

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
UFSM DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA BACHARELADO

Leonardo Camargo Rossato

Disciplina de Laboratório de Física 1

RELATÓRIO SOBRE TUBO DE RAIOS CATÓDICOS

Santa Maria, RS
2021

RESUMO

Disciplina de Laboratório de Física Moderna

Relatório sobre Tubo de Raios Catódicos

AUTOR: Leonardo Camargo Rossato

Este trabalho consiste em analisar um Tubo de Crookes e explicar o experimento de Raios de Tubos Catódicos - com o objetivo final de calcular a razão da carga/massa da partícula emitida dentro desses tubos (no caso, seria a emissão de um elétron). Para isso, dentro do Laboratório de Física Moderna da UFSM, foram medidos a Voltagem entre as Placas do Capacitor dentro tubo de Crookes e da Intensidade do Campo Magnético, exercido externamente por uma Bobina de Helmholtz. Também foi medida a Voltagem de Entrada do Circuito que causa a "aceleração das partículas catódicas / elétrons". Com isso, pudemos calcular a razão entre a carga e massa do elétron - partindo da Fórmula da Força de Lorentz; e ajustando a equação a uma curva com relação linear. E do coeficiente angular, retiramos a informação da razão carga/massa.

Palavras-chave: Tubo, Raios, Catódicos, Electromagnetismo, Crookes, Helmholtz, Laboratório, Física.

1 INTRODUÇÃO

Tubo De Crookes:

Um tubo de Crookes é um instrumento que foi utilizado para realizar experimentos elétricos, onde a parte interna do Tubo pode ser "esvaziada" até formar um estado de "semi-vácuo" (uma região praticamente sem "ar").

Quem oficialmente usou pela primeira vez essa técnica, foi o inglês William Crookes, por volta de 1869-1875.

Partindo desse equipamento, foi observado que partículas dotadas de cargas, são emitidas quando impõe-se uma alta tensão sob as placas dentro do Tubo. Como observado na imagem ao lado.

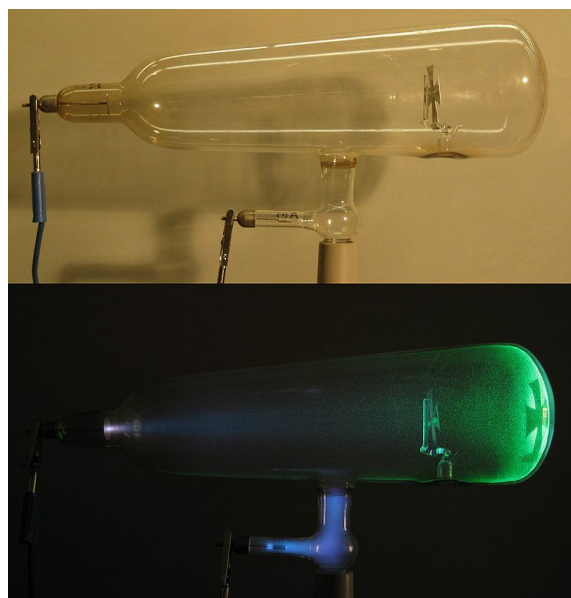


Figura: Tubo de Crookes; Imagem de cima representa o tubo com o circuito desligado; A imagem abaixo, representa o mesmo circuito ligado - onde percebe-se a emissão de luz proveniente de um elétron.

TUBO RAIOS CATÓDICOS:

Por volta de 1887 um cientista inglês chamado Joseph John Thomson fez experiências com tubo de raios catódicos, e concluiu que os raios catódicos são na verdade, constituídos pelo fluxo de partículas menores que o átomo e dotadas de carga elétrica negativa. Estava descoberto o elétron.

Tubos de raios catódicos: São tubos de vidro que contém nas duas pontas extremidades metálicas (chamadas de eletrodos) ligadas a uma bateria.

Quando a pressão dentro desse tubo é diminuída, o gás entre os eletrodos transmite certa luminosidade (Você verá um tubo desses se olhar para a lâmpada fluorescente, que tem na sua casa ou escola), mas quando abaixarmos muitíssimo a pressão (cerca de 100mil vezes a pressão ambiente) a luminosidade desaparece, restando apenas uma mancha luminosa atrás do pólo positivo (chamado de raio catódico). *Obs: Os raios catódicos são formados independentes do tipo de gás utilizado.

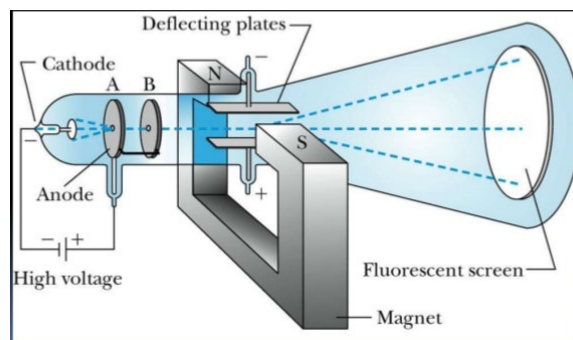


Figura: Tubo de Raios Catódicos; Esse tubo tem como base a mesma ideia do Tubo de Crookes - todavia, com algumas modificações que atribuem a possibilidade de "ajustar a emissão da 'partícula catódica' - que hoje atribuímos ao elétron;

O tubo de raios catódicos consiste em produzir uma descarga elétrica, através de um gás em baixa pressão, aplicando-se uma grande diferença de potencial entre os dois eletrodos colocados dentro do mesmo. Quando o gás do tubo for conservado a uma pressão menor que a milésima parte da pressão atmosférica, não são mais observados os efeitos visíveis dentro do tubo, mas é percebida uma mancha luminosa na parede do tubo diretamente oposto ao catodo.

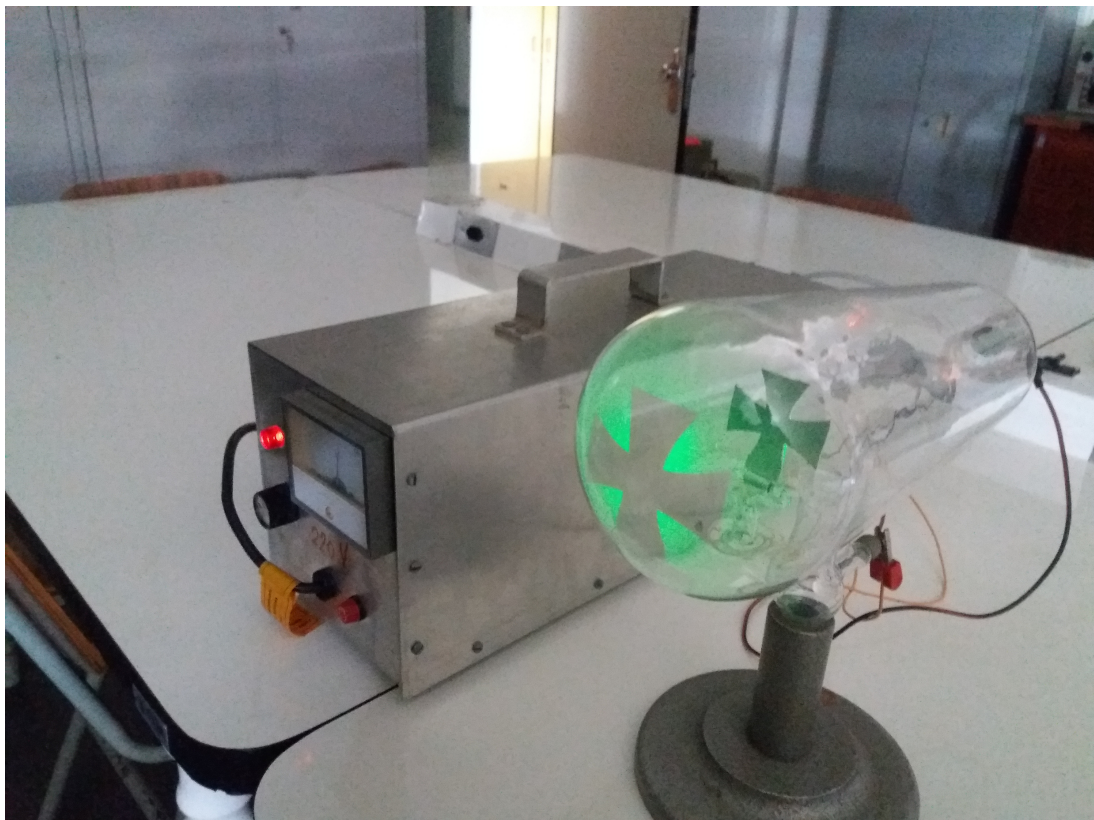
A aproximação de um ímã perto do feixe luminoso provoca a sua deflexão, permitindo conhecer a sua carga elétrica.

*OBS: Esse texto sobre o Tubo de Raios Catódicos foi retirado do Grupo de Ensino de Física - do Instituto de Física da UNB. Logo abaixo, está o link da fonte:

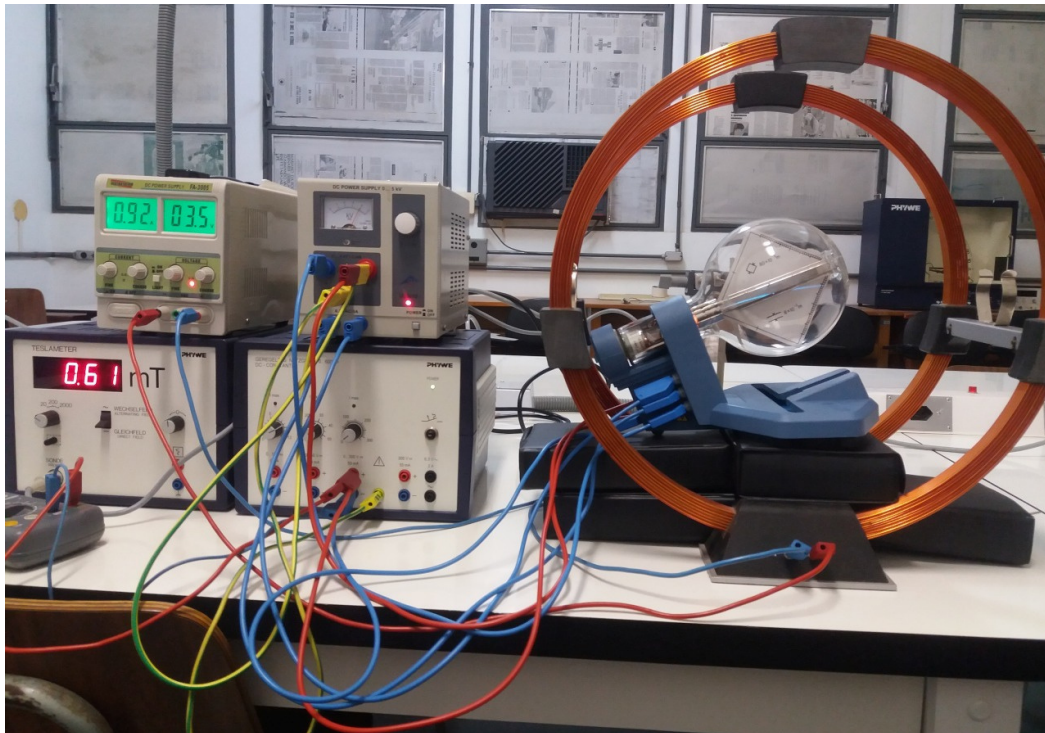
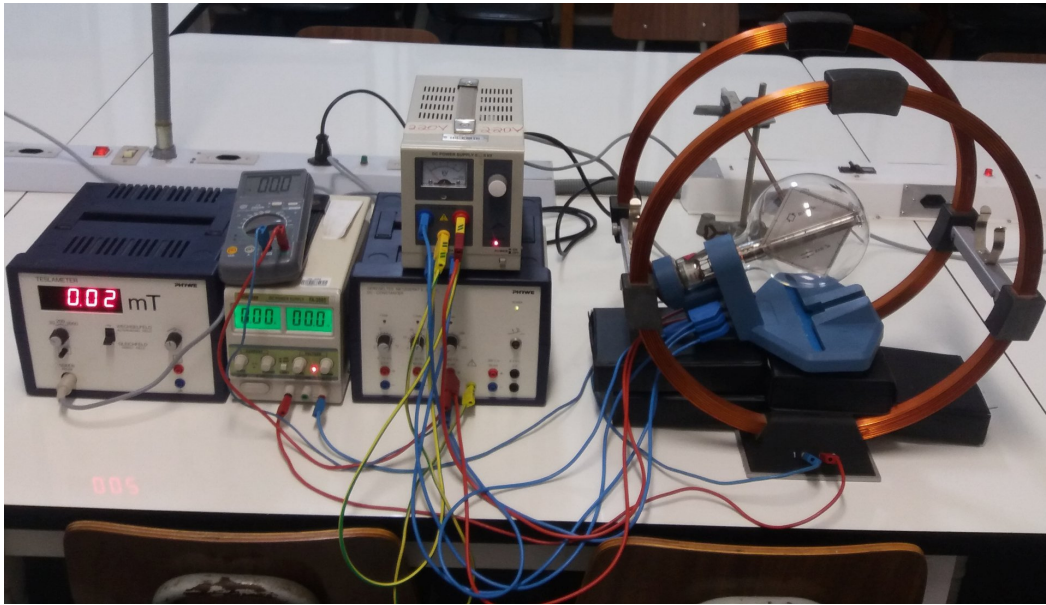
https://www.fis.unb.br/gefis/index.php?option=com_content&view=article&id=220&Itemid=339

Algumas Imagens do Tubo de Raios Catódicos utilizado para esse experimento:

Tubo de Crookes:



Tubo de Raios Catódicos:



Figuras do Tubo de Raios Catódicos utilizados no Experimento.

Lista de Equipamentos que há nas imagens (e foram utilizados no Experimento do Cálculo da Razão Carga/Massa do Elétron):

- 1 tubo (ou ampola) de raios catódicos – Leybold ou Phywe
- 1 suporte do tubo acoplado a um par de bobinas de Helmholtz;
- 1 fonte DC para acelerar o feixe de elétrons;
- 1 fonte DC para as bobinas;
- multímetros, Fios para conexão, régua, etc.

2 CÁLCULO DA RAZÃO CARGA / MASSA

1 Resolução Analítica da Razão Carga / Massa do Elétron:

→ Partindo da Equação da Força de Lorentz

$$F = qE + q(v \times B) \quad (1)$$

→ Se consideramos o momento que a força resultante é nula:

$$-qE = q(v \times B)$$

$$E = (v \times B)$$

$$E = |vB|\text{Sen}(\theta) = |vB| = vB$$

$$v = \frac{E}{B} \quad (2)$$

→ Como o Campo Elétrico dentro do Capacitor de Placas Paralelas pode ser representado como: $E = \frac{V_{pp}}{d}$ onde d = distância entre as placas e V_{pp} = Voltagem no Capacitor.

$$v = \frac{V_{pp}}{Bd} \quad (3)$$

→ Agora vamos expressar a Velocidade da partícula baseada na Voltagem De entrada no Tubo de Crookes (Entre o Cátodo e o Ânodo) , conforme pode ser visto na imagem a seguir:

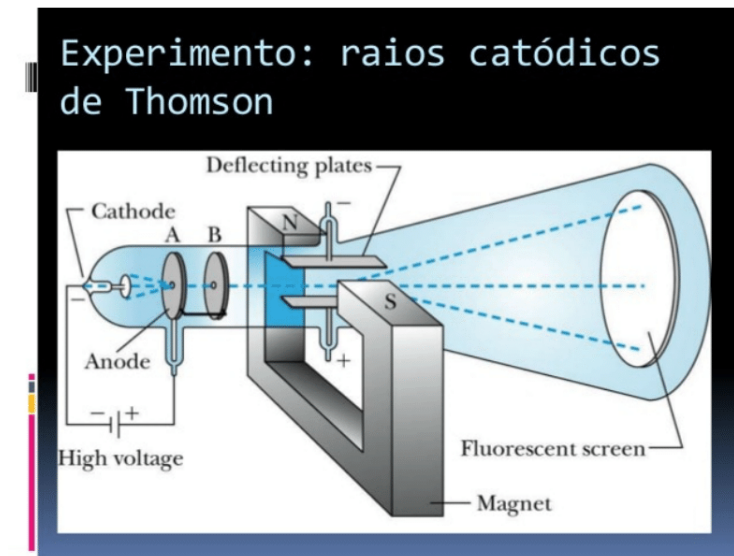


Figure 1: Esquema Tubo de Raios Catodicos

→ Entre o Cátodo e o Ânodo podemos relacionar uma equação de Energia Mecânica Conservativa - isso porque desconsideramos possíveis Dissipações de Energia causada pelo "ar" dentro do tubo; ou seja estamos considerando o caso que o "ar" foi removido completamente do tubo:

$$E_{TotalMecanica} = E_{Cinetica} + E_{Potencial}$$

$$E_T = K + U = \frac{mv^2}{2} + qV_a$$

→ Se consideramos uma posição após o Ânodo (depois da partícula passar do Colimador / ânodo), estaremos no caso de $E_T = U_{max}$ e por isso no ponto entre as placas do capacitor a Energia Cinética (k) será igual a Energia Máxima Potencial:

$$K_{Dps-do-Colimador} = U_{Max}$$

Substituindo os Valores nessa última relação, obtemos uma nova equação para Velocidade da partícula dentro do Capacitor de Placa Paralelas:

$$\frac{mv^2}{2} = qV_a$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV_a}{m}} \quad (4)$$

→ Agora podemos igualar a Eq. 4 com a Eq. 3, obtendo:

$$\sqrt{\frac{2qV_a}{m}} = \frac{V_{pp}}{Bd} \quad (5)$$

Agora só precisamos isolar a Razão Carga / Massa da relação 5:

$$\frac{2qV_a}{m} = \left(\frac{V_{pp}}{Bd}\right)^2$$

$$\frac{q}{m} = \frac{V_{pp}^2}{2V_a B^2 d^2} \quad (6)$$

2 Resolução Numérica da Razão Carga / Massa do Elétron:

Para fins práticos: ajustamos a equação 6 assim:

$$V_{pp}^2 = \frac{2qV_a}{m} d^2 B^2$$

$$V_{pp} = d \sqrt{\frac{2qV_a}{m}} B \quad (7)$$

Portanto o Ajuste da Curva fica:

$$V_{pp} = \alpha B \quad \text{onde : } \alpha = d \sqrt{\frac{2qV_a}{m}} \quad (8)$$

RESULTADO PARA TABELA 1:

→ Usando a = 315 | d = 8 mm | $V_a = 4$ KV , Obtemos como resultado:

$$\frac{q}{m} \cong 1,76 \times 10^{11} \text{ C/Kg} \quad (9)$$

RESULTADO PARA TABELA 2:

→ Usando a = 290 | d = 8 mm | $V_a = 4$ KV , Obtemos como resultado:

$$\frac{q}{m} \cong 2,19 \times 10^{11} \text{ C/Kg} \quad (10)$$

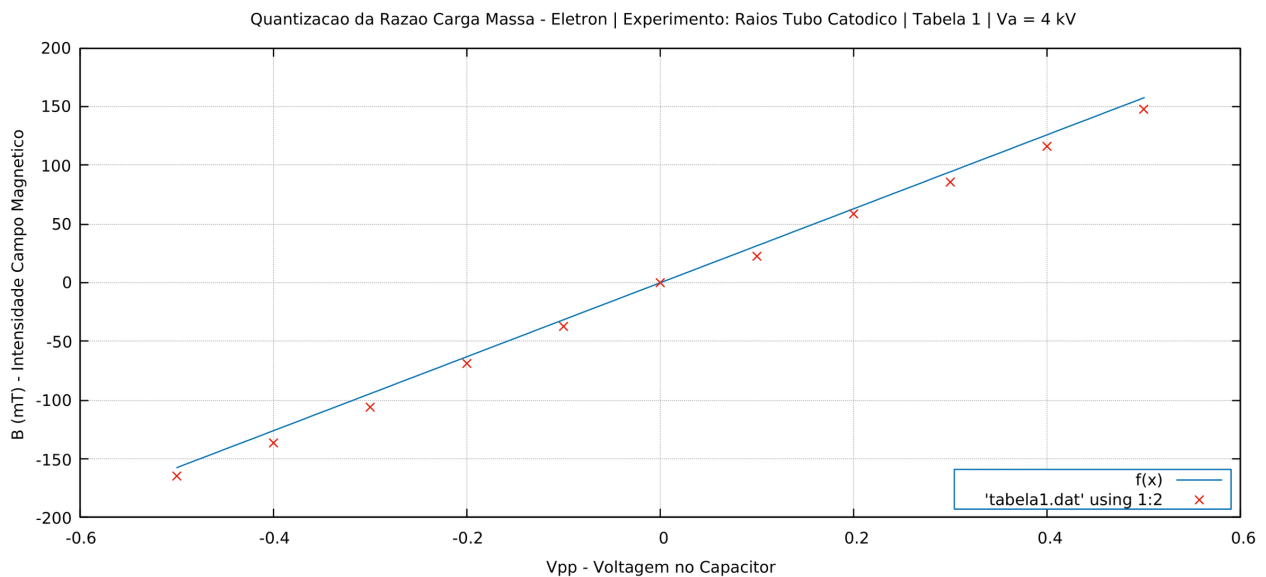
3 DADOS E RESULTADOS

Tabela 1 de Dados do Experimento de Deformação da Mola

Tabela 1 Valores Referentes a Intensidade do Campo Magnético e da Voltagem entre os Capacitores											
B (mT)	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Vpp (V)	0	-37	-69	-106	-136	-165	22	59	86	116	148

Gráfico - Tabela 1

Intensidade Campo Mag (B) x (Vpp) Voltagem no capacitor interno ao tubo de Crookes



Cálculo da Constante de Deformação da Mola = coeficiente angular da reta (parâmetro - a)

Final set of parameters

Asymptotic Standard Error

=====

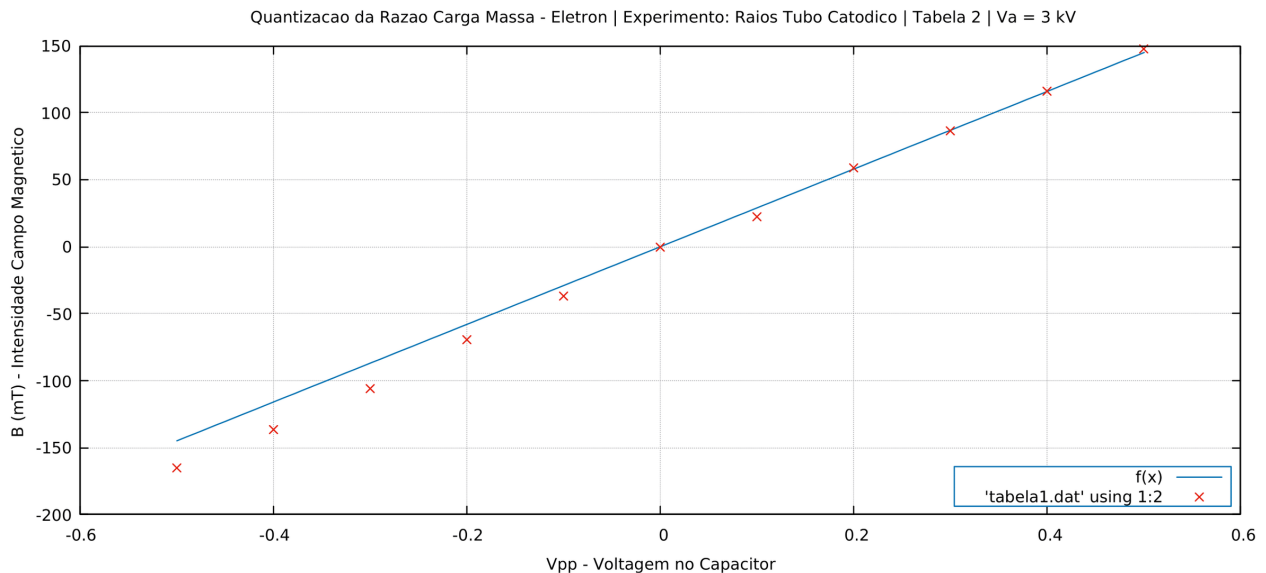
a	= 289.727	+/- 9.839	(3.396%)
---	-----------	-----------	----------

Tabela 2 de Dados do Experimento de Deformação da Mola

Tabela 2 Valores Referentes a Intensidade do Campo Magnético e da Voltagem entre os Capacitores											
B (mT)	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Vpp (V)	0	-38	-75	-100	-126	-148	31	58	81	105	129

Gráfico - Tabela 2

Intensidade Campo Mag (B) x (Vpp) Voltagem no capacitor interno ao tubo de Crookes



Cálculo da Constante de Deformação da Mola = coeficiente angular da reta (parâmetro - a)

Final set of parameters

Asymptotic Standard Error

=====				=====			
a	=	12.6982	+/- 0.304	(2.394%)			
b	=	3.46622	+/- 0.8582	(24.76%)			

Código do Ajuste de Curvas no Gnuplot:

```
#####  
# Código - Ajuste de Curva - GNUPLOT  
#  
# Quantização da Razão Carga Massa - Elétron  
# Experimento: Raios Tubo Catódico  
#  
# ALUNO: Leonardo C. Rossato  
# Disciplina: Laboratório de Física Moderna  
#####  
#  
-----  
# U S A N D O   A   T A B E L A   -   1  
-----  
#  
FIT_LIMIT=1E-7  
FIT_MAXITER=200  
#  
set grid  
set title "Quantizacao da Razao Carga Massa - Eletron | Experimento: Raios Tubo Catodico  
| Tabela 1 | Va = 4 kV"  
set xlabel "Vpp - Voltagem no Capacitor"  
set ylabel "B (mT) - Intensidade Campo Magnetico"  
set key box linestyle 6  
set key right bottom  
#  
f(x) = a*x  
fit f(x) 'tabela1.dat' using 1:2 via a  
plot f(x) lc 6 #lc 6 --> azul  
rep 'tabela1.dat' using 1:2 lc 7 #lc 7 --> vermelho
```

```
#####
##### RESULTADO DO "FIT" | Tabela1 | Va = 4 kV
#####
```

```
gnuplot> fit f(x) 'tabela1.dat' using 1:2 via a,b
iter chisq delta/lim lambda a b
0 1.0929130000e+05 0.00e+00 7.42e-01 1.000000e+00 1.000000e+00
1 1.2157646568e+04 -7.99e+07 7.42e-02 2.102727e+02 -7.051948e+00
2 1.1251628492e+02 -1.07e+09 7.42e-03 3.143885e+02 -7.454344e+00
3 1.1221818182e+02 -2.66e+04 7.42e-04 3.149091e+02 -7.454545e+00
4 1.1221818182e+02 -6.64e-05 7.42e-05 3.149091e+02 -7.454545e+00
iter chisq delta/lim lambda a b
```

```
iter chisq delta/lim lambda a
0 7.2349090909e+02 0.00e+00 9.96e+01 3.149091e+02
1 7.2349090909e+02 0.00e+00 9.96e+00 3.149091e+02
iter chisq delta/lim lambda a
```

After 1 iterations the fit converged.
 final sum of squares of residuals : 723.491
 rel. change during last iteration : 0

degrees of freedom (FIT_NDF) : 10
 rms of residuals (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 8.50583
 variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 72.3491

Final set of parameters Asymptotic Standard Error
 =====
 a = 314.909 +/- 8.11 (2.575%)

```
#####
-----
# USANDO A TABELA - 2
-----
#####
FIT_LIMIT=1E-7
FIT_MAXITER=200
#
set grid
set title "Quantizacao da Razao Carga Massa - Eletron | Experimento: Raios Tubo
Catodico | Tabela 2 | Va = 3 kV"
set xlabel "Vpp - Voltagem no Capacitor"
set ylabel "B (mT) - Intensidade Campo Magnetico"
set key box linestyle 6
#
f(x) = a*x
fit f(x) 'tabela2.dat' using 1:2 via a
plot f(x) lc 6 #lc 6 --> azul
rep 'tabela1.dat' using 1:2 lc 7 #lc 7 --> vermelho

#####
##### RESULTADO DO "FIT" | Tabela2 | Va = 3 KV
#####

iter chisq delta/lim lambda a
0 1.7624545455e+03 0.00e+00 9.96e+01 3.149091e+02
1 1.0697621843e+03 -6.48e+06 9.96e+00 2.918258e+02
2 1.0649181858e+03 -4.55e+04 9.96e-01 2.897292e+02
3 1.0649181818e+03 -3.75e-02 9.96e-02 2.897273e+02
iter chisq delta/lim lambda a

After 3 iterations the fit converged.
final sum of squares of residuals : 1064.92
rel. change during last iteration : -3.75244e-09

degrees of freedom (FIT_NDF) : 10
rms of residuals (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 10.3195
variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 106.492

Final set of parameters Asymptotic Standard Error
=====
a = 289.727 +/- 9.839 (3.396%)
```

3 CONCLUSÃO

Para esse relatório, não podemos afirmar com veemência que chegamos ao resultado esperado, pois o valor da Razão Carga / Massa do Elétron que calculamos, possui uma margem de erro considerável. Acreditamos que esse erro é causado, principalmente, devido a espessura não uniforme do capacitor de placas paralelas colocado dentro do Tubo de Crookes - e essa não-uniformidade não foi representada nas condições do cálculo. Entre outras possíveis motivações de erros poderia estar relacionada ao uso de uma amostra pequena de valores captados no experimento. O que acarreta um menor número de pontos para análise do ajuste de curvas, que por sua vez, gera um coeficiente angular da reta de ajuste com uma certa margem de erro comparado ao valor encontrada pela comunidade científica.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

https://www.fis.unb.br/gefis/index.php?option=com_content&view=article&id=220&Itemid=339

<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/865-tubo-de-raios-catodicos.html>

<https://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/raios-catodicos>

<http://www.eletronica24h.net.br/o-tubo-de-raios-catodicos-.html>