

**LEITURA DE PARÂMETROS DE MOVIMENTO DE UM
PÊNDULO RÍGIDO CONTÍNUO UTILIZANDO SENSOR DE
EFEITO HALL**

**READING OF MOTION PARAMETERS OF A CONTINUOUS
RIGID PENDULUM USING HALL EFFECT SENSOR**

**LECTURA DE PARAMIENTOS DE MOVIMIENTO DE UN
PENDULO RÍGIDO CONTINUO UTILIZANDO SENSOR DE
EFECTO HALL**

Getúlio Teruo Tateoki¹, Jackson Tsukada²

getuliot@ifsp.edu.br, jackson.tsukada@gmail.com

¹IFSP-Campus Avançado Tupã, Tupã, SP, Brasil, ²FEITEP-Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional, Maringá, PR, Brasil.

INTRODUÇÃO

Atualmente, existem vários dispositivos sensores desenvolvidos e já utilizados em diversos tipos de aparelhos eletroeletrônicos. Um deles é o sensor de efeito Hall (HAMSDEN, Edward Hall) que ao detectar em sua proximidade a presença de um campo magnético eleva um nível de tensão elétrica na sua saída.

Este dispositivo pode ser utilizado para fazer com que, ao detectar a presença de um determinado sentido de um campo magnético por um ímã (GRIFFITHS, David J.) faz acionar um campo magnético de sentido oposto ao mesmo através de uma bobina causando consequentemente entre si uma repulsão e com isso, fazendo movimentar um pêndulo rígido de forma contínua. Devido à interação física existente entre a movimentação do pêndulo (HALLIDAY, David; RESNICK, Robert.) e eletrônica originada e detectada pelo sensor, a leitura de seus parâmetros de funcionamento podem ser efetuados de uma maneira eficaz.

Este trabalho teve por finalidade mostrar a descrição do funcionamento, leitura da frequência e de parâmetros da tensão de alimentação e corrente fornecido à bobina para movimento de um pêndulo rígido contínuo para análise e coleta de dados utilizando sensor de efeito Hall que posteriormente pode ser utilizado para outras análises e conclusões.

METODOLOGIA

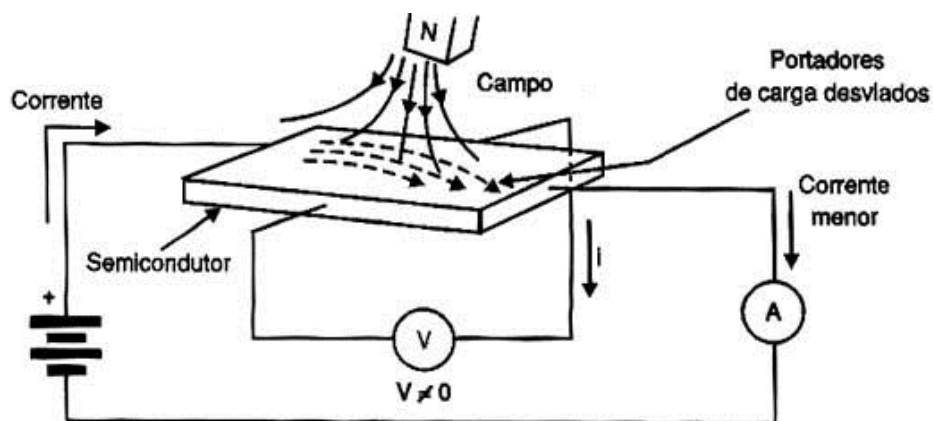
Para obter a funcionalidade, bem como as suas leituras correspondentes do movimento do pêndulo rígido foi inicialmente estudadas, analisadas e elaboradas em várias partes:

- Estudo e análise dos sensores de efeito Hall;
- Circuito de acionamento do solenoide;
- Estudo, análise e construção do solenoide;
- Construção do pêndulo rígido e
- Leitura de medidas do movimento do pêndulo.

Estudo e análise dos sensores de efeito Hall

Os sensores de efeito Hall detectam a presença de um campo magnético em sua proximidade e enviam um sinal elétrico na sua saída. São constituídos por materiais semicondutores que com a força originada pela presença de um campo magnético faz desviar a trajetória do percurso de cargas elétricas proporcionado pela aplicação de uma corrente elétrica externa (RAMSDEN, Edward.). O acúmulo dessas cargas elétricas nas faces laterais proporciona uma diferença de potencial que pode ser detectada conforme a Figura 1.

Figura 1- Princípio de detecção de campo magnético pelo sensor de efeito Hall



Fonte: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>>

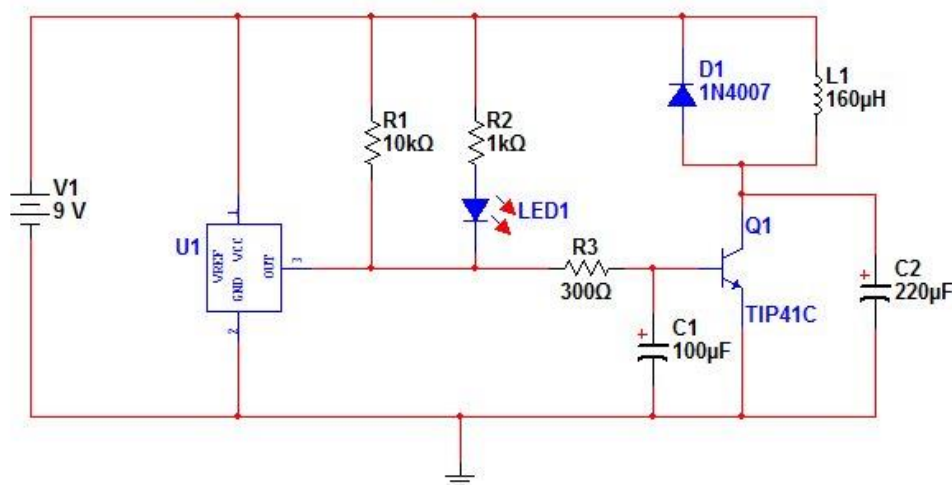
Existem basicamente quatro tipos de sensores: Monopolar, que opera na presença de um campo magnético positivo, cessando quando este campo se vai; Bipolar,

que detecta e permanece em operação na presença de um campo magnético de polo sul e só cessa quando detecta um campo magnético de polo norte; Omnipolar, que detecta e permanece em operação tanto na presença de um campo magnético de polo sul ou norte e só cessa quando detecta um campo magnético de sentido oposto; Latch de efeito Hall, que tem sua entrada acionada na presença de um ímã e mantém acionada até que sinta novamente a presença de um campo magnético. Foi utilizado neste trabalho o sensor Omnipolar devido à simplicidade na sua elaboração e montagem, não necessitando com isso na montagem do pêndulo ficar observando se o ímã fixado na extremidade do pêndulo está posicionado perante a bobina com o polo voltado para o norte ou sul.

Circuito de acionamento do solenoide

O circuito de acionamento do solenoide serve para magnetizar um solenoide toda vez que através de um sensor de efeito Hall detectar a presença de um campo magnético. O campo magnético gerado no solenoide deverá possuir a mesma polaridade do ímã, ou seja, se o ímã tiver polaridade norte o campo magnético gerado também deverá também ser e vice versa para que produza entre ambos uma força de repulsão fazendo que assim, toda vez que o ímã passar diante do solenoide surja uma força que faça acelerar o movimento do pêndulo (RAMSDEN, Edward.). Além disso, este circuito deve introduzir um tempo de retardo entre o momento da sensibilização do campo magnético e o acionamento do solenoide para que o pêndulo possa continuar a sua trajetória, porém com uma força introduzida pela presença do campo magnético originado pelo solenoide.

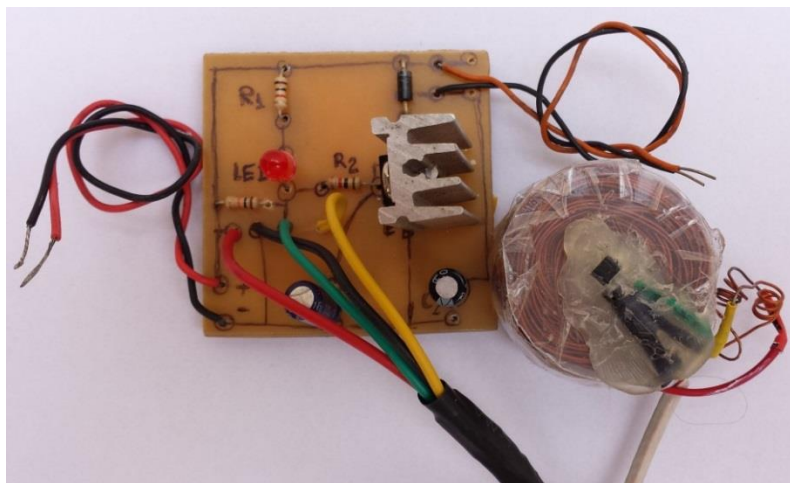
Figura 2 – Circuito de acionamento de solenoide



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Conforme mostra o esquema elétrico da Figura 2 o circuito de solenoide é basicamente um dispositivo que proporciona um ganho de corrente através do transistor TIP41C com um tempo de retardo ocasionado pelo resistor R3 e capacitor C1. O sensor de efeito Hall, indicado como U1 na figura, emite um sinal de nível alto na sua saída 3 toda vez que detectar a presença de um campo magnético e assim permanece e só volta ao nível baixo quando sentir a presença de um novo campo magnético de sentido oposto, que é ocasionado pelo solenoide. O LED1 serve para indicar este campo magnético detectado pelo sensor. O diodo D1 impede que a corrente elétrica ocasionada devido à interrupção da energia armazenada no solenoide indicado como L1 possa fluir no coletor do transistor o que poderia causar dano no mesmo. Ainda, o capacitor C2 tem a função de manter a tensão no coletor do transistor bastante estável o que facilita a sua visualização no osciloscópio. A foto da Figura 3 mostra este circuito montado em uma placa de circuito impresso e o sensor de efeito Hall preso ao solenoide que causa a repulsão do ímã.

Figura 3 – Foto do circuito de acionamento de solenoide e o sensor de efeito Hall preso ao solenoide.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Estudo, análise e construção do solenoide

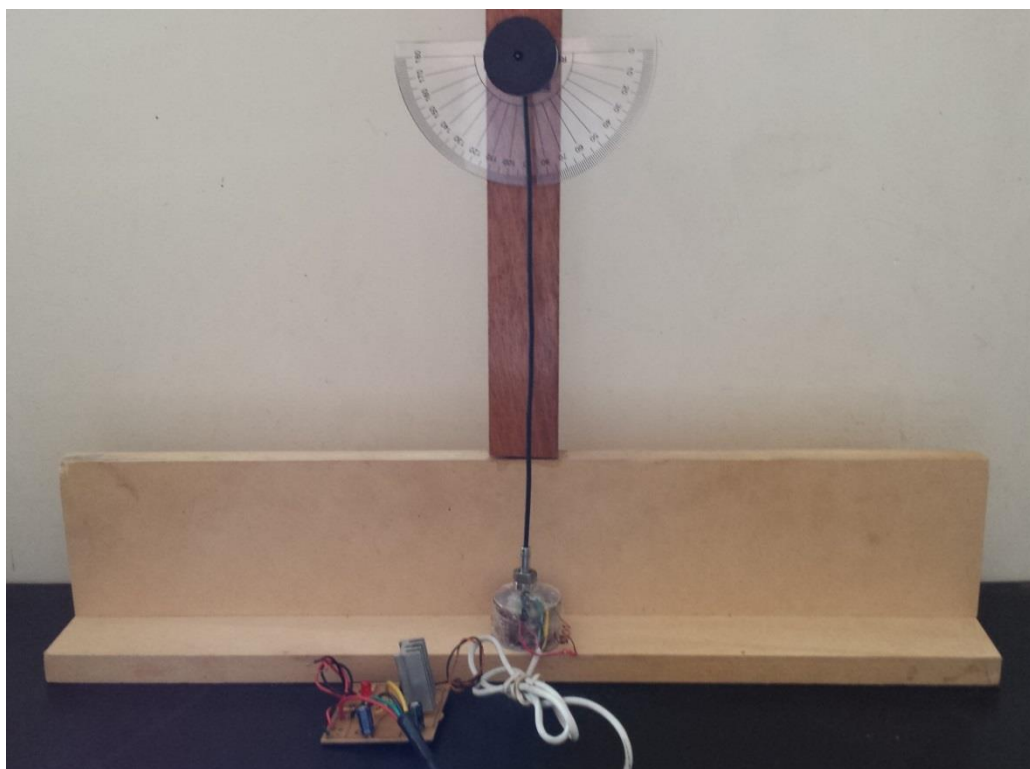
Conforme mostrado na figura 3, o solenoide é composto de 140 espiras de fio esmaltado 28 AWG enrolado em um suporte de cilindro de plástico oco de 4 mm² de diâmetro por 10 mm de comprimento perfazendo uma indutância de 160 μ H. Este

solenóide produz um campo magnético é capaz de repelir e impulsionar o ímã ocasionando uma força capaz de acelerar o movimento do pêndulo.

Construção do pêndulo rígido

O pêndulo rígido foi montado em um suporte de madeira. Sua haste de um fio rígido de alumínio possui 125 mm de comprimento pendurado em um prego que permite que gire livremente com um mínimo de atrito. A foto da Figura 4 mostra o detalhe de construção deste pêndulo. Pode se observar ainda que existe um transferidor de plástico transparente que permite mostrar o grau de inclinação do pêndulo quando o mesmo estiver em movimento.

Figura 4 – Foto do pêndulo rígido pendurado em um prego



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Leitura de medidas do movimento do pêndulo

Para a leitura do movimento do pêndulo, foi realizado um estudo teórico prévio do movimento de um pêndulo rígido. Originariamente este estudo é baseado em um pêndulo simples com oscilações de pequenas amplitudes.

Um pêndulo simples consiste em um corpo de massa m , suspenso por um fio rígido de massa desprezível e comprimento L , que descreve um movimento oscilatório no plano vertical como mostra a Figura 5a. Sobre o corpo, atuam duas forças: o peso P , com a direção vertical, e a tensão T exercida pelo fio, com a direção do fio, tal como está representado na figura 5b (LUNAZZI, José J. Pendulo).

Figura 5a - Esquema de um pêndulo simples

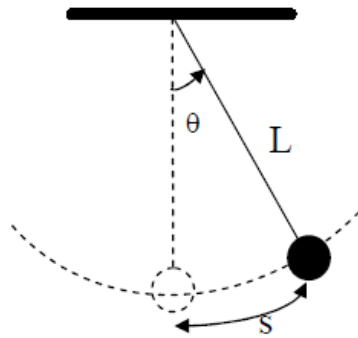
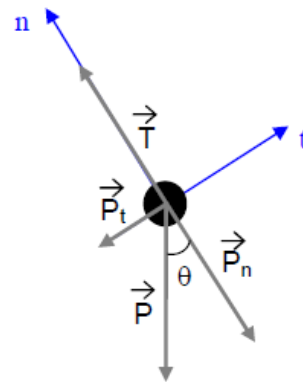


Figura 5b - Forças aplicadas em um corpo suspenso



Fonte: Pêndulo – Guia Laboratório – Trabalho nº 3 - ISEC

O período T_0 do movimento harmônico simples descrito pelo pêndulo é dado por:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

Onde:

T_0 : Período do movimento angular

L : Comprimento do pêndulo

g : Aceleração da gravidade

Uma vez que a frequência f_0 é o inverso do período:

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (2)$$

A frequência f_0 do movimento é dada por:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (3)$$

O valor de aceleração da gravidade g pode ser calculado através da expressão:

$$g = 9.78032 - 0.1967 \times 10^{-5}h \quad (4)$$

Sendo h a altura em relação ao nível do mar onde se encontra o pêndulo para ser feita os ensaios de medidas. Considerando-se que o local onde foram efetuadas as medidas é 390 m então:

$$g = 9.78032 - 0.1967 \times 10^{-5} \times 390 = 9.77955 \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

Frequência mensurada do pêndulo

O pêndulo tem o comprimento $L = 0.24$ m. Logo a frequência teórica deve ser de $f_{0T} = 1,0159\text{Hz}$. No procedimento experimental a frequência obtida foi de $f_{0P} = 1,0125$ Hz. Um erro experimental de 0,33% que pode ser considerado a leitura como bastante precisa.

Medidas de do ângulo θ em função da variação da tensão de fonte de alimentação do circuito do pendulo (V_F) e de corrente na bobona (I_B)

A variação do ângulo θ em função da tensão de fonte de alimentação se deve à energia gerada em forma de campo magnético que faz impulsionar o movimento do pêndulo causando um movimento acelerado fazendo que assim tenha um movimento contínuo intermitente. Quanto maior o valor desta tensão da fonte maior será o impulso dado ao pêndulo. Consequentemente, quanto maior a corrente aplicada na bobina I_B maior também será o ângulo θ .

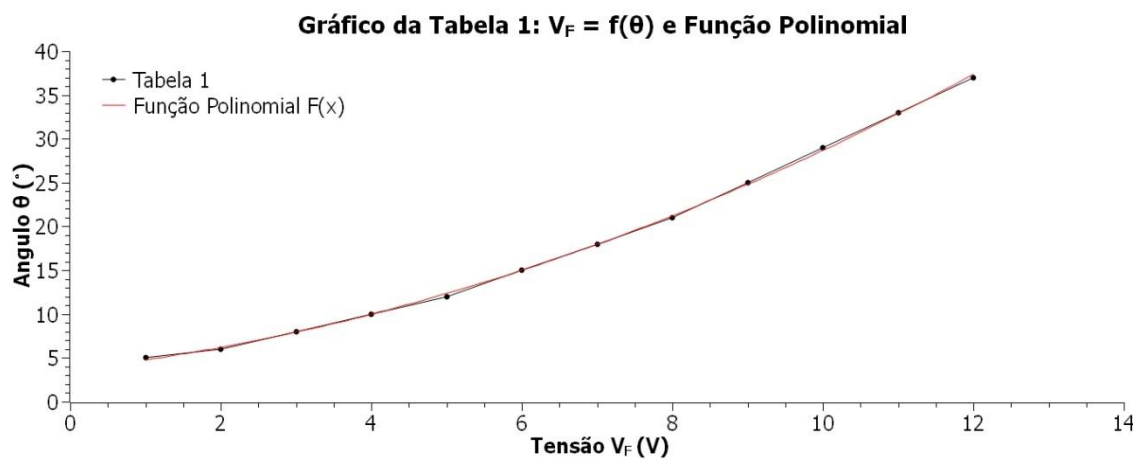
Foram efetuadas medidas de angulo θ em graus em função da variação tensão da fonte de alimentação e de corrente na bobina I_B . Os resultados obtidos estão na Tabela 1 e seu gráfico nas Figuras 6 e 7.

Tabela 1: Medidas do ângulo θ (°) em função da variação da tensão de fonte de alimentação (V_F) e de corrente na bobina (I_B)

Medida n°	V_F (V)	I_B (mA)	Ângulo θ (°)
1	1	8	5
2	2	16	6
3	3	24	8
4	4	32	10
5	5	40	12
6	6	48	15
7	7	56	18
8	8	64	21
9	9	72	25
10	10	80	29
11	11	88	33
12	12	96	37

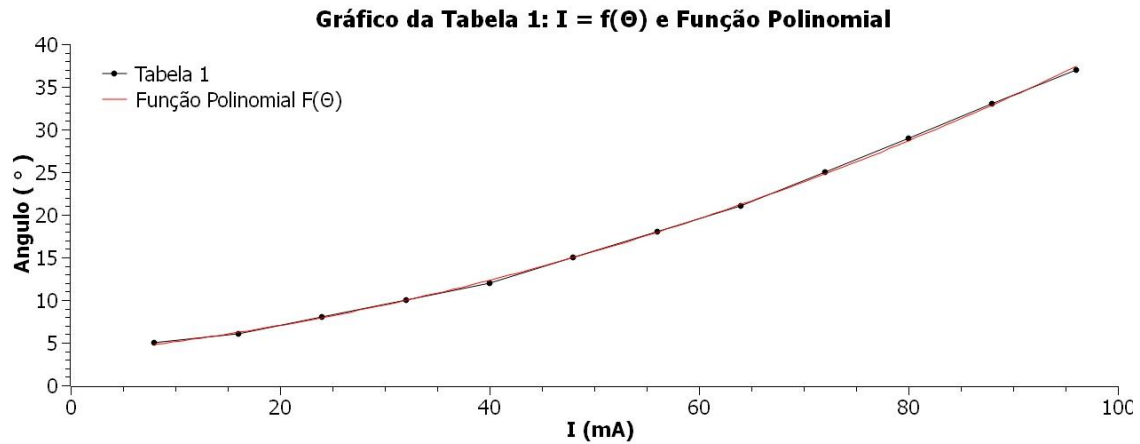
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 6 – Gráfico da variação do ângulo em função da variação da tensão de alimentação e também de sua correspondente função polinomial.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 7 – Gráfico da variação do ângulo em função da variação da corrente aplicada na bobina e também de sua correspondente função polinomial.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Pode-se observar que ambos os gráficos são semelhante à medida que se aumenta a tensão da fonte, o que proporcionalmente irá aumentar a corrente aplicada na bobina.

Através da interpolação pelo software SciDavis obteve-se como resultado as equações de tensão $V = f(\theta)$ e $I = f(\theta)$:

$$V_f = 0.153\theta^2 + 0.964\theta + 3.659 \quad [V] \quad (6)$$

$$I_f = 3.659\theta^2 + 0.120\theta + 0.023 \quad [mA] \quad (7)$$

Estes resultados são importantes porque nos permite analisar o comportamento de diversos outros movimentos em condições análogas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou a possibilidade de confeccionar um pêndulo rígido de oscilações intermitente utilizando um circuito eletrônico com sensor de efeito Hall que pode ser utilizado para estudo e análise do seu comportamento físico, cálculo de altura de um determinado local em relação ao nível do mar através de medição da frequência de oscilação e em demonstrações de eventos científicos.

No resultado das medidas apresentadas, pôde-se constatar conforme esperado que a frequência de oscilação não depende da variação do ângulo ocasionado pela variação de tensão da fonte de alimentação. Esta variação está condicionada unicamente a aceleração da gravidade e do comprimento da haste do pendulo.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Newton C. Como funcionam os sensores de efeito Hall (ART1050) Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>> Acesso em: 21.09.2018.

GRIFFITHS, David J. Eletrodinâmica. 3ª ed. Traduzida. São Paulo. Editora Pearson. 1993.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Fundamentos de Física 1: Mecânica. 3ª ed Traduzida. Rio de Janeiro. Editora Livros Técnicos e Científicos S.A. 1994.

LUNAZZI, José J. Pendulo. Tópicos de Ensino da Física II F709. IFGW. UNICAMP.2007.

MERIAM, James L; KRAIGE L G. Dinâmica. Mecânica para Engenharia. 6ª ed. Traduzida. Rio de Janeiro. Editora Livros Técnicos e Científicos S.A. 2009.

PENDULO – Guia de Laboratório, Trabalho nº 3 – ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

RAMSDEN, Edward. Hall Efect Sensor. Theory and Applications. 2ª ed. Editora Newnes. 2006.

TIPPLER, Paul A. Física para Cientistas e Engenheiros: Vol. 1 Mecânica. 3ª ed Traduzida. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan S.A. 1994.

SCIDAVIS, Tutorial do. UFMG, Departamento de Física, Laboratório de Introdução à Física Experimental. Disponível em <lilith.fisica.ufmg.br/~lab1/Tutorial_SciDAVis_bug.pdf> Acesso em 08.10.2018

Zilio S C; BAGNATO V S. Mecânica, Calor e Onda. Disponível em <<http://www.fisica.net/ondulatoria/Mecanica-Calor-Ondas.pdf>> Acesso em 22.09.2018