada, em 1985, no livro "**Ensino e aprendizagem: enfoques teóricos**". São Paulo, Editora Moraes, p. 61-73. Revisada em 1995.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica**. Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madrid, Espanha, setembro de 2006 e do I Encuentro Nacional sobre Enseñanza de la Matemática, Tandil, Argentina, abril de 2007. Disponível em: www.if.ufrgs.br/~moreira/visaoclassicavisao critica.pdf
- TECNOSOLUTION.BLOGSPOT. **Eletrônica: conhecendo o LED**. Disponível em: <http://tecnosolution.blogspot.com/2013/09/eletronica-conhecendo-o-led.html>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- YOUNG, H. D. et al. **Física III - Eletromagnetismo**. 14. ed. Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2016.
- WIKIMEDIA. 2006. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Velocity0_70c.jpg?uselang=pt-br. Acesso em: 14 Ago. 2023.

8. APÊNDICES

Apêndice A – Manual de Laboratório



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS – ICE
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04

JOSÉ VICTOR BEZERRA TEIXEIRA

MANUAL DE LABORATÓRIO

ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE FÍSICA MODERNA: EFEITO DOPPLER-FIZEAU
EM ONDA ELETROMAGNÉTICA

MANAUS – AM
2024

1. EFEITO DOPPLER-FIZEAU EM ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

1.1. Objetivo

Aplicar o Arduino com sensor HB100 para verificar o efeito Doppler-Fizeau em onda de Micro-ondas.

1.2. Teoria

A descrição relativística em relação ao efeito Doppler-Fizeau para OEM, deve-se ao fato de que na mecânica newtoniana é considerado um referencial inercial privilegiado e o tempo é absoluto. Além disso, a relatividade (transformação) de Galileu ao tratar da adição de velocidades em referenciais inerciais distintos, torna-se incompatível com a descrição das equações de Maxwell, pois a velocidade da luz é constante para qualquer direção e sentido de propagação (MACHADO, 2002).

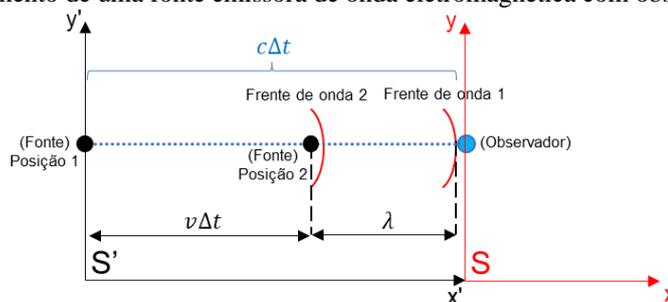
Ao introduzir a Teoria da Relatividade Restrita (TRR), desenvolvida por Einstein em 1905, tem-se dois postulados que em linhas gerais descrevem as leis da física permanecendo iguais para quaisquer referenciais inerciais e a velocidade da luz constante com velocidade definida (c) (PIRES, 2011).

$$c \cong 3.10^8 \text{ m/s}$$

A partir disso, os efeitos estendem-se para o estudo das ondas eletromagnéticas, uma vez que possuem velocidade (c), conseqüentemente implicando no efeito Doppler-Fizeau, resultando em alterações no tempo de detecção com os incrementos do fator de dilatação temporal (transformação de Lorentz), comprimento de onda e frequência aparente.

Na Figura 1 abaixo demonstra-se a situação utilizada para explicitar a dedução matemática que descreve tal fenômeno ondulatório.

Figura 1 – O movimento de uma fonte emissora de onda eletromagnética com observador em repouso.



Fonte: autor (2023).

Nota-se que a distância percorrida pela fonte está descrita como $v\Delta t$, onde $c\Delta t$ representa a distância percorrida pela frente de onda 1, com c sendo a velocidade de propagação da luz emitida, e o comprimento de onda λ descrevendo a distância entre duas cristas. A fonte assume duas posições, em que a posição 1, caracteriza-se como o momento de emissão da frente

de onda 1, enquanto que a posição 2 refere-se ao momento em que a frente de onda 2 é emitida. Portanto, a frente de onda 2 foi emitida quando a fonte e a frente de onda 1 assumiram as posições descritas na Figura 1 acima.

Dessa forma, a frequência detectada pelo observador, é dada por

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Das descrições do problema na figura anterior, temos

$$\begin{aligned} c\Delta t &= v\Delta t + \lambda \\ \lambda &= \Delta t(c - v) \end{aligned} \quad (1)$$

Sabendo que,

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Substituindo em (1),

$$\begin{aligned} \frac{c}{f} &= \Delta t(c - v) \\ f &= \frac{c}{\Delta t(c - v)} \end{aligned} \quad (2)$$

De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita (TRR), os tempos nos referenciais são diferentes, logo,

$$t_0 = \textit{tempo próprio}$$

$$t = \textit{tempo para o observador}$$

Sendo, o tempo próprio referente ao referencial S' da fonte, na qual as ondas são emitidas em intervalos de tempo iguais, porém para o observador há divergência no tempo de detecção, assim, de acordo com a TRR, o intervalo de tempo para o observador é descrito pela relação

$$\Delta t = \gamma t_0 \quad (3)$$

Onde o termo γ , fator relativístico, é dado por,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sendo que, relacionando o tempo próprio com o período, temos

$$t_0 = T_0 = \frac{1}{f_0}$$

Que descreve o período de oscilação da onda, dado pelo inverso da frequência própria.

Assim, substituindo na equação (3), fica,

$$\Delta t = \frac{T_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{T_0}{\sqrt{\frac{c^2-v^2}{c^2}}} = \frac{T_0}{\frac{1}{c}\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{T_0 c}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{c}{f_0 \sqrt{c^2-v^2}} \quad (4)$$

Substituindo em (2),

$$f = \frac{\frac{c}{\Delta t}}{f_0 \sqrt{c^2-v^2}} = f_0 [(c+v)(c-v)]^{1/2} (c-v)^{-1} = f_0 (c+v)^{1/2} (c-v)^{-1/2}$$

Assim,

$$f = f_0 \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} = f_0 \sqrt{\frac{c\left(1+\frac{v}{c}\right)}{c\left(1-\frac{v}{c}\right)}}$$

Onde,

$$\beta = \frac{v}{c}$$

Obtém-se,

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \quad (5)$$

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \quad (5.1)$$

A equação (5) acima, descreve o movimento de aproximação da fonte em relação ao observador estático, e analogamente, invertendo os sinais devido o sentido da velocidade para o caso de afastamento, temos a equação (5.1).

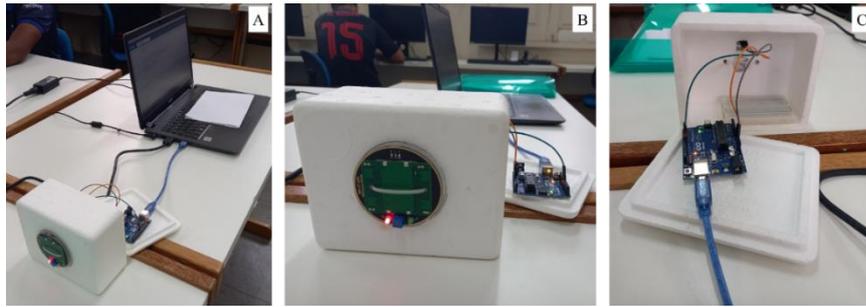
1.3. Parte Experimental

Material Necessário

- 1 Computador desktop ou notebook com SO Windows
- 1 Projetor
- 1 Arduino UNO com cabo serial
- 3 Conectores (*jumpers* macho-fêmea)
- 1 Sensor HB100 *doppler radar*
- 1 Caixa de isopor de 1 litro
- 1 Abraçadeira de plástico

A Figura 2 abaixo demonstra o conjunto em funcionamento:

Figura 2 – (A): vista panorâmica do dispositivo de experimento, (B) vista frontal e (C) vista traseira do transmissor.



Fonte: autor (2023).

Certifique-se de que os cabos estejam bem conectados entre o sensor e Arduino, evitando flutuações divergentes na leitura do sinal de frequência.

1.3.1. Experimento 1 - Gráfico da Frequência detectada

Objetivos

Detectar a frequência aparente da onda emitida pelo sensor por meio de gráficos.

Procedimentos Experimentais

1. Iniciar o IDE do Arduino e inserir o código de programação deste experimento;
2. Iniciar o software PLX-DAQ;
3. Não realize movimentação na frente do sensor e avalie o gráfico gerado no Excel do PL-DAQ;
4. Mantenha a mão ou outro objeto, afastada do sensor por aproximadamente 30 cm, e aproxime rapidamente, em seguida avalie o gráfico;
5. Mantenha a mão ou outro objeto, afastada do sensor por aproximadamente 30 cm, e afaste lentamente, em seguida avalie o gráfico;
6. Discutir a ocorrência das cristas e vales do sinal da frequência detectada;
7. Relacionar a ocorrência dos picos com a teoria do Efeito Doppler-Fizeau;
8. Solicitar dos participantes hipóteses de automação para o uso da informação obtida pelo Arduino.

Como sugestão, indica-se que para cada ação realizada, pode-se fazer um “*print screen*” (captura da tela) do gráfico gerado para fazer a análise posteriormente, caso seja de interesse do mediador.

1.3.2. Experimento 2 - Velocidade por Efeito Doppler-Fizeau

Objetivos

Obter a velocidade de movimentos de aproximação em relação ao detector em repouso.

Procedimentos Experimentais

1. Iniciar o IDE do Arduino e inserir o código de programação deste experimento;

2. Iniciar o Monitor Serial no IDE para observar a velocidade detectada;
3. Mantenha a mão ou outro objeto, afastada do sensor por aproximadamente 30 cm, e aproxime lentamente;
4. Avalie os valores da velocidade conforme o movimento do alvo na frente do sensor;
5. Mantenha a mão ou outro objeto, afastada do sensor por aproximadamente 30 cm, e aproxime rapidamente;
6. Avalie os valores da velocidade conforme o movimento do alvo (mão ou outro objeto);
7. Analisar a relação do aumento da velocidade com a frequência da onda.

1.3.3. Experimento 3 - Automação por Efeito Doppler-Fizeau

Objetivos

Aplicar o efeito Doppler-Fizeau no funcionamento de uma porta automática.

Procedimentos Experimentais

1. Iniciar o IDE do Arduino e inserir o código de programação deste experimento;
2. Iniciar o Monitor Serial no IDE para observar a mensagem que indica o acionamento de uma suposta porta;
3. Ao ligar o Arduino com o sensor, não realizar movimento na frente do sensor e verificar a mensagem “PORTA FECHADA” no monitor serial;
4. Explicar a ocorrência para a mensagem “PORTA FECHADA” ser impressa no monitor serial e relacionar a teoria do efeito Doppler-Fizeau;
5. Coloque a mão na frente do sensor e aproxime lentamente;
6. Avaliar a informação gerada “PORTA ABERTA” no IDE;
7. Explicar a ocorrência para a mensagem “PORTA ABERTA” ser impressa no monitor serial e relacionar a teoria do efeito Doppler-Fizeau;

Referências Bibliográficas

MACHADO, K. D. **Teoria do eletromagnetismo**. Volume 2. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002.

PIRES, A. S. T. **Evolução das ideias da física**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

Apêndice B - Questionário inicial

Auno (a): _____

Turma: _____ Turno: _____

1. O que são ondas? Quais tipos de ondas você conhece?

2. Qual é a diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética?

- A onda mecânica se propaga apenas em meios materiais, enquanto a onda eletromagnética pode se propagar no vácuo;
- A onda mecânica transporta matéria, enquanto a onda eletromagnética transporta energia;
- A luz e o som são ondas mecânicas e as ondas do Wifi são ondas eletromagnéticas;
- Não há diferença entre as duas.

3. Suponha que haja uma explosão no espaço sideral e um astronauta estivesse próximo:

- ele ouviria o som da explosão;
- ouviria o som da explosão, mas não enxergaria a luz da explosão;
- não ouviria o som da explosão, mas enxergaria a luz da explosão;
- não ouviria o som nem a luz da explosão.

4. (Mackenzie-SP) Considere as seguintes afirmações:

I. As ondas mecânicas não se propagam no vácuo.

II. As ondas eletromagnéticas se propagam somente no vácuo.

III. A luz se propaga tanto no vácuo como em meios materiais, por isso é uma onda eletromecânica.

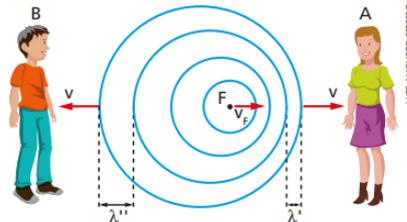
Assinale:

- se somente a afirmação I for verdadeira.
- se somente a afirmação II for verdadeira.
- se somente as afirmações I e II forem verdadeiras.
- se somente as afirmações I e III forem verdadeiras.

5. Qual é a relação entre o comprimento de onda, a frequência e a velocidade de propagação de uma onda?

- $\lambda = v \cdot f$;
- $v = \lambda \cdot f$;
- $f = v \cdot \lambda$;
- $v = f/\lambda$.

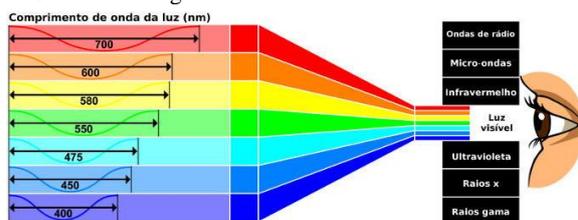
6. Uma ambulância (fonte sonora F) movimentada-se em relação a duas pessoas (observadores A e B) paradas. A figura abaixo refere-se a qual fenômeno físico?



O fenômeno da figura acima descreve o:

- Efeito de Doppler-Fizeau, com frequência maior no observador B e menor para o observador A;
- Efeito Doppler-Fizeau, com frequência menor no observador B e maior para o observador A;
- Efeito Doppler-Fizeau, com comprimento de onda e frequência maior no observador B do que para o observador A;
- Efeito Doppler-Fizeau, com comprimento de onda e frequência iguais no observador A e observador B;

7. Observe a imagem abaixo:



Podemos afirmar que:

- A luz de cor Verde possui maior frequência que a cor azul;
- A luz de cor Vermelho é a que possui maior frequência e menor comprimento de onda dentre todas as luzes visíveis;
- A cor azul é a que possui maior frequência e menor comprimento de onda dentre todas as luzes visíveis;
- A luz que possui maior comprimento de onda possui também maior frequência.

8. O fenômeno do efeito Doppler-Fizeau:

- a) ocorre somente para ondas sonoras;
- b) ocorre somente para ondas luminosas;
- c) pode ocorrer em ondas mecânicas e eletromagnéticas;
- d) pode ocorrer desde que os observadores e a fonte estejam em repouso no mesmo referencial.

9. O Efeito Doppler-Fizeau descreve que:

- a) Não ocorre em ondas sonoras enquanto que para a onda luminosa percebe-se luz vermelha (aproximação) e azul (afastamento);
- b) Para a onda sonora percebe-se um som agudo (aproximação) ou (afastamento) e para a onda luminosa não é possível ocorrer esse fenômeno;
- c) Para a onda sonora percebe-se um som grave (aproximação) ou agudo (afastamento) e para a onda luminosa percebe-se luz vermelha (aproximação) e azul (afastamento);
- d) Para a onda sonora percebe-se um som agudo (aproximação) ou grave (afastamento) e para a onda luminosa percebe-se luz azul (aproximação) e vermelho (afastamento).

10. Você sabe onde pode ser aplicado o Efeito Doppler-Fizeau em nosso cotidiano? Se possível, cite exemplos

Apêndice C - Material complementar 1

Aluno (a): _____

Turma: _____ Turno: _____

Conceitos fundamentais

Responda os itens abaixo conforme o desenvolvimento da aula.

O que são ondas?

Quais os tipos de meios de propagação?

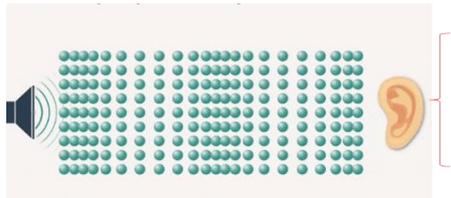
O que seria um meio material?

O que seria um meio não material?

Qual a natureza das ondas?

O que são ondas mecânicas?

O que são ondas eletromagnéticas?



Elabore um mapa conceitual dos assuntos abordados no espaço abaixo indicado **Mapa 1**

Mapa 1

Apêndice D – Slide aula dialogada 1

Efeito Doppler

Prof. José Victor

Ondas – conceitos fundamentais

O que são ondas?

Toda perturbação que se propaga em um meio.



Ondas – conceitos fundamentais

Quais os tipos de meios de propagação?

Material e não material.

O que seria um meio material?

Meio constituído de partículas (matéria): sólido, líquido gasoso.

O que seria um meio não material?

Meio em que não é constituído por partículas (ausência de matéria): vácuo.

Ondas – conceitos fundamentais

Qual a natureza das ondas?

Mecânica e Eletromagnética

O que são ondas mecânicas?

São ondas que necessitam de um meio material para se propagar.

O que são ondas eletromagnéticas?

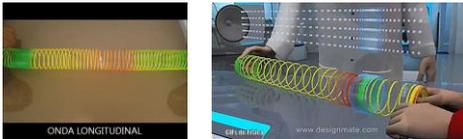
São ondas que NÃO necessitam de um meio material para se propagar.

Ondas – conceitos fundamentais

As ondas podem ser classificadas quanto a sua direção de vibração e propagação.

Ondas Longitudinais

A direção do movimento de vibração coincide com a de propagação.

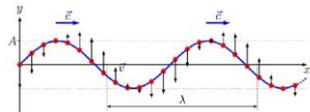


Ondas – conceitos fundamentais

As ondas podem ser classificadas quanto a sua direção de vibração e propagação.

Ondas Transversais

A direção do movimento de vibração é perpendicular à de propagação.



Ondas – conceitos fundamentais



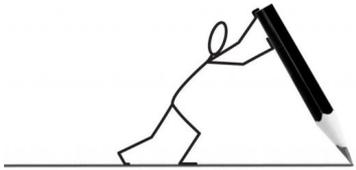
- Onda sonora
- meio: ar (material)
- Natureza: mecânica
- Origem: vibração (partículas) do meio material
- Longitudinal



- Onda luminosa
- meio: vácuo e alguns meios materiais
- Natureza: eletromagnética
- Origem: campo elétrico e magnético variáveis
- Transversal

Ondas – Atividade 1: mapa 1

Atividade 1: faça um mapa mental/conceitual dos assuntos abordados neste momento.



Apêndice E – Material complementar 2**Grandezas Ondulatórias**

Responda os itens abaixo conforme o desenvolvimento da aula.

O que são grandezas ondulatórias?

Quais grandezas ondulatórias foram estudadas?

Qual a relação existente entre essas grandezas analisadas?

Elabore um mapa conceitual dos assuntos abordados no espaço abaixo indicado **Mapa 2**

Mapa 2

Apêndice F – Slide aula dialogada 2

Ondas– Grandezas Ondulatórias

Quais grandezas analisaremos nas ondas?

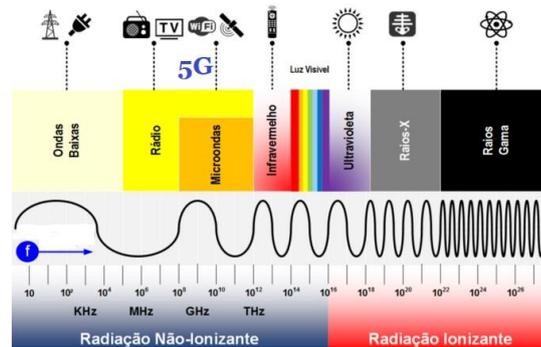
Frequência (Hz)

Comprimento de onda (λ)

Energia

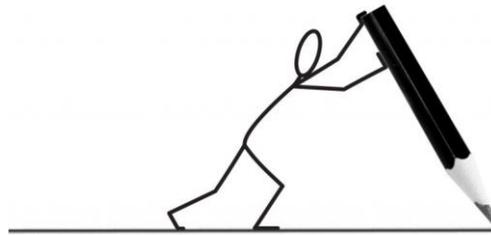
Lembre-se: Essas grandezas são **inversamente proporcionais !!**

Ondas– Grandezas Ondulatórias



Ondas– Atividade2: mapa 2

Atividade 2: faça um mapa mental/conceitual dos assuntos abordados neste segundo momento.



Apêndice G – Material complementar 3**2. Efeito Doppler Fizeau**

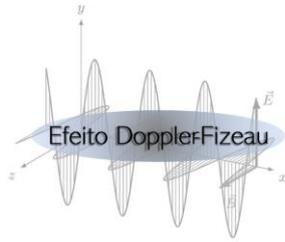
Responda os itens abaixo conforme o desenvolvimento da aula.

O efeito doppler ocorre para todas as ondas?
O que diz a teoria do Efeito Doppler-Fizeau?
O que podemos perceber do efeito Doppler-Fizeau em uma onda sonora ?
O que podemos perceber do efeito Doppler-Fizeau em uma onda luminosa ?
Onde usamos o Efeito Doppler-Fizeau?
Elabore um mapa mental dos assuntos abordados no espaço abaixo indicado Mapa 3 .

Mapa 3

--

Apêndice H – Slide aula dialogada 3



O Efeito Doppler-Fizeau: Vídeo



Onda – Efeito Doppler

O efeito Doppler explica a alteração aparente da frequência de uma onda quando existe movimento relativo entre a fonte e o observador

Para ondas eletromagnéticas

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (THz)
Violeta	~380-440	~700-790
Azul	~440-485	~620-680
Ciano	~485-500	~600-620
Verde	~490-560	~530-600
Amarelo	~560-590	~510-530
Laranja	~590-625	~480-510
Vermelho	~625-740	~410-480

Onda – Efeito Doppler-Fizeau

O efeito Doppler-Fizeau explica a alteração aparente da frequência de uma onda (eletromagnética) quando existe movimento relativo entre a fonte e o observador

Para ondas eletromagnéticas



Aproximação: Azul
Alta Frequência

Afastamento: vermelho
Baixa Frequência

Onda – Efeito Doppler-Fizeau

Onde usamos o efeito Doppler-Fizeau?

- Astronomia → Determinar se um objeto está se aproximando ou afastando do nosso planeta
- Trânsito → Medir a velocidade de um automóvel no trânsito.
- Shopping → Abrir porta ao aproximar-se

O Efeito Doppler-Fizeau

No ano de 1842, **Christian Andreas Doppler** descobriu o fenômeno conhecido como "efeito doppler". Austríaco matemático e professor de física experimental pela universidade de Viena



(1803 - 1853)

Comprovou o efeito doppler para o som através de experimentos e previu o mesmo efeito para a Luz.



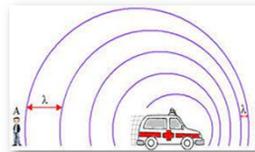
(1819 - 1896)

Anos mais tarde, **Fizeau** (físico francês) comprovou devidamente esse efeito para a luz.

Onda – Efeito Doppler

O efeito Doppler explica a alteração aparente da frequência de uma onda quando existe movimento relativo entre a fonte e o observador

Para ondas mecânicas



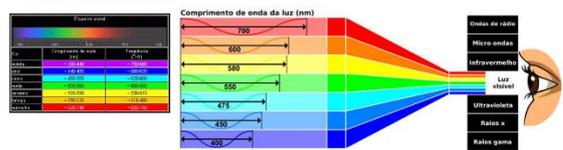
Aproximação: som agudo/alto
Alta Frequência

Afastamento: som grave/baixo
Baixa Frequência

Onda – Efeito Doppler

O efeito Doppler explica a alteração aparente da frequência de uma onda quando existe movimento relativo entre a fonte e o observador

Para ondas eletromagnéticas



Onda – Efeito Doppler-Fizeau

Onda mecânica

$$f' = f_0 \left(\frac{v_f \pm v_o}{v_f} \right)$$

f': frequência aparente
f₀: frequência da fonte
v_f: velocidade do som no meio
v_o: velocidade do observador

Onda Eletromagnética

$$f' = f_0 \sqrt{\frac{c + v}{c - v}}$$

f': frequência aparente
f₀: frequência da fonte
c: velocidade da luz no meio
v_o: velocidade da fonte

Onda – Efeito Doppler-Fizeau

Astronomia → Determinar se uma galáxia está se aproximando ou afastando do nosso planeta



Ondas – Efeito Doppler-Fizeau

Trânsito → Medir a velocidade de um automóvel no trânsito.

Ondas – Efeito Doppler-Fizeau

Trânsito → Medir a velocidade de um automóvel no trânsito.

Ondas – Efeito Doppler-Fizeau

Trânsito → Medir a velocidade de um automóvel no trânsito.

Ondas – Efeito Doppler-Fizeau

Shopping → Abrir porta ao aproximar-se

Ondas – Atividade 3: mapa 3

Atividade 3: faça um mapa mental/conceitual dos assuntos abordados neste terceiro momento.

Apêndice I – Material complementar 4

Introdução ao Arduino e programação.

Conhecendo o Arduino

➤ O que é o Arduino?

O Arduino consiste em uma placa com processador microcontrolador, com entradas e saídas digitais e analógicas, possibilitando a ligação com sensores e cada sensor possui uma função específica.



➤ Como nos comunicamos com o Arduino?

Para que o conjunto (placa e sensores) funcione, usa-se o aplicativo IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento), assim usamos **Linguagem de Programação para construir os códigos de programação** e possibilitar a comunicação do Arduino com os sensores conectados.

➤ O que é código de programação?

Para que o Arduino controle os sensores, é necessário enviar esse comando ao Arduino, caso contrário nada acontecerá. Assim, você construirá o código de programação, usaremos a linguagem de programação C++, que irá comunicar-se com o microcontrolador Arduino e este controlará os sensores que você conectou.

Cada sensor possui funções próprias (bibliotecas), que estão disponíveis no IDE ou sites de desenvolvedores (Arduino.CC, GitHub e blogs).

OBSERVAÇÃO: Formem 4 grupos buscando quantidades iguais de alunos, em seguida cada equipe deve ficar em uma das mesas.

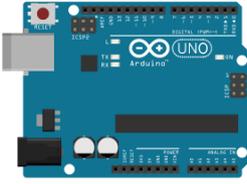
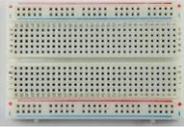
Atividade prática com Arduino

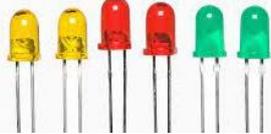
➤ Qual o objetivo?

Compreender o funcionamento do Arduino através do acionamento de um LED vermelho.

➤ Quais componentes serão utilizados?

Os componentes usados estão dispostos na Tabela 1 abaixo:

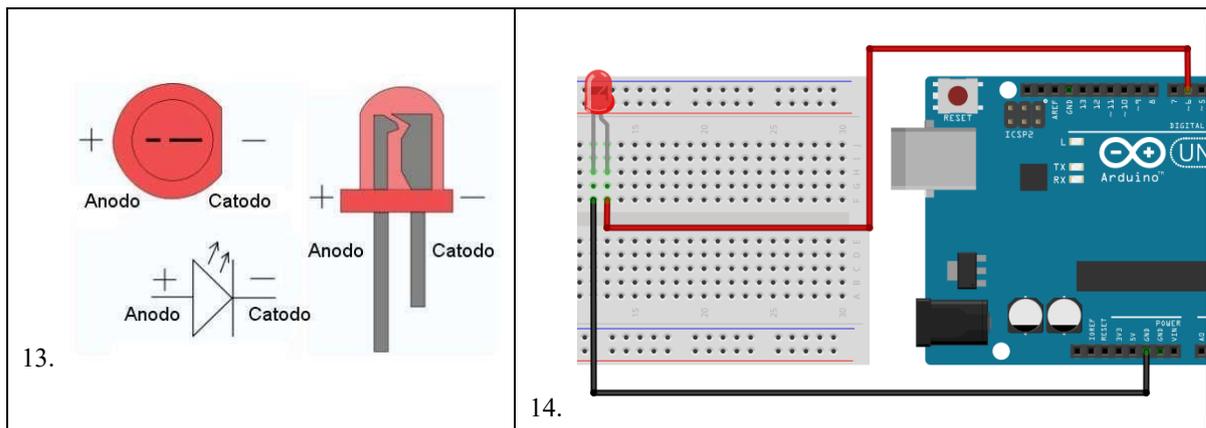
3. Arduino Uno	 <p>4.</p>
5. 7 Jumper (conectores tipo macho-macho)	 <p>6.</p>
7. Protoboard	 <p>8.</p>

9. Cabo Serial USB	 10.
11. LEDs	 12.

Para que o Arduino controle os sensores, é necessário enviar esse comando ao Arduino através da IDE, caso contrário nada acontecerá. Assim, você construirá o código de programação (usaremos a linguagem C++).

Fazer: acionar um LED.

Ação 1 - monte o circuito elétrico abaixo:



Ação 2 - Escreva o código de programação abaixo na IDE do Arduino:

```

15. void setup ()
16. {
17.   pinMode (6, OUTPUT);
18. }
19. void loop ()
20. {
21.   digitalWrite (6, HIGH);
22.   delay (1000);
23.   digitalWrite (6, LOW);
24.   delay (1000);
25. }

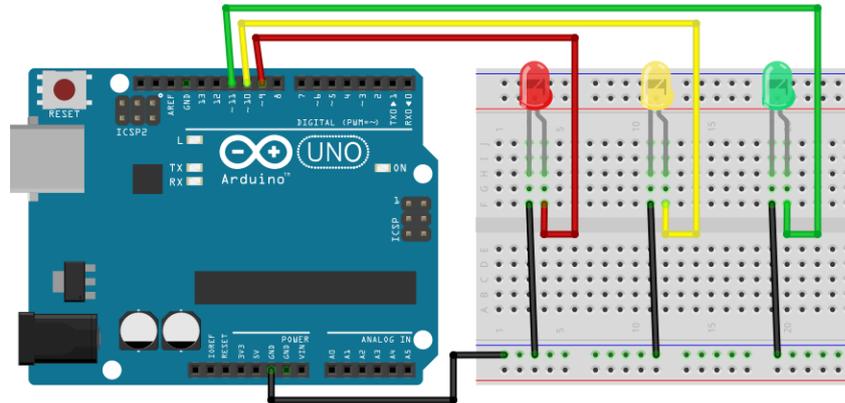
```

Ação 3 – auxilie as equipes e faça a aplicação do código no Arduino.

Desafio: construir lógica de programação de um semáforo

Com base no que foi feito para acionar um LED, desenvolva um código e crie um semáforo. Use o circuito elétrico abaixo:

Ação 1 - monte o circuito elétrico abaixo:



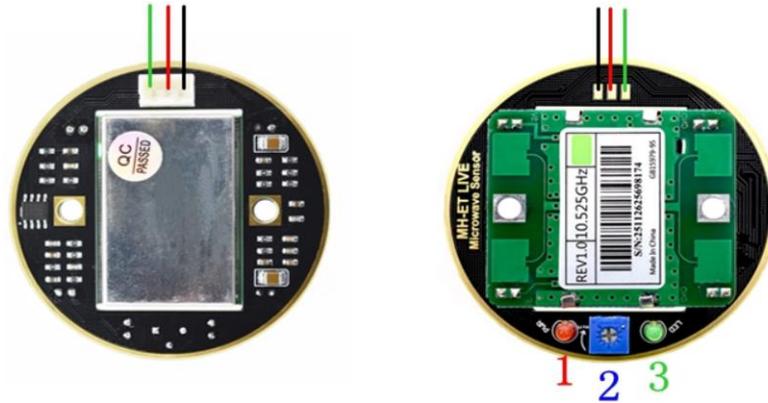
Ação 2 – A partir do código anterior, **construa** o código de programação na IDE do Arduino simulando um semáforo:

Ação 3 – auxilie as demais equipes e faça a aplicação do código no Arduino.

Apêndice J – Material complementar 5 – Parte 1

Arduino e HB100.

O sensor HB100



➤ Como funciona o Sensor HB100?

Consiste em um **sensor de movimento de micro-ondas** que funciona através do efeito Doppler. A frequência de deslocamento Doppler é proporcional a velocidade do movimento e é determinado pela equação abaixo:

$$F_d = 2V \left(\frac{F_t}{C} \right) \cos\theta$$

Sendo,

F_d : Frequência Doppler (Aparente);

V : velocidade do alvo;

F_t : Frequência Transmitida (frequência da fonte);

C : velocidade da luz;

θ : O ângulo entre a direção de movimento do alvo e o eixo do módulo sensor.

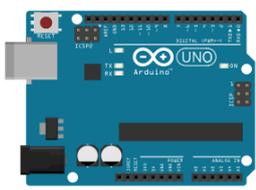
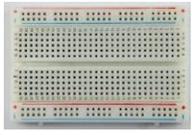
Experimento 1: análise do efeito doppler – Frequência aparente

➤ O que será feito?

Será analisado as ondas de efeito Doppler que o sensor HB100 obterá com o uso do Arduino e em seguida visualizar essas ondas a partir de gráfico.

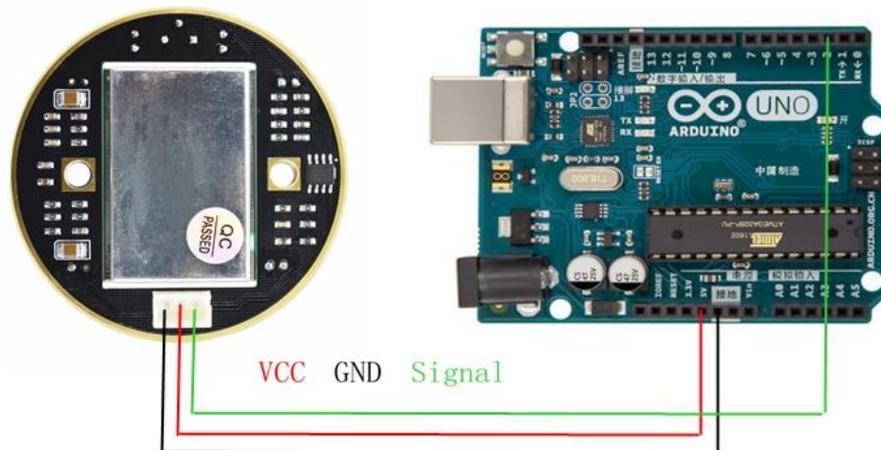
➤ O que será usado?

Os componentes usados estão dispostos na Tabela 1 abaixo:

Arduino Uno	
Jumper (conectores)	
Protoboard	

Cabo Serial USB	
Sensor HB100	

Ação 1: montagem do circuito elétrico



Ação 2: Escreva o código de programação abaixo na IDE do Arduino:

```
#include <FreqMeasure.h>
int linha = 0;
int LABEL = 1;
float frequency = 0.0;
float state;
void setup()
{
  Serial.begin(57600);
  FreqMeasure.begin();
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,linha,frequency");
}
void loop()
{
  float frequency = FreqMeasure.read();
  frequency = FreqMeasure.read();
  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(frequency);
  Serial.println();
  delay(500);
}
```

Ação 3 – auxilie as equipes e faça a aplicação do código no Arduino.

Apêndice K – Material complementar 5 – Parte 2

Experimento 2: medidor de velocidade

➤ O que será feito?

Será utilizado o sensor HB100 para simular um medidor de velocidade por efeito doppler.

➤ O que será usado?

Os componentes usados estão dispostos na Tabela 1 da primeira atividade.

Ação 1 - monte o circuito elétrico do **experimento 1**.

Ação 2 - Escreva o código de programação abaixo na IDE do Arduino:

```
#include <FreqMeasure.h>
#define DOPPLER_SHIFT_CONSTANT 19.49
#define MINIMUM_SPEED 0.3
void setup()
{
  Serial.begin(57600);
  FreqMeasure.begin();
}
double freq_sum = 0;
int freq_count = 0;
unsigned long time_since_reading = 0;
float max_speed = 0.0;
void loop()
{
  if (FreqMeasure.available()){
    freq_sum = freq_sum + FreqMeasure.read();
    freq_count++;
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (freq_count > 10) {
      float frequency = FreqMeasure.countToFrequency(freq_sum /
      freq_count);
      float speed = frequency/DOPPLER_SHIFT_CONSTANT;
      if (speed > MINIMUM_SPEED) {
        if (speed > max_speed) {
          max_speed = speed;
        }
        Serial.print(speed);
        Serial.print(" (");
        Serial.print(max_speed);
        Serial.print(") km/h");
        time_since_reading = currentMillis;
        Serial.println();
      }
      freq_sum = 0;
      freq_count = 0;
    }
  }
}
```

Ação 3 - auxilie as equipes e faça a aplicação do código no Arduino.

Experimento 3: porta automática

➤ O que será feito?

Será utilizado o sensor HB100 para simular uma porta automática através do monitor serial no IDE usando o efeito doppler.

➤ O que será usado?

Os componentes usados estão dispostos na Tabela 1 da atividade anterior.

Ação 1 - monte o circuito elétrico do **experimento 1**.

Ação 2 - Escreva o código de programação abaixo na IDE do Arduino:

```
#include <FreqMeasure.h>
void setup() {
  Serial.begin(57600);
  FreqMeasure.begin();
}
void loop() {
  FreqMeasure.read();
  Serial.println(FreqMeasure.read());
  delay(500);
  if(FreqMeasure.read() <4294967295){
    Serial.println("Ok, porta aberta");
    if(FreqMeasure.read() <4294967295)
      delay(2000);
  }
  else{
    if(FreqMeasure.read() >4194967295)
      Serial.println("PORTA FECHADA");
      delay(2000);
  }
}
```

Ação 3 - auxilie as equipes e faça a aplicação do código no Arduino.

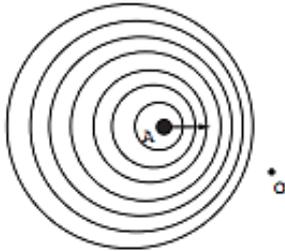
Apêndice L – Questionário final

Questionário Final – Efeito Doppler-Fizeau

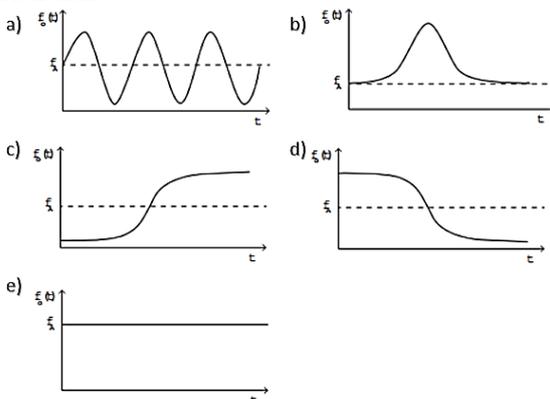
Aluno (a): _____

Turma: _____ Turno: _____

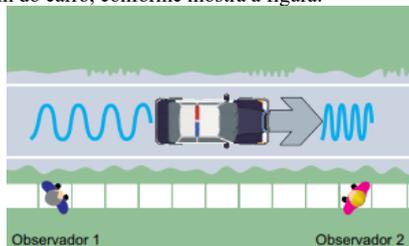
1. (ENEM 2016) Uma ambulância A em movimento retilíneo e uniforme aproxima-se de um observador O, em repouso. A sirene emite um som de frequência constante f_a . O desenho ilustra as frentes de onda do som emitido pela ambulância. O observador possui um detector que consegue registrar, no esboço de um gráfico, a frequência da onda sonora detectada em função do tempo $f_o(t)$, antes e depois da passagem da ambulância por ele.



Qual esboço gráfico representa a frequência $f_o(t)$ detectada pelo observador?



2. (UEA-Específico Exatas 2017) Um carro de polícia desloca-se no sentido indicado na figura por uma rua retilínea, com a sirene ligada. Parados na calçada, dois observadores, 1 e 2, veem a passagem do carro, conforme mostra a figura.



(<http://papofisico.tumblr.com>. Adaptado.)

É correto afirmar que o som da sirene percebido:

- pelo observador 1 é mais agudo do que o som percebido pelo observador 2.
- pelo motorista do carro e pelos observadores 1 e 2 têm mesma altura.
- pelo observador 1 é mais agudo do que o som percebido pelo motorista do carro.
- pelo observador 2 tem a mesma frequência do som percebido pelo observador 1.
- pelo observador 2 tem frequência maior do que a do som percebido pelo motorista do carro.

3. (UEA-Específico Exatas 2016) Uma pessoa em repouso vê um automóvel vindo em sua direção quando o motorista aciona a buzina. A onda sonora que chega à pessoa tem:

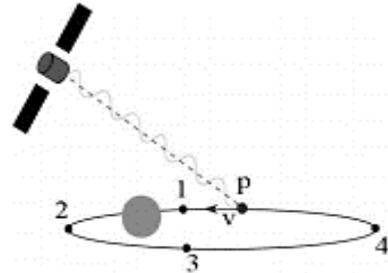
- velocidade maior que a velocidade da onda emitida pela buzina.
- frequência igual à frequência da onda emitida pela buzina.
- frequência maior que a frequência da onda emitida pela buzina.
- período maior que o período da onda emitida pela buzina.
- período igual ao período da onda emitida pela buzina.

4. (UEA-Específico Exatas 2020) Admite-se, desde a década de 20 do século passado, que o Universo está em expansão. Isso pode ser constatado com o auxílio de uma técnica chamada espectrometria óptica, na qual um aparelho, chamado de espectrômetro óptico, detecta e analisa a luz proveniente de uma fonte luminosa. Ao analisar a luz proveniente das galáxias, estejam elas em qualquer direção em relação ao equipamento, observa-se que as emissões luminosas apresentam desvios nos valores de comprimentos de onda, sempre de maneira a aumentar o valor original do comprimento de onda da luz emitida pela galáxia.

Considerando a velocidade da luz constante em todas as direções, tais observações são possíveis devido a um fenômeno, que ocorre no espaço, conhecido como

- efeito Doppler.
- espalhamento.
- refração.
- difração.
- dispersão.

5. (UnB 2º Dia 2019) A figura a seguir ilustra a situação em que um satélite recebe luz de um corpo que se move com velocidade v , em uma órbita elíptica e no sentido anti-horário, em torno de uma estrela. Os pontos de 1 até 4 indicam posições do corpo ao longo da órbita.



Nessa situação, a maior redução do comprimento de onda da luz detectada pelo satélite ocorrerá quando o corpo estiver se deslocando entre as posições:

- 1 e 2.
- 2 e 3.
- 3 e 4.
- 4 e 1.

6. (UPF Inverno 2015) Em certas observações astronômicas, os cientistas encontram situações nas quais é possível detectar o Efeito Doppler com a luz. Nessas situações, a percepção de que a cor da luz emitida por certa estrela parece ser mais avermelhada do que realmente é significa que:

- a estrela está muito distante da Terra.
- a estrela está se afastando da Terra.
- a luz sofre refração na atmosfera.
- a luz se propaga com velocidade muito grande no vácuo.
- a estrela está se aproximando da Terra.