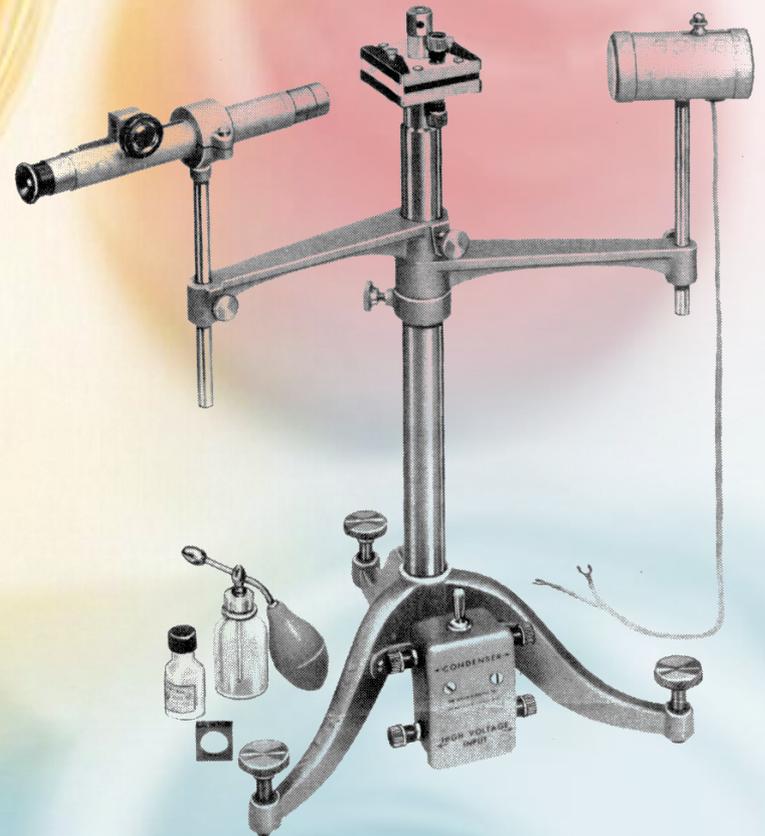


AULA 2

Nilberto H. Medina

IFUSP 2011

medina@if.usp.br



Philippe Gouffon

IFUSP 2014

pgouffon@if.usp.br

OBJETIVOS

Verificar a natureza quântica da carga elétrica

Determinar a carga do elétron

Analisar o método de medida

Identificar os fatores experimentais que interferem na experiência

Aula 1 — MILLIKAN - Procedimento experimental (2h)

Tomada de dados - LABFLEX

Aula 2 — MILLIKAN - Análise de dados (1h?)

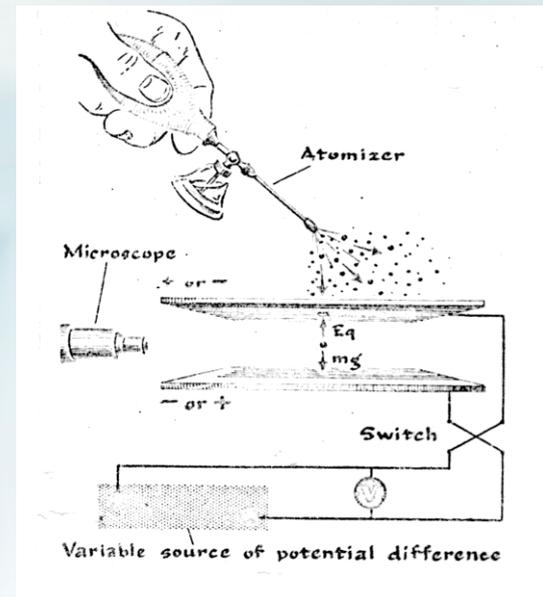
Tomadas de dados — LABFLEX

PELO MENOS 30 GOTAS!!!

Aula 3 — MOV. BROWNIANO — Procedimento experimental

— Artigo científico (relatório) (1h)

Tomada de dados - LABFLEX

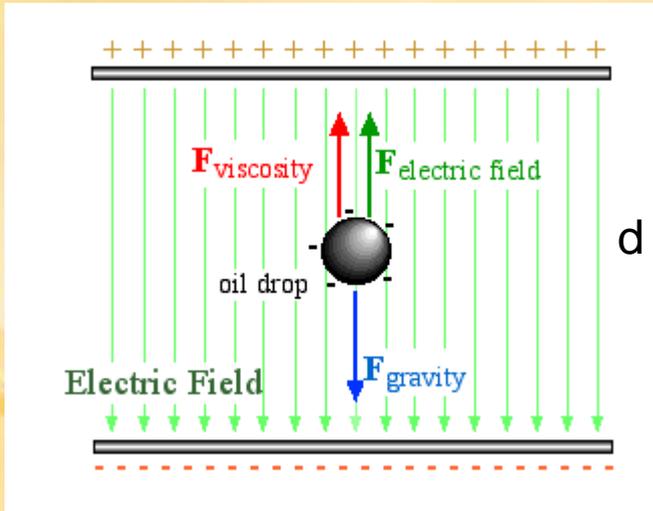


O EXPERIMENTO

Observação do movimento de gotas de óleo sob a influência de um campo elétrico



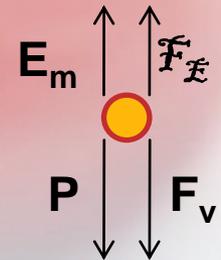
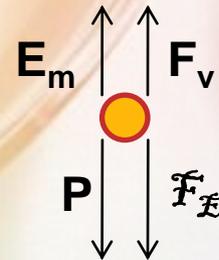
ANÁLISE DO MOVIMENTO DAS GOTAS DE ÓLEO



descida

$$F_v = -6\pi\eta av$$

subida



$$m_{gota}g - m_{ar}g - 6\pi\eta av_d + qE = 0$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_o g - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_{ar} g - 6\pi\eta av_d + qE = 0$$

$$a^2 = \frac{9}{4}\eta \frac{(v_d - v_s)}{g(\rho_o - \rho_{ar})}$$

$$q = \frac{3\pi\eta a(v_s + v_d)}{E}$$

$$E = \frac{V}{d}$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_o - \rho_{ar})g - 6\pi\eta av_d + qE = 0$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_o - \rho_{ar})g + 6\pi\eta av_s - qE = 0$$

$$q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q = 4,803 \times 10^{-10} \text{ statC}$$

$$1V = 1/300 \text{ statV (CGS)}$$

CUIDADOS EXPERIMENTAIS

$$\rho_{\text{oleo}} = 0,8474(9) \text{ g/cm}^3$$

Desmontar o capacitor e fazer uma limpeza com álcool isopropílico

Montar o capacitor. Verificar alinhamento e nivelamento das placas. Medir a distância d .

Verificar a altura da câmara. Fazer as ligações elétricas apropriadas.

Usar o fio de cobre para focalizar e ajustar o contraste do video.

A iluminação é muito importante ! Fio deve estar bem brilhante.

Usar programa *webcam control* para as filmagens (30 q/s inicialmente e 4 q/s para aquisição)

Aplicar o campo em uma direção e em outra direção para selecionar as gotas de interesse.

Estimar o tamanho das gotas a serem estudadas (gotas da ordem de $5 \times 10^{-5} \text{ cm}$ ou $0,5 \mu\text{m}$).

As gotas de interesse devem ser as que têm menores cargas e menores raios.

Com $V=0\text{V}$ as gotas mais leves (**menores**) caem mais devagar. (Lembrem-se do experimento de Física Experimental II)

Tomar cuidado com gotas muito pequenas devido ao Efeito Browniano.

Aplicar campos elétricos mais intensos. Não borrifar muito óleo.

Fazer uma foto, com a mesma focalização do **PADRÃO**. Usar papel branco na parte traseira.

Durante as medidas tampar os 3 furos do capacitor e possíveis aberturas. **Deslizar a moeda.**

Evitar falar próximo ao equipamento, não se movimentar muito na sala, cuidado ao abrir e fechar a porta, etc.

Cada grupo deve fazer o estudo de no mínimo 30 gotas durante as três aulas.

INFORMAÇÕES IMPORTANTÍSSIMAS:

CALIBRAÇÃO COM O PADRÃO, TENSÃO APLICADA, DISTÂNCIA ENTRE AS PLACAS, TEMPERATURA E PRESSÃO.

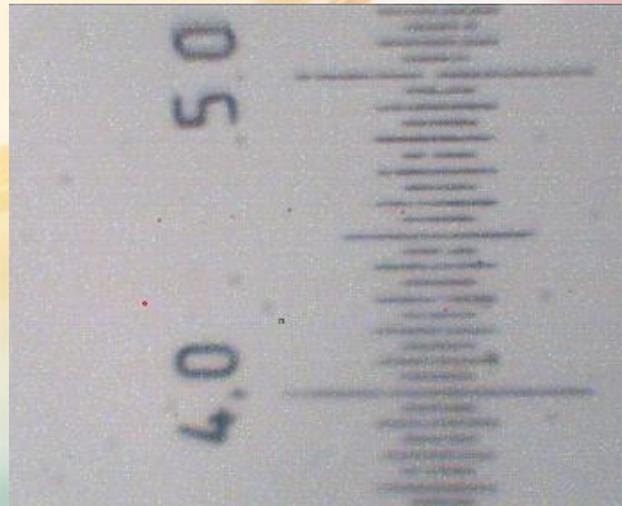
ANÁLISE DAS TRAJETÓRIAS



Programa VideoPoint 2.5

Programa Tracker - <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

Usar a imagem do padrão feita com o programa webcam control para transformar a velocidade em mm/s



- **PEDIDO: Fazer o cálculo de pelo menos uma gota (carga e raio) com os dados da 1ª aula**

CORREÇÃO PARA O RAIOS DA GOTA

$$a^2 = \frac{9}{4} \eta \frac{(v_d - v_s)}{g(\rho_o - \rho_{ar})}$$

$$b = 6,17 \times 10^{-4} \text{ (cm de Hg) cm}$$
$$P \sim 70 \text{ cmHg}$$

$$\eta = \eta_o \left(1 + \frac{b}{Pa} \right)^{-1}$$

Raio da gota a(cm)	Fator de correção $1/(1+(8,8 \times 10^{-6}/a))$
10^{-3} cm (10 μ m)	0,991
10^{-4} cm (1,0 μ m)	0,919
10^{-5} cm (0,1 μ m)	0,532
10^{-6} cm (0,01 μ m)	0,102

Valores de η_0 podem ser extraídos do gráfico da apostila do experimento de Millikan

$$\rho_{oleo} = 0,8474(9) \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{ar} = 1,2929 \left(\frac{273,13}{T} \right) \left[\frac{B - 0,3783e}{760} \right] \frac{mg}{cm^3}$$

B=P=Pressão (mmHg)
e=Pressão de vapor
T=Temperatura (K)

Medidas essenciais:

- higrômetro
- barômetro
- termômetro

Vide as tabelas I, II e IV da apostila do experimento

DISCUSSÃO SOBRE AS INCERTEZAS

Quem predomina como fonte de incerteza?

- Grandezas fornecidas: ρ_{oleo} , ρ_{ar} , η_0 , g
- Grandezas medidas diretamente: P , V , d
- Grandezas determinada de forma indireta: $V_{s'}$, $V_{d'}$, $V_{q'}$ calibração

Carga elétrica

$$q = \frac{3\pi\eta a(v_s + v_d)}{E} \quad E = \frac{V}{d}$$

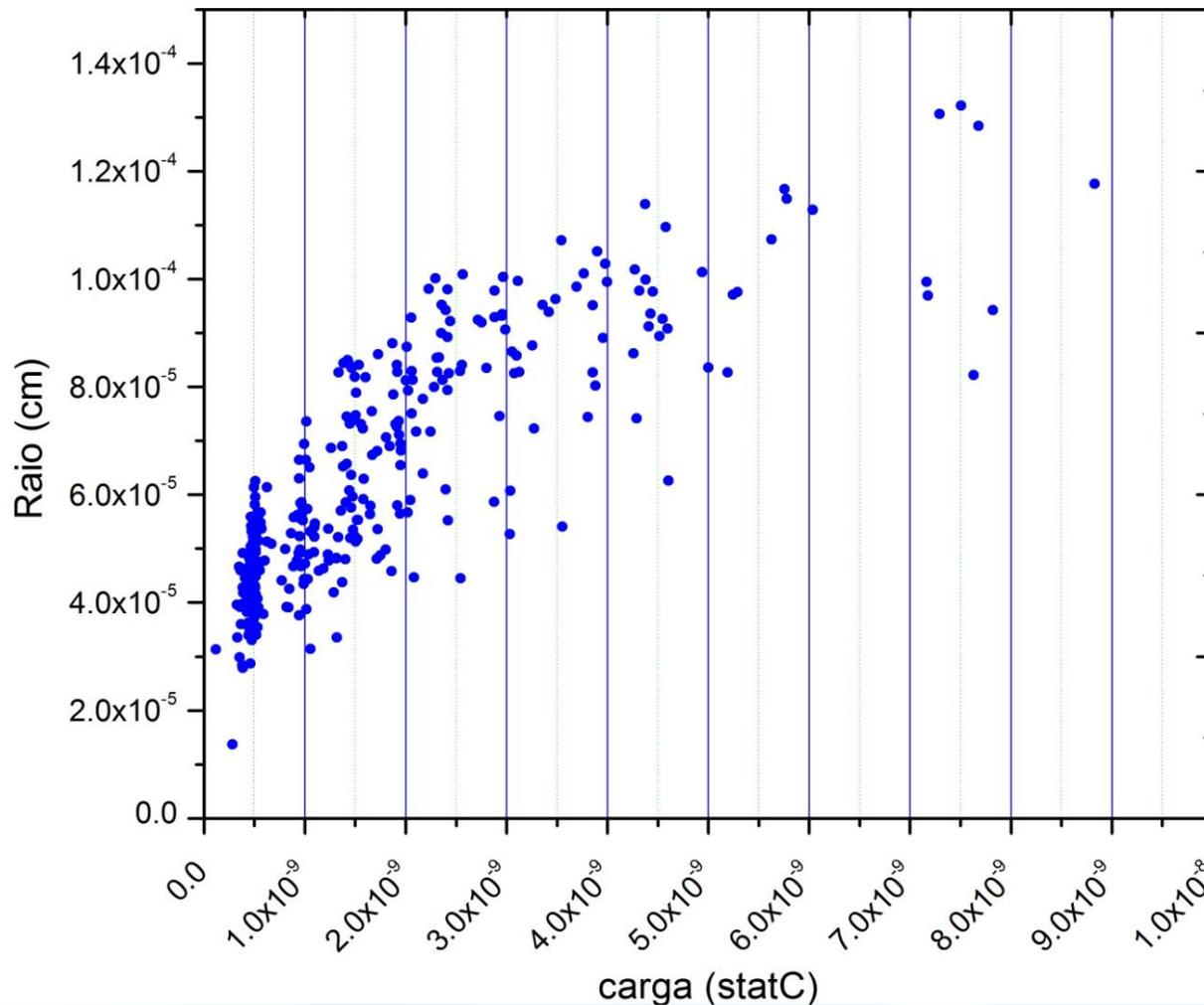
Raio da gota

$$a^2 = \frac{9}{4} \eta \frac{(v_d - v_s)}{g(\rho_o - \rho_{ar})} \quad \rightarrow \quad a^2 = -\frac{b}{2p} + \sqrt{\frac{b^2}{4p^2} + \frac{9\eta_0(v_d - v_s)}{4g(\rho_o - \rho_{ar})}}$$

COMENTÁRIOS EXPERIMENTAIS

- Proposta: medir q mínimo (quantizado)
 - Imagine se a incerteza for da ordem de 5% e $q=100$
 - Logo você vai ter $q=(100\pm 10)e$
 - Muito difícil de se verificar a quantização da carga
 - Caso você tenha $q=(1,0\pm 0,1)e$
 - A quantização pode ser verificada mais facilmente

CARGA EM FUNÇÃO DO RAIÃO DA GOTA

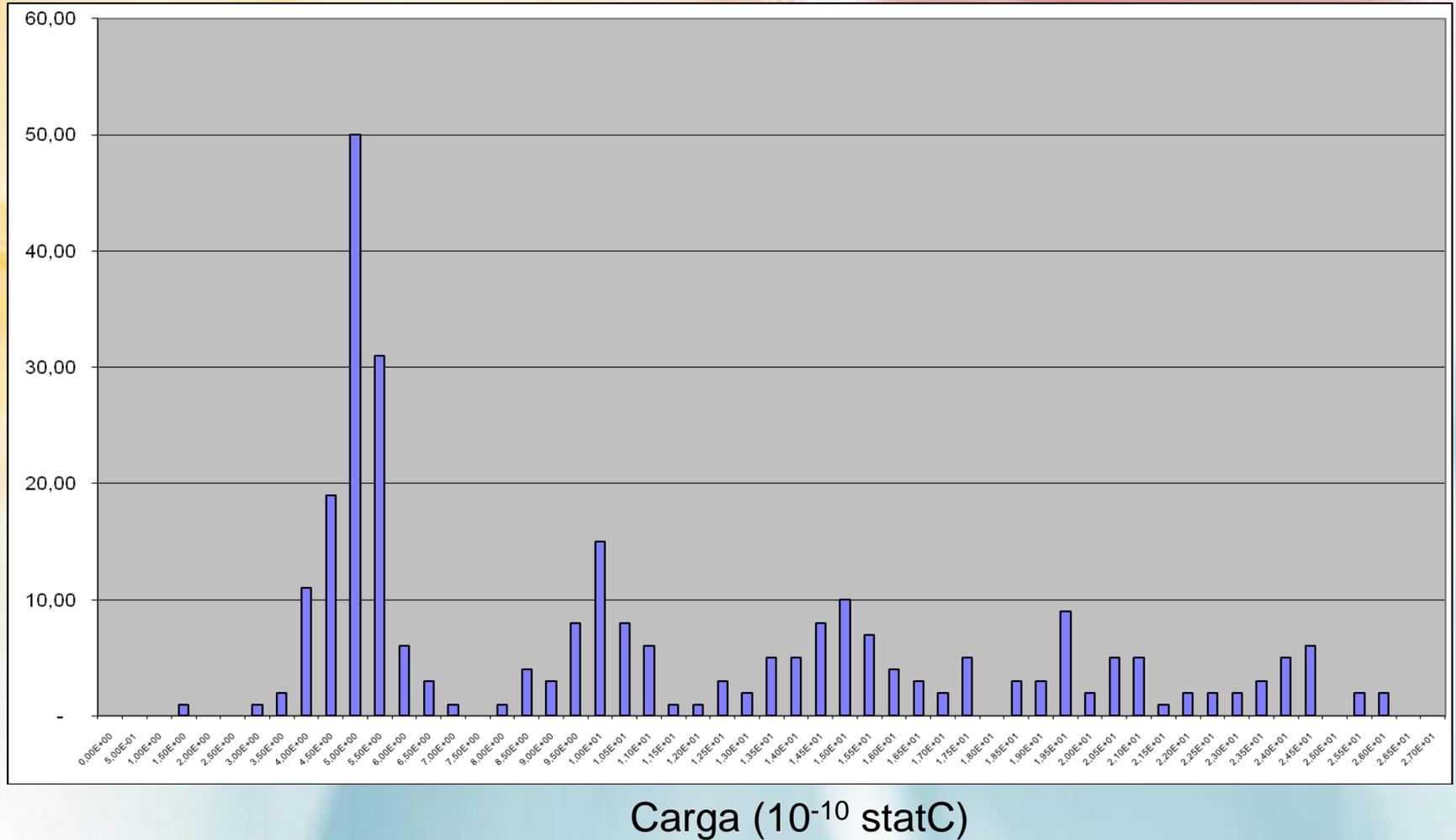


$$q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

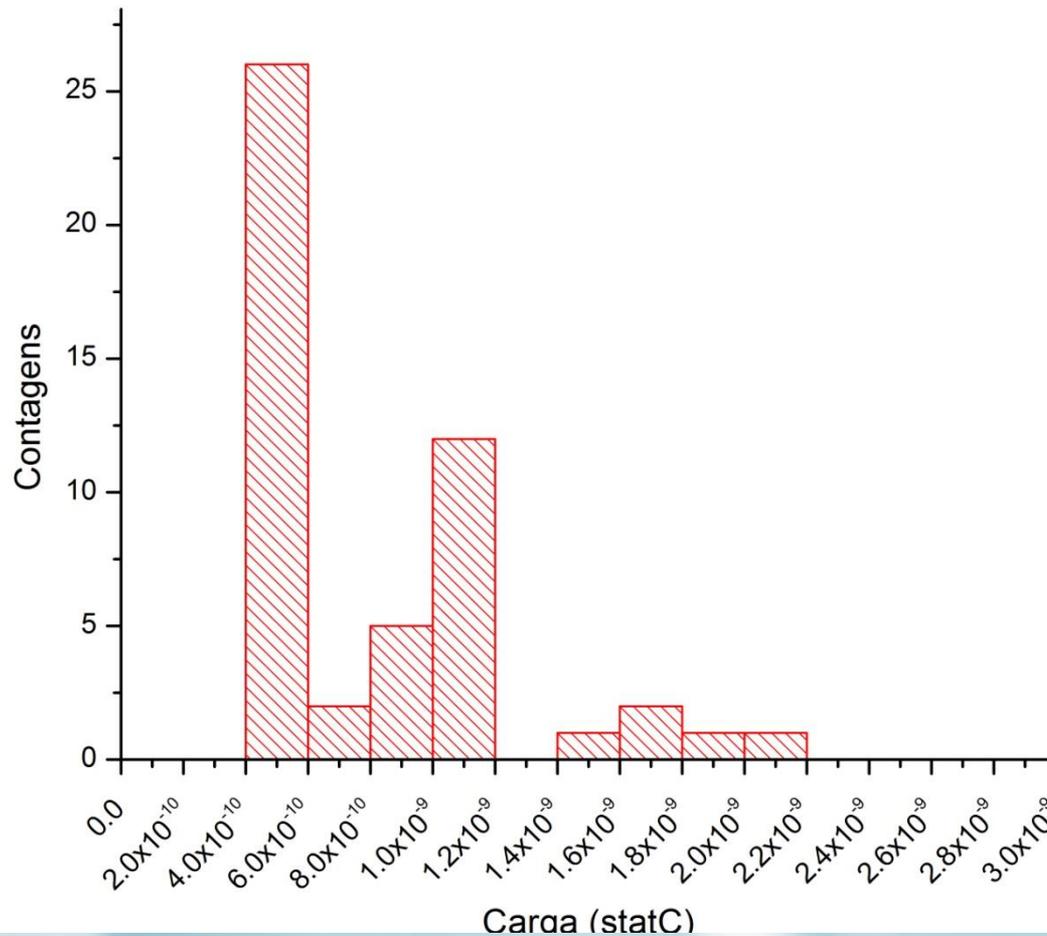
$$q = 4,803 \times 10^{-10} \text{ statC}$$

HISTOGRAMA

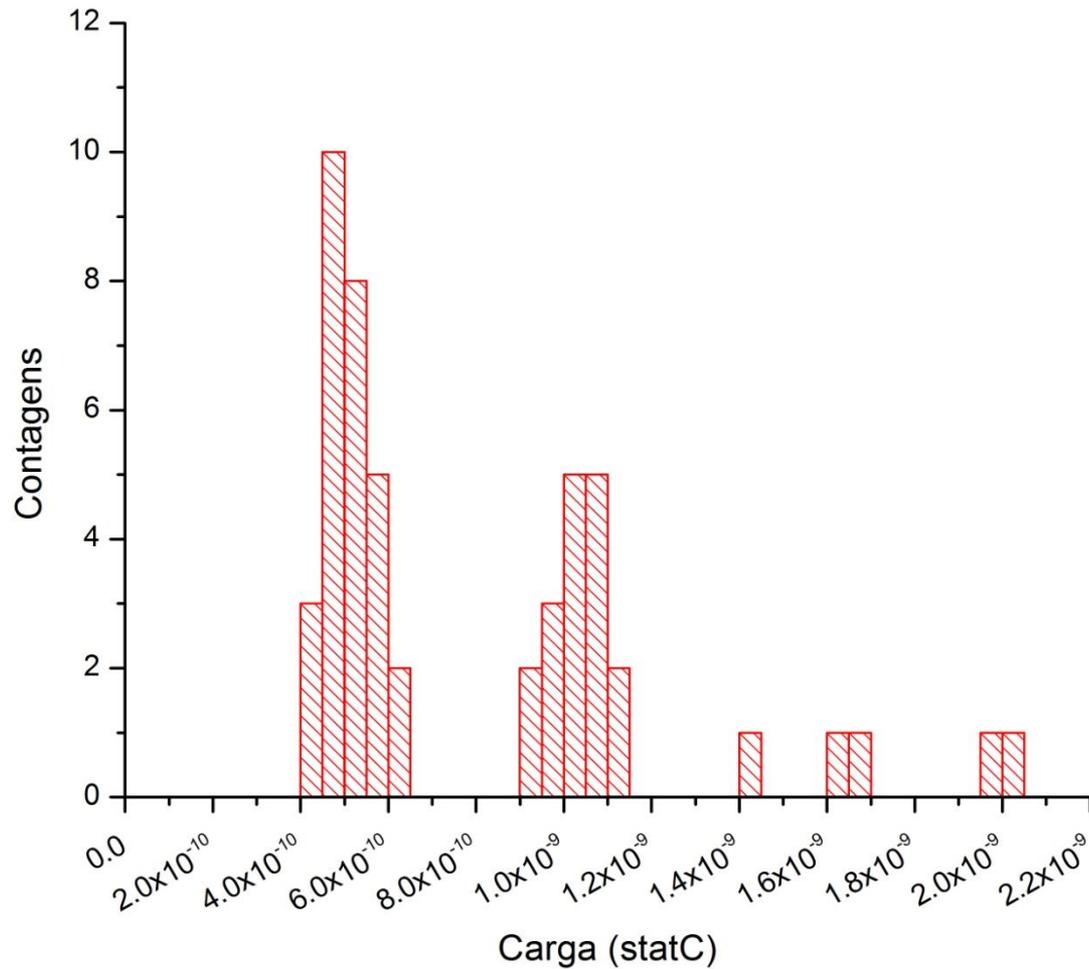
contagens



ESTUDO DA QUANTIZAÇÃO DA CARGA



ESCOLHA MAIS APROPRIADA DO INTERVALO (BIN)



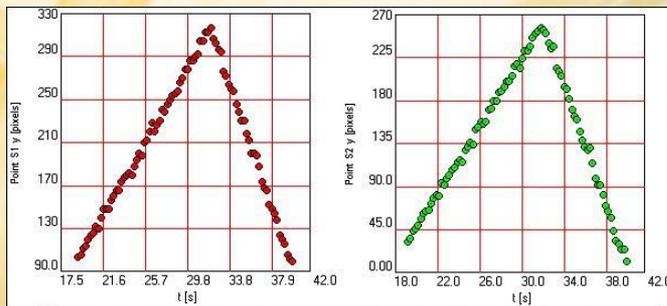
ANÁLISE DOS DADOS

É melhor escolher poucas gotas, com poucas cargas ($n=1,2$ e 3) do que fazer centenas de vídeos.

Inicialmente vocês devem calcular q e n para algumas gotas.

Fazer o gráfico de velocidade subida em função da velocidade de descida.

A medida das velocidades não precisa ser feita “quadro a quadro”



$$\rightarrow S^2 = \frac{1}{N-2} \sum (y_i - y_0 - vt)^2$$

Fazer o gráfico do valor da carga (q) média em função do número de cargas (n)

Estudar a dependência do processo de ionização.

Fazer o gráfico de q em função do raio (expoente no papel di-log)

Verificar a posição da gota em x . Pode ser que o capacitor não esteja alinhado.

Discutir o critério da escolha da região para o ajuste das gaussianas