

# Laboratório de Física Moderna

## Efeito Fotoelétrico

### Aula 02

Marcelo Gameiro Munhoz  
[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

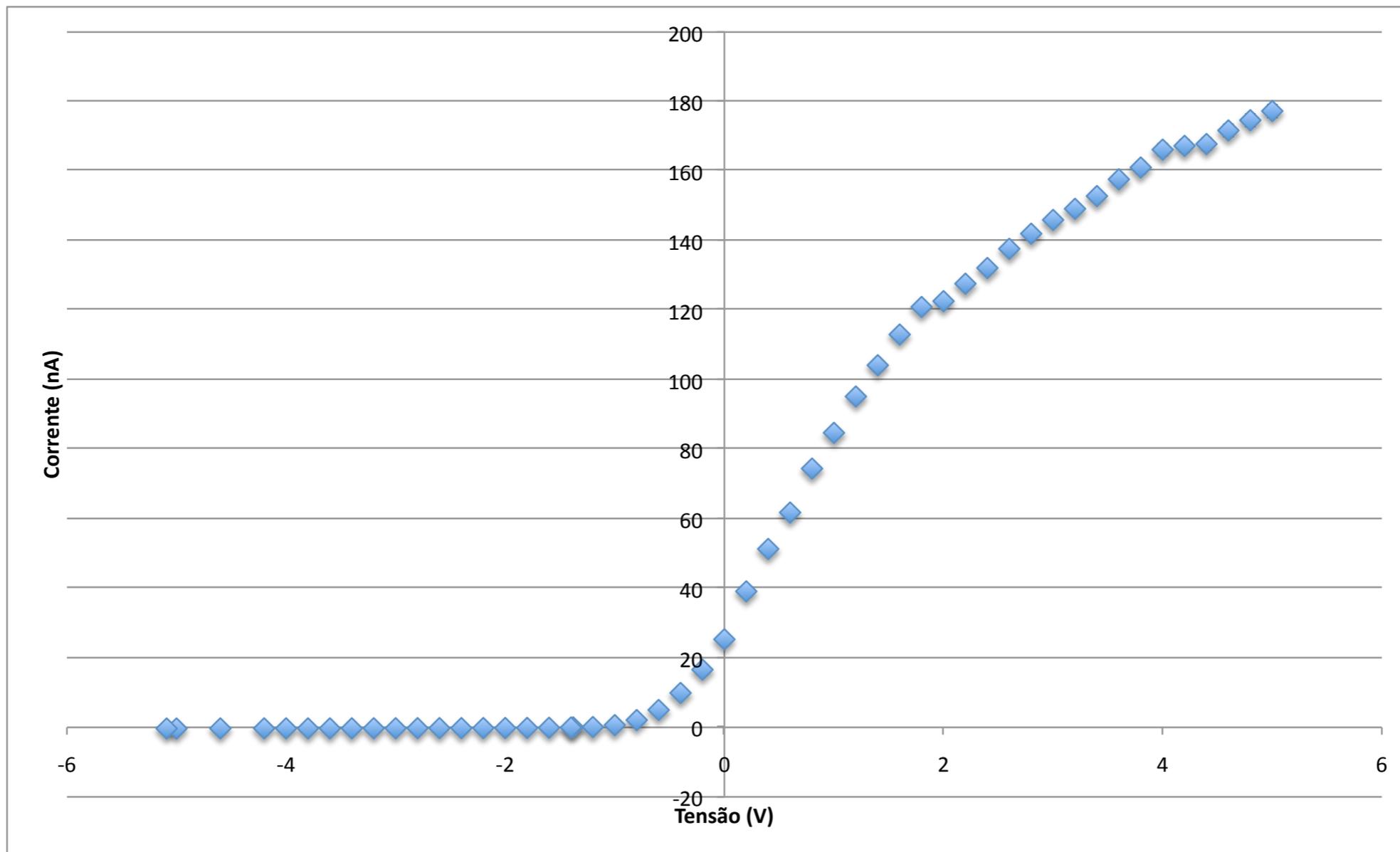
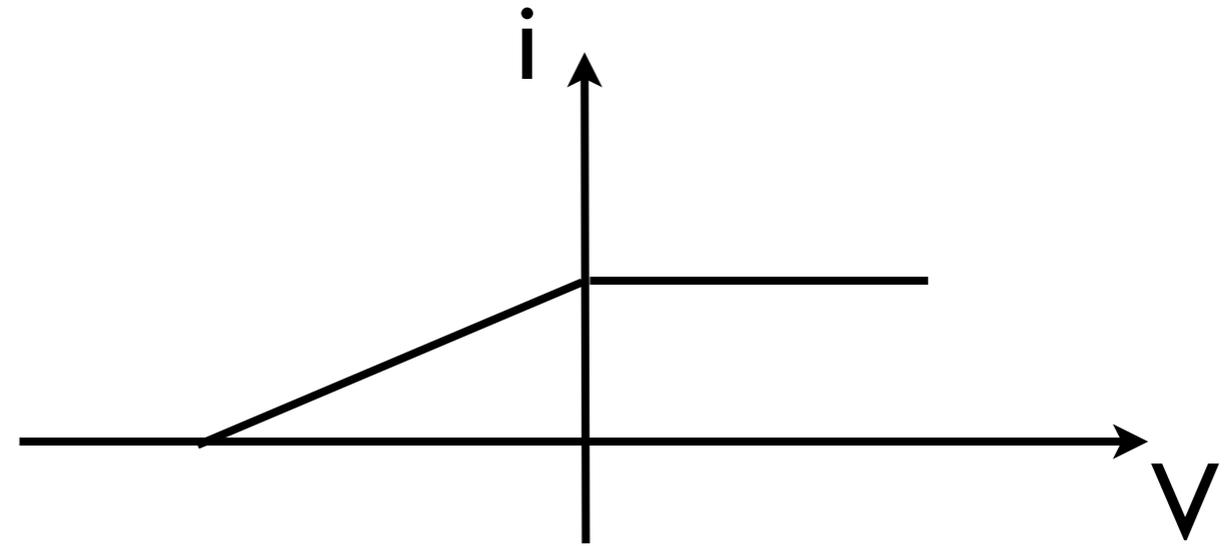
# Nossa proposta para este trabalho

- 1º Passo: verificar as observações de Herr Lenard
- 2º passo: verificar a previsão de Herr Einstein

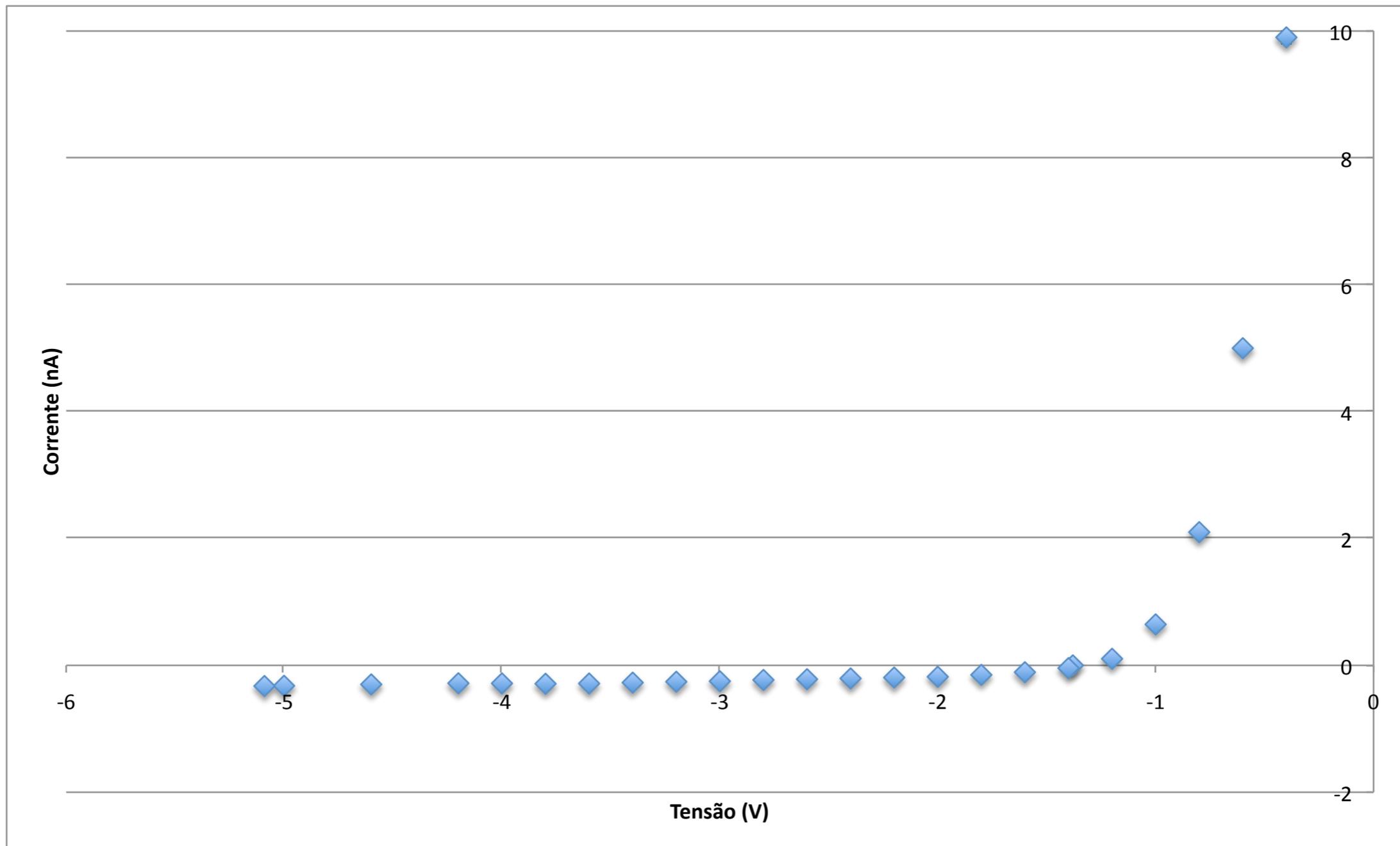
# 1º Passo: verificar as observações de Herr Lenard

- A partir dessas medidas, verificar se a corrente é proporcional à intensidade de luz:
  - para uma determinada frequência de luz incidente e um valor fixo de tensão, o que acontece com a corrente quando diferentes atenuadores são utilizados?
- E verificar se a energia cinética dos elétrons aumenta com a frequência da luz incidente:
  - qual o valor da tensão que zera a corrente do circuito para diferentes frequências de luz?

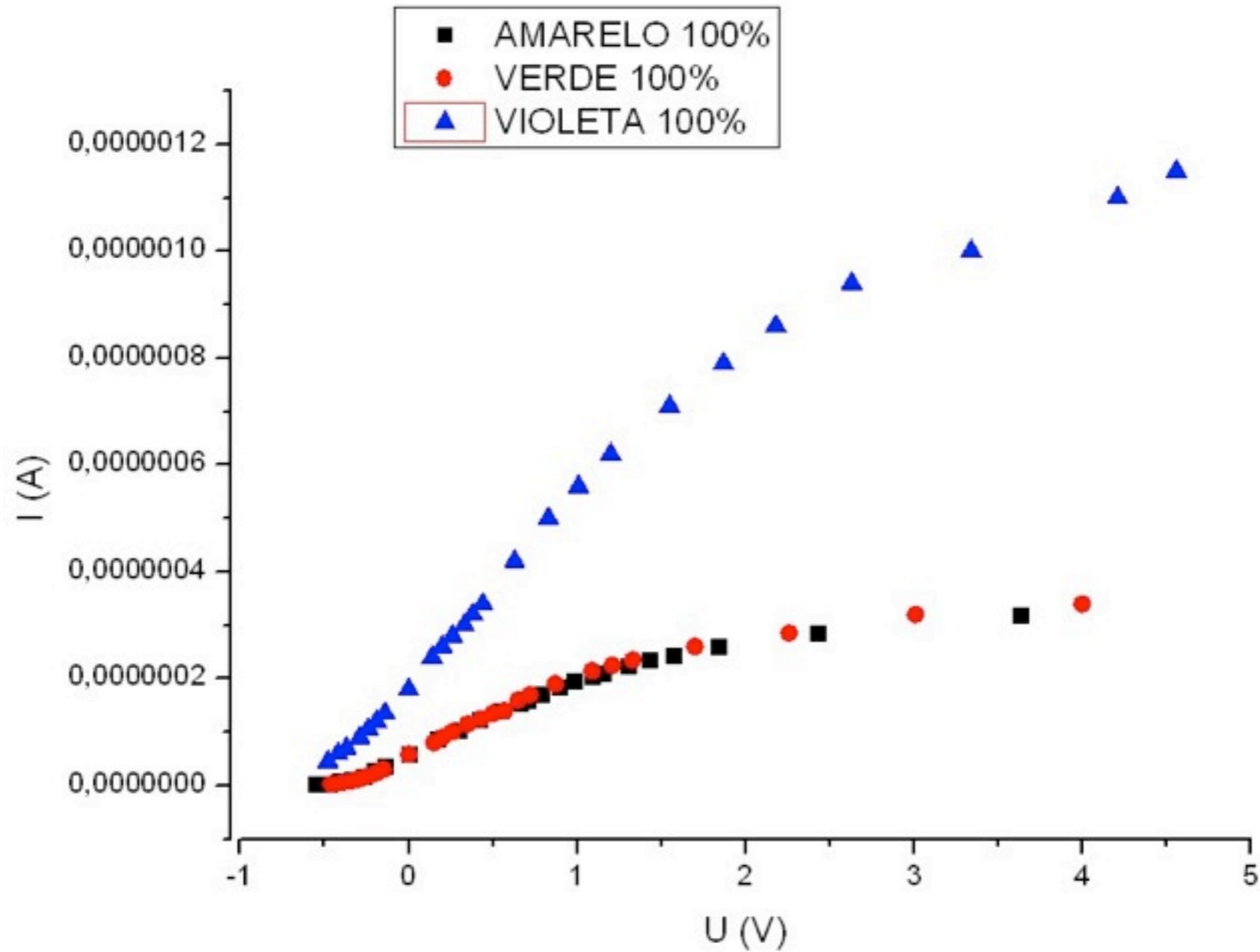
# Curva corrente X tensão



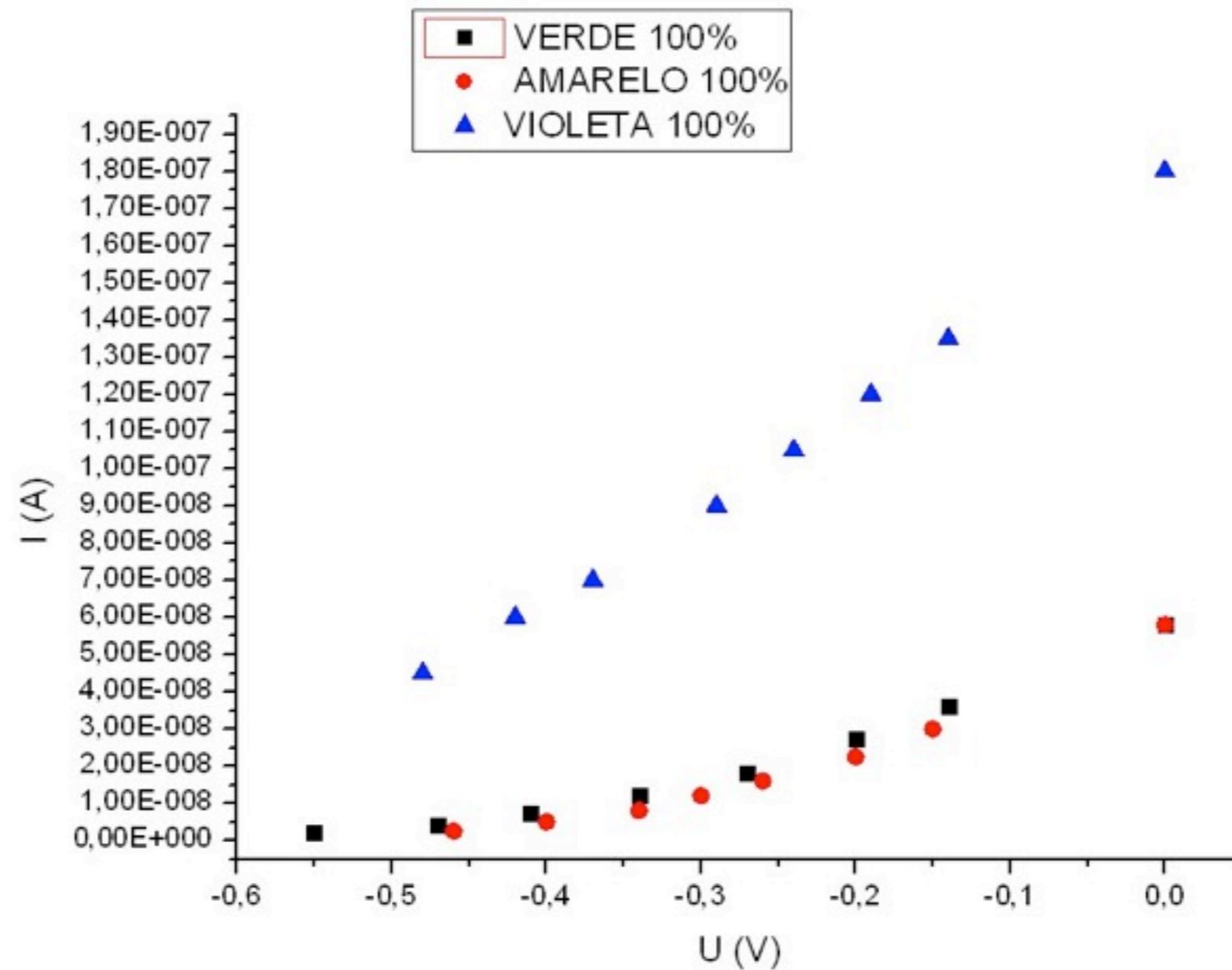
# Curva corrente X tensão



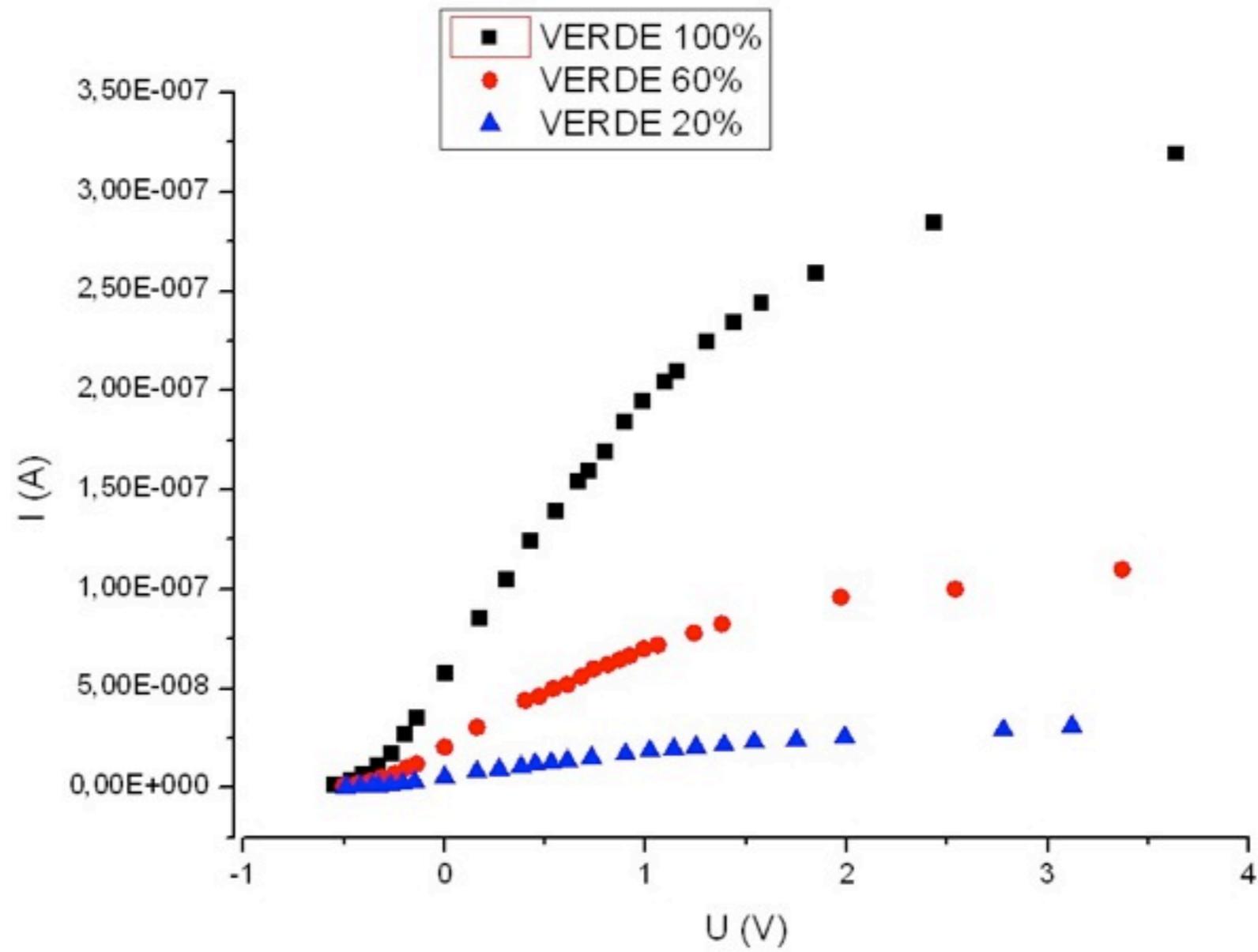
# Curva corrente X tensão



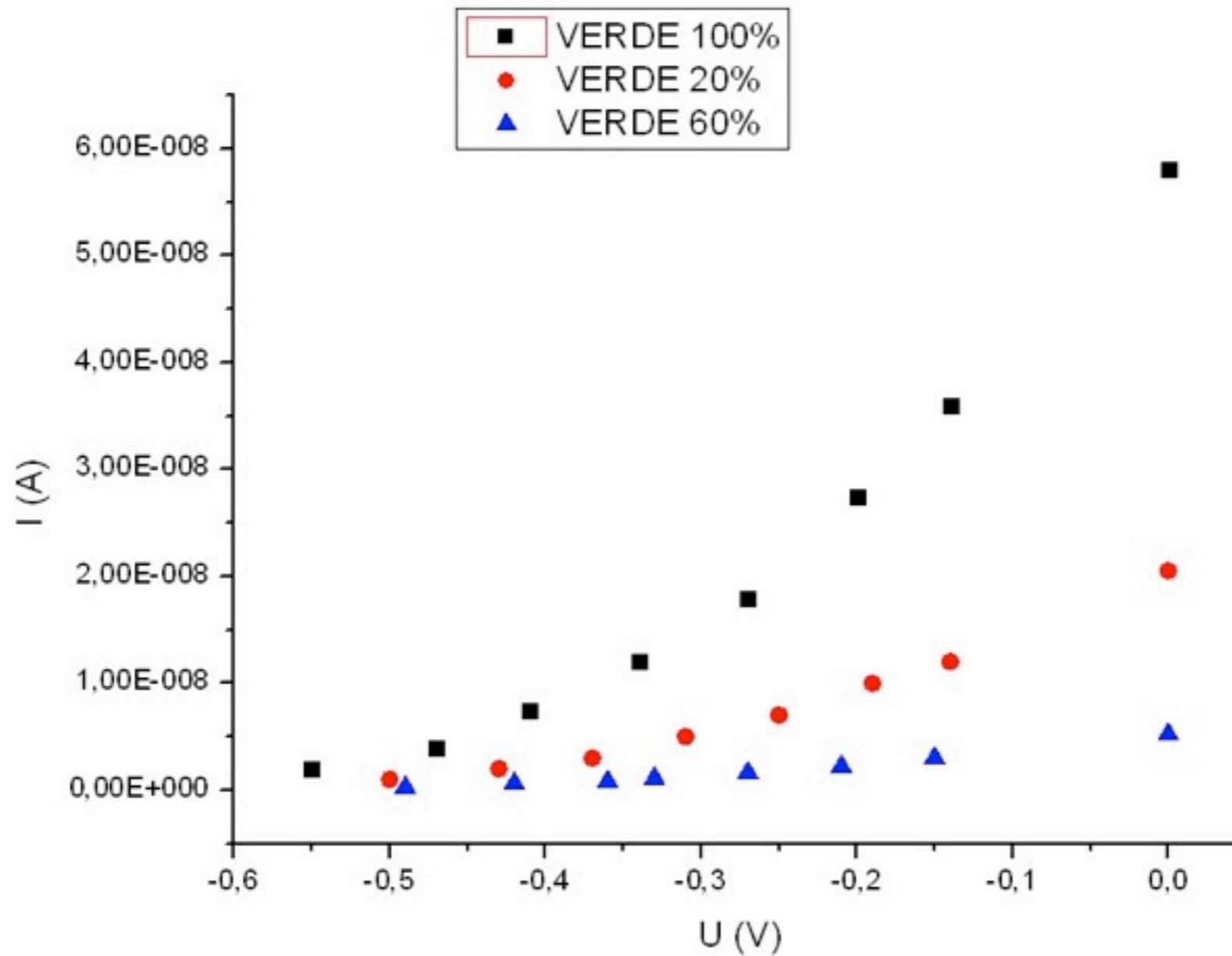
# Curva corrente X tensão



# Curva corrente X tensão



# Curva corrente X tensão

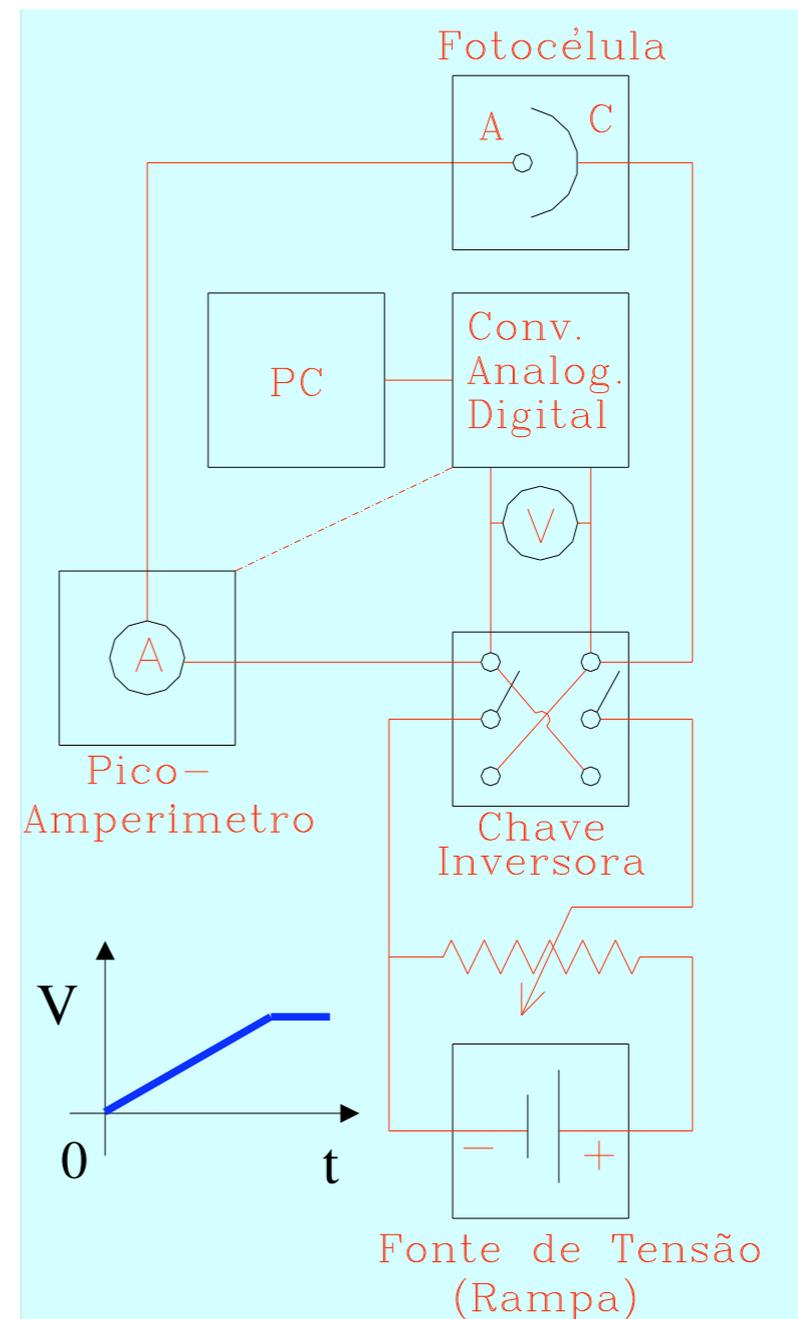


# 2º passo: verificar a previsão de Herr Einstein

- Medir a corrente em função da tensão para extrair, de maneira mais precisa, o valor da tensão que zera a corrente ( $V_0$ ) para cada frequência de luz ( $\nu$ )
- Verificar se  $V_0$  é linearmente proporcional a  $\nu$
- Medir a constante de proporcionalidade e verificar se é compatível com a constante de Planck ( $V_0 = h/e \cdot \nu - \phi$ )

# Aprimorando o experimento

- Ao invés de variarmos a tensão no circuito manualmente, uma fonte cuja tensão varia automaticamente de maneira linear cumprirá essa tarefa
- A tensão e a corrente serão “lidas” por um conversor analógico-digital (ADC) que transfere os dados para o computador



# O que vamos realmente medir?

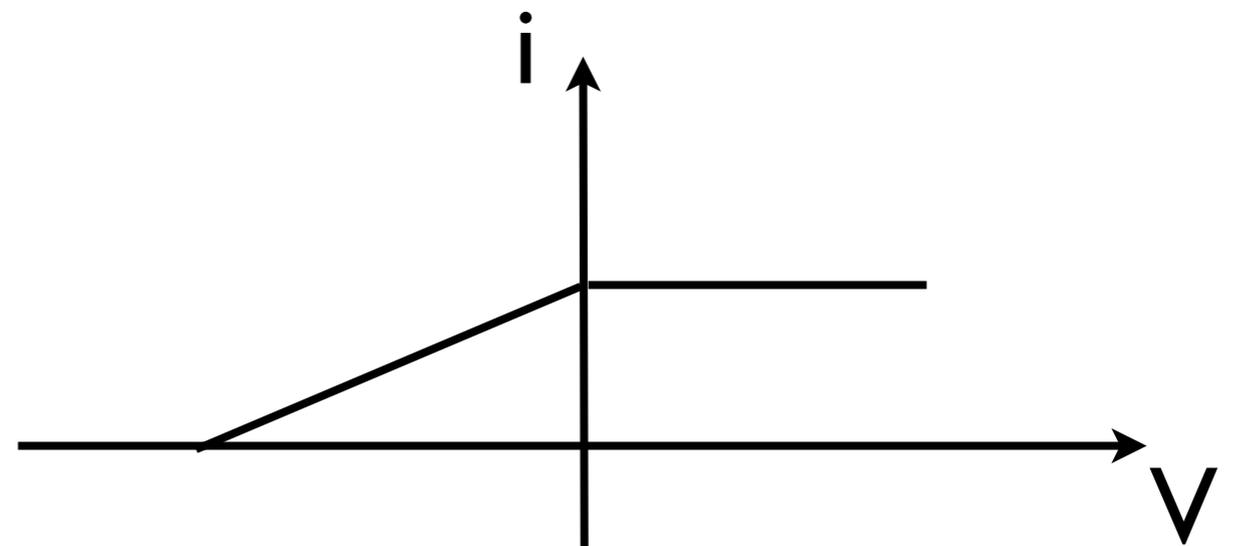
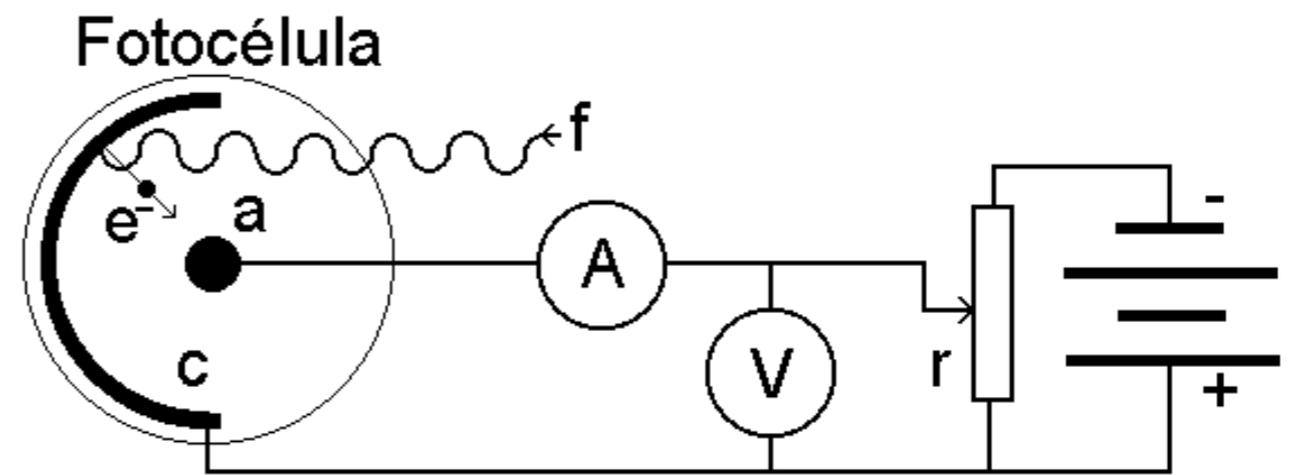
- O ADC converte uma medida em um número (sem unidades)
- Como o ADC possui 8 bits, ele pode representar os valores numéricos de 0 a  $2^8-1$  ou de  $-2^7$  a  $2^7-1$  (usando o primeiro bit para o sinal)
- Portanto, obteremos um valor entre 0 e 255 (no caso da tensão) e -128 a 127 (no caso da corrente)
- Para obter valores com significado físico, isto é, com unidades, precisamos calibrar o nosso sistema, ou seja, verificar o valor numérico da medida de uma quantidade conhecida

# Calibração

- Estamos interessados em calibrar apenas a tensão
- Coloca-se manualmente um valor de tensão no circuito, faz-se a leitura no voltímetro e verifica-se o valor numérico convertido pelo ADC
- Repete-se várias vezes esse processo e cria-se um gráfico de tensão em unidades arbitrárias (do ADC) em função do valor de tensão em Volts
- Ajusta-se uma reta a esses pontos, extraindo-se a curva de calibração

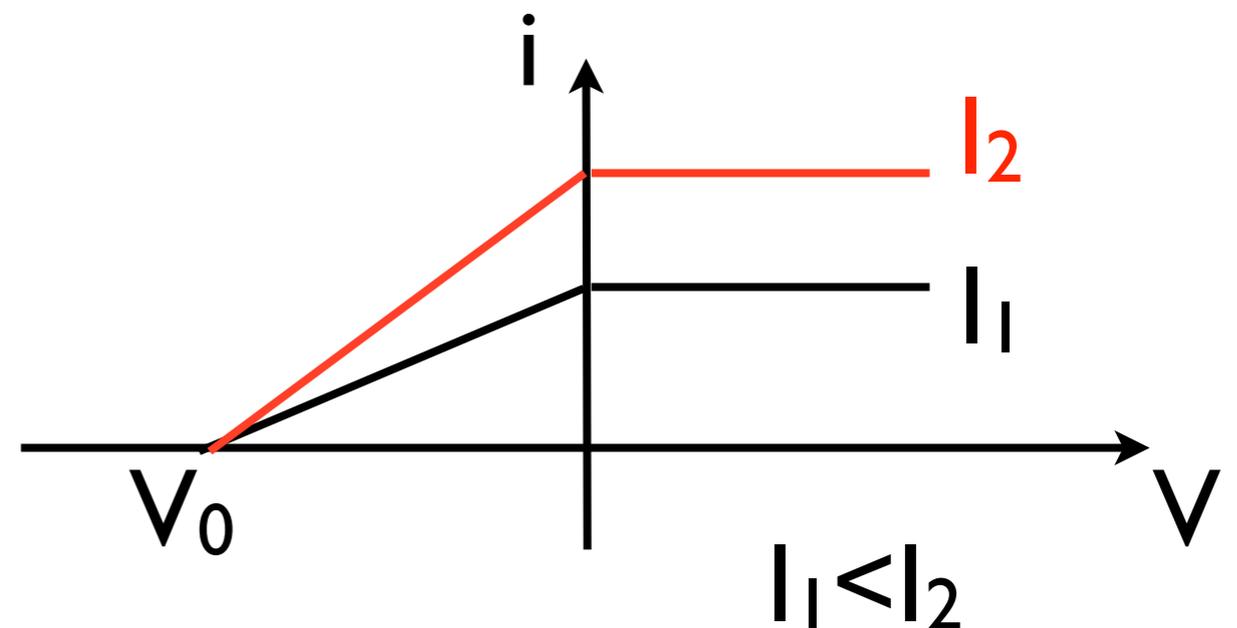
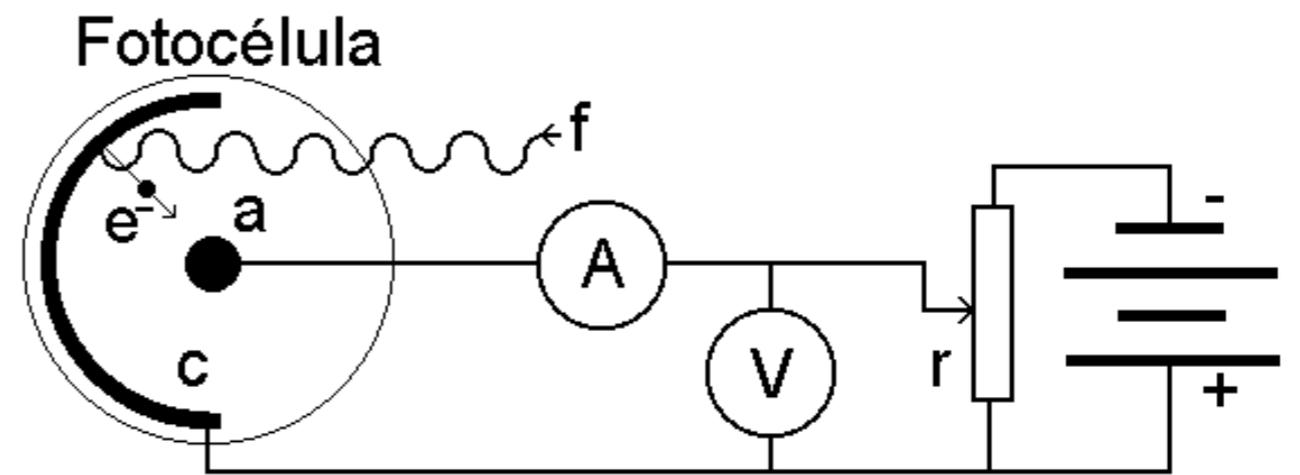
# Qual nossa expectativa para esta medida?

- É importante refletirmos sobre o resultado da medida antes de realizá-la
- Quando  $V > 0 \Rightarrow i \rightarrow i_{\max}$
- Quando  $V < 0 \Rightarrow i \rightarrow 0$



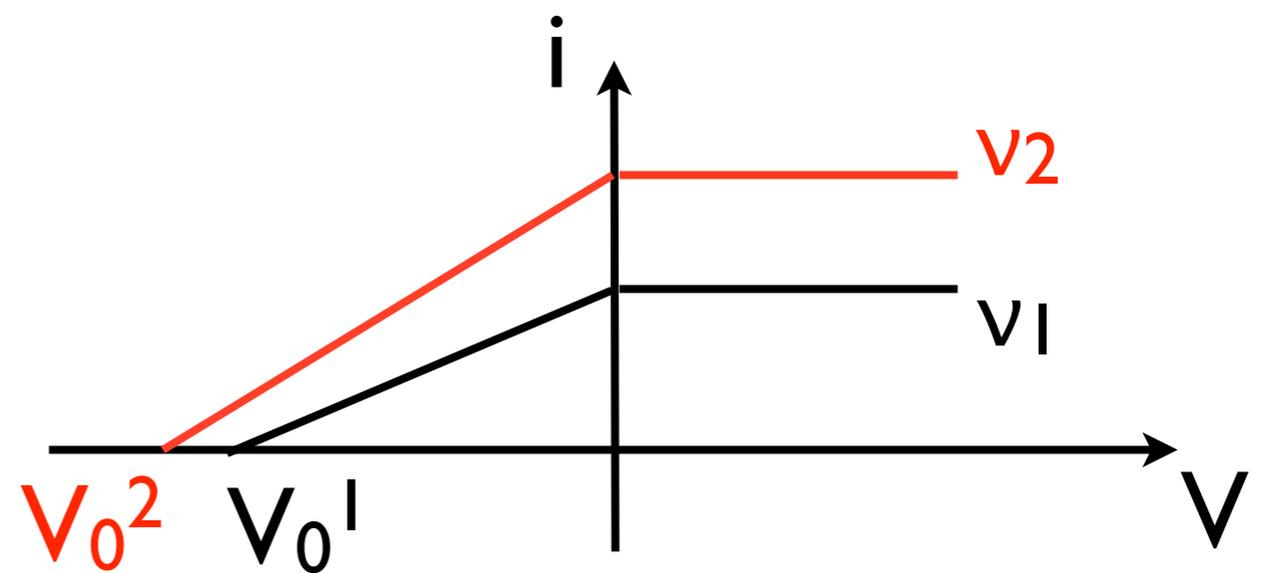
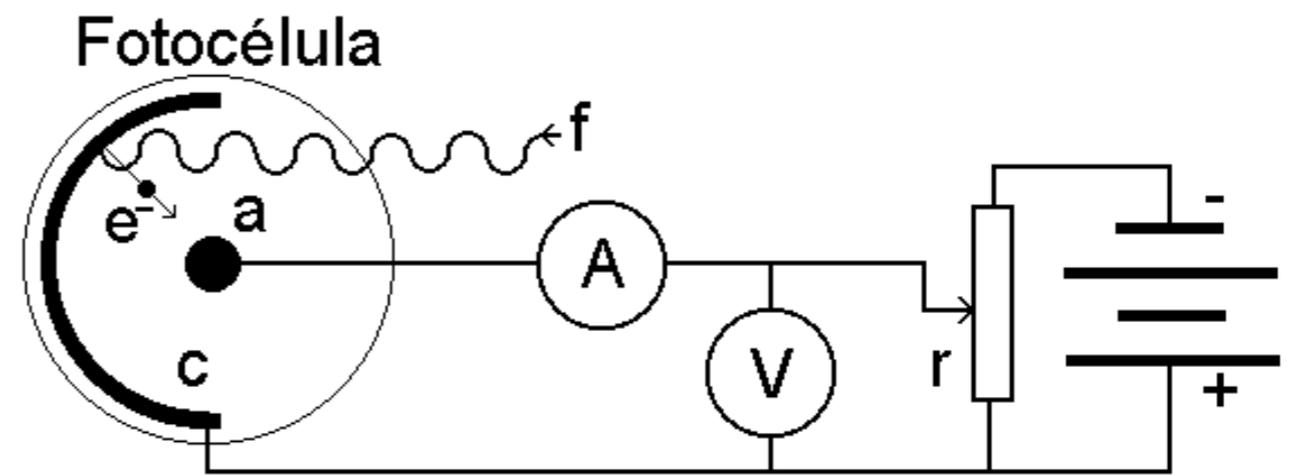
# Qual nossa expectativa para esta medida?

- É importante refletirmos sobre o resultado da medida antes de realizá-la
- Quando  $V > 0 \Rightarrow i \rightarrow i_{\max}$
- Quando  $V < 0 \Rightarrow i \rightarrow 0$
- $i_{\max}^1 < i_{\max}^2$  se  $I_1 < I_2$



# Qual nossa expectativa para esta medida?

- É importante refletirmos sobre o resultado da medida antes de realizá-la
- Quando  $V > 0 \Rightarrow i \rightarrow i_{\max}$
- Quando  $V < 0 \Rightarrow i \rightarrow 0$
- $i_{\max}^1 < i_{\max}^2$  se  $I_1 < I_2$
- $V_0^1 < V_0^2$  se  $v_1 < v_2$

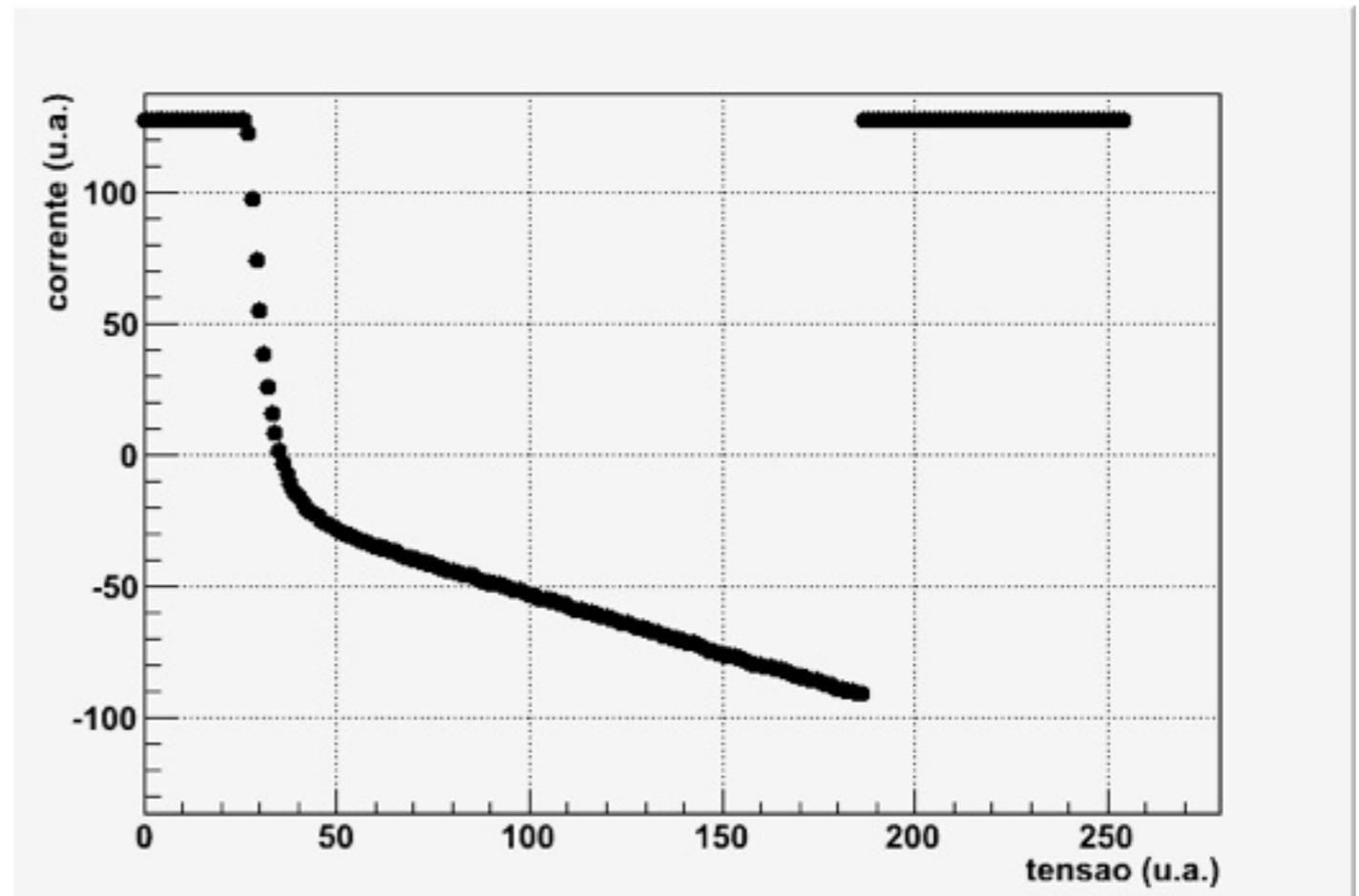


# Um estudo completo

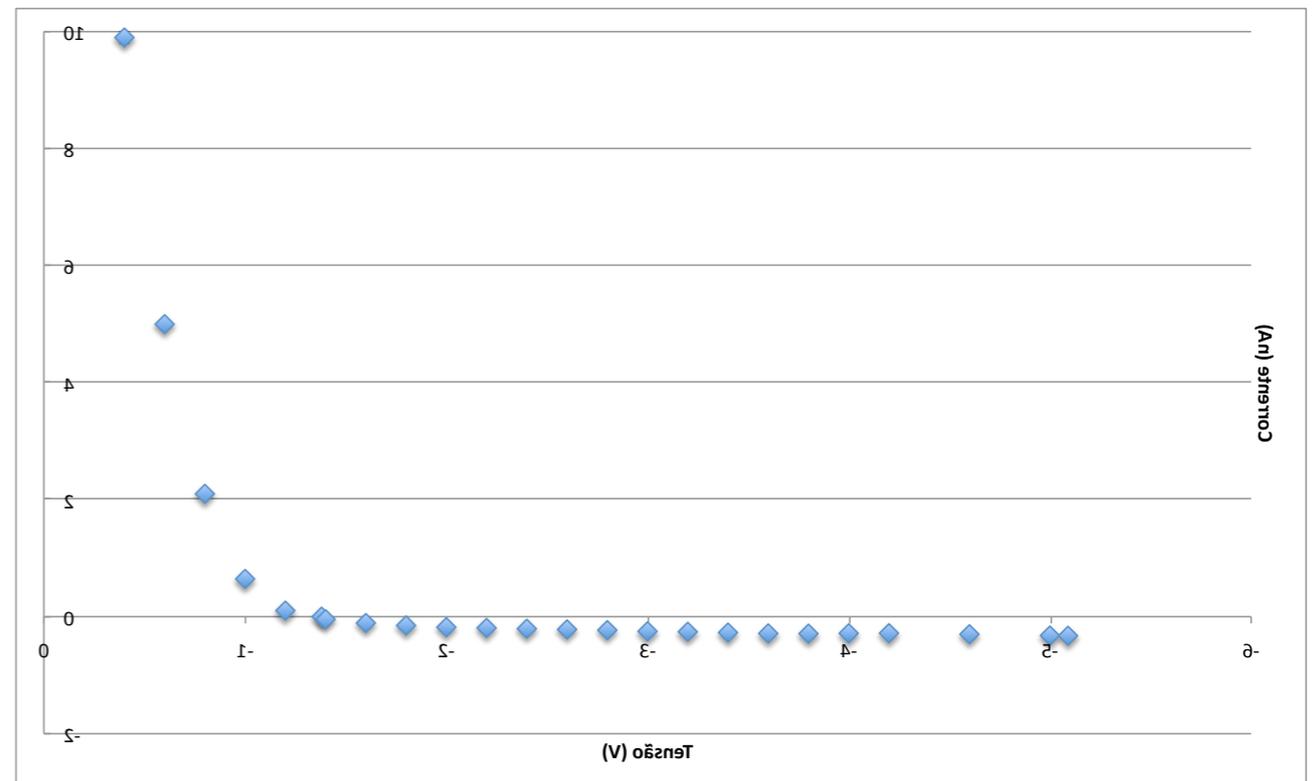
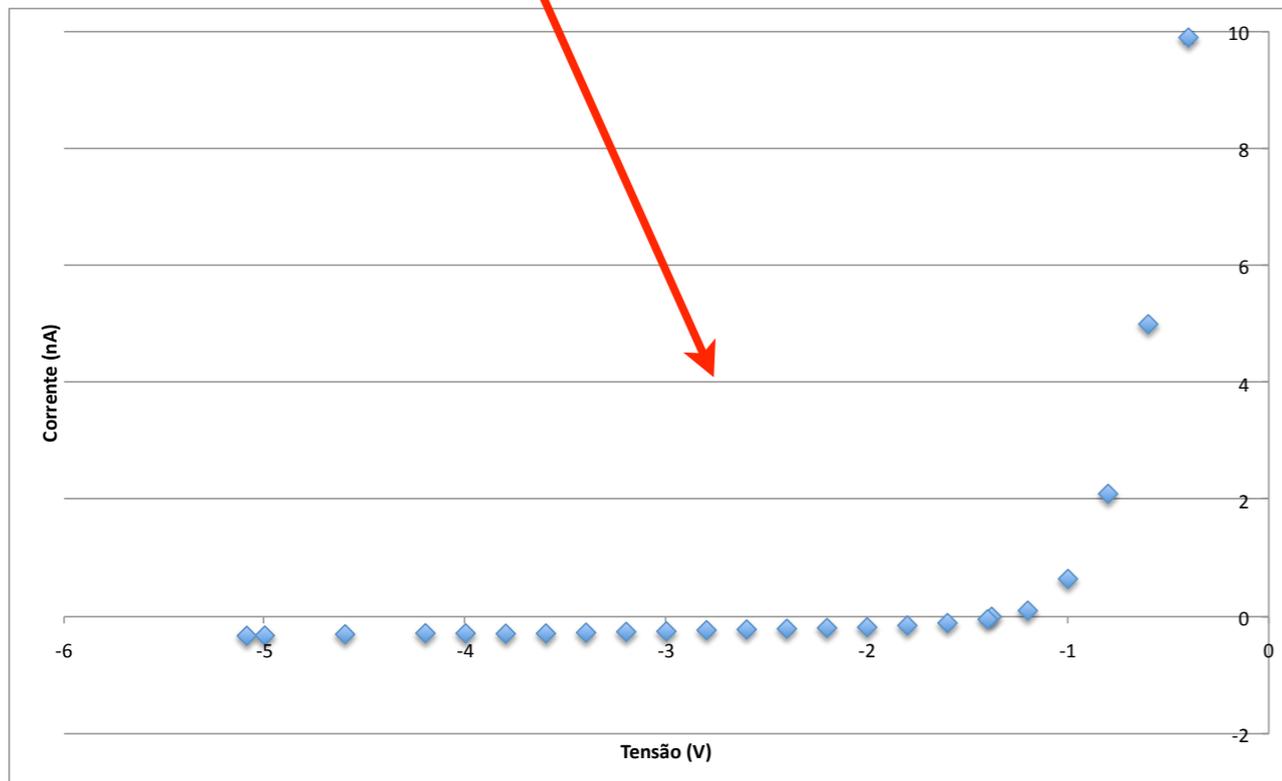
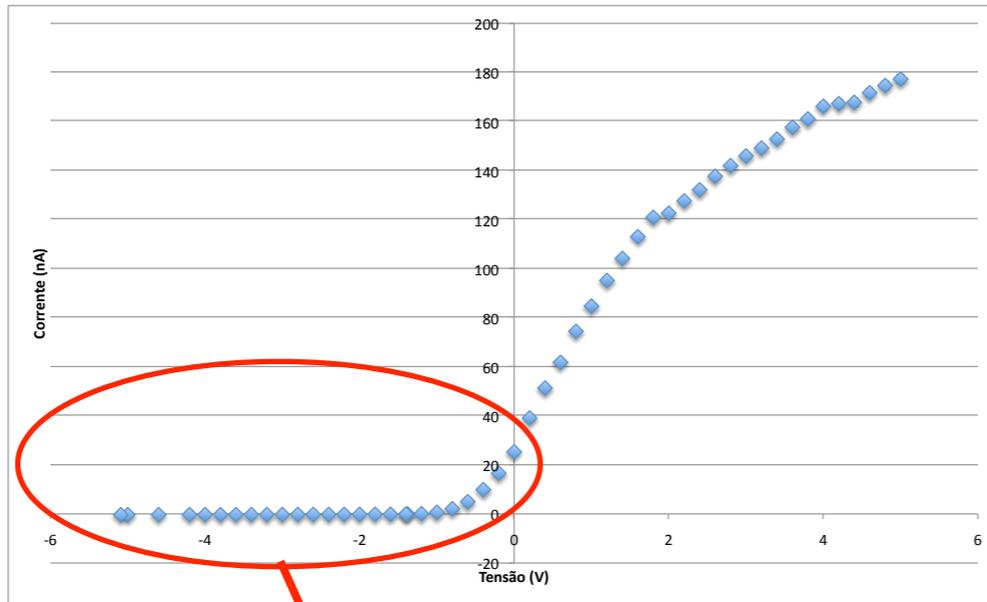
- Para estudarmos de maneira completa este fenômeno e verificar se realmente compreendemos o comportamento do nosso sistema, vamos medir:
  - a corrente em função da tensão para as 5 frequências diferentes de luz
  - variar a intensidade (de 80 a 20%) da luz para todas as frequências

# O que de fato medimos?

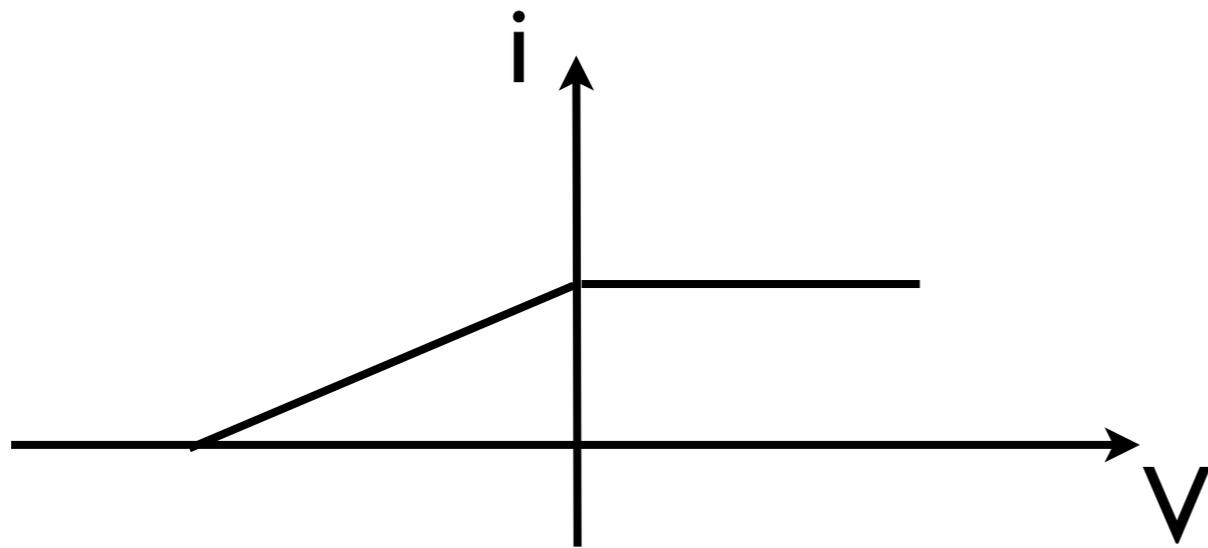
- Como compreender este resultado?
- Como ele se compara com a expectativa que tínhamos?
- Quais fatores experimentais não consideramos na nossa reflexão sobre as expectativas para esta medida?



# O que de fato medimos?



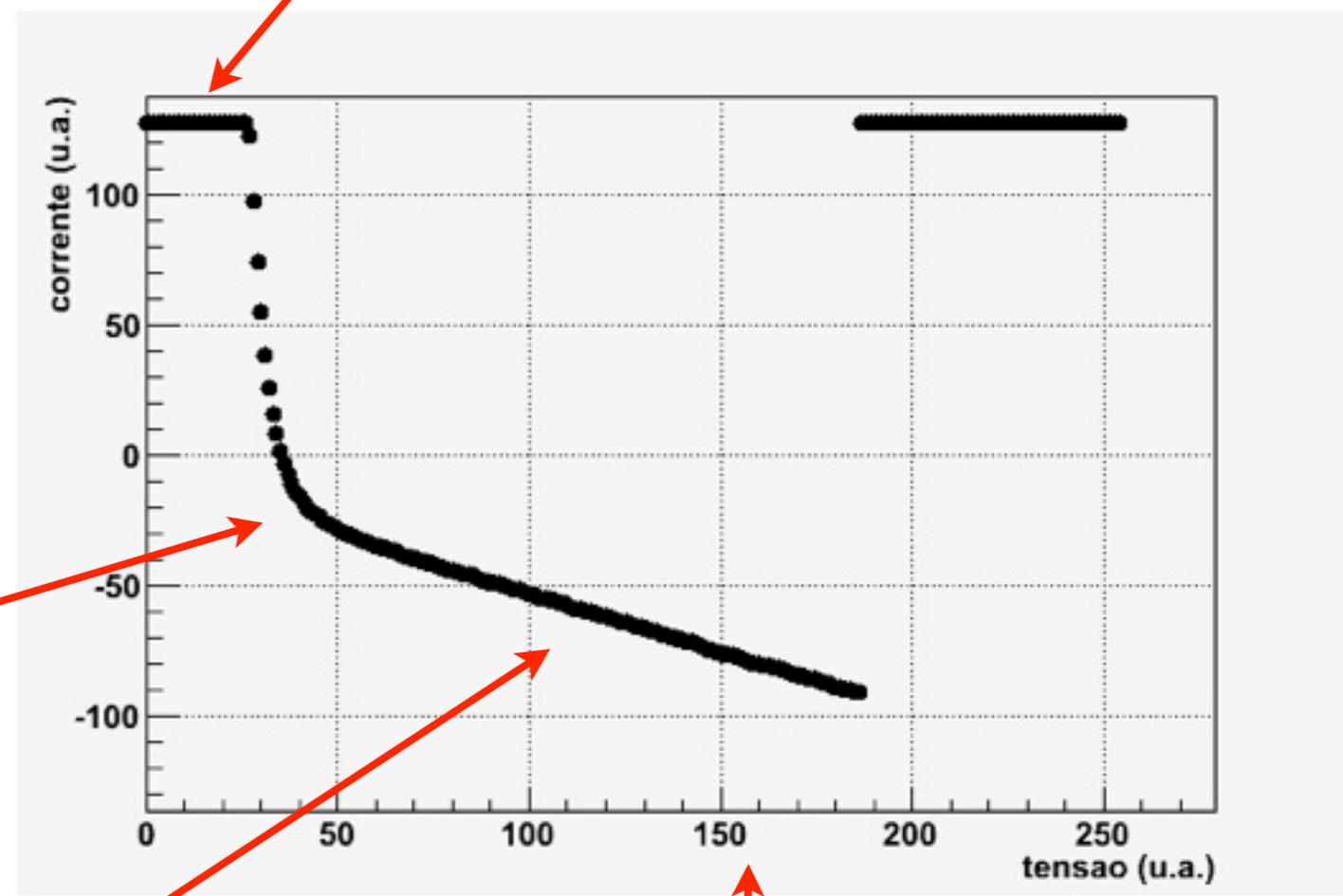
# O que de fato medimos?



A corrente não diminui abruptamente

A corrente não vai a zero

Saturação do ADC



Somente valores positivos de ADC

# A corrente não diminui abruptamente

- W. W. Roehr, *Physical Review* 44, 866 (1933)
- Os elétrons têm uma distribuição de energia dependente da temperatura dentro do metal, o que faz com que a energia cinética de saída varie para cada elétron
- Como esse efeito pode influenciar o resultado da análise?

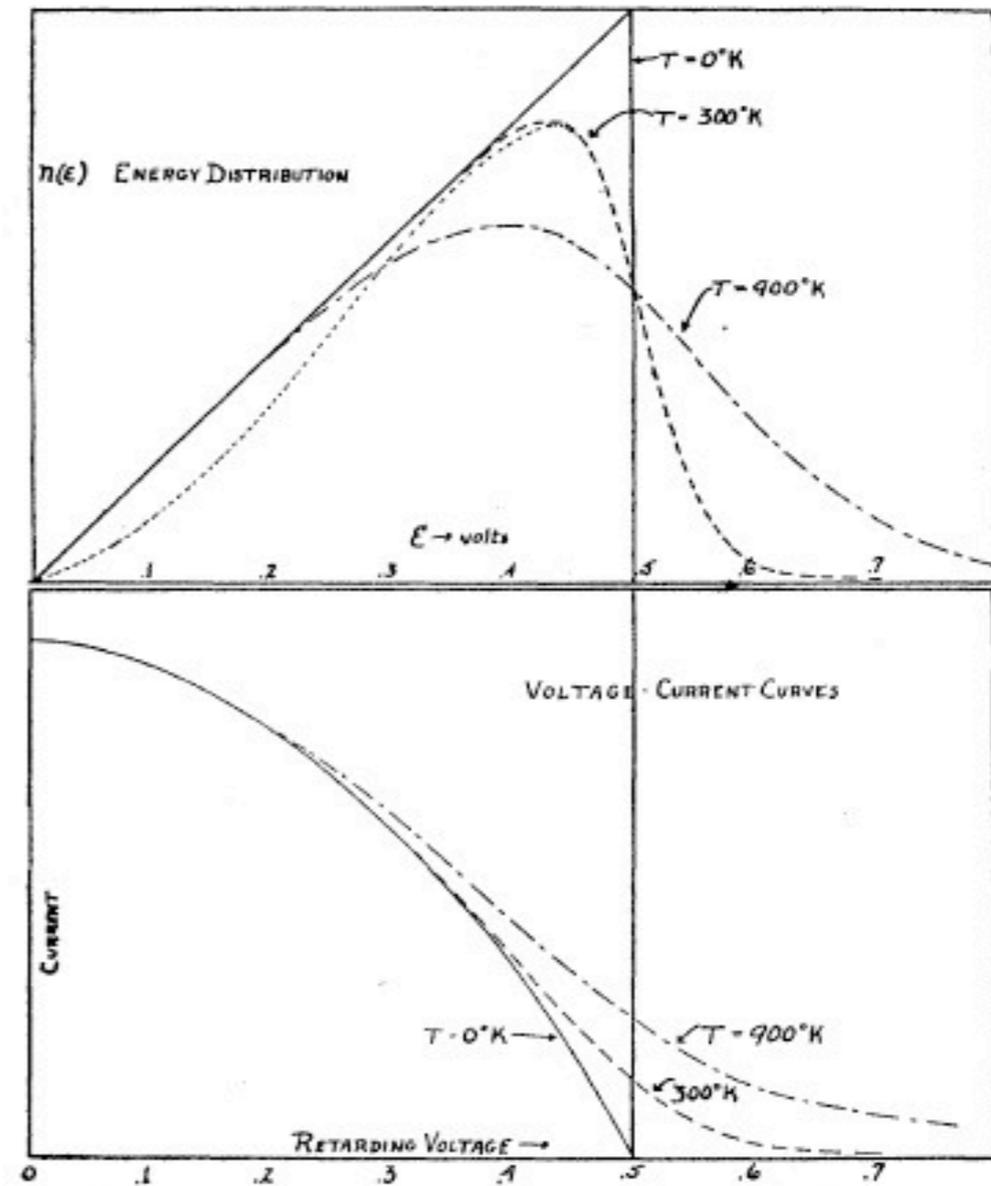
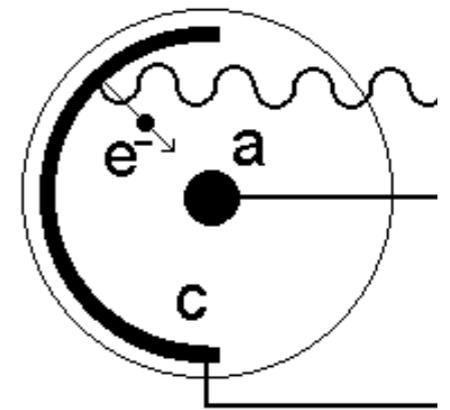


FIG. 1. Theoretical energy distribution and voltage-current curves for three temperatures.

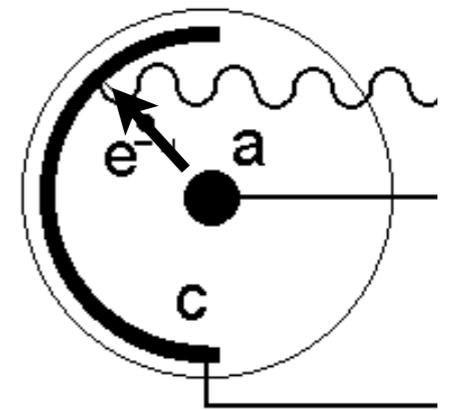
# A corrente não vai a zero

- Por que medimos uma corrente não nula (e negativa) mesmo com uma tensão acima da energia cinética do elétron?
- Essa corrente de fundo pode ser:
  - corrente devido à luz ambiente
  - corrente devido ao efeito fotoelétrico no anodo
  - corrente de fuga no circuito (não é um capacitor ideal)
- Podemos obter essa corrente de fundo desligando a lâmpada de mercúrio e fazendo a medida, que pode ser subtraída dos dados



# A corrente não vai a zero

- Por que medimos uma corrente não nula (e negativa) mesmo com uma tensão acima da energia cinética do elétron?
- Essa corrente de fundo pode ser:
  - corrente devido à luz ambiente
  - corrente devido ao efeito fotoelétrico no anodo
  - corrente de fuga no circuito (não é um capacitor ideal)
- Podemos obter essa corrente de fundo desligando a lâmpada de mercúrio e fazendo a medida, que pode ser subtraída dos dados



# Os arquivos de dados

- Os arquivos criados no formato texto pelo programa de aquisição possuem 4 colunas:
  - A primeira coluna contém o valor da tensão em unidades arbitrárias do ADC
  - A segunda mostra o valor da corrente em unidades arbitrárias do ADC
  - A terceira mostra o desvio padrão de todas as medidas realizadas da corrente para um dado valor de tensão
  - A quarta coluna apresenta o número de vezes que a corrente foi medida

# Análise dos dados

- Como extrair de maneira rigorosa o valor de  $V_0$  dos dados?
- Como avaliar a incerteza dessa medida?
- Uma vez obtidos os valores de  $V_0$  para cada frequência  $\nu$ , verificar o comportamento de  $V_0 \times \nu$  e, se possível, extrair o valor da constante de Planck  $h$
- Avaliar o valor de  $h$  obtido. **Considerando-se as incertezas**, o que podemos concluir sobre as previsões de Herr Einstein?

# Análise dos dados

- Uma sugestão:
  - Após subtrair as correntes de fundo, ajustar uma reta aos pontos que apresentam um comportamento linear e extrapolar a mesma para o eixo-x a fim de identificar o valor de  $V_0$

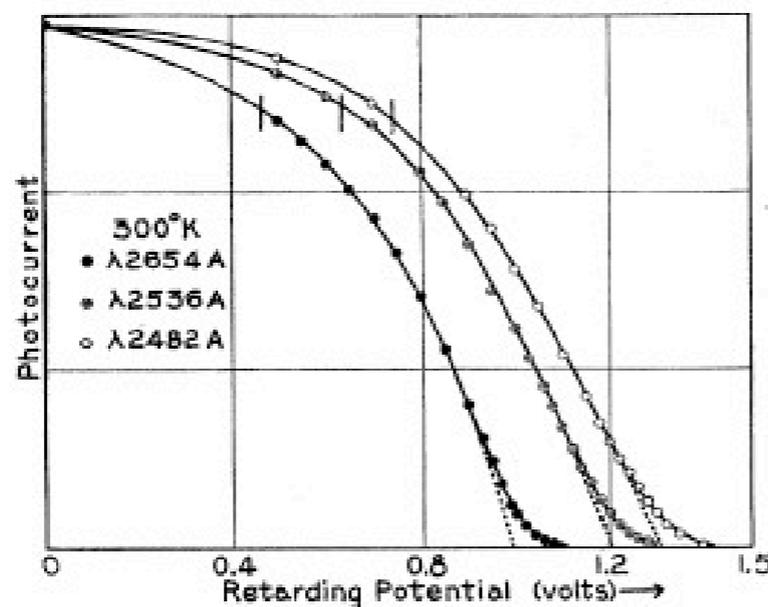


FIG. 4. Current-voltage curves for room temperature.

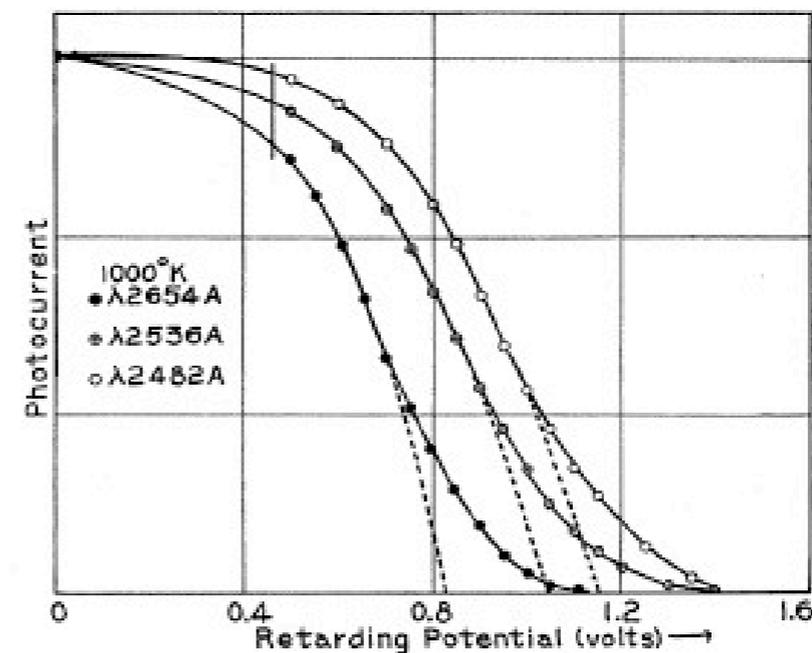


FIG. 5. Current-voltage curves for 1000°K.

W. W. Roehr, *Physical Review* 44, 866 (1933)