

PROPOSTA DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PARA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE DERIVA DOS ELÉTRONS LIVRES EM FIOS CONDUTORES

Raquel Arcari¹; Vitor Hugo Turco Zago²; Emerson Luiz Lapolli³

INTRODUÇÃO

As atividades experimentais são comumente utilizadas como elementos motivadores para o aluno se envolver com os conteúdos da disciplina de física. Realizar experimentos integrado ao conteúdo é uma forma de desmistificar e “diminuir o estigma negativo pré-existente em relação à disciplina de Física” (SOUZA; CARVALHO, 2014, p. 01). Também é um elemento que auxilia no processo ensino-aprendizagem levando o aluno a investigar os conceitos para solucionar as adversidades impostas na atividade. Portanto, a física teórica e experimental deve caminhar de forma integrada ao currículo da disciplina, porém, o ideal seria aumentar a carga horária da disciplina para que física experimental e teórica fiquem intergradadas.

Uma alternativa para suprir a ausência de laboratórios é utilização de experimentos de baixo custo. Estes experimentos são construídos pelo próprio aluno, ou professor, a partir de materiais reaproveitados, ou com custo relativamente baixo quando comparado aos manufaturados. Existe uma diversidade de experimentos de baixo custo disponíveis na literatura e na rede mundial, inclusive com instruções de montagem, teorias, roteiros e aplicações. Conforme Araújo e Abib (2003), as atividades experimentais podem ser classificadas segundo o grau de direcionamento em: demonstrativas, verificação e investigação. O professor, em seu planejamento

¹ Aluna do segundo ano do curso técnico em eletroeletrônica do Instituto Federal Catarinense, Campus Videira -mail: aquelel.arcari0@gmail.com

² Aluno do segundo ano do curso técnico integrado em eletroeletrônica do Instituto Federal Catarinense, Campus Videira -mail: vitor123455@gmail.com

³ Professor Orientador do departamento de eng. elétrica do Instituto Federal Catarinense, Campus Videira. E-mail: emerson.lapolli@ifc.edu.br



deverá estabelecer a metodologia a ser utilizada do processo de ensino-aprendizagem.

Como método alternativo, utilizaremos *smartphone* em experimentos de baixo custo para mensurar o campo magnético. Os *smartphones* são dispositivos tecnológicos que desce de aparelhos denominados de celulares, que eram destinados exclusivamente à comunicação entre usuários. Muitos não têm consciência que estes dispositivos apresenta uma gama de sensores como, microfone, câmeras ccd, acelerômetros e clinômetros, gaussímetros, etc. que são utilizados por uma diversidade de aplicativos, e que podem ser aproveitados em nossas atividades cotidianas e profissionais.

O papel deste projeto é estabelecer dois métodos experimentais para determinar a velocidade de deriva dos elétrons livres em fios condutores utilizando aparato experimental de baixo custo. Muitos acreditam que a velocidade dos elétrons em um condutor é muito alta, porém não é o que o modelo teórico indica, este valor é da ordem de centímetros por segundo. Este pensamento é uma concepção intuitiva, desenvolvida pelo aluno, devido a instantaneidade com que a “luz acende” quando o interruptor é acionado. Assim, esse trabalho pretende, como um resultado indireto, realizar uma quebra de paradigma nesta concepção errônea.

REFERENCIAL TEÓRICO

A velocidade de deriva é a velocidade média dos elétrons em um condutor após estabelecida uma diferença de potencial entre as extremidades do mesmo. Esta diferença de potencial é estabelecida por um campo elétrico que permeia o condutor que, por sua vez, induz uma força sobre os elétrons livres, que tendem a se deslocarem no sentido oposto ao campo. Porém, as sucessivas interações com a cadeia cristalina o desviam de sua direção e sentido, tornado a sua trajetória um percurso aleatório. Esta velocidade efetiva, no sentido oposto ao campo, é denominada de velocidade de deriva, pelo fato de que a progressão efetiva Δx , ou deslocamento, não leva em consideração os sucessivos desvios devido às interações.



(Halliday, 2009; Tipler 2006).

Considerando as deduções em (Halliday, 2009; Tipler 2006) velocidade média dos elétrons após sucessivas colisões é a velocidade de deriva, v_d

Com estas equações obtemos a seguinte relação:

$$i = n e v_d A = \frac{\delta N_A A e}{M} v_d \quad (6)$$

Onde temos a: corrente no fio i área A , massa molar M , a densidade δ , número de Avogadro N_A resistividade ρ e a carga fundamental e Considerando um fio com resistência ôhmica podemos utilizar a primeira Lei de Ohm.

$$V = Ri \quad (8)$$

Como a segunda Lei de Ohm é

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (9)$$

Obtemos para determinar a corrente

$$V = \frac{\rho L}{A} i \quad (10)$$

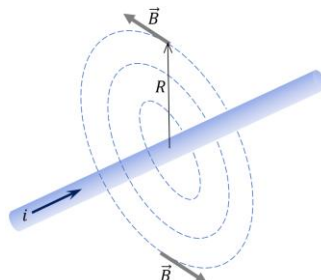
Assim, a equação (6) adquire a seguinte forma

$$V = \frac{\delta \rho N_A e v_d}{M} L \quad (11)$$

Deste modo, vemos que a equação 9 mostra uma relação linear entre tensão elétrica e comprimento do fio condutor. Logo, o primeiro método consiste em medir tensão versus comprimento de fio condutor.

Uma segunda forma de obter a medida de velocidade de deriva e utilizando medidas de campos magnéticos. As linhas de campo magnético em fio retilíneo longo, percorrido por corrente elétrica, são circulares e concêntricas, onde o campo magnético é tangente em um ponto sobre esta.

Figura 2: Representação da topologia das linhas de campo magnético formado pela corrente em um fio longo.





Fonte: O Coordenador

Considerando que a corrente gera um campo magnético, ao entorno do fio que a conduz e que tenha intensidade suficiente para ser detectado, por meio da lei de Boit-Savart, obtemos o campo magnético de um fio retilíneo longo, a qual é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (12)$$

Substituindo a equação 6, para a corrente, na equação (12), para o campo magnético, e sabendo área de um fio circular, obtemos:

$$B = \frac{\mu_0 N_A \delta e v_d A}{2\pi M r} \quad (13)$$

Onde R é distância do centro do fia ao ponto onde será mensurado o campo magnético e μ_0 é a permissividade magnética do vácuo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para verificar sem os métodos para determinação da velocidade de deriva é robusta da foram analisados 4 fios de diâmetros e materiais diferentes. Cromo-níquel (Cr20Ni80) com diâmetro de 0,15 mm, Alumínio (Al 4047) com diâmetro de 0,63 mm; Tungstênio (W) com diâmetro de 0,1 mm, Titânio (Ti) com diâmetro de 0,63 mm.

Para a possibilitar a determinação da velocidade de deriva foram estabelecidos 6 etapas experimentais, cada uma com metodologia própria.

As etapas de 1 a 3 as foram estabelecidas para determinar a resistividade de cada um dos fios com intuito de: Confirmar a substância do fio e averiguar o melhor método para determinar a resistividade. Utilizar o valor da resistividade no cálculo da velocidade de deriva.

Na Etapa 1 foi utilizando 12 metros de fio onde foi mediadas de resistência R elétrica com auxílio de um multímetro a cada 2 metros. Com os dados foi construído um gráfico $R \times L$ para verificar se obedece a segunda lei de Ohm (equação 9) e determinar o valor da resistividade ρ de cada fio. Como a relação $R \times L$ é linear, logo podemos determinar a resistividade utilizando o coeficiente angular α obtido pelo método dos mínimos quadrados e conhecendo a área do fio.



$$\rho = \alpha A \quad (15)$$

Na Etapa 2 foi fixado o comprimento L do fio em 12 m e realizado medidas de correntes elétrica I para diferentes valores de tensão V de uma fonte variável. Foi construído um gráfico $V \times I$ para verificar se obedece a primeira lei de Ohm (equação 8) e determinar a resistividade ρ de cada fio. Como a relação $V \times I$ é linear, por comparação, o coeficiente angular é $\alpha = R$ e a segunda lei de Ohm (equação 10),

$$\alpha = \frac{\rho L}{A} \quad (16)$$

Logo podemos determinar a resistividade utilizando o coeficiente angular obtido pelo método dos mínimos quadrados e conhecendo a área do fio, e o comprimento L , neste caso,

$$\rho = \alpha \frac{A}{L} \quad (18)$$

Na etapa 3 foi utilizando 12 metros de fio, realizadas mediadas de corrente elétrica I para diferentes valores de comprimento L . Foi construído um gráfico $I \times L$ para verificar se obedece a equação 19 e determinar o valor da resistividade ρ de cada fio.

$$I = \frac{AV}{\rho L} \quad (19)$$

A equação 19 foi obtida combinando a primeira lei de Ohm (equação 8) com a segunda lei de Ohm (equação 9). Note que a relação $I \times L$ não é linear, mas a relação $I \times 1/L$ é linear, logo podemos determinar a resistividade utilizando o coeficiente angular α obtido pelo método dos mínimos quadrados e conhecendo a área do fio com o valor da tensão fixo.

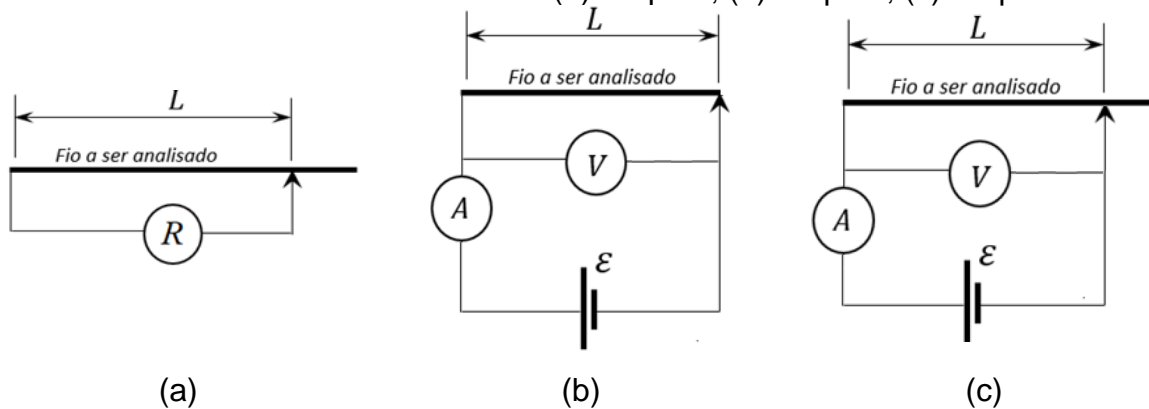
$$\rho = \frac{AV}{\alpha} \quad (21)$$

Assim, a partir do coeficiente angular α gerado numericamente por uma planilha, calcula-se a resistividade ρ conhecendo-se a área A e um valor fixo de tensão. Nesta etapa cada comprimento foi necessário ajustar a fonte para manter a tensão fixa em no fio. Foram utilizados as tensões de 2V e 5V para analisar o valor resistividade de cada fio.



Além da resistividade foi medido o valor da densidade de cada fio para caracterizar o material, e assim utilizar a massa molar correta.

Figura 3: Circuitos esquemáticos utilizado para determinação e confirmação da resistividade de cada material dos fios. (a) Etapa 1; (b) Etapa 2; (c) Etapa 3.



Fonte: O Coordenador

Na etapa 4 foi estabelecida o experimento para determinar a velocidade de deriva por meio de medidas elétricas. Para os comprimentos de 12 e 2 m de cada fio, foram realizadas mediadas de tensão V , no fio, para diferentes valores de comprimento L com a corrente fixa estabelecida pela tensão fixa ε na fonte. A cada 2 m para o comprimento de 12 m e a cada 40 cm para o comprimento de 2m. Foram realizadas as medidas de tensão no fio em função do comprimento, para os seguintes valores valores fixos da corrente: 13,7 mA e 7,1 mA nos fios de 12 m, e, 0,26 A e 0,13 A nos fios de 2 m. Foi construído um gráfico $V \times L$ para verificar se obedece a relação.

$$V = \frac{\delta \rho N_A e v_d}{M} L \quad (22)$$

A Como a relação $V \times L$ é linear, logo podemos determinar a velocidade de deriva utilizando o coeficiente angular α obtido pelo método dos mínimos quadrados e conhecendo-se massa molar M , a densidade δ , numero de Avogadro N_A resistividade ρ e a carga fundamental e .

$$v_d = \frac{M\alpha}{\delta \rho N_A e} \quad (24)$$

Os valores experimentais acima poderão de comparados com os valores velocidade calculado pela forma tradicional através da corrente, através da equação 25



$$v_d = \frac{M}{\delta N_A A e} i \quad (25)$$

Obtida adequando a equação 6.

A etapa 5, como o intuito é utilizar o *smartphone* como teslameter, foi necessário estabelecer um procedimento experimental para localizar o sensor Hall no interior do *smartphone*. O *smartphone* foi posicionado na horizontal (deitado sobre o plano da mesa), centrado no plano do fio, com a tela voltada para cima e com a aresta superior (da câmera) encostado no fio. Não foi extraída a capa para manter a proteção caso o fio aquecesse, já que a posição de referência R_o é entre o fio e o senso. Assim, nestas condições, o campo a ser detectado estará na direção do eixo z do *smartphone*. Foi utilizando 2 metros de fio e medido o campo magnético B_z para diferentes valores de corrente para todos os materiais.

Foi construído um gráfico $|\Delta B_z| \times I$ para verificar se obedece a relação.

$$|\Delta B_z| = \frac{\mu_o}{2\pi R_o} I \quad (26)$$

Onde $\Delta B_z = B_z - B_{z_o}$ e R_o a posição a ser determinada. Como a relação $|\Delta B_z| \times I$ é linear, logo podemos determinar a posição de referência do sensor *Hall* utilizando o coeficiente angular α obtido pelo método dos mínimos quadrados conhecendo-se a permissividade no Vácuo μ_o

$$R_o = \frac{\mu_o}{2\pi \alpha} \quad (28)$$

Na etapa 6 foi estabelecida determinar a velocidade de deriva por meio de medidas de campo magnético com *Smartphone*. Utilizando 2 metros de fio, foram realizadas mediadas de campo magnético, posicionando a o *smartphone* da mesma maneira que na etapa 5. Os procedimentos são similares ao da etapa 5, no enteando aqui manteremos a corrente fixa em 0,26 A e a posição do R , entre o fio e a aresta superior é alterada. Inicia-se com a aresta encostado no fie e vai afastando 2 mm a cada medida de campo B_z para realizar as devidas comparações com o resultado do método 4 para as mesmas medidas. Para a medida de distância foi utilizando régua escolar de 30 cm, tomado o cuidado como o erro de posicionamento devido oa paralaxe.

Foi construído um gráfico $\Delta B_z \times (R - R_o)$ para verificar se obedece a relação.

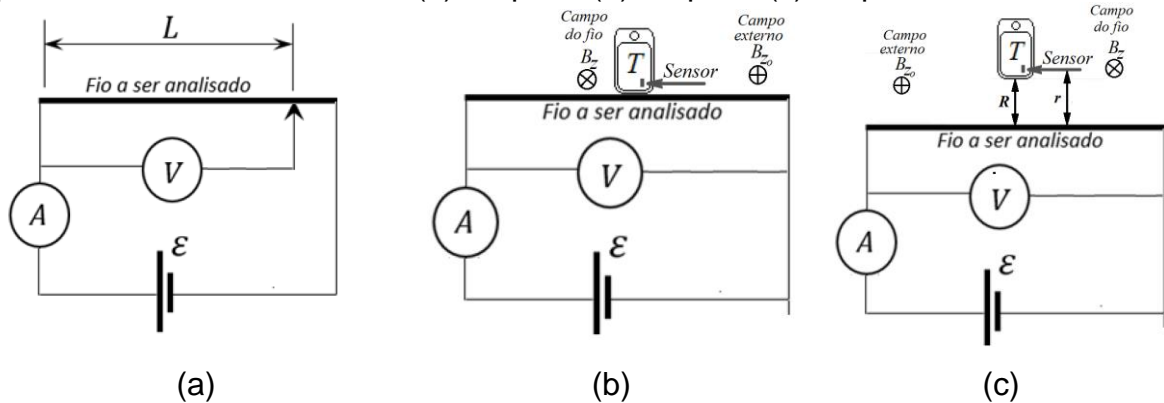


$$\Delta B_z = \frac{\mu_0 N_A \delta e v_d A}{2\pi M} \frac{1}{(R - R_o)} \quad (29)$$

Como a relação $\Delta B_z \times 1/(R - R_o)$ é linear, logo podemos determinar a velocidade de deriva obtendo o coeficiente angular α pelo método dos mínimos quadrados.

$$v_d = \frac{2\pi M \alpha}{\mu_0 N_A \delta e A} \quad (29)$$

Figura 4: Circuito esquemático utilizado na determinação da velocidade de deriva por meio de medida elétricas (a) Etapa 4; (b) Etapa 5; (c) Etapa 6.



Fonte: O Coordenador

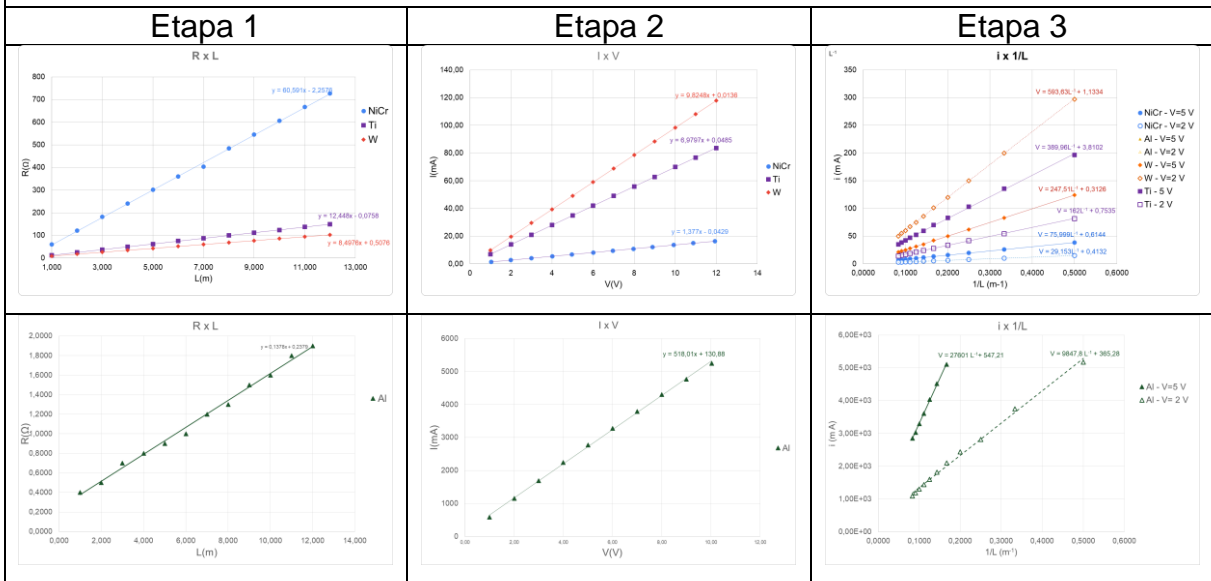
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos Quadros 1 e 2 visualizamos os gráficos com os dados experimentais, referente a cada uma das etapas. Note todos os gráficos são lineares, isso porque os dados referente as etapas 3 e 5 estão linearizados. Analisado o comportamento dos dados nos gráficos em cada etapa e para cada fio, verificou-se que o comportamento é condizente com os respectivos modelos definidos para cada uma das etapas.

No quadro 1 o fio de alumínio está plotado separadamente dos demais por apresentar a menor resistividade de dentro os fios, assim foi possível avaliar se seu comportamento estava condizente com o modelo definido em cada etapa. Com os procedimentos de caracterização foi verificado de o fio de alumínio não era puro e sim uma liga (Al4047), comumente utilizado em cerca elétricas



Quadro 1: Gráficos referentes as etapas de verificação da resistividade



Fonte: Coordenador e Bolsistas

As demais resistividades estavam condizentes com os valores tabelados. Nas etapas 1 e 2 os métodos reproduziram valores muito próximos entre si e do valor teórico, no entanto o métodos 3 produziu valores próximos, mas com erro maior do que nas etapas anteriores. Esta ampliação do erro foi causado pela falta de ajuste na fonte para manter a tensão nos valores previamente fixados.

Tabela 1: Valores da resistividade do material obtidos nas etapas 1, 2 e 3.

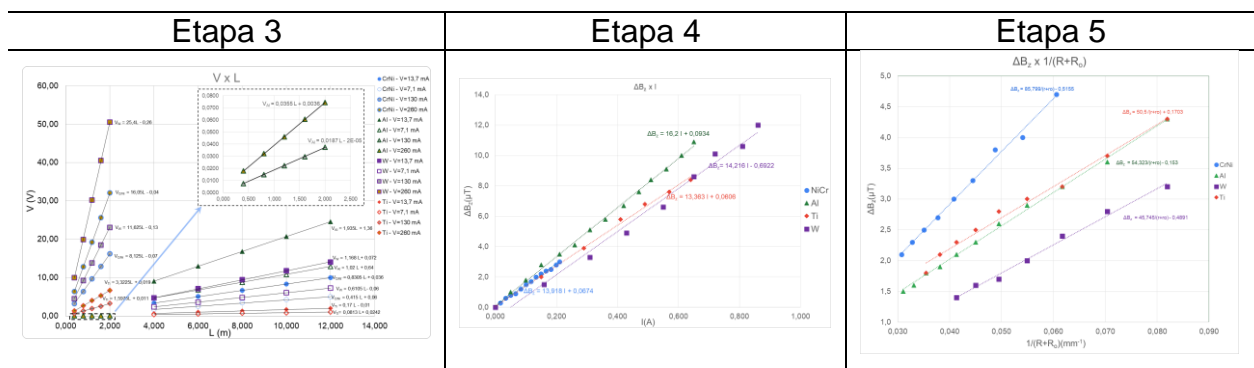
| Grandeza (unidade) | | Resistividade - ρ ($10^{-8} \Omega \cdot m$) | | | | |
|--------------------|-------|---|------|------|------|------|
| Material | Etapa | Tabelado | 1 | 2 | 3 | |
| | | | | | 2 V | 5 V |
| Cr20Ni80 | | 109 | 107 | 107 | 121 | 116 |
| Alumínio 4047 | | 4,31 | 4,43 | 4,37 | 5,90 | 6,30 |
| Tungstênio | | 5,60 | 6,67 | 6,66 | 6,62 | 6,87 |
| Titânio | | 46,0 | 39,1 | 39,0 | 40,3 | 40,3 |

Em todas as etapas foi mantida a mesma multímetro e cabos para manter a mesma resistência interna R_{in} , que ficou em $0,3 \Omega$. Na etapa 1 a resistência interna não influenciaram nas medidas de resistividade, já que a resistividade é

determinada diretamente a partir das medidas de resistência em função do comprimento. Na etapa 2 foi possível verificar se esta resistência interna influenciava na medida da resistividade, isso porque, a resistência interna fica em serie com a do fio é possível descontar este valor do valo calculado. Na etapa 2 para o alumínio, foi necessário descontar os valores da resistência interna da resistência calculada, para que os valores da resistividade se fossem condizente com o valor tabelado. Para os demais fios a resistência interna não interferiu no resultado final.

Verifica-se no quadro 2 verifica-se que o comportamento dos experimentais respeita as respectivos modelos referente a cada etapa.

Quadro 2: Gráficos referentes as etapas da medida de velocidade de deriva



Fonte: Coordenador e Bolsistas

Para as comparações entre as velocidades de derivas foi escolhido a corrente se **0,26 A** para utilizando o fio de dois metros. Na tabela 2, verifica-se que os métodos, apesar de serem de baixo custo, conseguem atingir seu objetivo, o qual é determinar a velocidade deriva, como bom grau de aproximação em relação ao valor teórico.

Tabela 2: Valores da velocidade de deriva em cada material obtidos na etapa 4 para os fios de 2 m.

| Grandeza (unidade) | v_d (cm/s) – ELET – | | | | R_o (cm) | v_d (cm/s) – MAG – |
|---------------------|--------------------------|---------------|--------|---------------|-----------------|-------------------------|
| | Teórico | | 4 | | | |
| Etapas | Teórico | | 4 | | 5 | 6 |
| Material \ Corrente | 0,13 A | 0,26 A | 0,13 A | 0,26 A | <i>variavel</i> | 0,26 A |
| Cr20Ni80 | 52,07 | 104 | 52,7 | 104 | 1,43 | 156 |

| | | | | | | |
|-----------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| Alumínio [#] | 4,40 | 8,80 | 4,71 | 8,96 | 1,23 | 9,19 |
| Tungstênio | 164 | 328 | 205 | 449 | 1,42 | 266 |
| Titânio | 45,6 | 91,1 | 38,2 | 79,5 | 1,74 | 88,5 |

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os dois métodos experimentais, estabelecidos nas etapas 4, 5 e 6, para determinar a velocidade de deriva, nota-se que claramente que o método via medidas elétricas se mostrou mais eficaz, no entanto o método via medidas magnéticas com Smartphones mostrou-se satisfatório para o mesmo objetivo. Não foi utilizado um teslameter para realizar a comparação com os valores de velocidade dos métodos, pelo fato da instituição não ter um. Foi verificado nos campi mais próximos nas também não foi localizado.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Mauro Sérgio Teixeira de and ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira Ensino Física** [online]. 2003, vol.25, n.2, pp.176-194. ISSN 1806-1117.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009 vol. 3.

SOUZA, Inês Moraes de; CARVALHO, Marcelo Alves de. Experimentos de Física utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso - **Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor pde**. Produções Didático-Pedagógicas. Vol. II 2014.



TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene, Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 2, 5a ed.
Rio de Janeiro: LTC, 2006.