

Laboratório de Física Moderna

Efeito Fotoelétrico

Aula 02

Marcelo Gameiro Munhoz
munhoz@if.usp.br

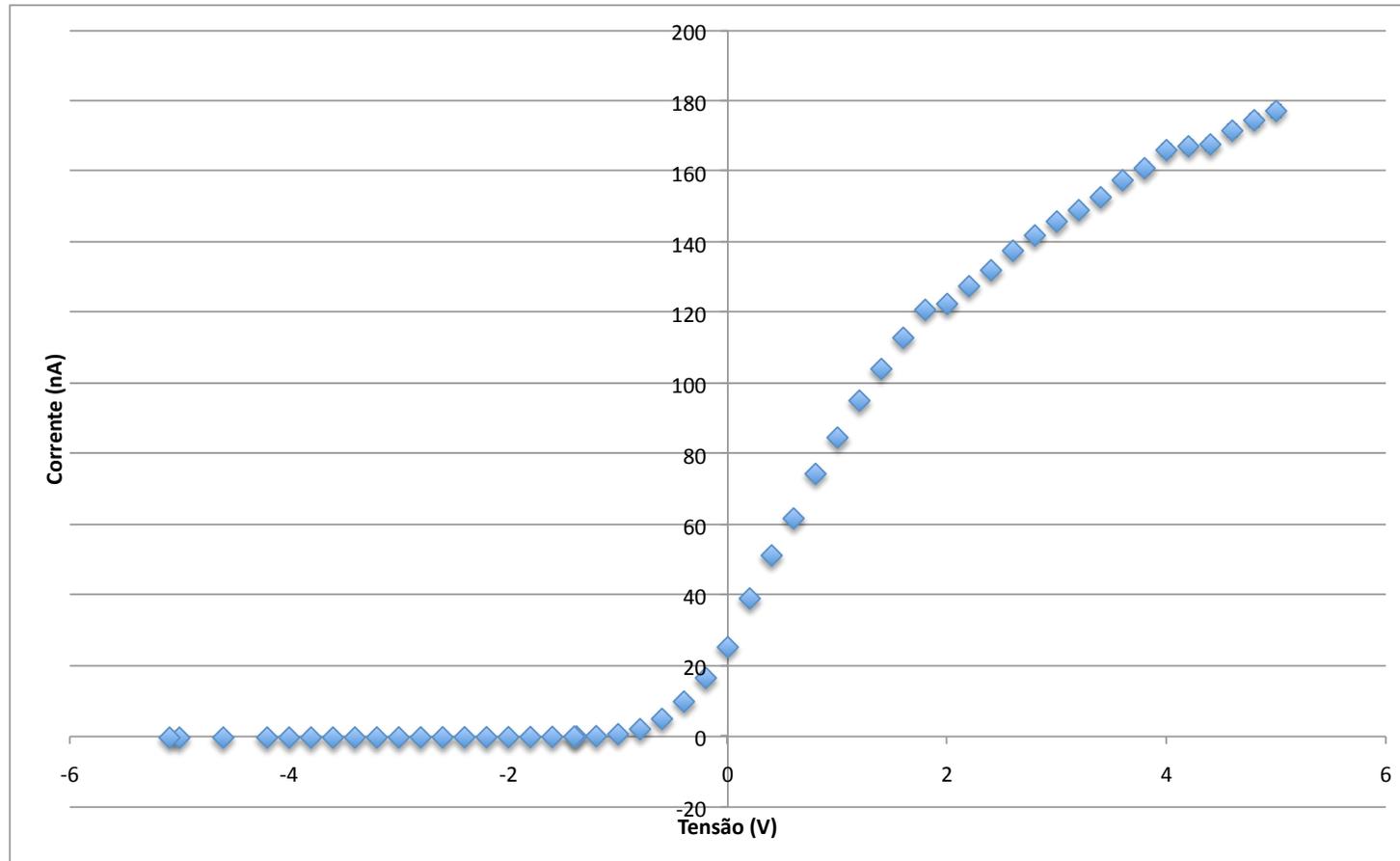
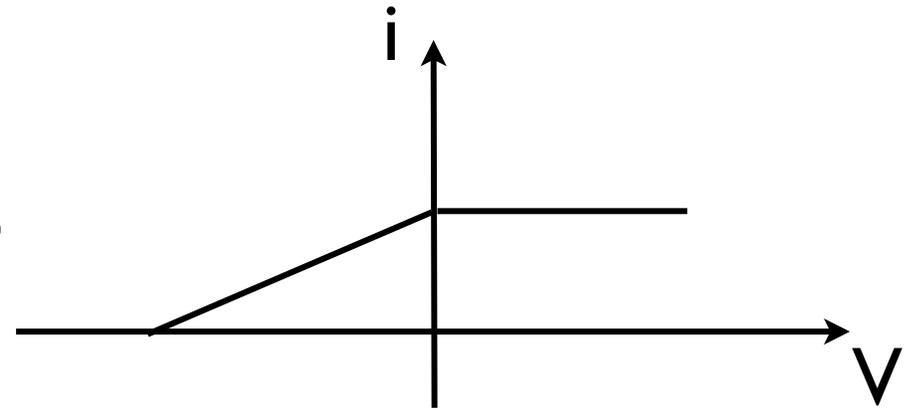
Nossa proposta para este trabalho

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

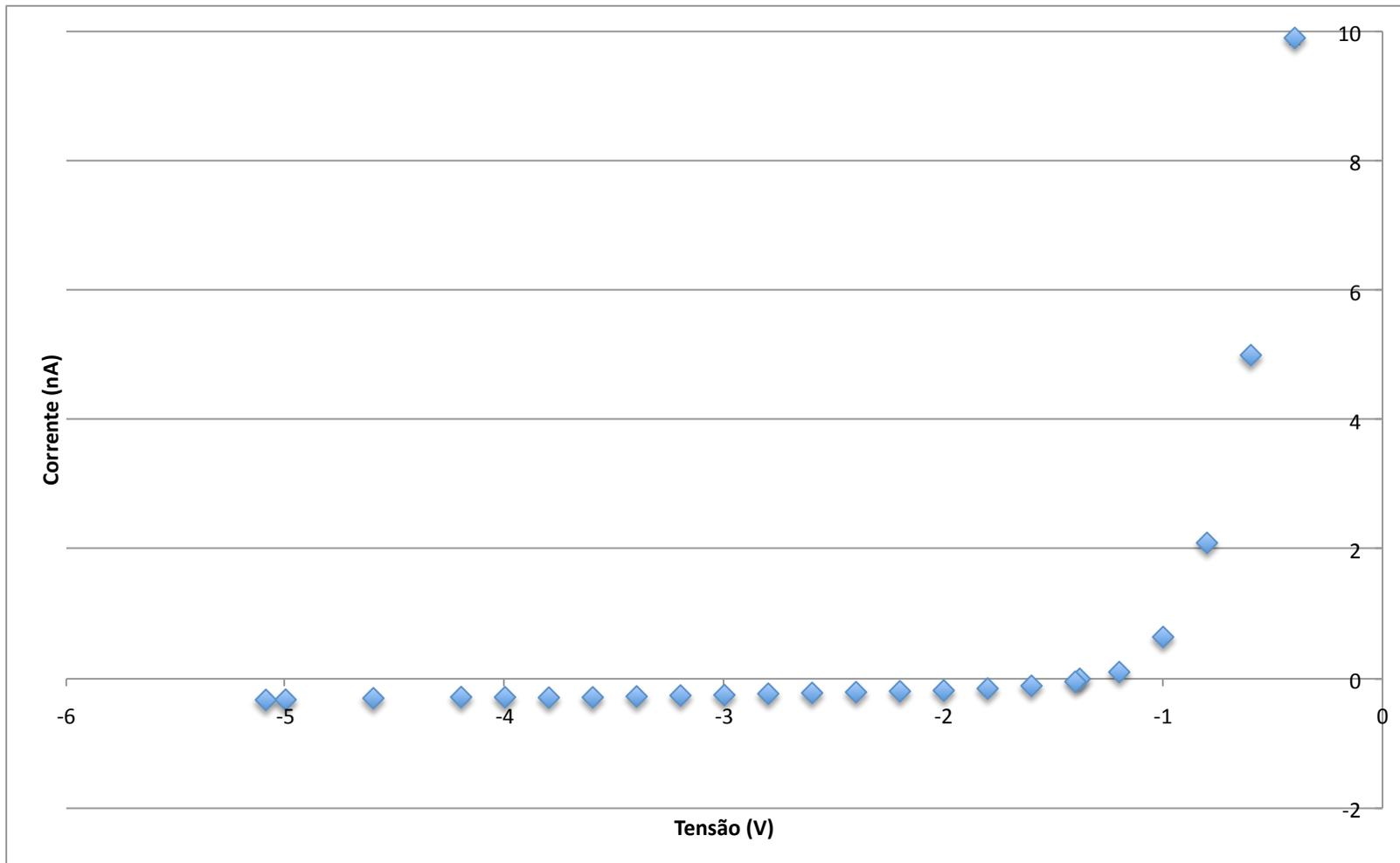
1º Passo: verificar as observações de Lenard

- 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?

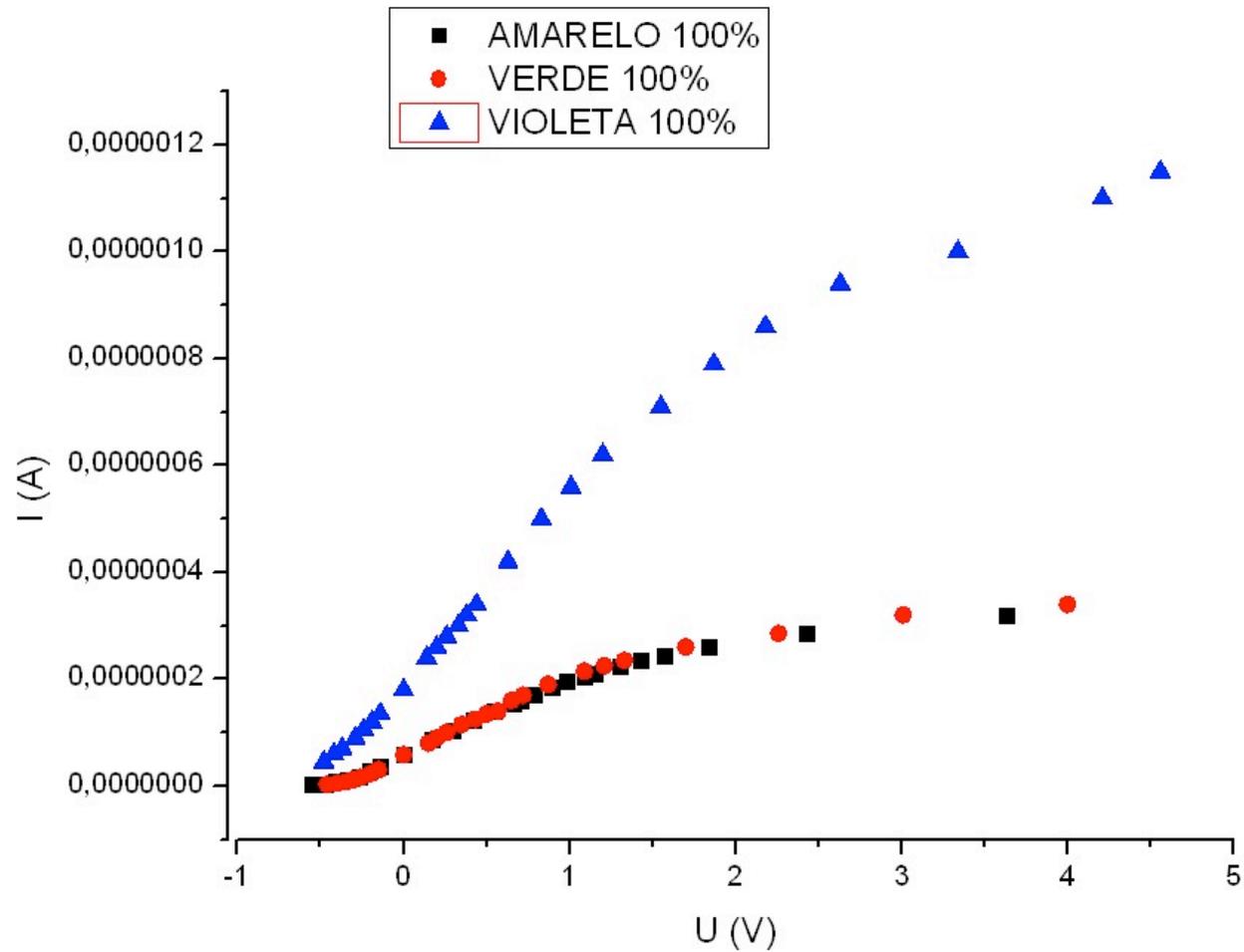
Curva corrente X tensão



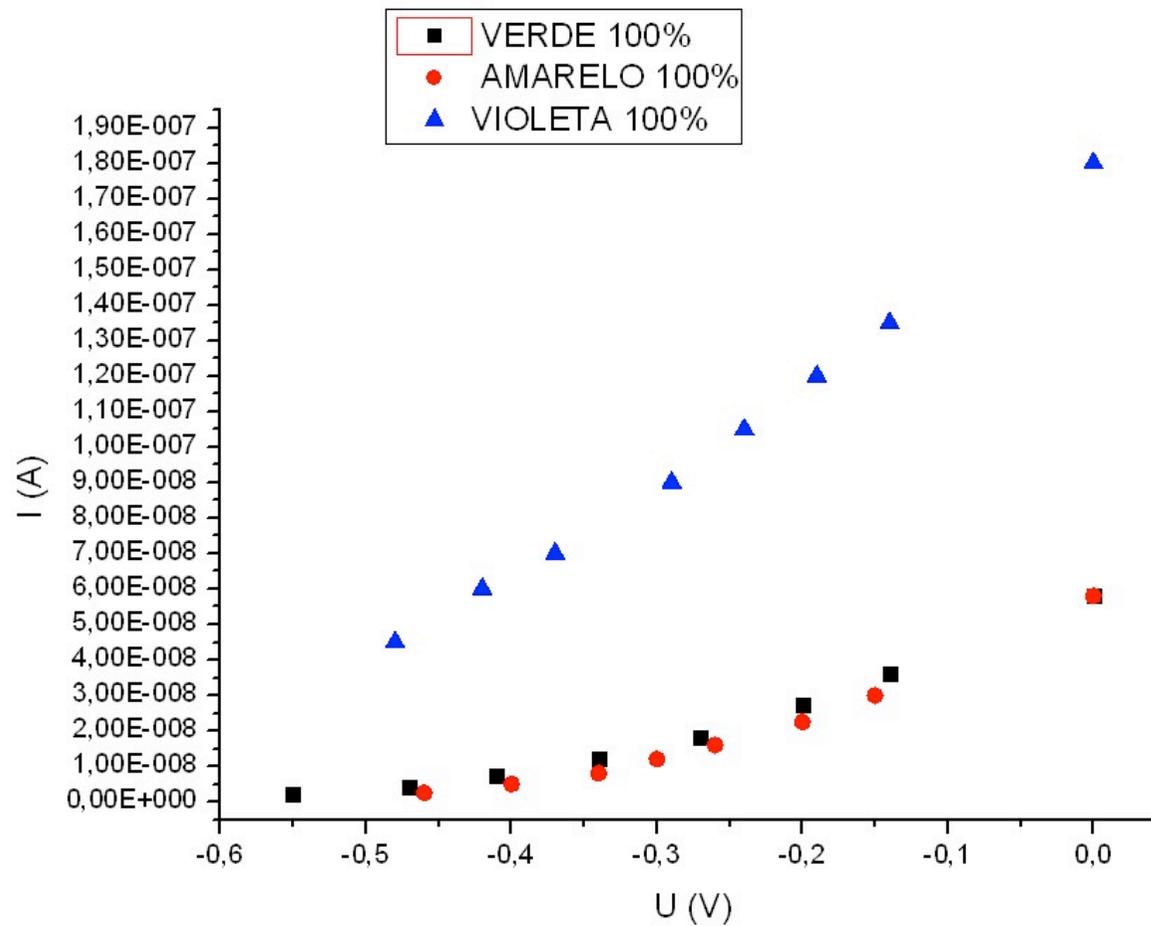
Curva corrente X tensão



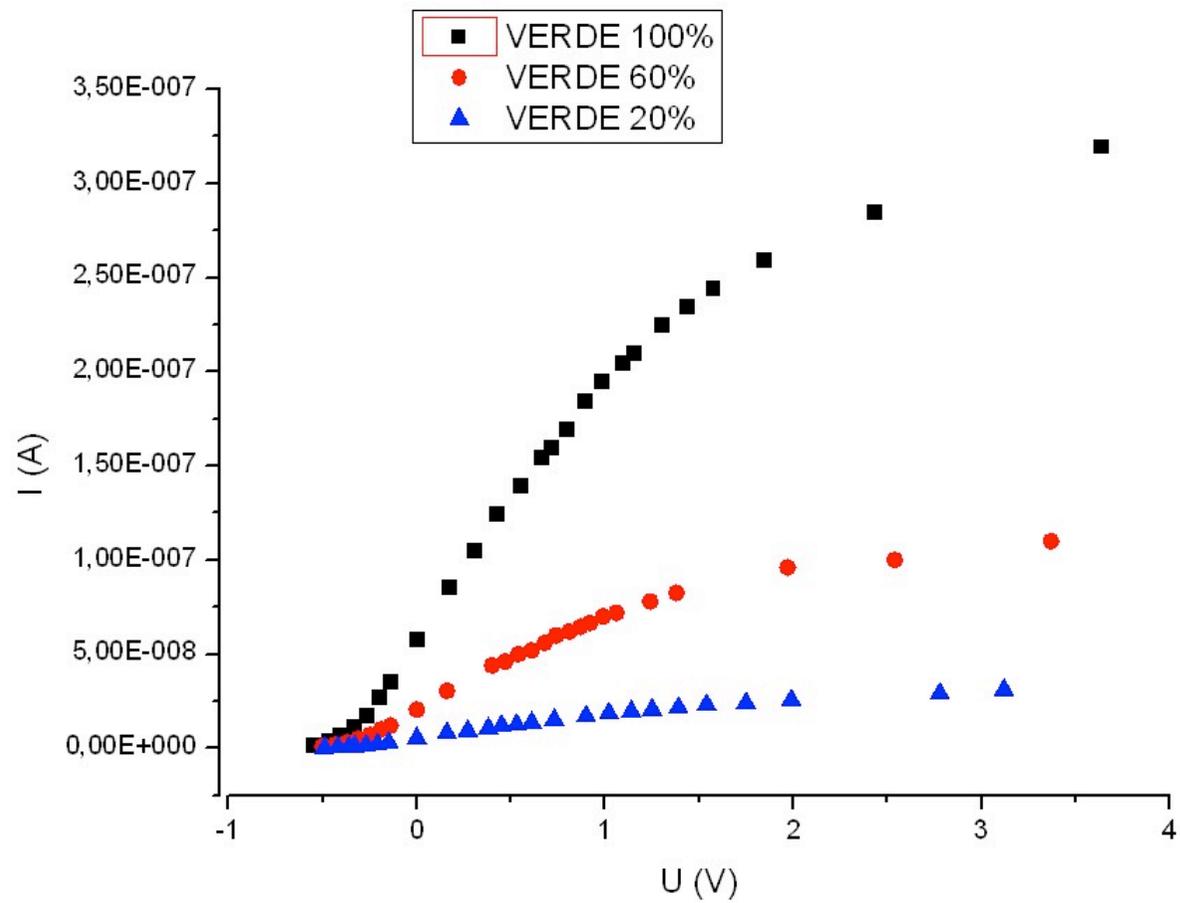
Curva corrente X tensão



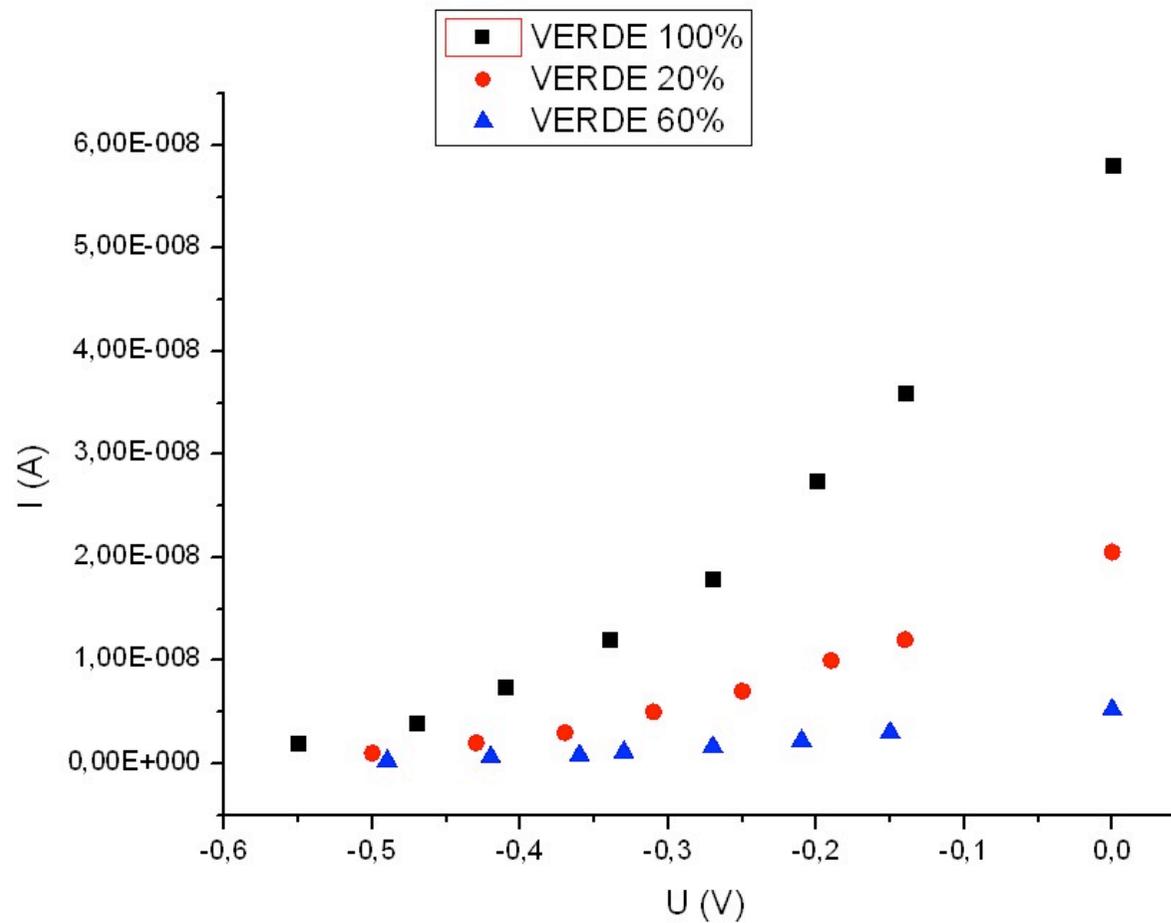
Curva corrente X tensão



Curva corrente X tensão



Curva corrente X tensão

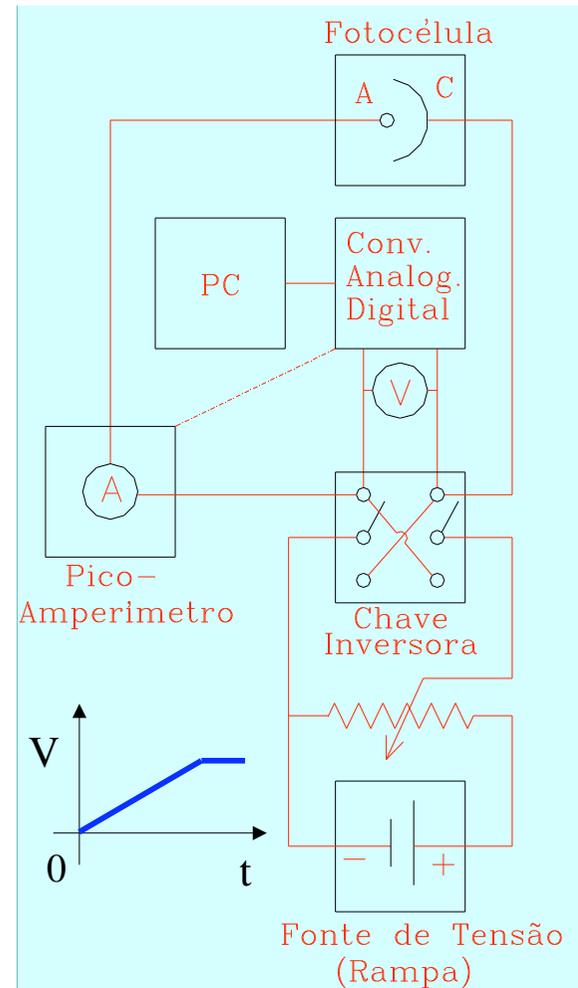


2º passo: verificar a previsão de Einstein

- 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 (ν)
- Verificar se V_0 é linearmente proporcional a ν
- 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?

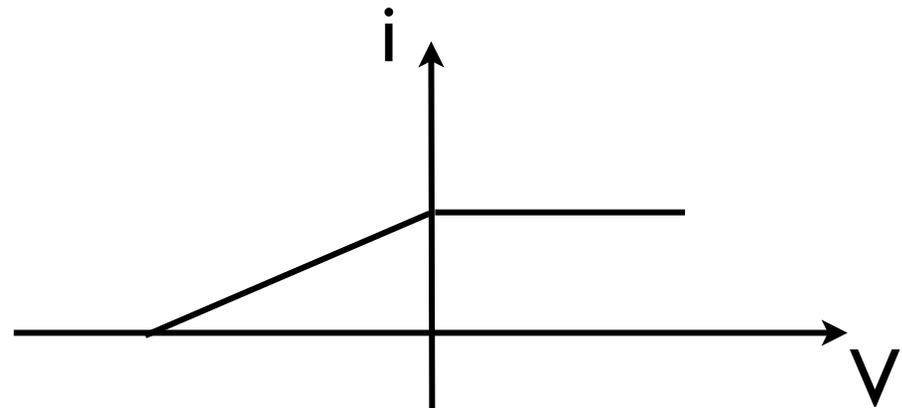
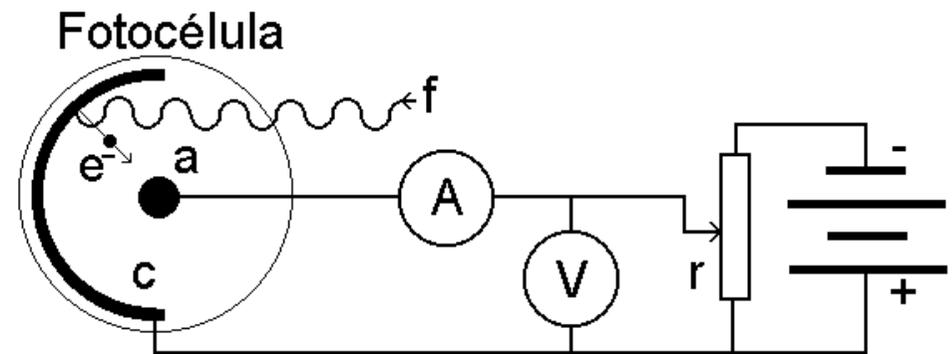
- O ADC converte uma medida em um número (sem unidades)
- Como o ADC possui 8 bits, ele pode representar os valores numéricos de 0 a 2^8-1 ou de -2^7 a 2^7-1 (usando o primeiro bit para o sinal)
- Portanto, obteremos um valor entre 0 e 255 (no caso da tensão) e -128 a 127 (no caso da corrente)
- Para 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, extraíndo-se a curva de calibração

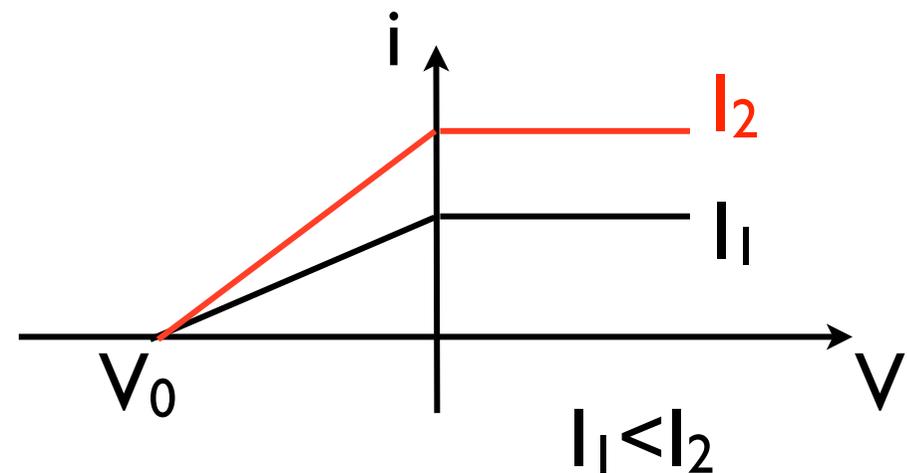
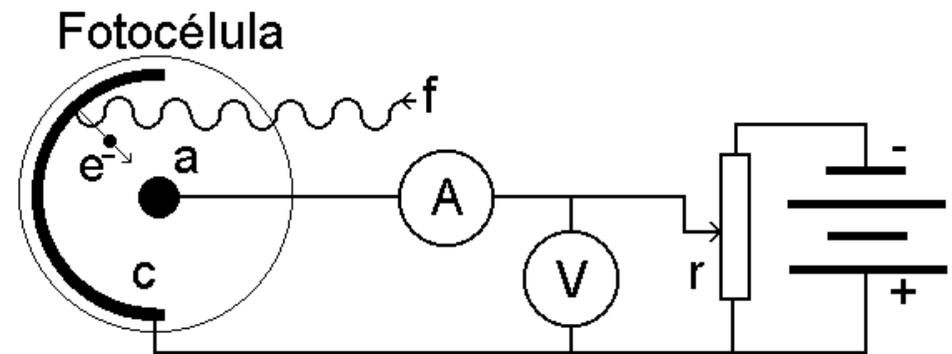
Qual nossa expectativa para esta medida?

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



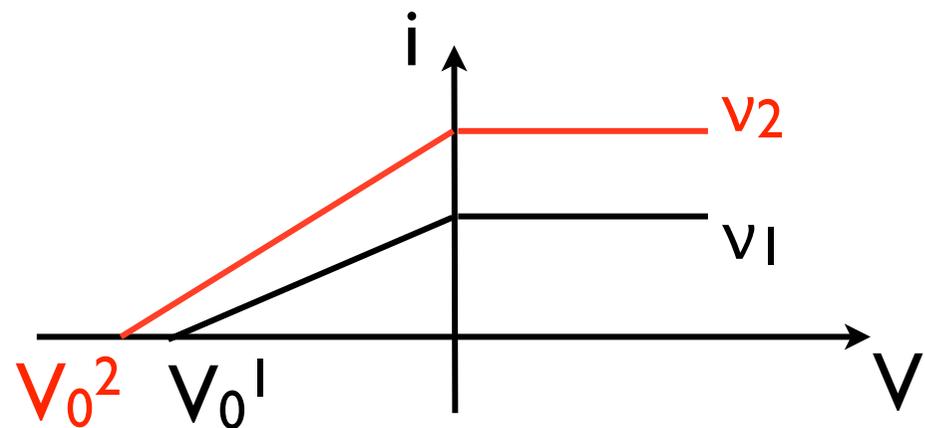
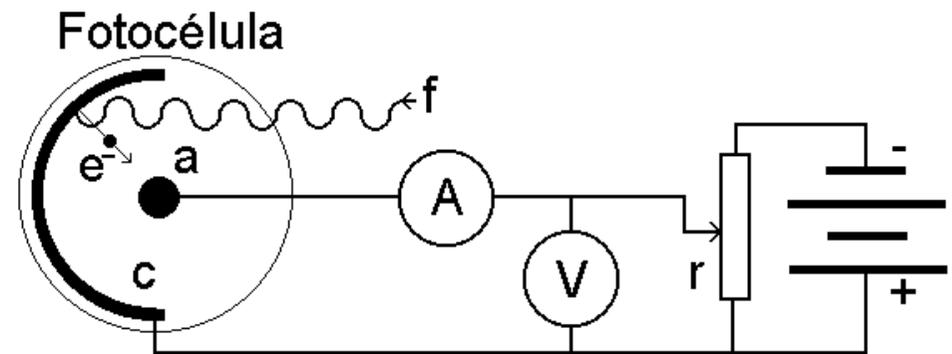
Qual nossa expectativa para esta medida?

- 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 $v_1 < v_2$

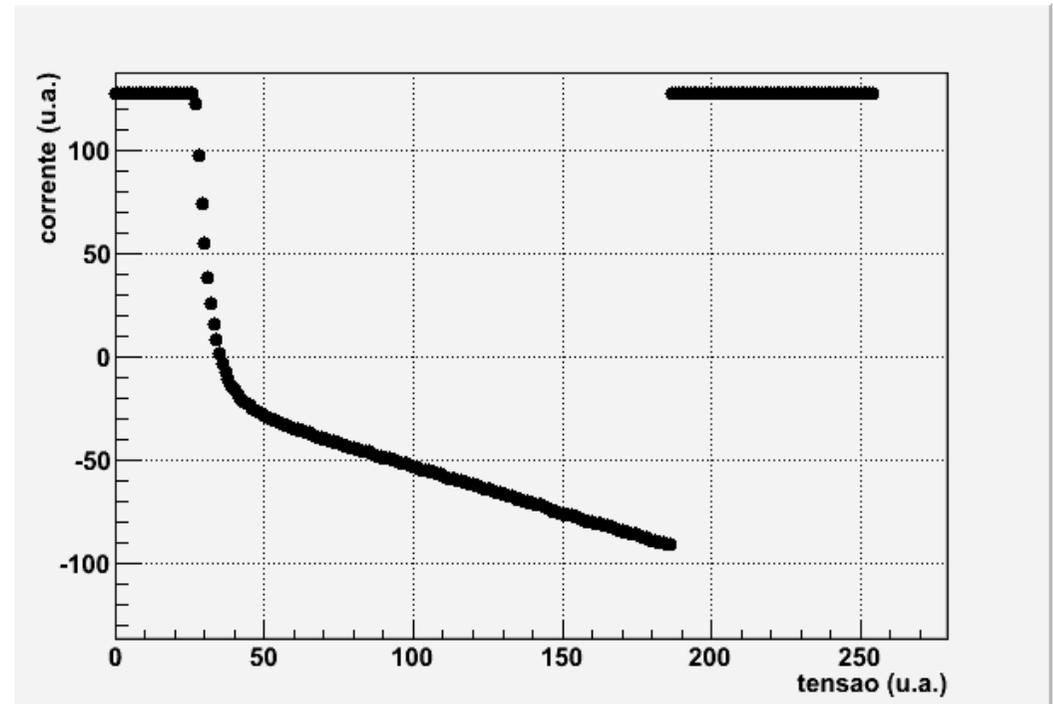


Um estudo completo

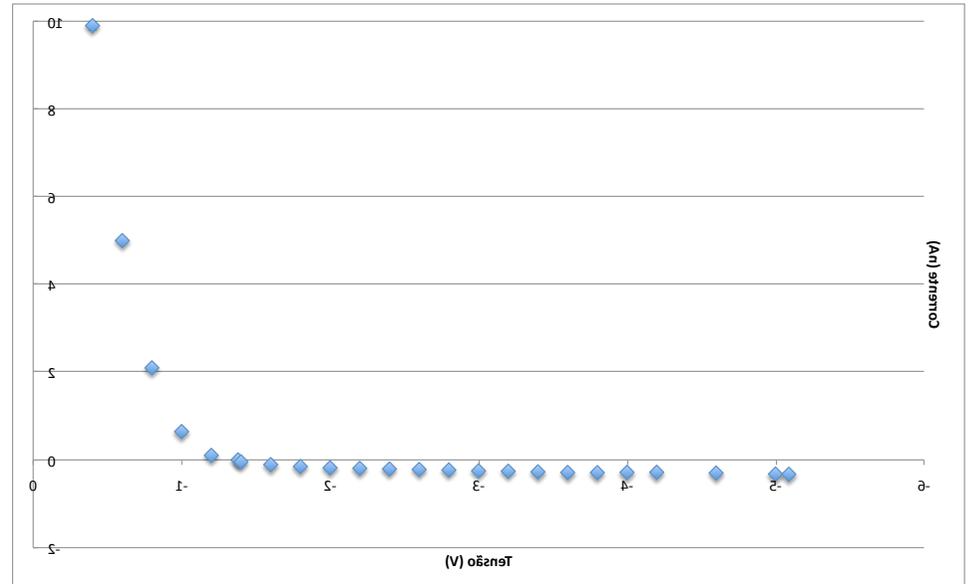
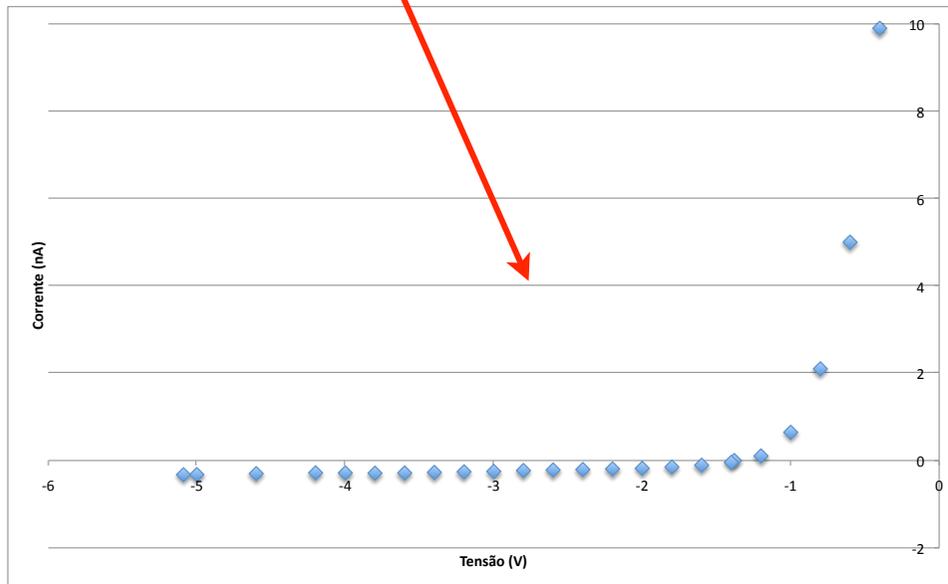
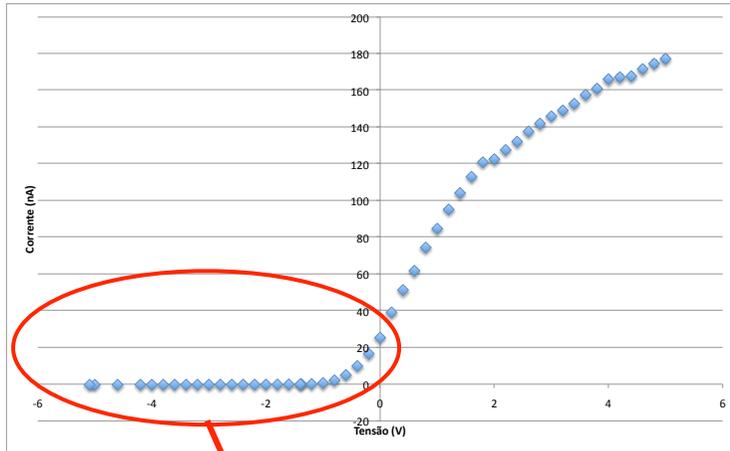
- Para estudarmos de maneira completa este fenômeno e verificar se realmente compreendemos o comportamento do nosso sistema, vamos medir:
 - a corrente em função da tensão para as 5 frequências diferentes de luz
 - variar a intensidade (de 80 a 20%) da luz para todas as frequências

O que de fato medimos?

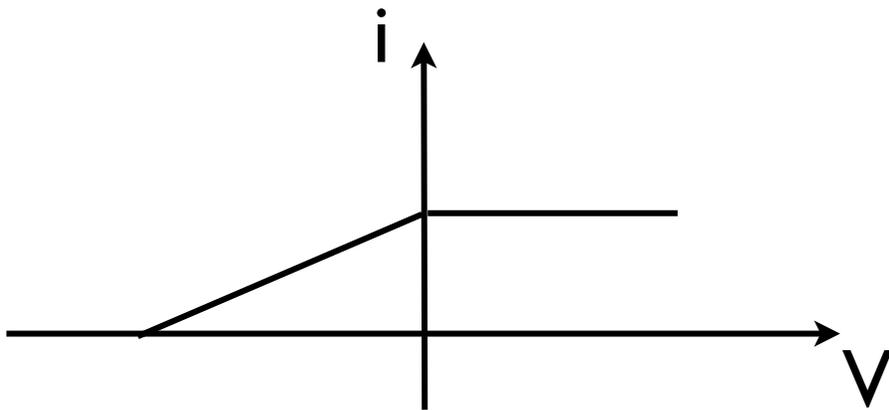
- Como compreender este resultado?
- Como ele se compara com a expectativa que tínhamos?
- Quais fatores experimentais não consideramos na nossa reflexão sobre as expectativas para esta medida?



O que de fato medimos?

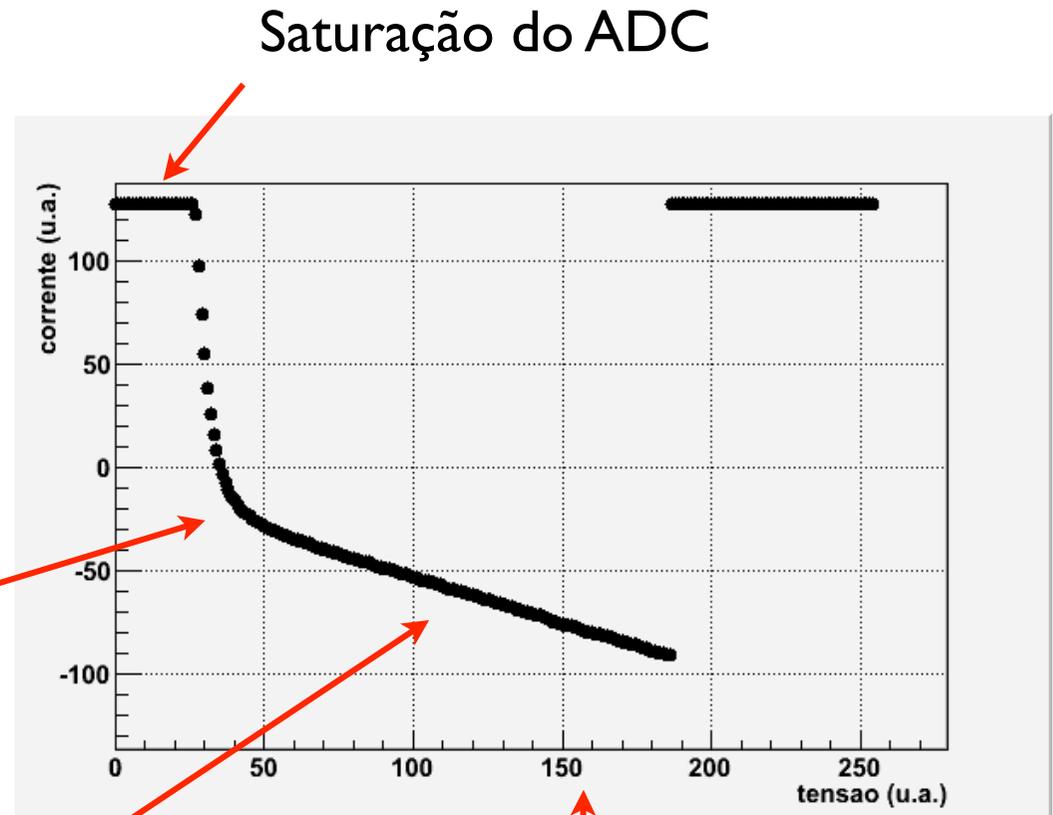


O que de fato medimos?



A corrente não diminui abruptamente

A corrente não vai a zero



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?

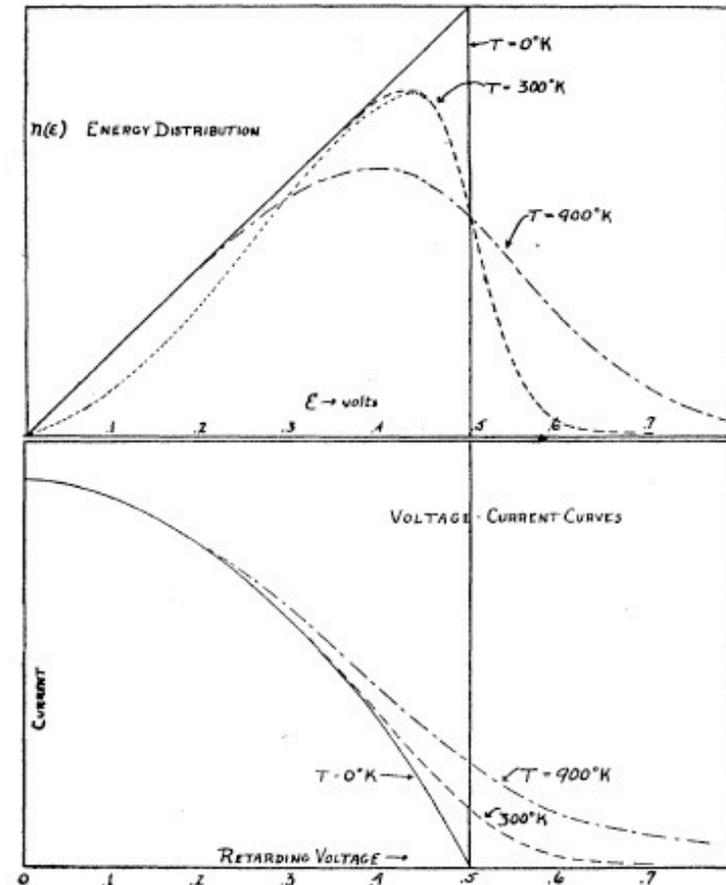
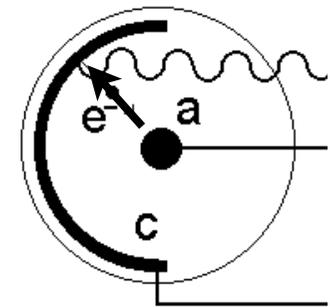


FIG. 1. Theoretical energy distribution and voltage-current curves for three temperatures.

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



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 ν , 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

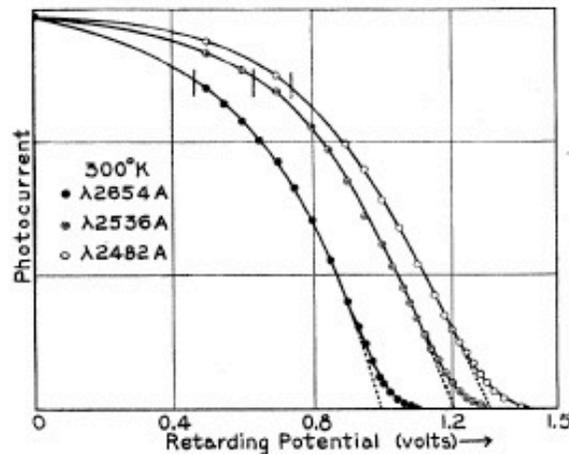


FIG. 4. Current-voltage curves for room temperature.

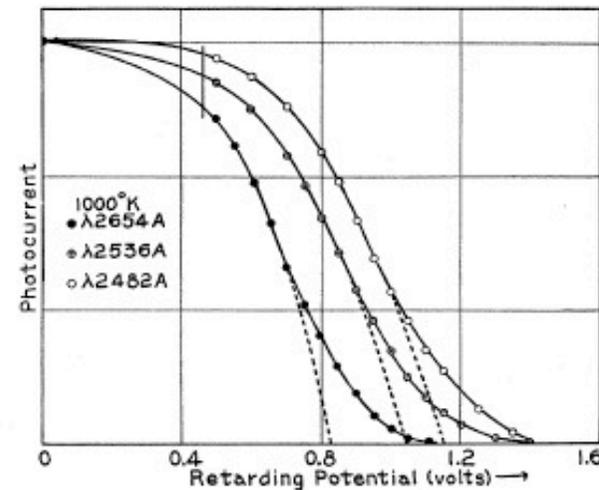


FIG. 5. Current-voltage curves for 1000°K.

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