

Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Experiência 3

Efeito Joule e Uso de Osciloscópio



Objetivos da Aula

Nesta experiência, o aluno deve:

- Entender o conceito de tensão e corrente eficazes.
- Familiarizar-se com os recursos básicos de um osciloscópio digital, e com as principais precauções para seu uso adequado.
- Verificar experimentalmente o efeito Joule.

Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua

Ao atravessar o bipolo da Figura 1 sob a influência da tensão $v(t)$, a corrente elétrica $i(t)$ transfere ao bipolo uma energia igual a

$$w(t, t_0) = \int_{t_0}^t v(\tau) i(\tau) d\tau$$

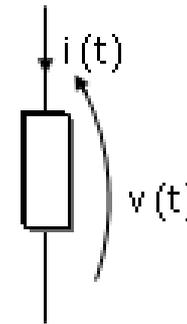


Figura 1 – Bipolo atravessado por corrente $i(t)$

Em um bipolo resistivo, esta energia elétrica poderá ser transformada em calor (chuveiro elétrico), ou em luz (lâmpada) ou som (alto-falante), por exemplo. Em outras palavras, um resistor *transforma* energia da forma elétrica para outras formas (cinética, térmica, luminosa, sonora, etc.).

Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua

A potência elétrica relacionada à energia $w(t, t_0)$ é a derivada de w com relação ao tempo, ou seja

$$p(t) = \frac{d w(t, t_0)}{d t} = v(t) i(t)$$

O inglês James Prescott Joule confirmou experimentalmente a validade das expressões acima em 1841, comparando o calor gerado por um fio metálico pelo qual passava uma corrente contínua (isto é, $i(t) \equiv I$, $v(t) \equiv V$) com a energia elétrica correspondente, $W = VI \Delta t$.

Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua

Nesta aula vamos repetir (com várias modificações) o experimento de Joule, medindo o aquecimento de um cilindro de alumínio provocado pela passagem de corrente contínua em uma resistência de aproximadamente 34Ω (ver Figura 2). Com corrente e tensão constantes, a potência média e a energia elétrica no intervalo $[t_0, t_1]$ são dadas por

$$P = V.I, \quad W = w(t_1, t_0) = V.I.(t_1 - t_0) = VI\Delta t$$

Por outro lado, se toda a energia elétrica acima estiver sendo transferida para aquecer um cilindro de alumínio de massa m , temos:

$$(T(t_1) - T(t_0)) = \Delta T = \frac{w(t_1 - t_0)}{m C_{Al}} = \frac{V I \Delta t}{m C_{Al}}$$

onde C_{Al} é o calor específico do alumínio ($C_{Al} = 0,215 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,900162 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$).

Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua

Estas fórmulas assumem que *todo* o calor gerado no resistor é transferido para o alumínio. No entanto, tanto o resistor quanto o próprio cilindro de alumínio vão perdendo calor para o meio ambiente durante toda a experiência. Para levar em conta esta perda, vamos fazer o seguinte:

1) Fazer um gráfico mostrando como varia a temperatura do cilindro enquanto passa uma corrente pelo resistor. A partir deste gráfico, poderemos calcular a potência média realmente absorvida pelo alumínio (P_{Al}), isto é, a potência elétrica fornecida ao resistor menos a potência perdida pelo resistor e pelo alumínio para o ar.

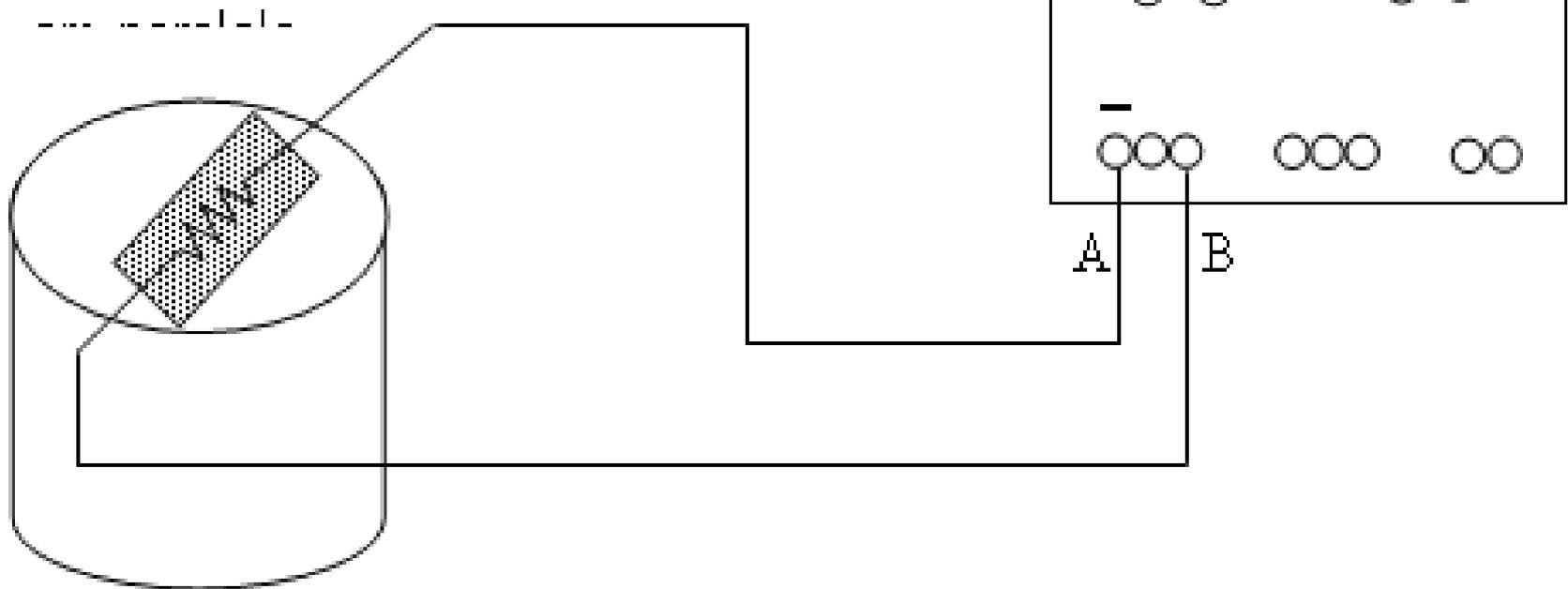
2) Medir como diminui a temperatura do alumínio depois de desligada a corrente. Desta forma, vamos calcular a taxa de perda de energia para o ar (potência perdida para o ar, P_{ar}). Assumindo que essa taxa é igual à taxa de perda quando o cilindro está sendo aquecido, podemos calcular a potência fornecida pelo resistor por

$$V \cdot I = P_{\text{resistor}} = P_{\text{ar}} + P_{Al}$$

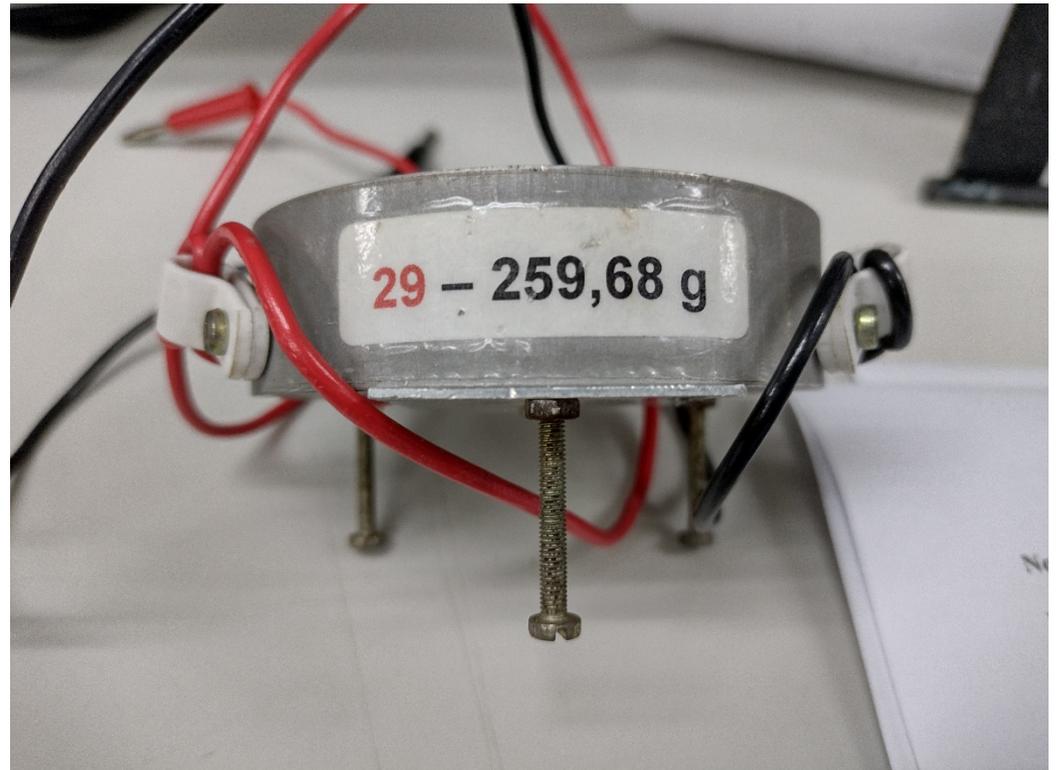
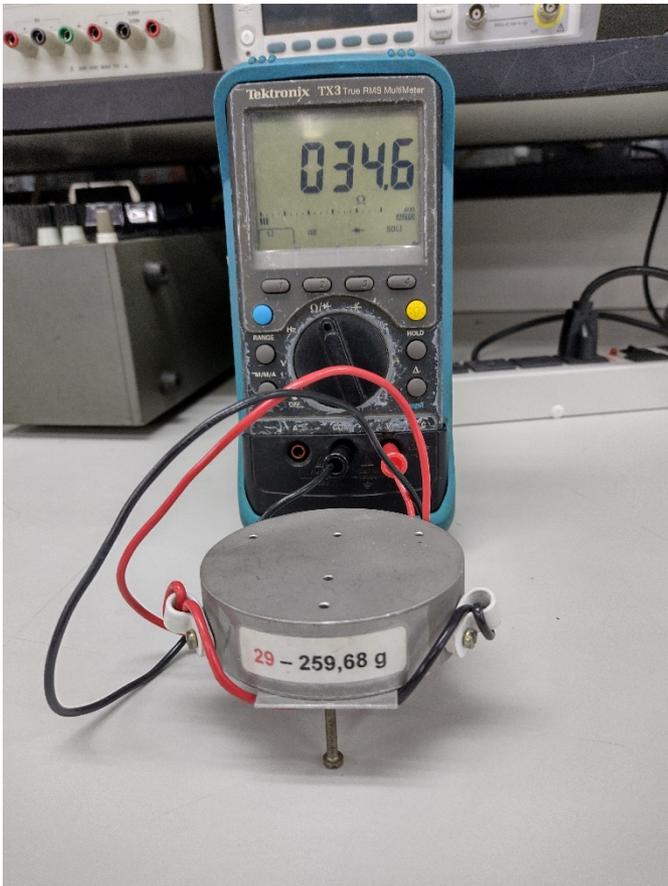
Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua

Fonte de Tensão

2 resistores de
 $68\ \Omega$ conectados

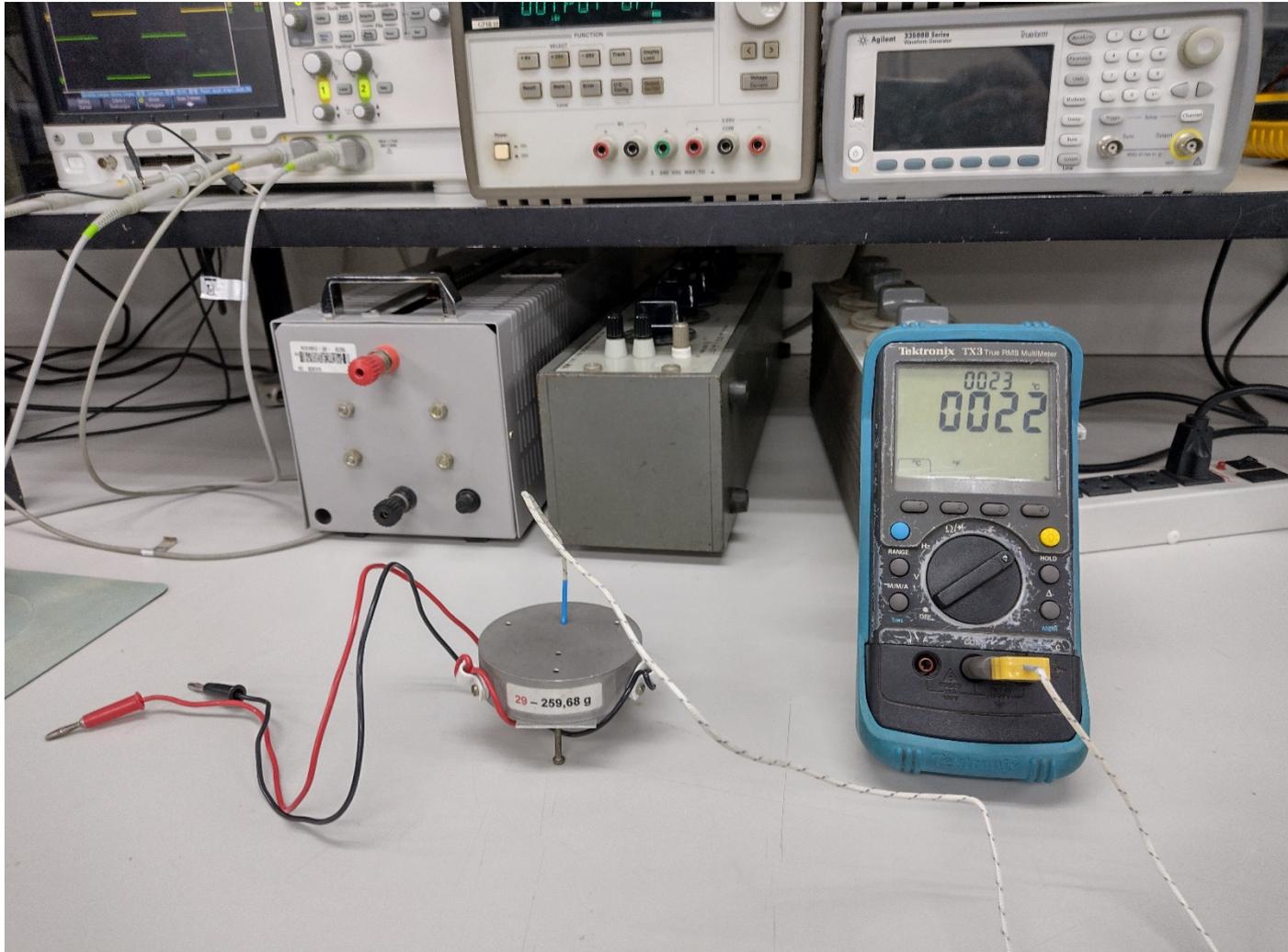


Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua

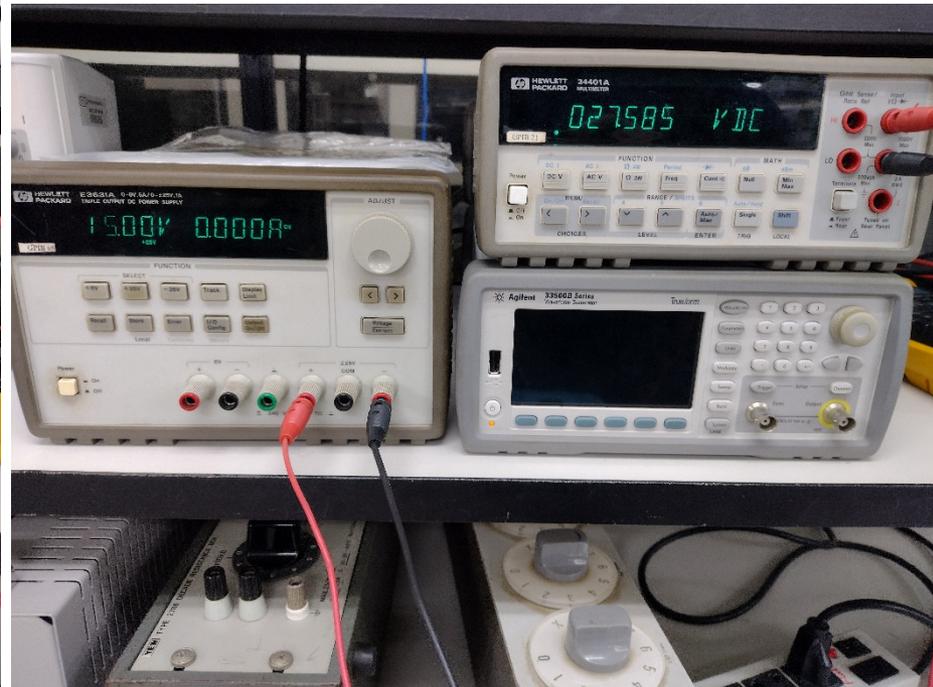
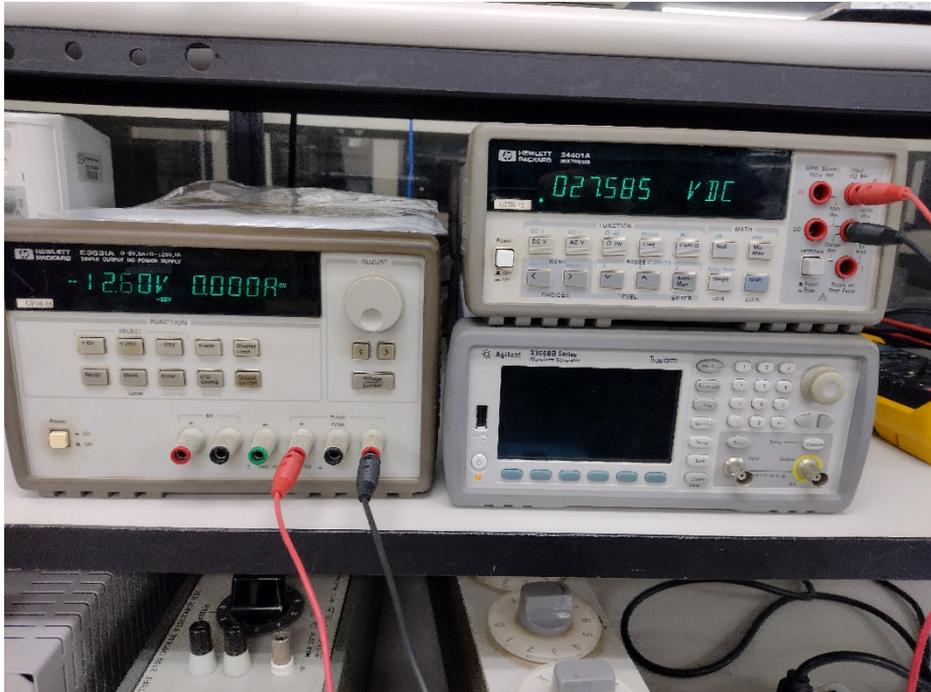


$R = 34,7 \text{ ohm}$

Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua



Verificação do efeito Joule – Corrente Contínua



Verificação do efeito Joule – C.C.

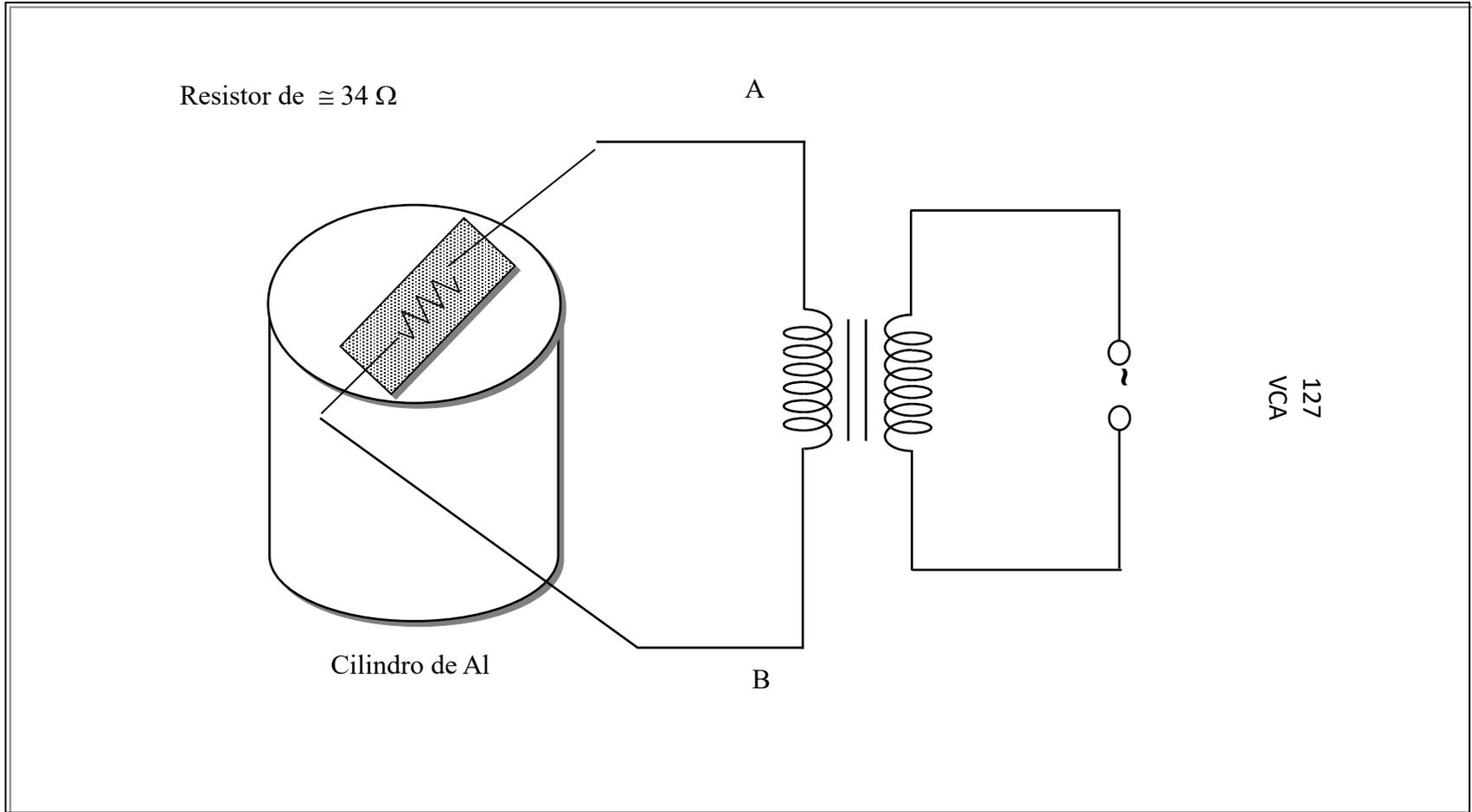
Tempo (minutos)	Temperatura (oC)	Corrente (A)	Tempo (minutos)	Temperatura (oC)	Corrente (A)
0,0	25	0,797	11,0	69	0,806
1,0	26	0,805	12,0	73	0,806
2,0	32	0,805	13,0	73	Após a medida, desligar a fonte.
3,0	37	0,805	14,0	71	Fonte desligada
4,0	42	0,805	15,0	69	Fonte desligada
5,0	46	0,806	16,0	67	Fonte desligada
6,0	50	0,806	17,0	66	Fonte desligada
7,0	54	0,806	18,0	64	Fonte desligada
8,0	58	0,806	19,0	62	Fonte desligada
9,0	62	0,806	20,0	61	Fonte desligada
10,0	65	0,806			

Verificação do efeito Joule – Corrente Alternada

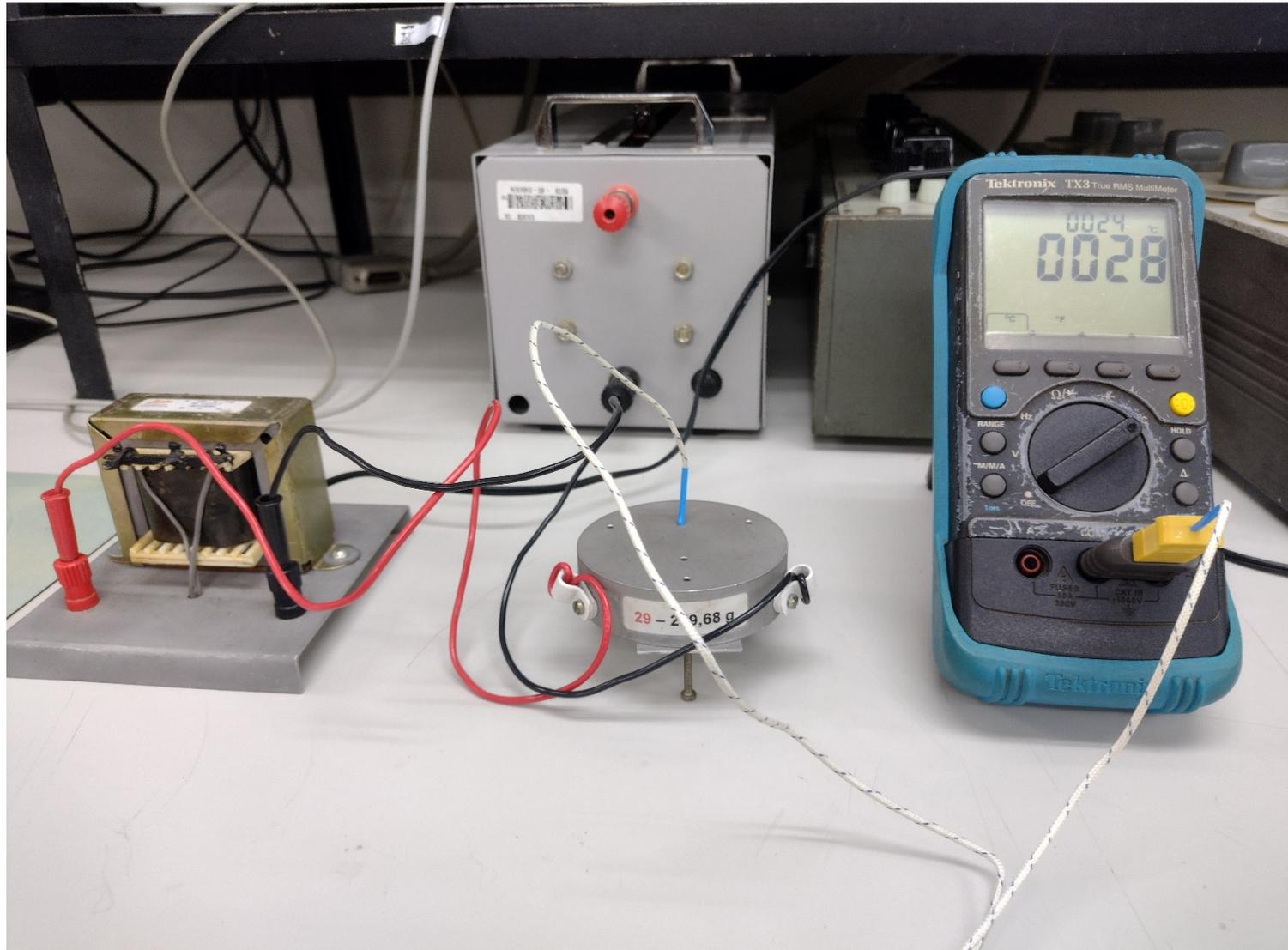
Nesta etapa da experiência, vamos verificar a utilidade do conceito de valores eficazes. Para isto, vamos repetir a verificação do Efeito Joule, desta vez usando uma corrente senoidal para alimentar o resistor que irá esquentar o cilindro de alumínio. Para obter a corrente senoidal, utilizaremos a tensão de saída (secundário) de um transformador (aproximadamente 26 V), cujo primário está ligado ao sinal de 127 V, 60 Hz da rede elétrica.

O circuito que usaremos agora é semelhante ao da primeira parte da experiência, mas com a fonte de tensão substituída pelo secundário de um transformador (ver Figura 9). Antes de montar o circuito, ligue o transformador na rede elétrica, e verifique, com a ajuda do multímetro na escala de tensão eficaz (VAC), que a tensão no secundário do transformador é aproximadamente $26 V_{ef}$.

Verificação do efeito Joule – Corrente Alternada



Verificação do efeito Joule – Corrente Alternada



Verificação do efeito Joule – C.A.

T = 27Vac

Tempo (minutos)	Temperatura (oC)	Alimentação	Tempo (minutos)	Temperatura (oC)	Alimentação
0,0	28	ligada	11,0	68	ligada
1,0	31	ligada	12,0	70	ligada
2,0	35	ligada	13,0	74	ligada – desligar após a medida
3,0	40	ligada	14,0	74	desligada
4,0	44	ligada	15	72	desligada
5,0	48	ligada	16,0	70	desligada
6,0	51	ligada	17,0	68	desligada
7,0	55	ligada	18,0	66	desligada
8,0	58	ligada	19,0	64	desligada
9,0	62	ligada	20,0	63	desligada
10,0	65	ligada	21,0	61	desligada

Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio

Até agora trabalhamos apenas com tensões e correntes DC, isto é, constantes no tempo. Vamos agora passar a estudar correntes e tensões que variam com o tempo. O aparelho mais comum para medições de tensões variantes no tempo é o *osciloscópio*. Nesta parte da experiência, vamos apresentar as funções básicas de um osciloscópio.

O osciloscópio é um medidor de tensão (um voltímetro) que permite a visualização de tensões que variam com o tempo. Seu uso básico é bastante simples, mas alguns cuidados importantes devem ser tomados para se evitar dano ao aparelho.

As tensões que vão ser medidas são levadas ao osciloscópio por *pontas de prova*, que consistem em cabos coaxiais com um conector BNC em uma das extremidades e com a ponta de prova propriamente dita na outra. A ponta de prova possui dois terminais, o terra (uma garra jacaré) e a ponta. Note que é importante ligar sempre os dois terminais da ponta – *tensão elétrica é diferença de potencial elétrico, não faz sentido medir tensão com um fio só!* As pontas de prova realizam várias funções além de simplesmente levar o sinal desejado ao osciloscópio: elas normalmente *atenuam* o sinal de entrada (a atenuação mais usual, e que é a das pontas usadas nesta experiência, é de 10 vezes), *equalizam* a resposta em frequência do circuito de entrada (para impedir que o osciloscópio meça amplitudes diferentes para sinais com frequências diferentes), e *aumentam a impedância de entrada*

Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio

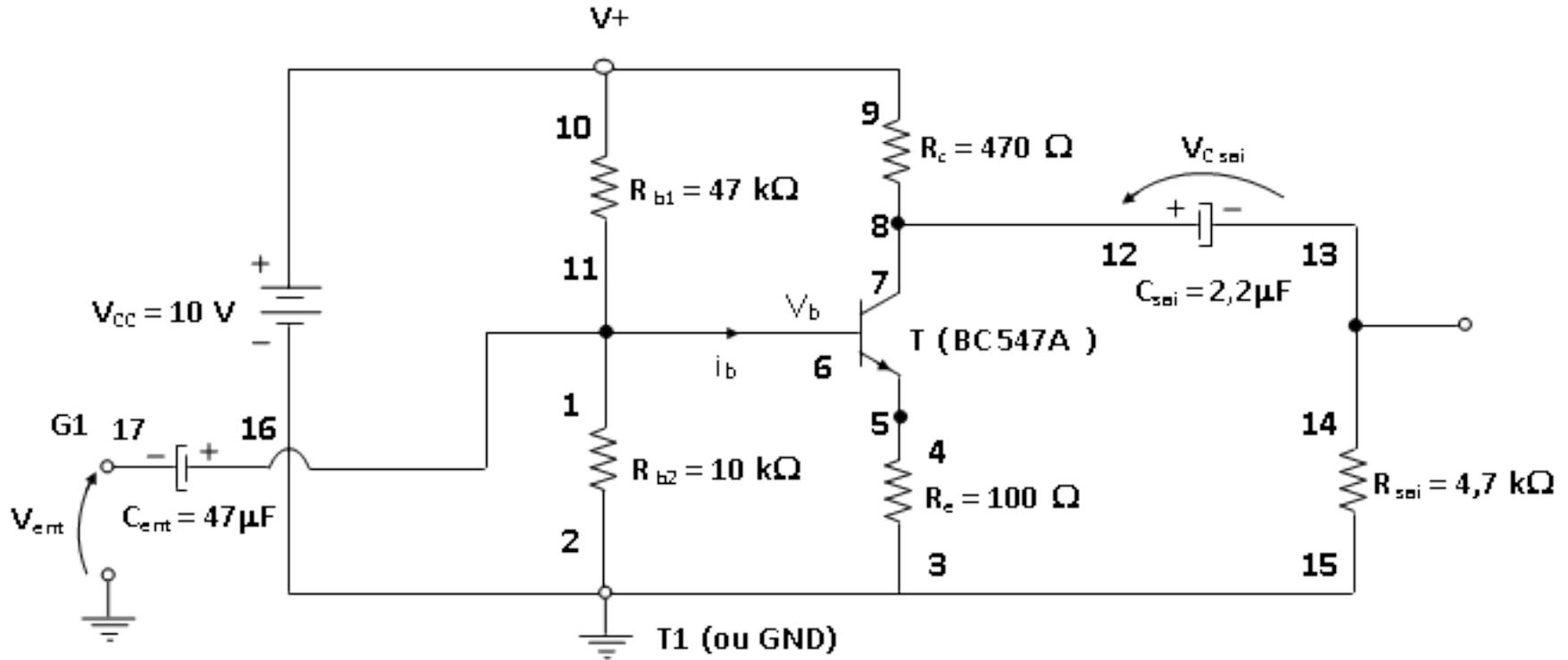


Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio

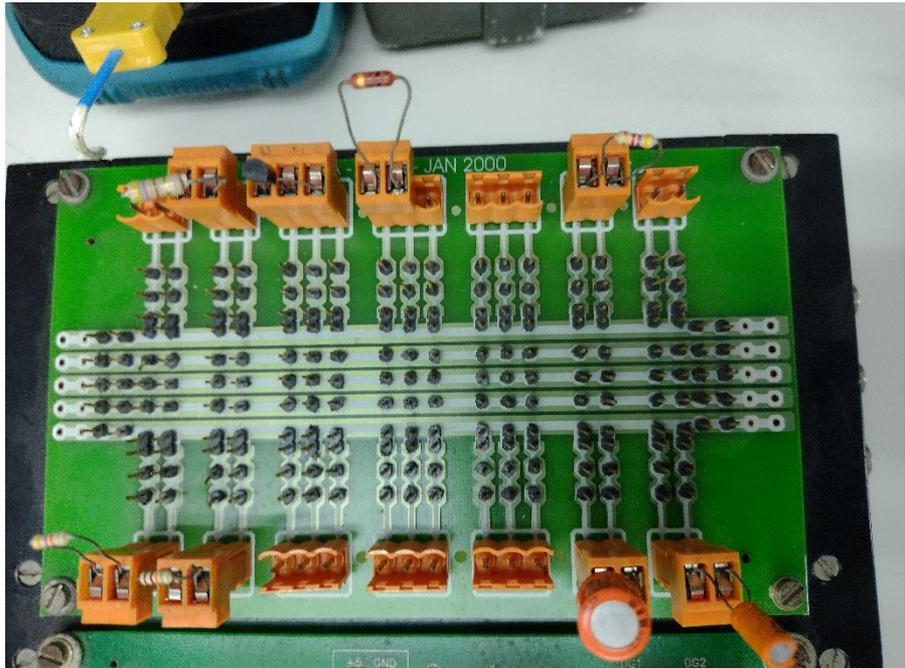
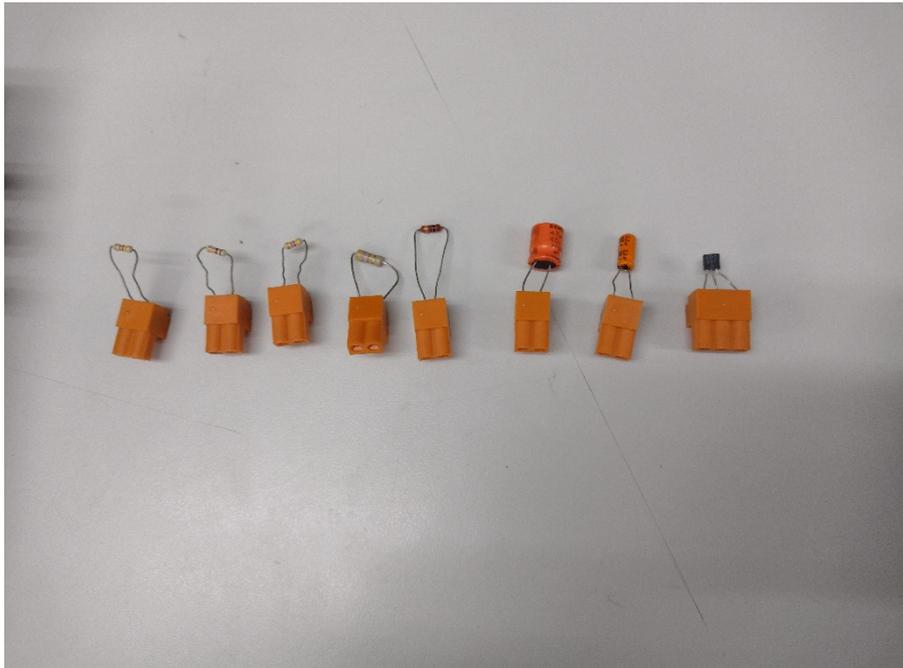
Vamos agora usar o circuito amplificador da Experiência 3 para aprender o uso de um osciloscópio. Monte o circuito de acordo com as ligações da Figura 4 e dos esquemas apresentados no final desta apostila.

Nesta experiência foram acrescentados dois capacitores (C_{ent} e C_{sai}) um resistor (R_{sai}) ao circuito da Experiência 3, para que o transistor pudesse ser usado como amplificador de sinais. A função do capacitor C_{ent} é impedir que a tensão de entrada altere o valor médio da tensão V_b (o que alteraria o ponto de operação do transistor). Desta forma, um sinal de tensão alternado no ponto 1 da Fig. 4 vai apenas variar a tensão V_b e a corrente i_b em torno dos valores de polarização medidos na Experiência 3, permitindo o correto funcionamento do transistor. O capacitor C_{sai} tem uma função similar, impedindo que a carga modifique a polarização do transistor (Carga é o circuito que vai utilizar o sinal amplificado – pode ser um alto-falante, uma lâmpada, um segundo estágio amplificador, etc. No nosso caso, a carga é o resistor R_{sai}).

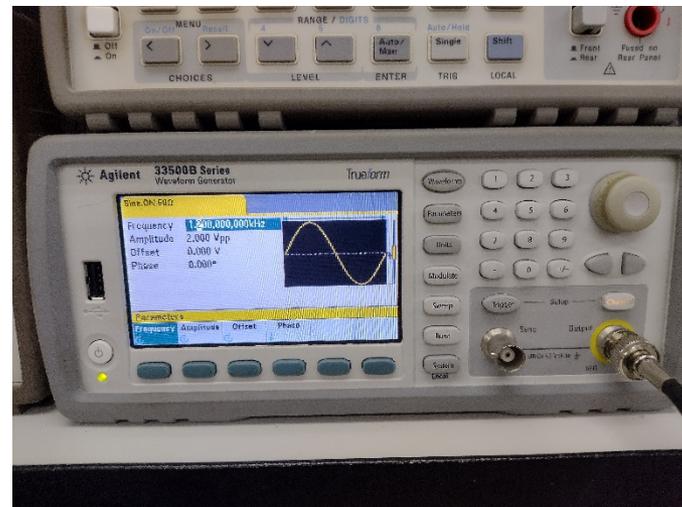
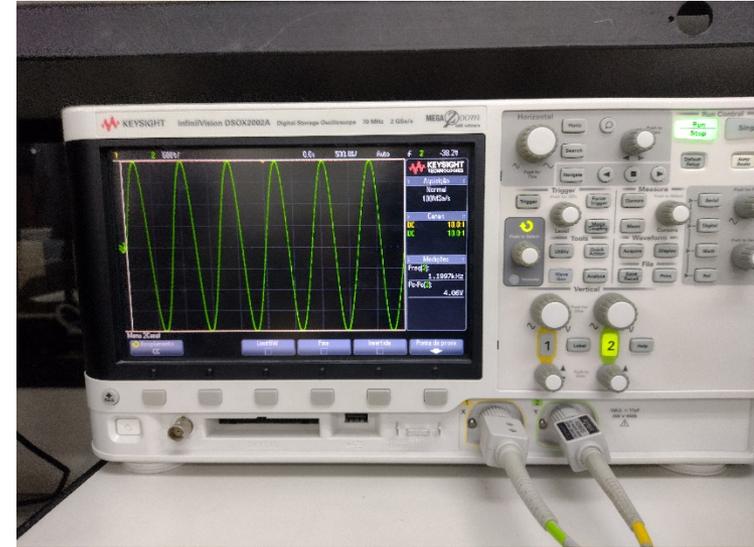
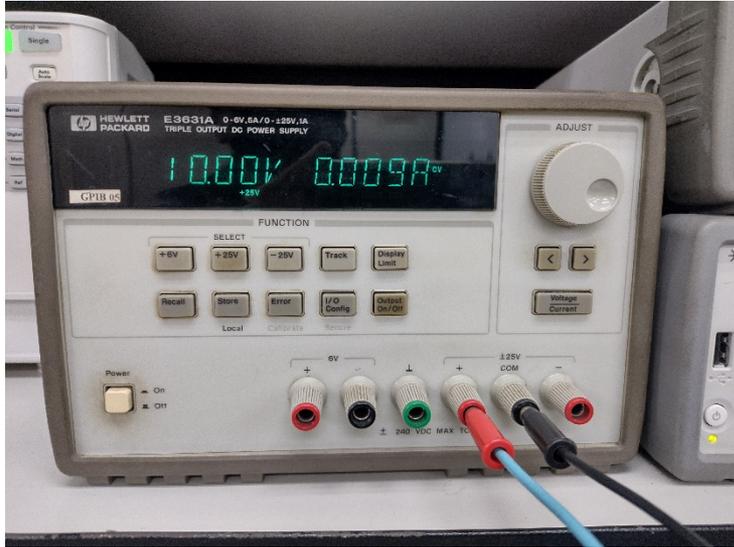
Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio



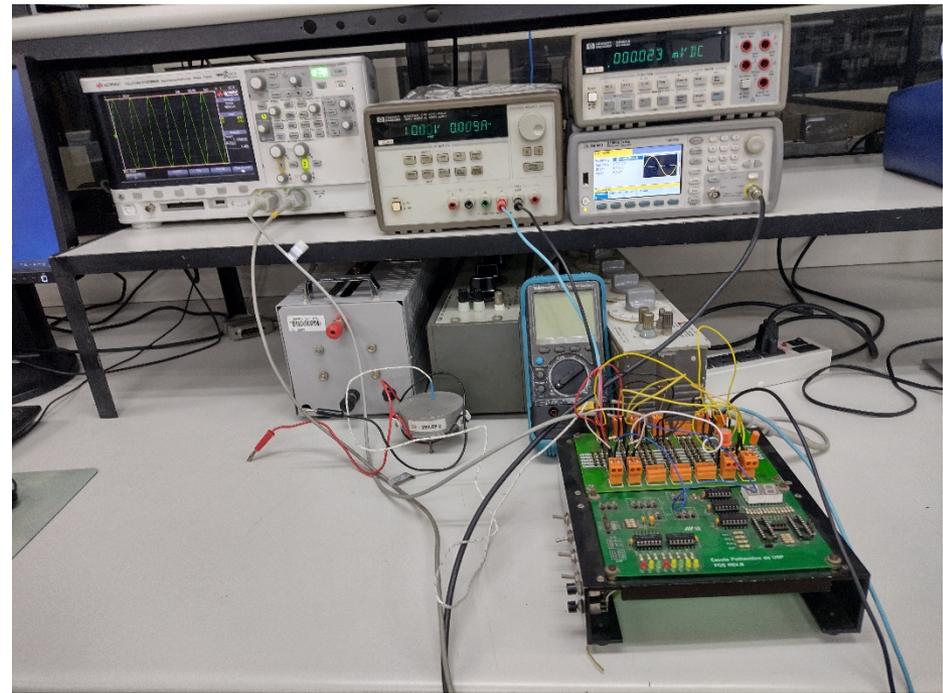
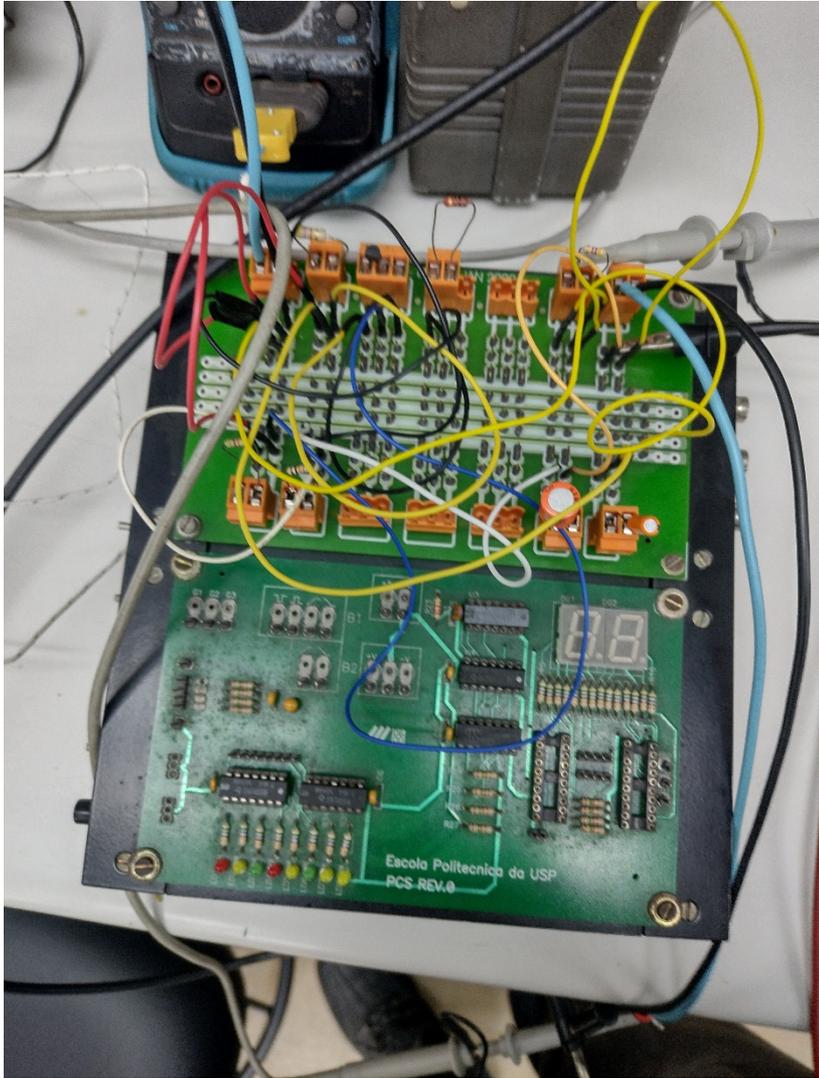
Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio



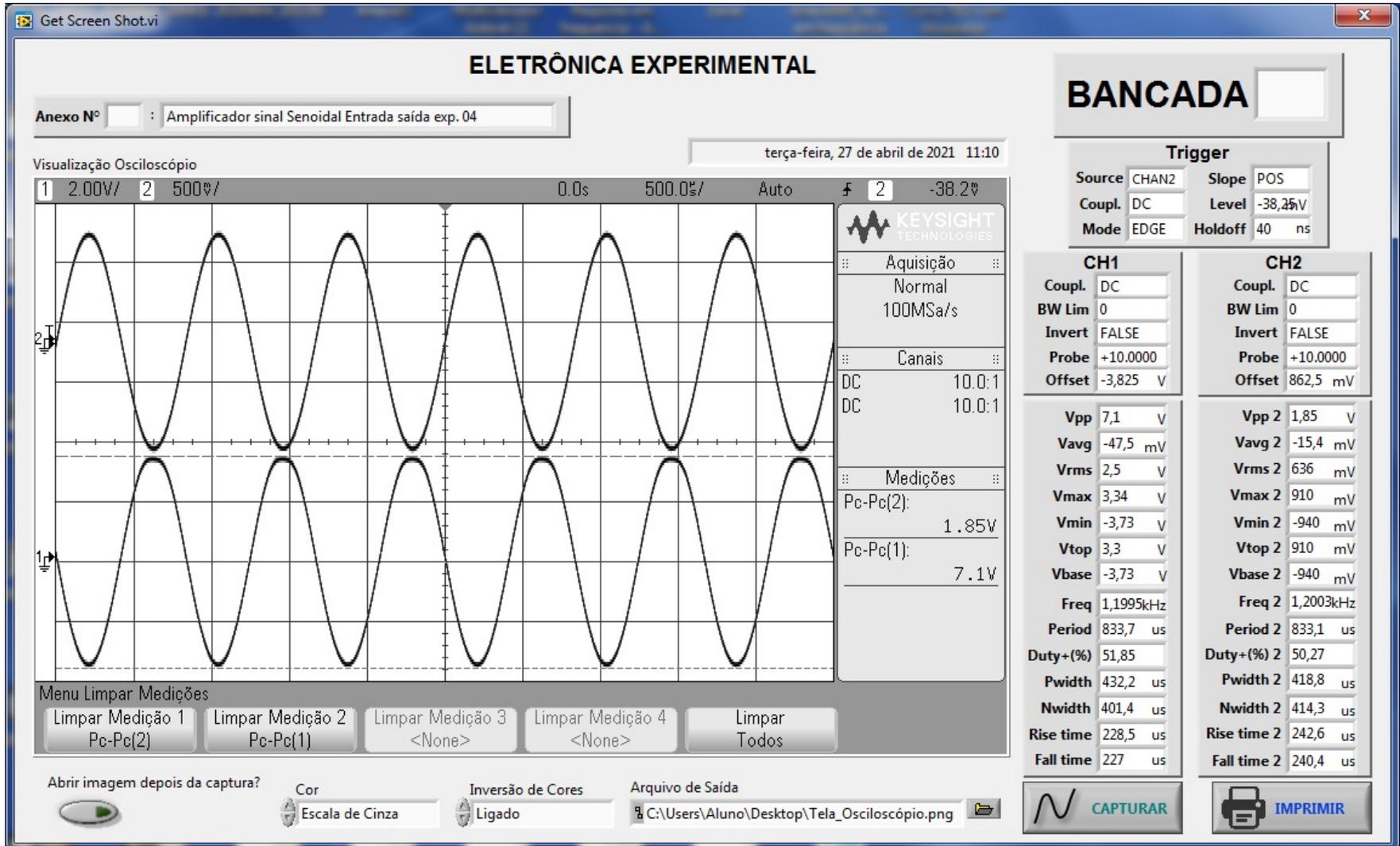
Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio



Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio



Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio



Tensões e Correntes AC – Acoplamento AC e DC

Tensão eficaz

Tensão eficaz em R_{sai} : $V_{R_{\text{sai}},\text{ef}} = 2,49 \text{ V}$ (multímetro)

Tensão de pico em R_{sai} : $V_{R_{\text{sai}},\text{p}} = 7,0 \text{ V}$ (osciloscópio)

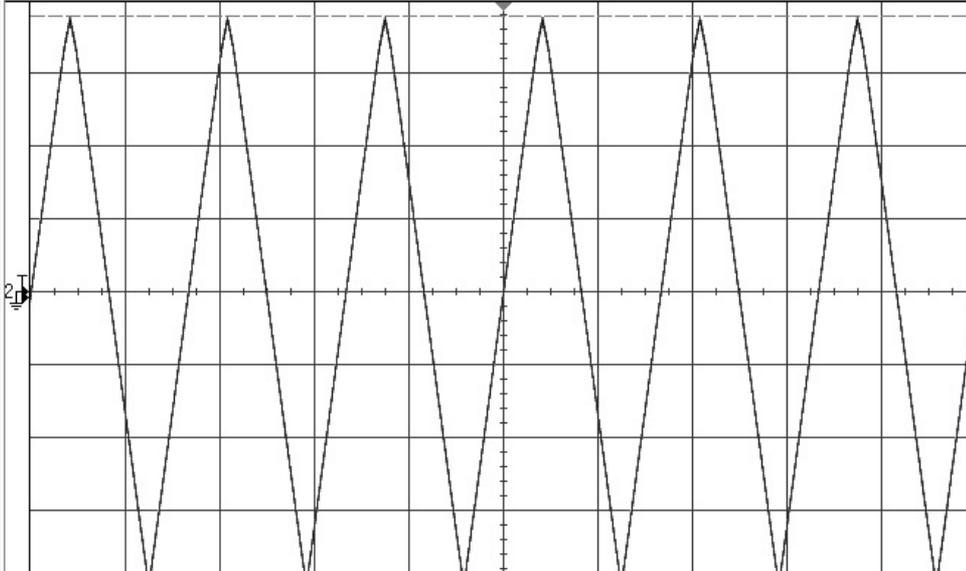
Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio

ELETRÔNICA EXPERIMENTAL

Anexo Nº : Amplificador sinal triangular exp. 04

Visualização Osciloscópio

terça-feira, 27 de abril de 2021 11:05



1 2 500V/ 0.0s 500.0%/ Auto f 2 -38.2V

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Acquisição

Normal
100MSa/s

Canais

DC 10.0:1
DC 10.0:1

Medições

Freq(2):
1.2004kHz
Pc-Pc(2):
3.92V

Menu 1 Canal

Acoplamento CC

LimitBW

Fine

Invertida

Ponta de prova 

Abrir imagem depois da captura? 

Cor

Escala de Cinza

Inversão de Cores

Ligado

Arquivo de Saída

C:\Users\Aluno\Desktop\Tela_Osciloscópio.png 

BANCADA

Trigger

Source CHAN2 Slope POS

Coupl. DC Level -38.25V

Mode EDGE Holdoff 40 ns

CH1

Coupl. OFF

BW Lim OFF

Invert OFF

Probe OFF

Offset -0 V

Vpp 0 V

Vavg 0 mV

Vrms 0 V

Vmax 0 V

Vmin 0 V

Vtop 0 V

Vbase 0 V

Freq 0 kHz

Period 0 us

Duty+(%) 0

Pwidth 0 us

Nwidth 0 us

Rise time 0 us

Fall time 0 us

CH2

Coupl. DC

BW Lim 0

Invert FALSE

Probe +10.0000

Offset -1 mV

Vpp 2 3,94 V

Vavg 2 -24,9 mV

Vrms 2 1,153 V

Vmax 2 1,89 V

Vmin 2 -2,05 V

Vtop 2 1,89 V

Vbase 2 -2,05 V

Freq 2 1,2004kHz

Period 2 833 us

Duty+(%) 2 51,56

Pwidth 2 429,5 us

Nwidth 2 403,5 us

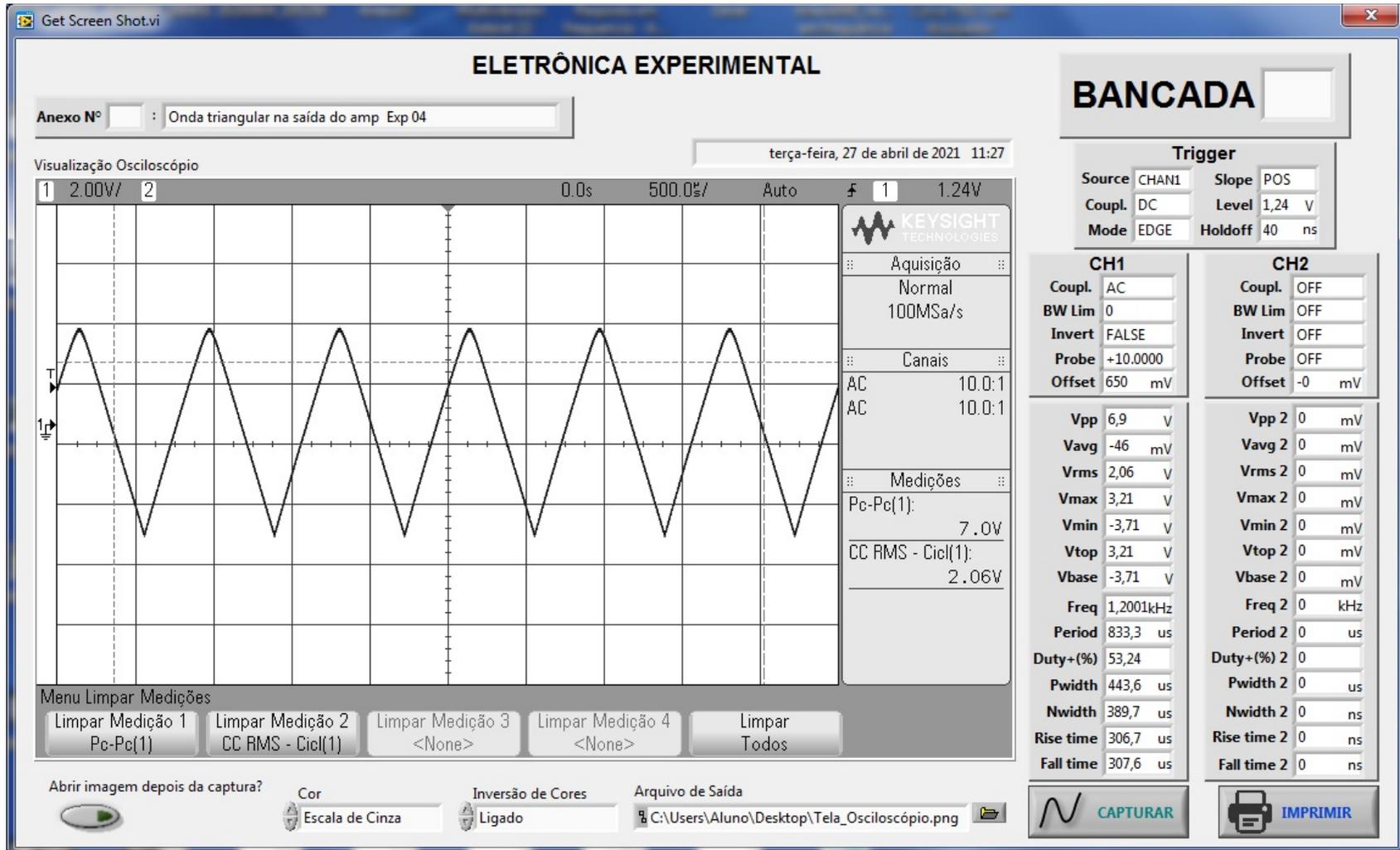
Rise time 2 321 us

Fall time 2 321,3 us

 CAPTURAR

 IMPRIMIR

Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio



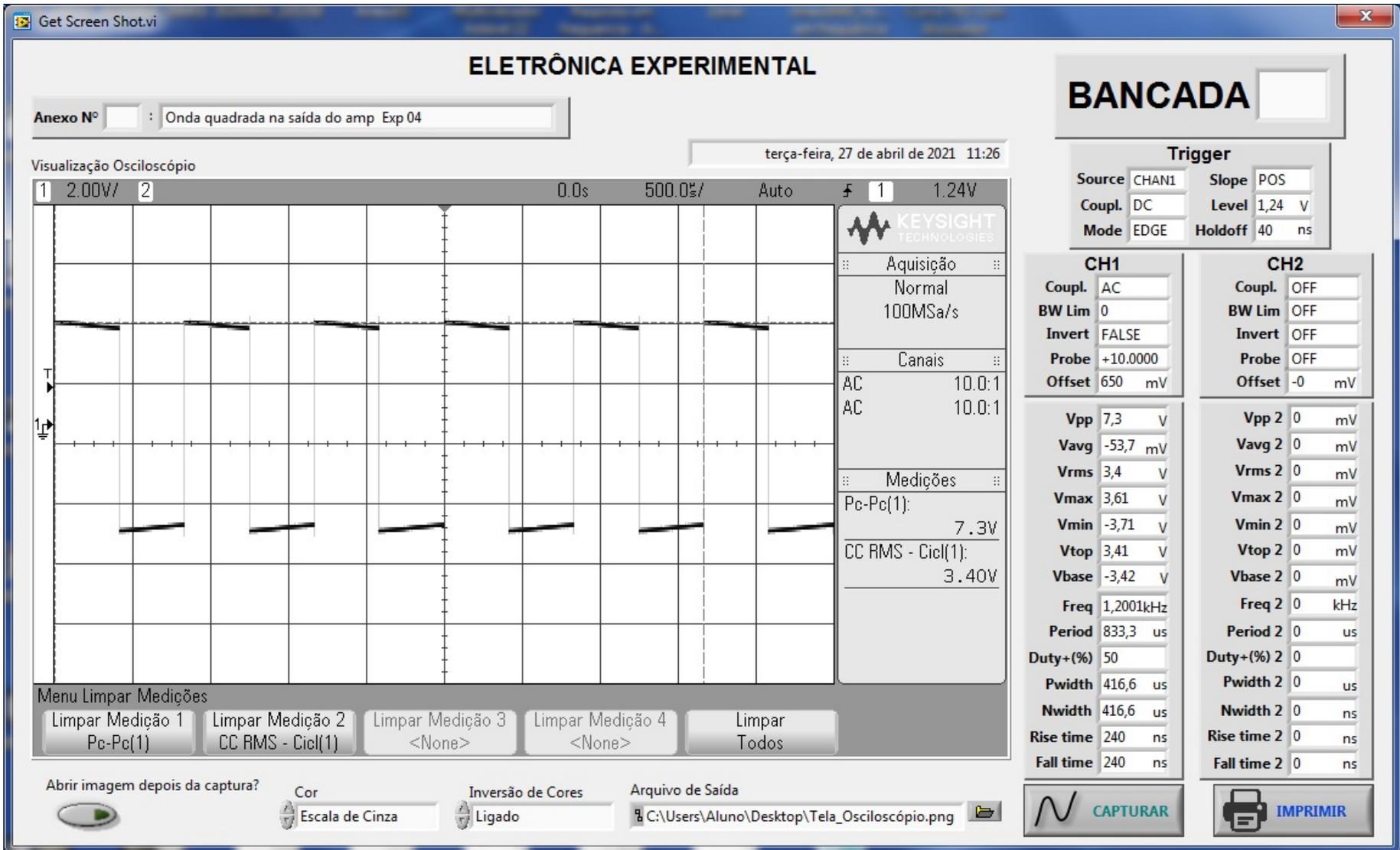
Tensões e Correntes AC – Acoplamento AC e DC

Tensão eficaz

Tensão eficaz em R_{sai} : $V_{R_{sai},ef} = 1,96 \text{ V}$ (multímetro)

Tensão de pico em R_{sai} : $V_{R_{sai},p} = 6,9 \text{ V}$ (osciloscópio)

Tensões e Correntes AC – O Osciloscópio



Tensões e Correntes AC – Acoplamento AC e DC

Tensão eficaz

Tensão eficaz em R_{sai} : $V_{R_{\text{sai}},\text{ef}} = 3,41 \text{ V}$ (multímetro)

Tensão de pico em R_{sai} : $V_{R_{\text{sai}},\text{p}} = 7,3 \text{ V}$ (osciloscópio)

Tensões e Correntes AC – Acoplamento AC e DC

