

TRANSFORMADORES: Obtenção eletrônica da curva de magnetização de transformadores de baixa tensão e determinação das forças atuantes na histerese magnética.

Aluno: Welbert Ezequiel de Oliveira

Orientador: Ana Carolina Silva de Aquino

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – FACET

CENTRO UNIVERSITÁRIO NEWTON PAIVA

Curso: Engenharia Elétrica

Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso

Introdução

Transformadores são máquinas elétricas estáticas, operando no mínimo como um quadrupolo, onde a potência presente em seus terminais de entrada é transferida, em sua maior parte, para seus terminais de saída através de acoplamento magnético.

O acoplamento ocorre por um núcleo de material ferromagnético e, por isso, sofre perdas de origens elétricas e magnéticas.

Problema de Pesquisa

É possível determinar as perdas magnéticas ocorridas no núcleo de um transformador de maneira empírica?

Justificativa

Caracterizar os transformadores permite conhecer em profundidade suas propriedades elétricas, e até mecânicas. Ao se traçar a curva de magnetização de um transformador é possível observar a histerese magnética do material e, até, determinar as perdas ocorridas no núcleo dos enrolamentos.

O conhecimento destas características permite ao estudante de engenharia compreender o processo de magnetização do transformador e, por consequência, trás a compreensão de várias outras máquinas elétricas.

Objetivos

Objetivo Geral

Desenvolver um estudo do processo de magnetização de transformadores de baixa tensão, através da obtenção de sua curva de histerese, utilizando dispositivo eletrônico projetado para tal função.

Objetivos

Objetivos Específicos

- Construir um dispositivo eletrônico capaz de fornecer valores nominais de tensão e frequência, ajustáveis, dentro de uma faixa previamente determinada;
- Medir os valores da corrente de excitação que circula pelo primário do transformador e a tensão induzida em seu secundário;

Objetivos

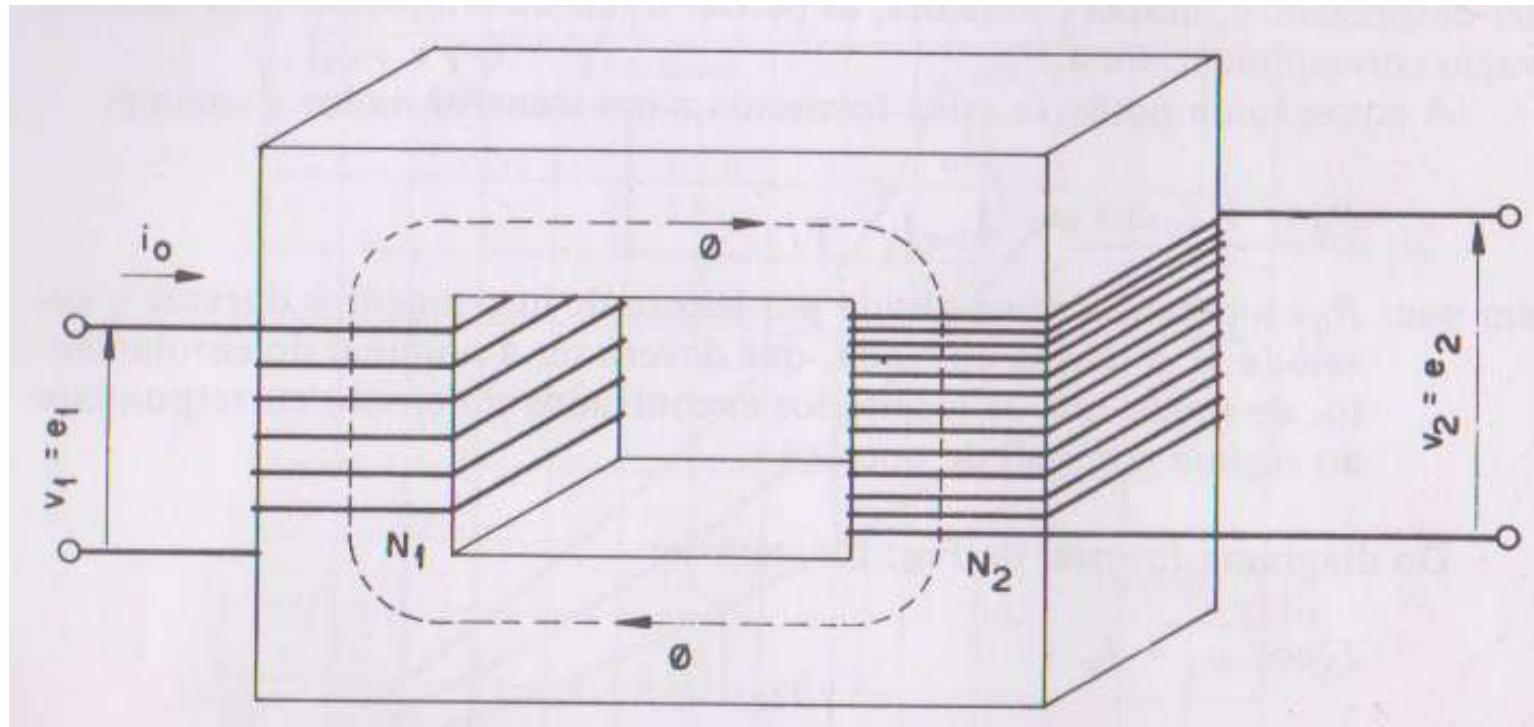
Objetivos Específicos

- Obter a curva de magnetização – intensidade de campo magnético (H) x densidade de fluxo magnético (B) - do transformador através dos valores de corrente e tensão obtidos nos enrolamentos primário e secundário, respectivamente;
- Determinar os valores das forças atuantes na histerese magnética de um transformador de baixa tensão.

Referencial Teórico

O transformador opera segundo a indução mútua entre, pelo menos, duas bobinas onde não existe conexão física. Tomando os enrolamentos como circuitos elétricos, a energia entregue ao circuito energizado é entregue ao circuito secundário, na proporção direta em que ocorre o acoplamento magnético. Se os circuitos são frouxamente acoplados, somente uma pequena quantidade de energia é transferida entre os circuitos. Entretanto, se os circuitos são fortemente magneticamente acoplados, praticamente a totalidade da energia entregue ao circuito primário é transferida para o circuito secundário. (KOSOW, 2011).

Referencial Teórico



Fonte: OLIVEIRA; COGO; ABREU, 2010, p.6.

Referencial Teórico

Materiais ferromagnéticos não magnetizados são compostos por um grande número de regiões nas quais os momentos magnéticos são orientados aleatoriamente e o fluxo magnético líquido resultante no material é zero. Quando uma força magnetizante é aplicada a este material, os momentos magnéticos se alinham com o campo magnético aplicado, elevando o valor do fluxo magnético resultante. Assim, a permeabilidade efetiva do material (μ) torna-se muito maior que a permeabilidade do vácuo μ_0 . (FITZGERALD, 2008).

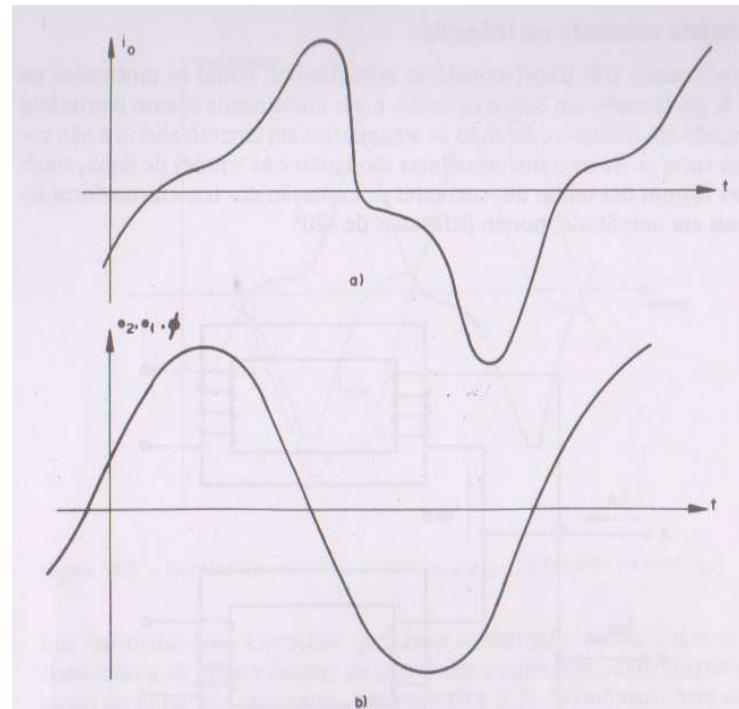
Referencial Teórico

A medida que a força magnetizante aumenta, esse comportamento continua até que todos os momentos magnéticos estejam alinhados como o campo aplicado. Nesse ponto, eles podem não mais contribuir para o aumento da densidade de fluxo magnético, e diz-se que o material está completamente saturado.

Quando o campo magnético é zerado, em função da inércia, os sítios magnéticos tendem a acompanhar a força aplicada e permanecem girando, para um corrente senoidal. Desta forma, existe um fluxo residual, mesmo quando o campo magnético é nulo. (FITZGERALD, 2008).

Referencial Teórico

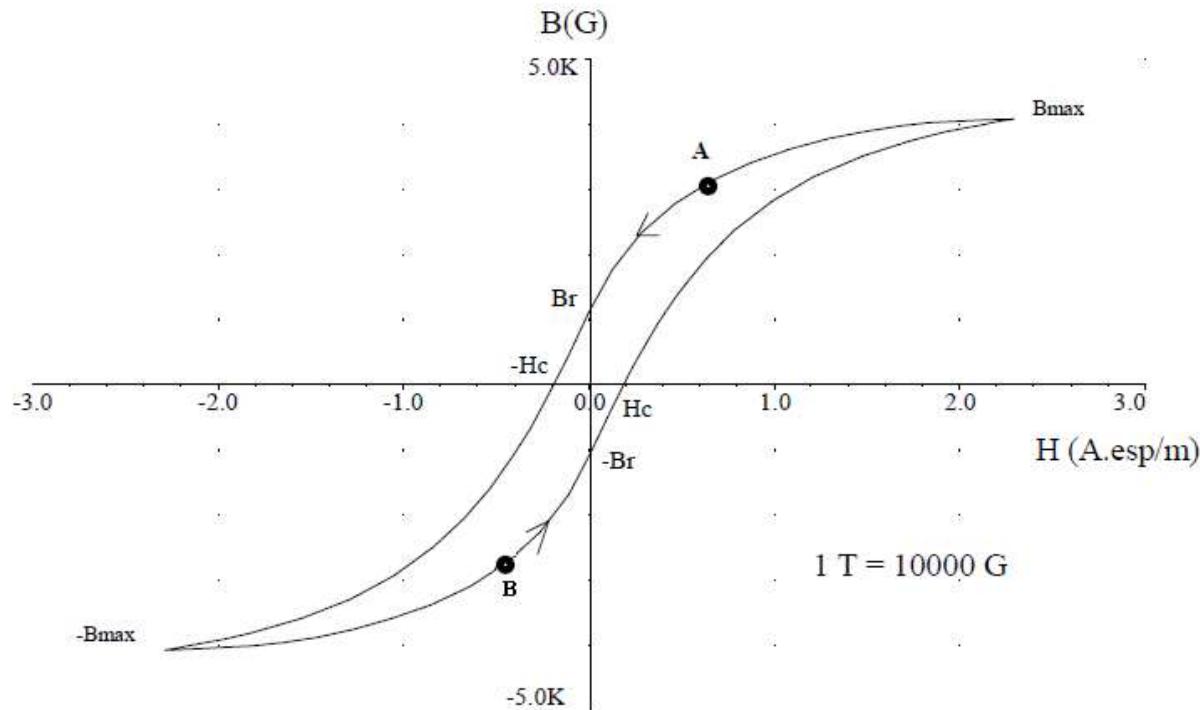
Quando o núcleo satura, a corrente que circula pelo enrolamento primário se deforma, devido a geração de harmônicos da frequência fundamental, com predominância do 3º harmônico, muito embora o fluxo magnético permaneça com comportamento senoidal.



Fonte: OLIVEIRA; COGO; ABREU, 2010, p.115

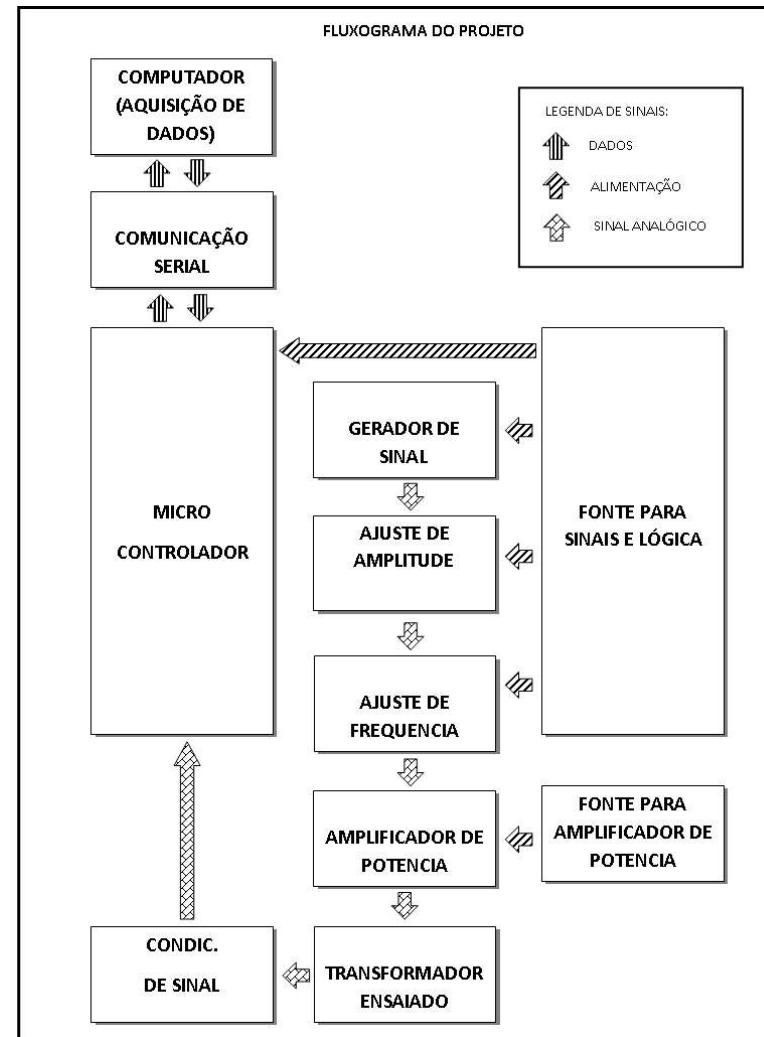
Referencial Teórico

A curva que relaciona a corrente que circula pelo primário (logo, a força magnetizante H) e o fluxo no núcleo (a densidade B) é conhecida como laço de histerese magnética.



Metodologia

Para obtenção do laço de histerese, foi proposto um dispositivo eletrônico conforme o diagrama. Assim, o transformador ensaiado é submetido ao valores de tensão e frequência ajustáveis, de acordo com suas especificações.



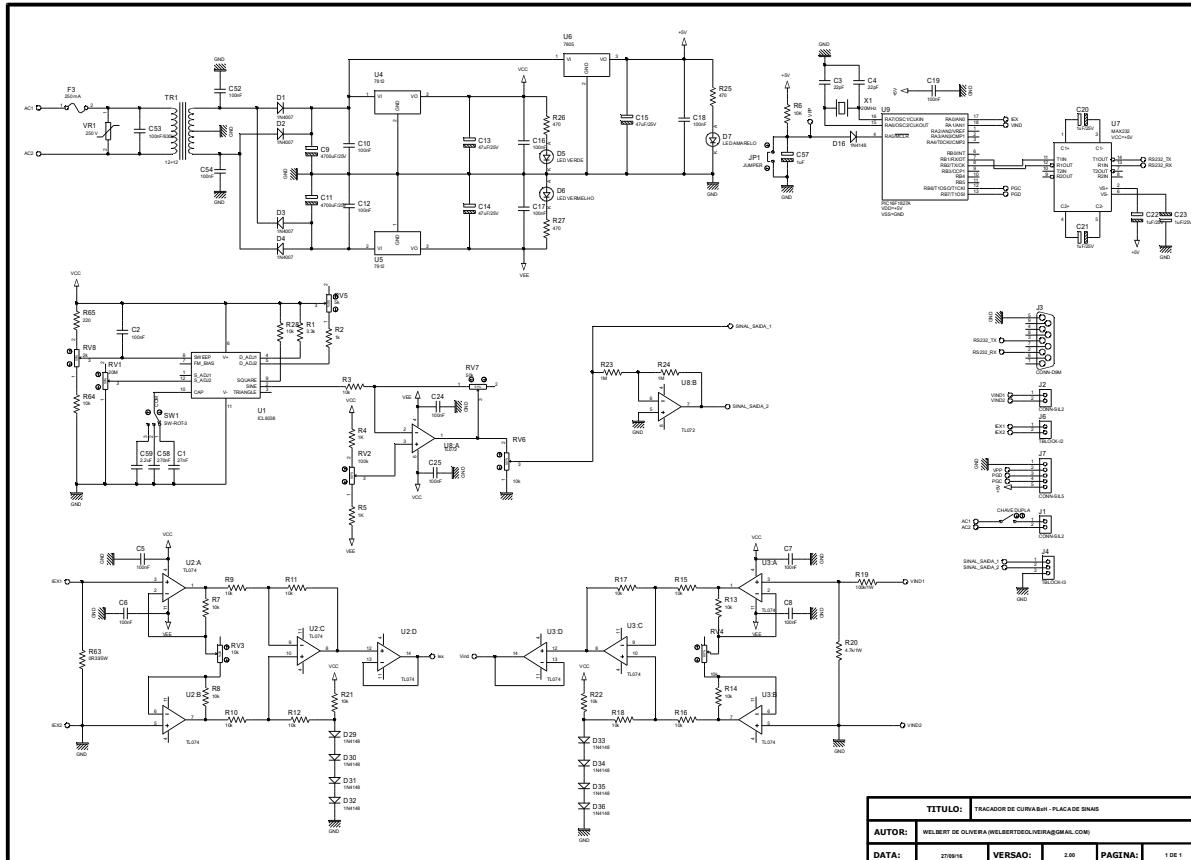
Metodologia

Especificações da placa geradora e controladora de sinal.

Especificações	
Frequência	3 a 3 kHz, em 3 faixas
Tensão	0 a 8V pico-a-pico
Offset	Ajustável entre 0 e +/- 5V
Forma de onda	Senoidal Pura
Máxima corrente mensurável	3A
Máxima tensão mensurável	380V

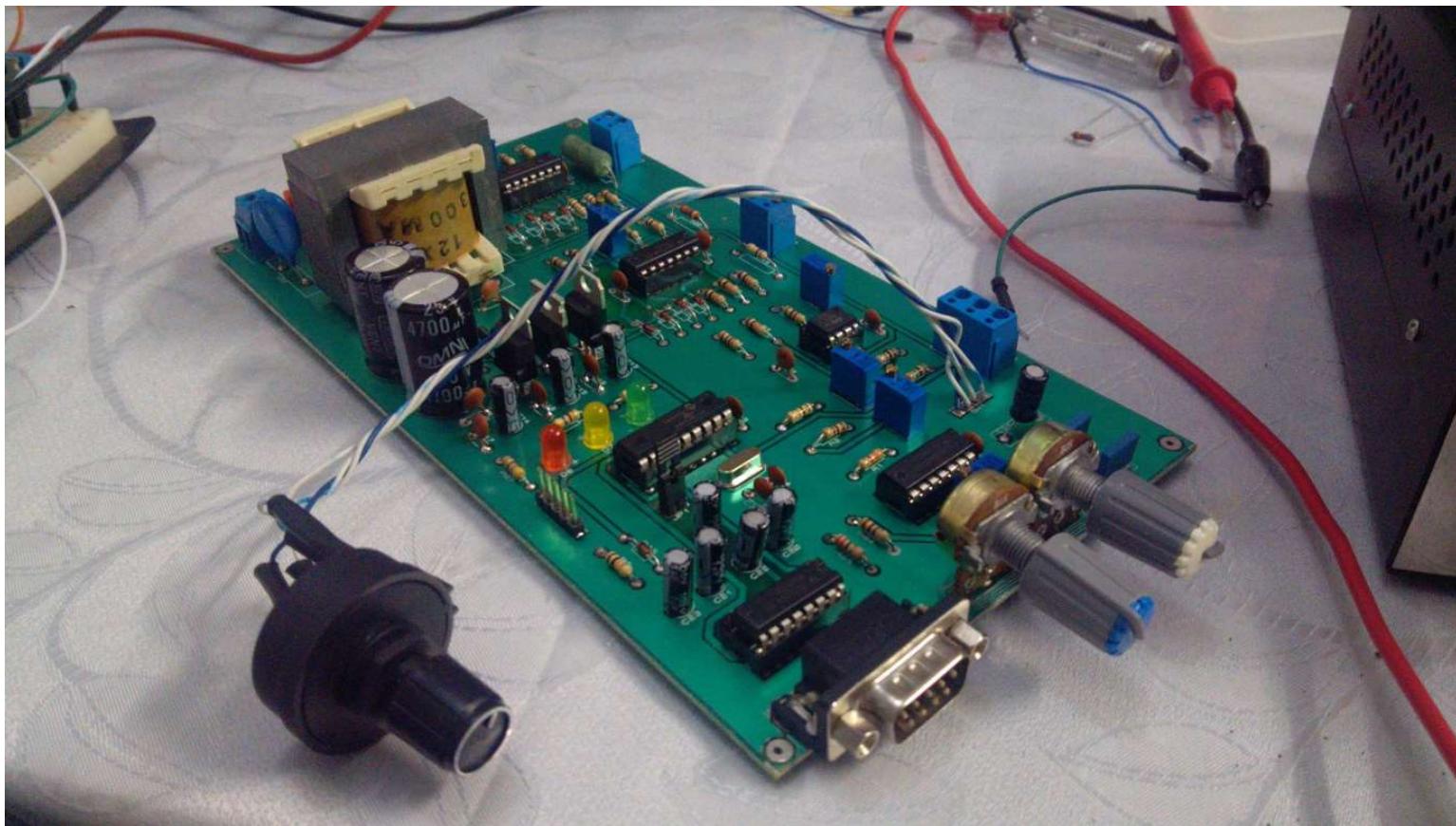
Metodologia

Diagrama da placa geradora e controladora de sinais.



Metodologia

Placa geradora e controladora de sinais.



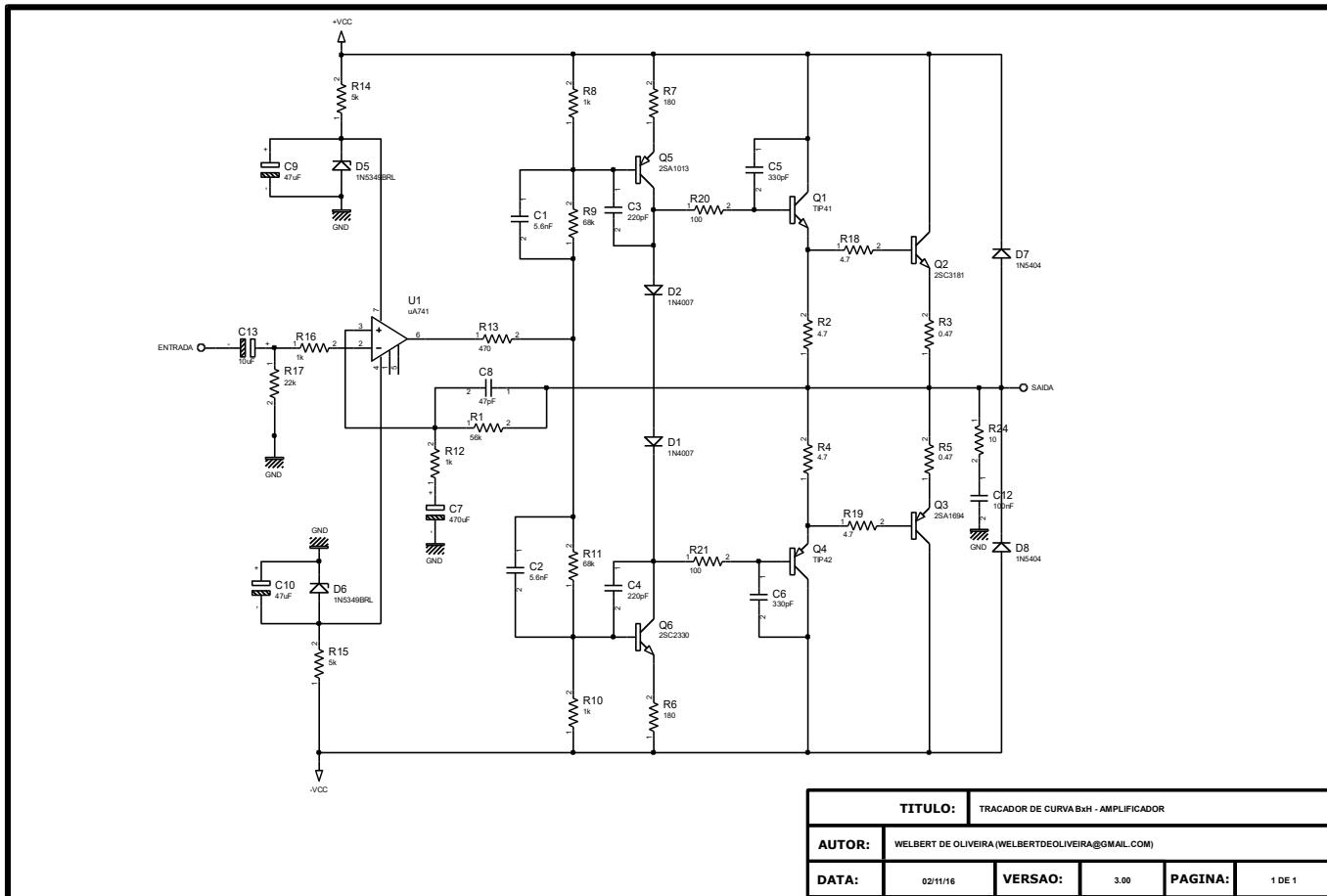
Metodologia

Especificações da placa amplificadora

Especificações	
Banda de passagem	3 a 3 kHz, mínima
Tensão de alimentação	+/- 40Vdc (80Vdc pico-a-pico) ajustável com alteração de componentes
Offset	0V
Forma de onda	Livre, banda de passagem completa para senoidal pura
Máxima corrente de saída	6A
Máxima tensão de saída	30V RMS, ajustável com alteração de componentes
Máxima potência de saída	80W @ 25°C

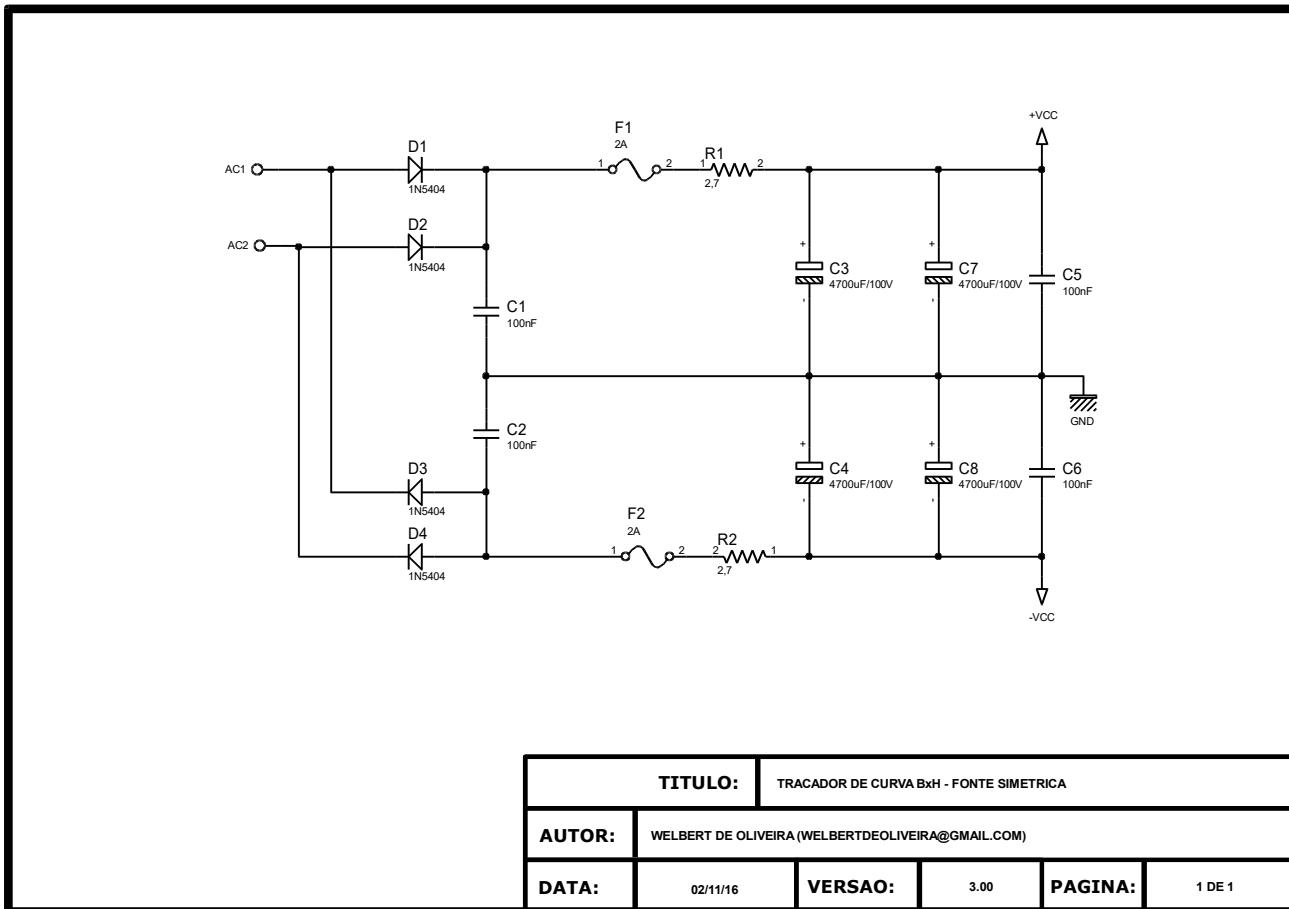
Metodologia

Diagrama da placa de potência



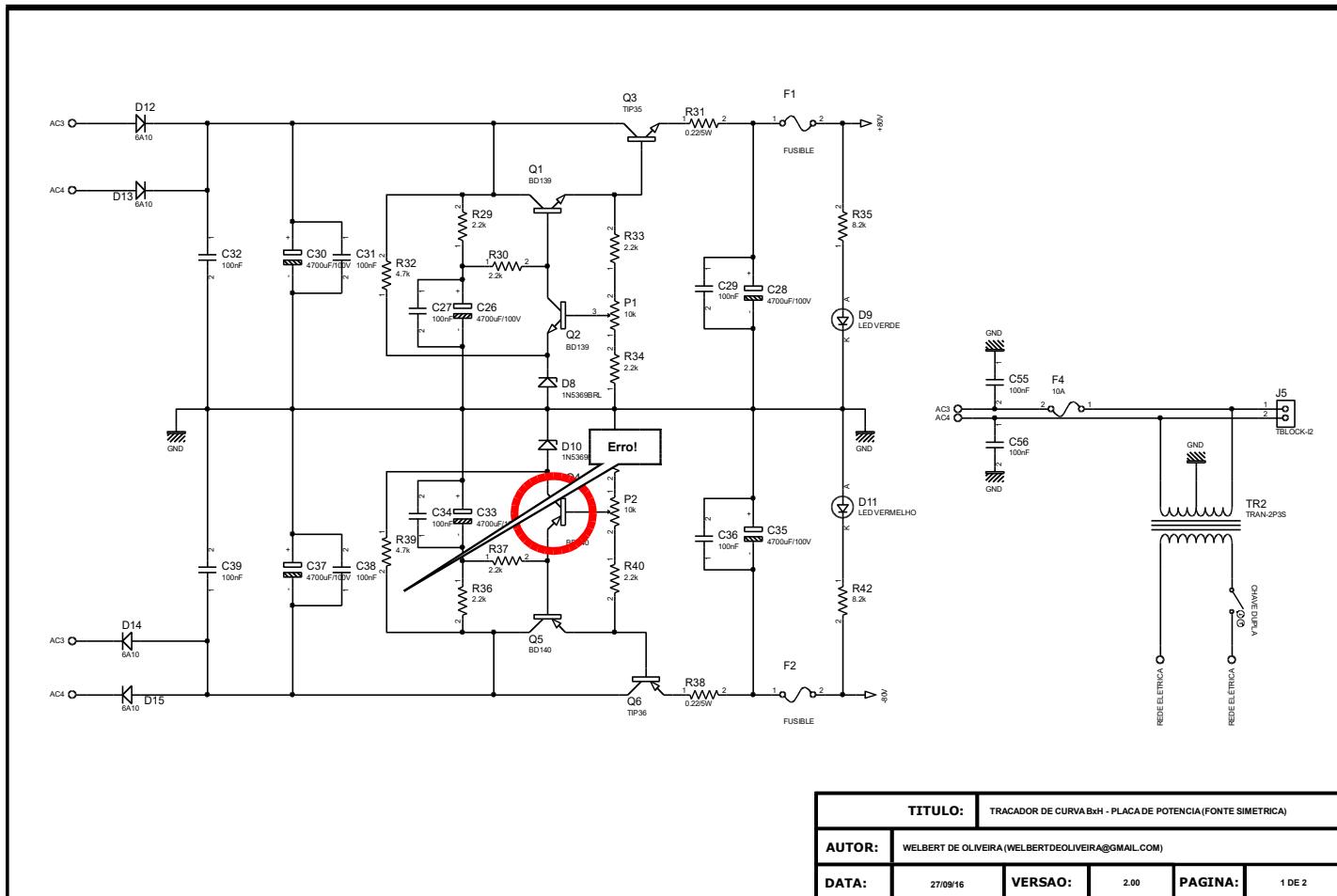
Metodologia

Diagrama fonte de alimentação da placa de potencia



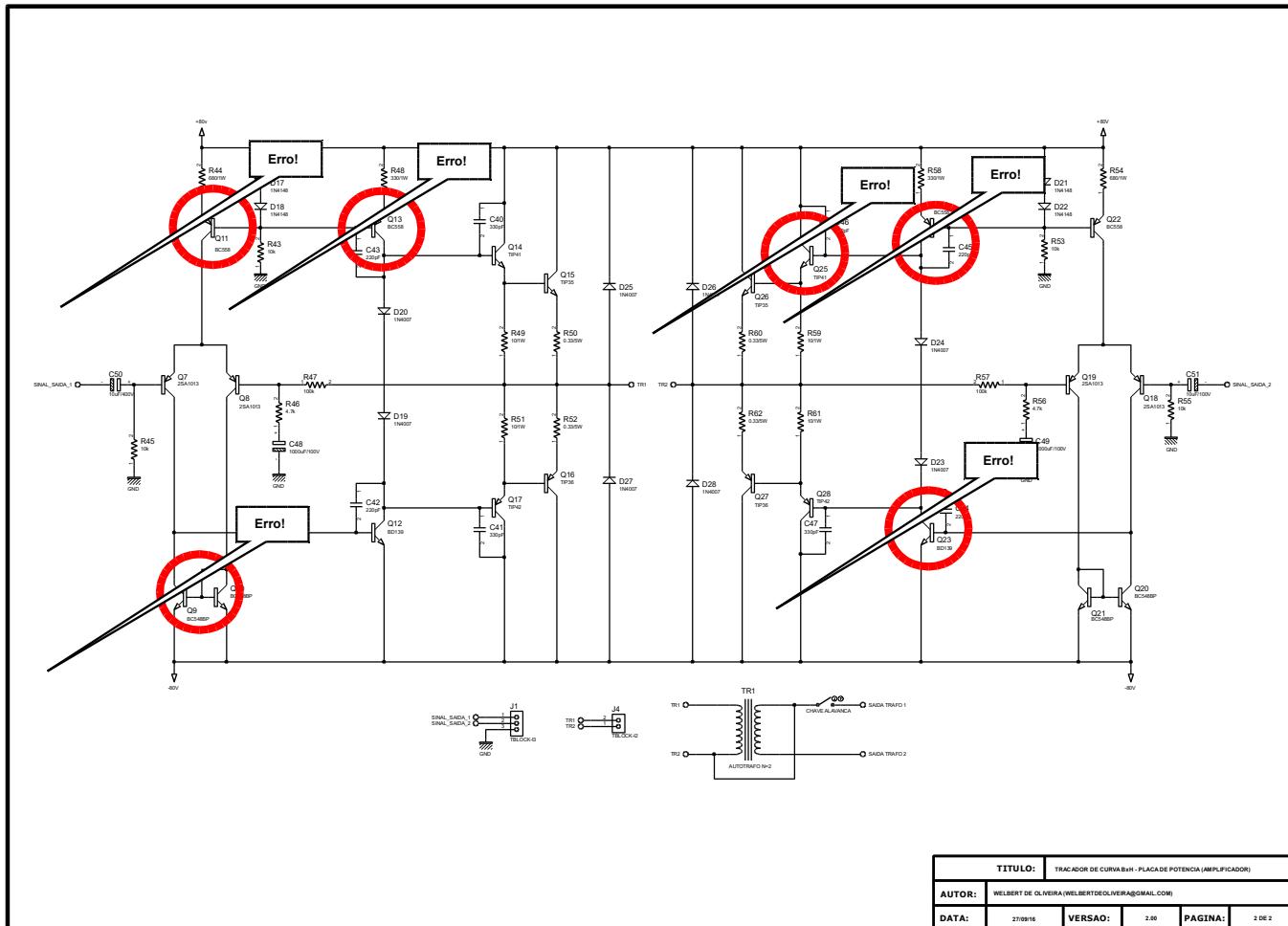
Metodologia

Erros no projeto inicial



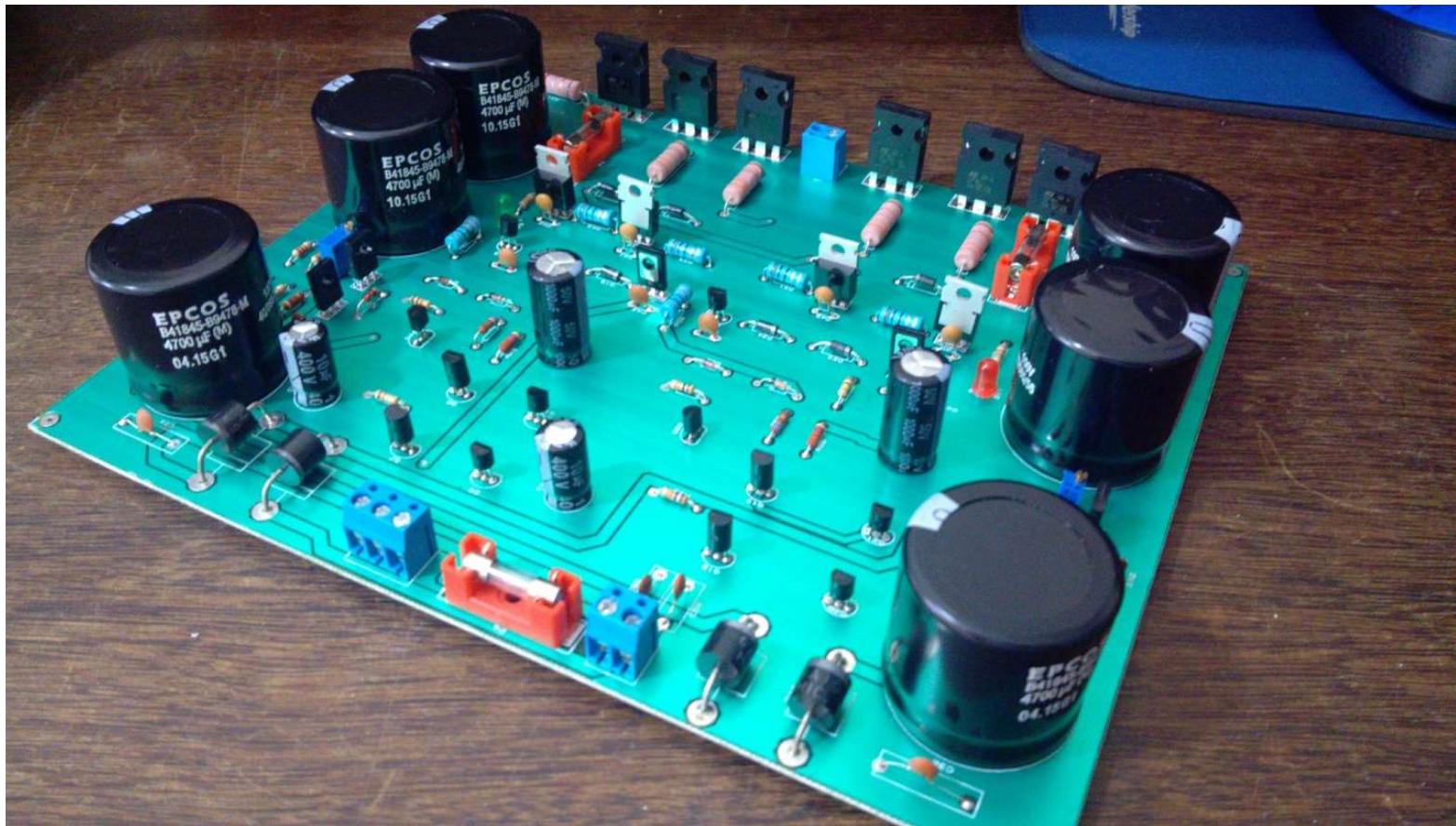
Metodologia

Erros no projeto inicial



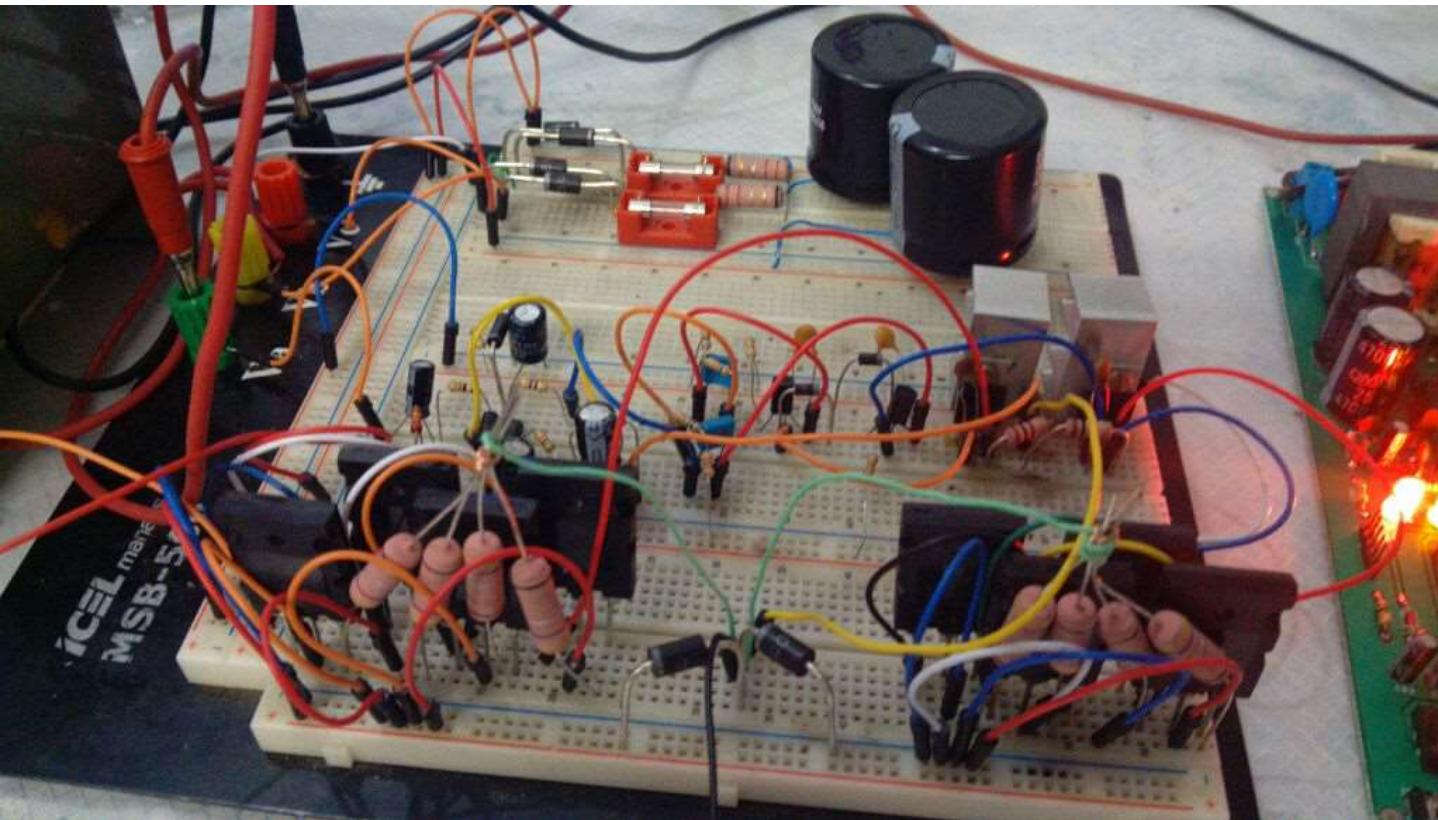
Metodologia

Placa de potência original



Metodologia

Montagem da nova placa de potência e fonte



Resultados

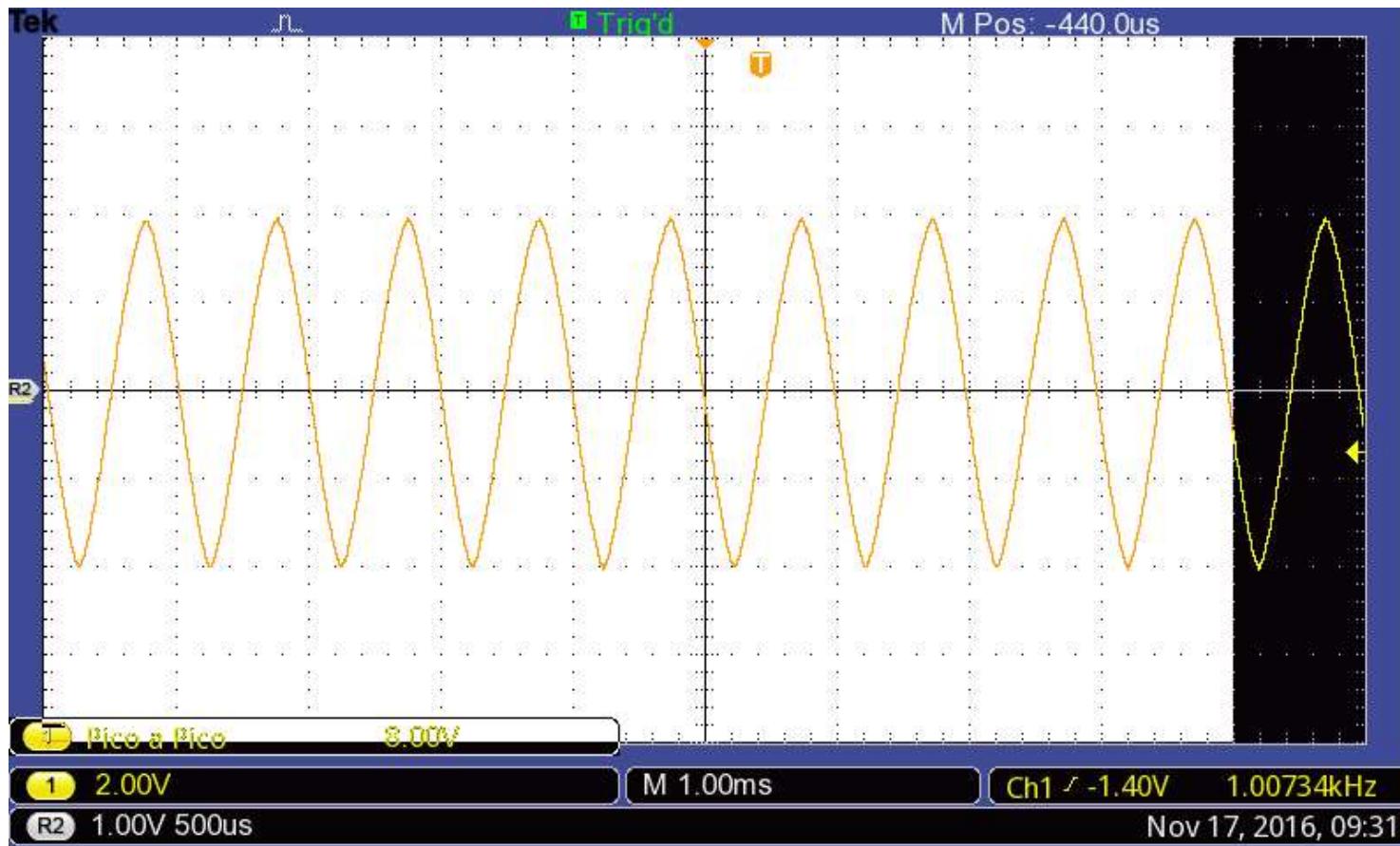
Gerador de sinais

Valores medidos do gerador de função		
Posição da chave	Frequência inferior (Hz)	Frequência superior (Hz)
1	3,27	36,4
2	25,6	285,7
3	259,0	2882

Valores medidos do gerador de função		
Faixa de frequência	Frequência inferior (Hz)	Frequência superior (Hz)
1	9%	21,3%
2	14,6%	4,76%
3	13,67%	3,93%

Resultados

Gerador de sinais



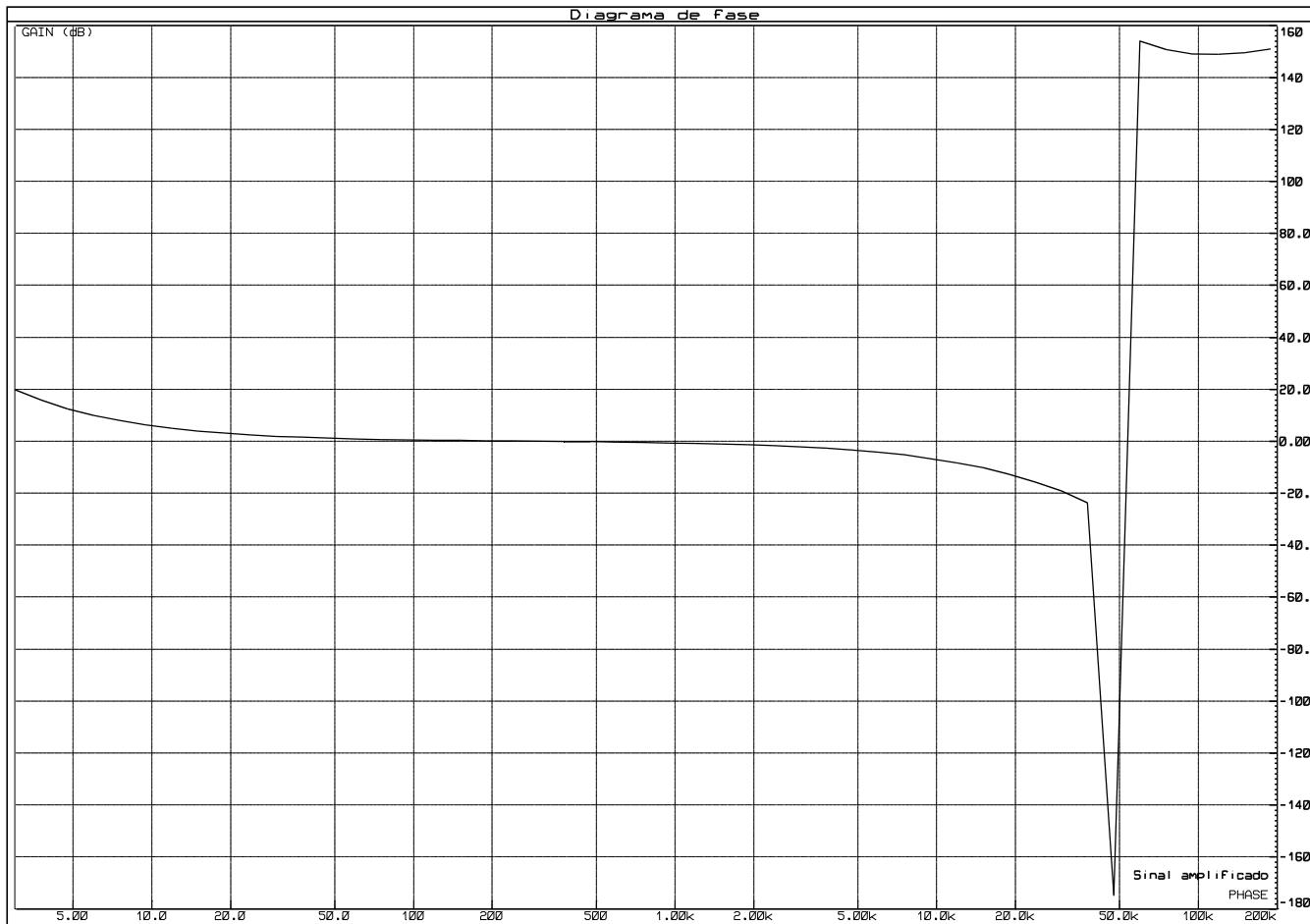
Resultados

Amplificador de potência (simulação)



Resultados

Amplificador de potência (simulação)



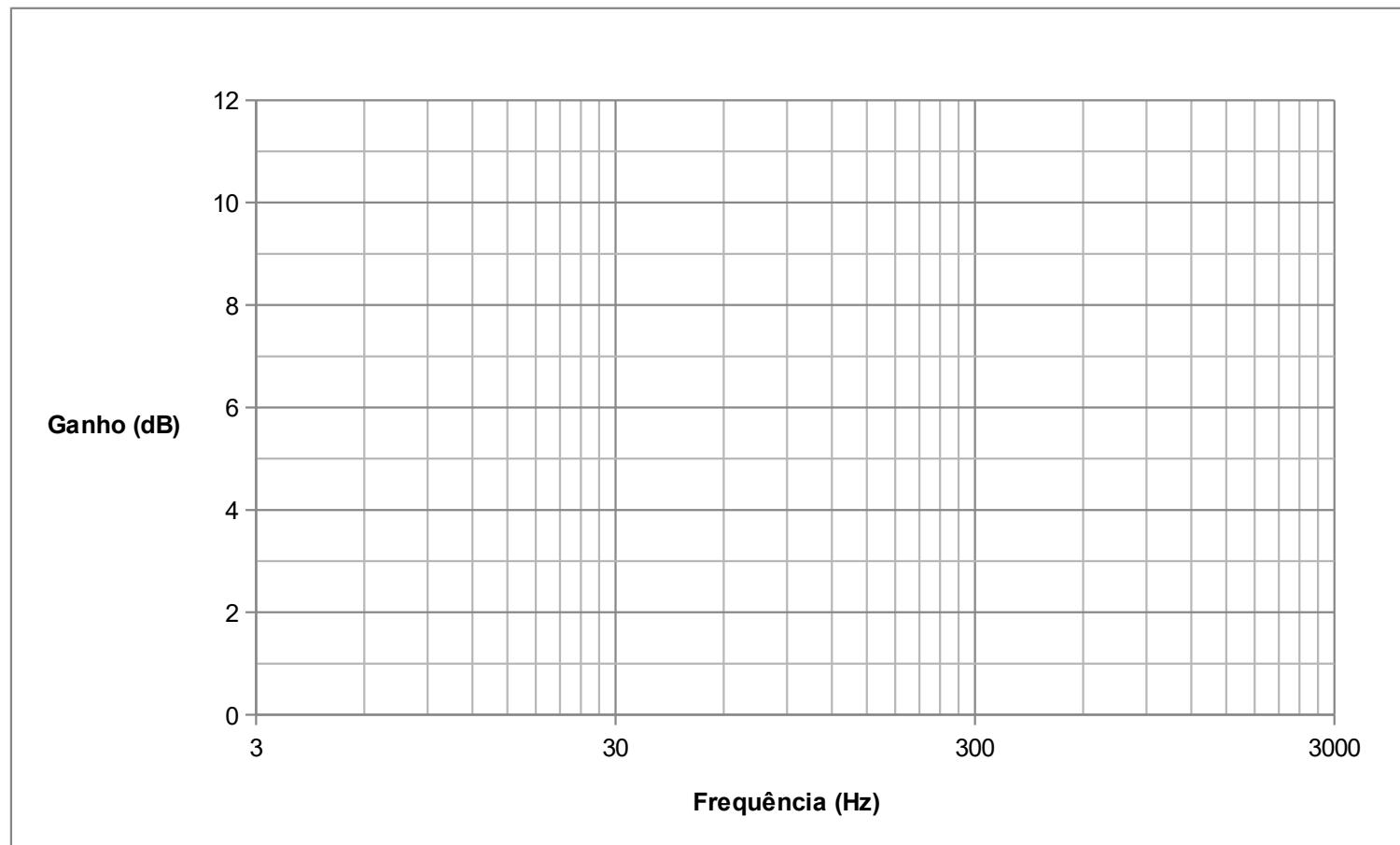
Resultados

Amplificador de potência

Resposta em frequência				
Frequência (Hz)	Sinal de entrada (volts)	Sinal de saída (volts)	Ganho (dB)	Deslocamento de fase (graus)
3,27	1,04	55,2	34,5	19,3
9,15	1,04	58,4	35,0	6,95
14,7	1,04	59,2	35,1	4,25
36,5	1,04	59,2	35,1	2,62
52,5	1,04	59,2	35,1	1,47
88,6	1,04	59,2	35,1	1,27
169,3	1,04	59,2	35,1	0,92
286,0	1,04	59,2	35,1	0,41
513,3	1,04	59,2	35,1	0
947,1	1,04	59,2	35,1	0
1431	1,04	59,2	35,1	0
2711	1,04	59,2	35,1	0

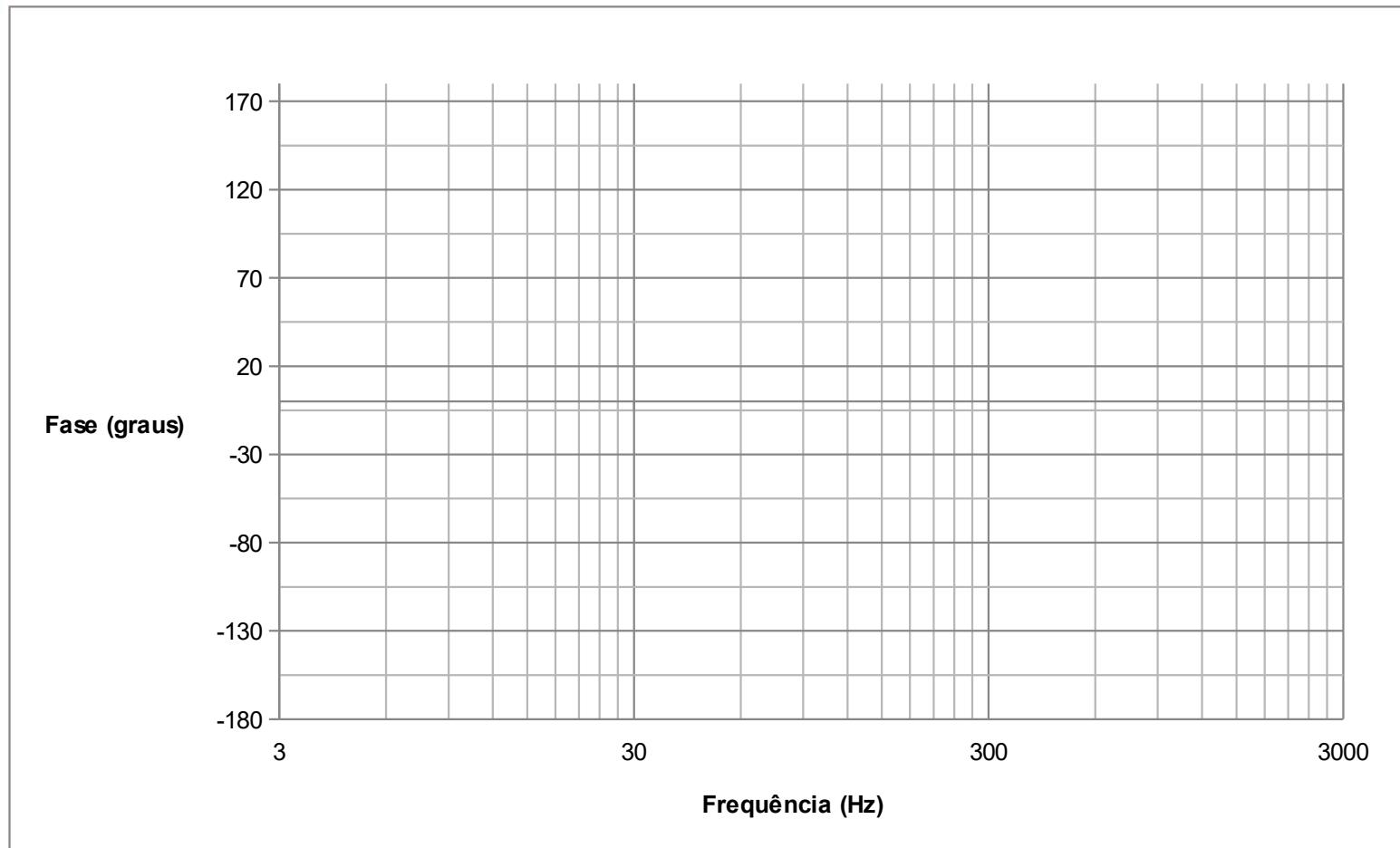
Resultados

Amplificador de potência



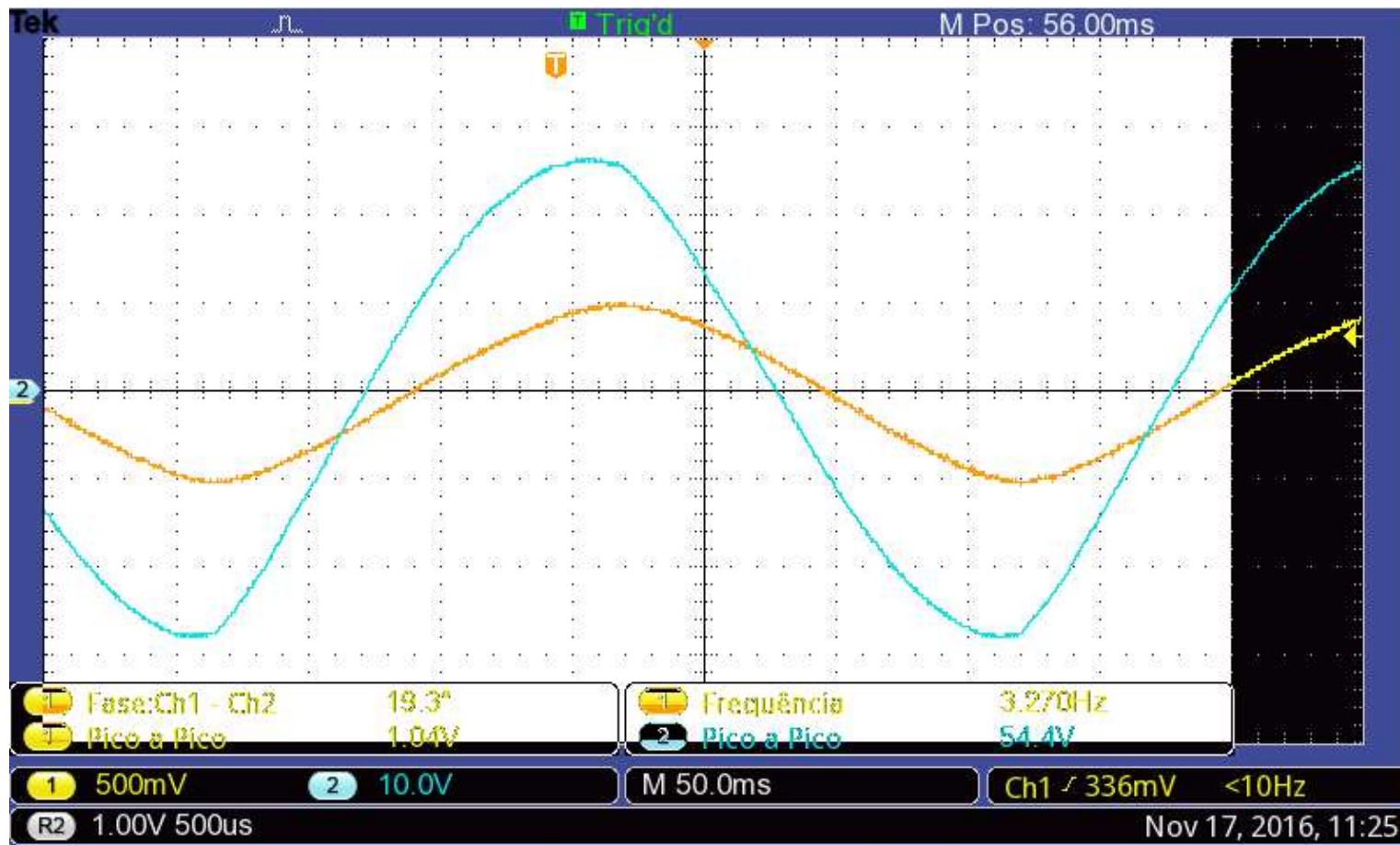
Resultados

Amplificador de potência



Resultados

Amplificador de potência



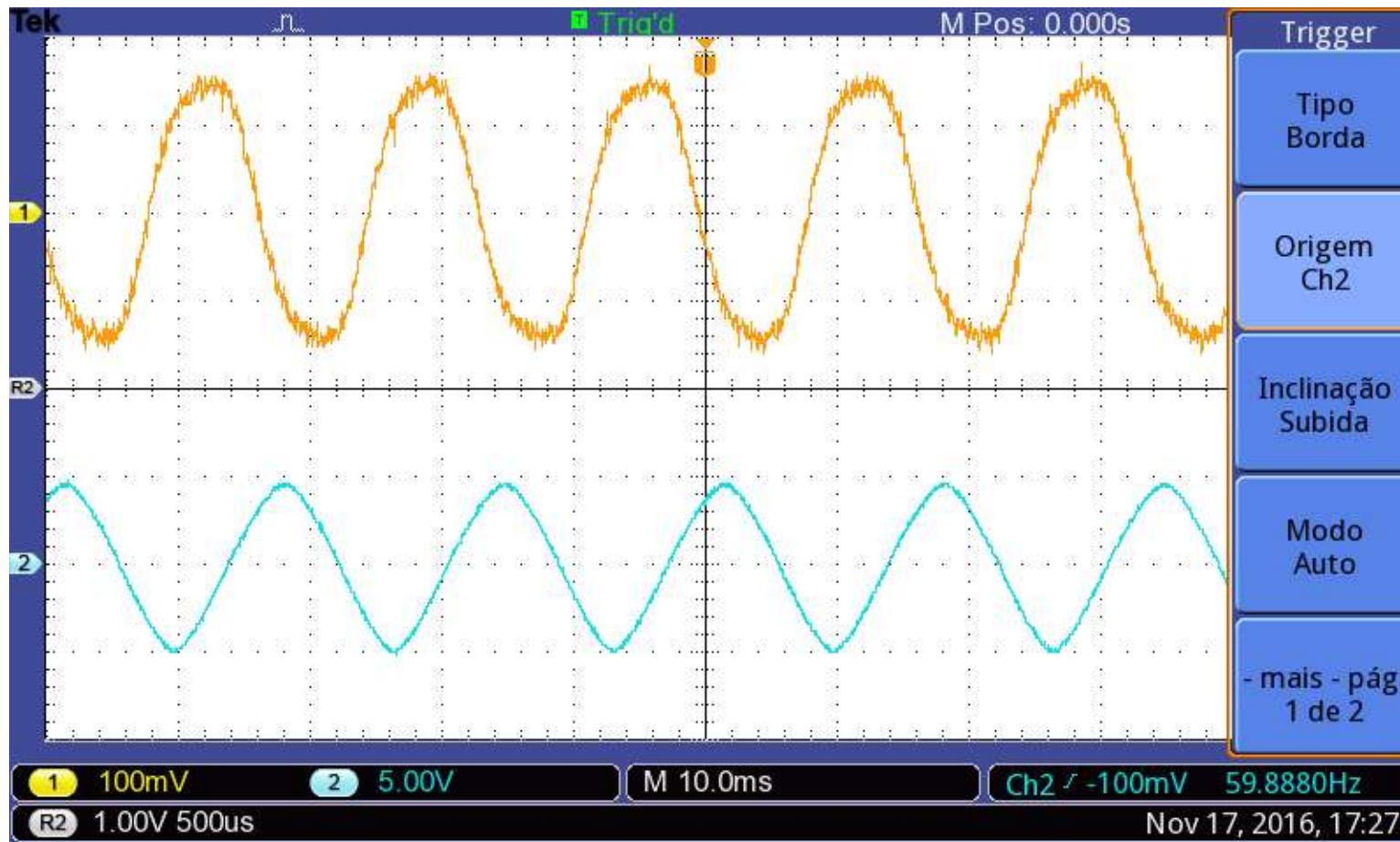
Resultados

Ensaio

Grandezas	Valor
Tensão primária (V1)	110 volts
Tensão secundária (V2)	12 volts
Potência	48 watts
Corrente de excitação	61,3 mA
Ângulo de fase (θ)	53,3°
Espiras do primário	444 espiras
Espiras do secundário	42 espiras
Área do núcleo	0,004 metro ²
Comprimento do enrolamento	0,04 metro
Perdas no núcleo	4,56 watts
Peso do núcleo	1,02 kg
Volume do núcleo	0,000131 m ³

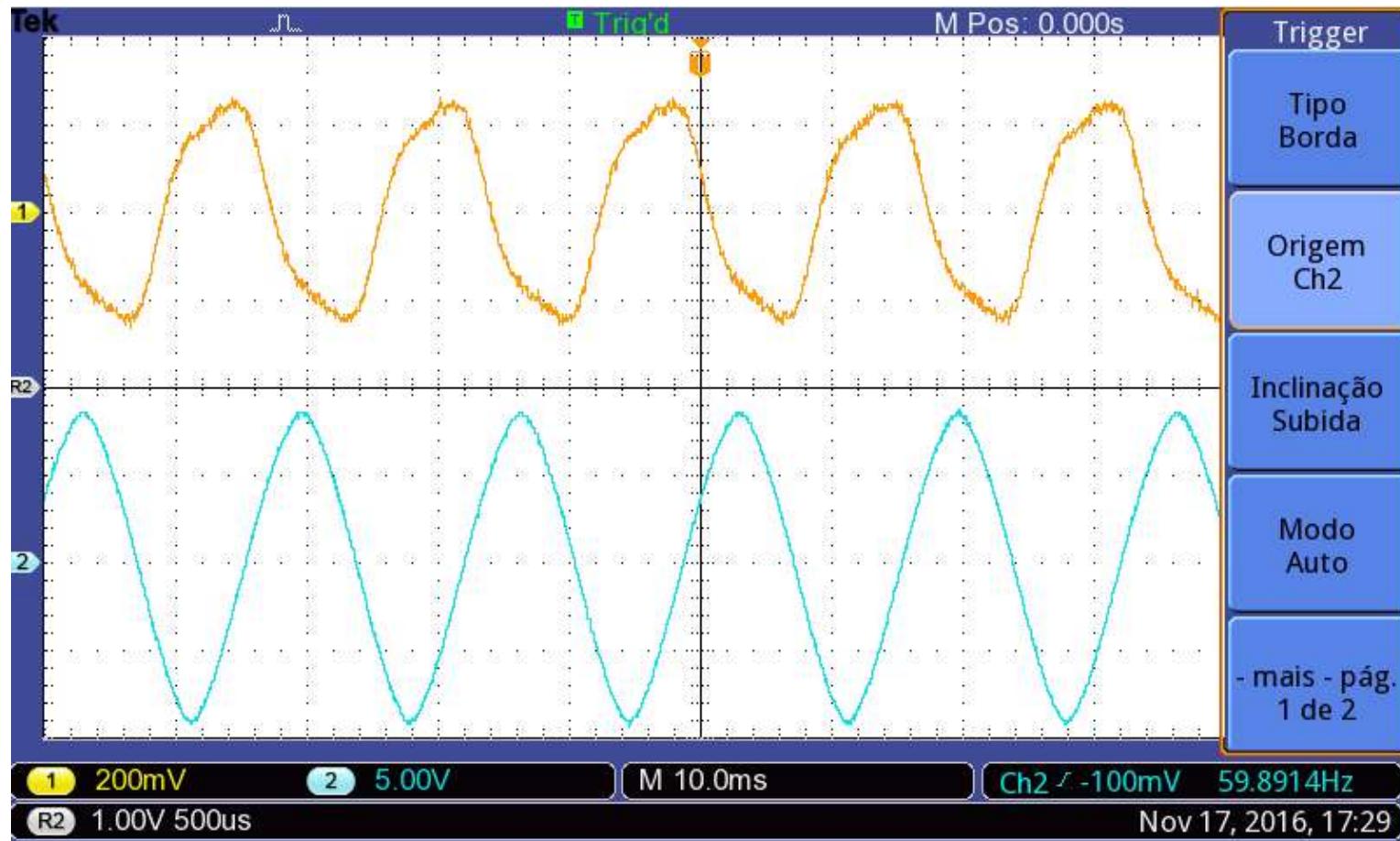
Resultados

Ensaio



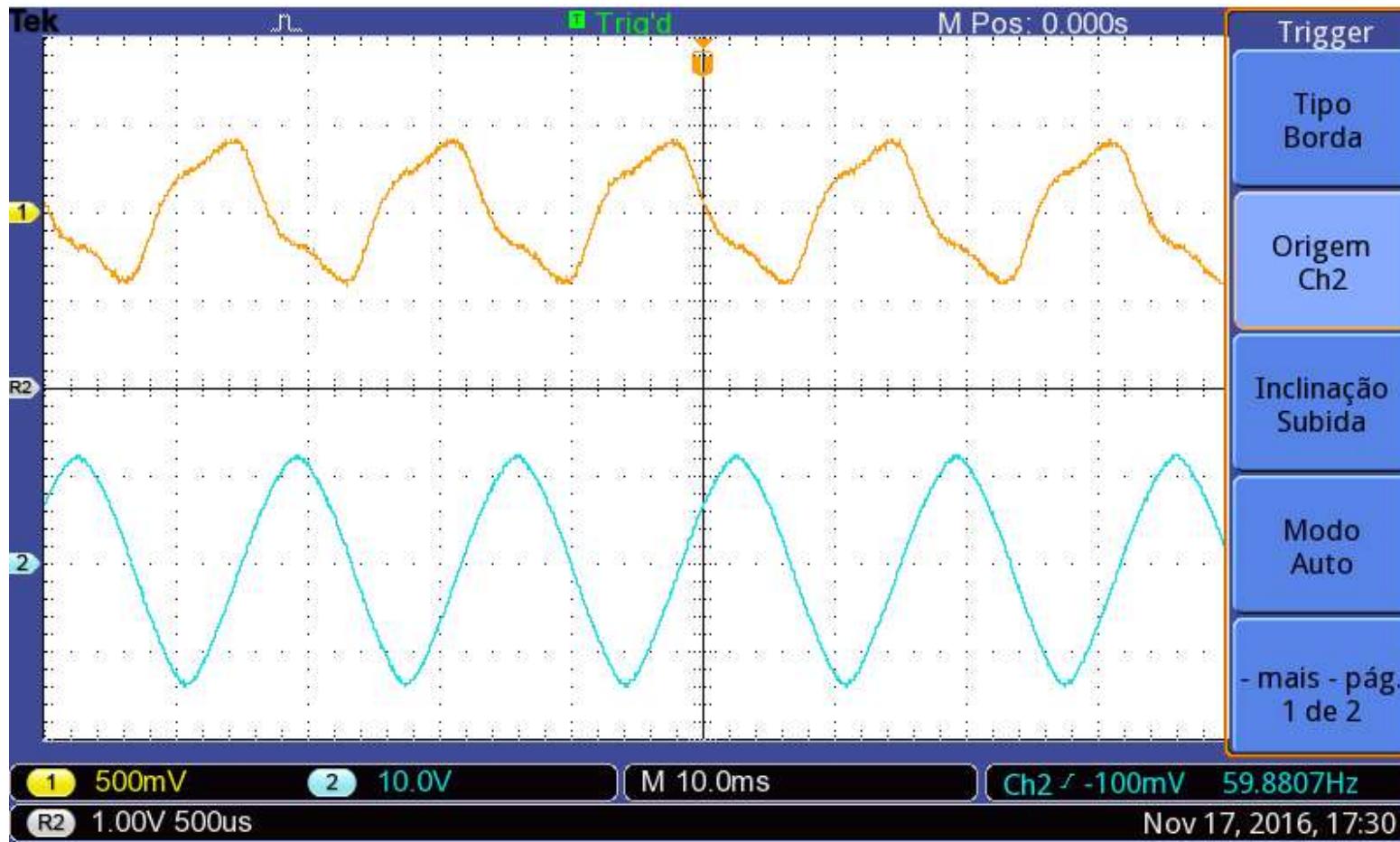
Resultados

Ensaio



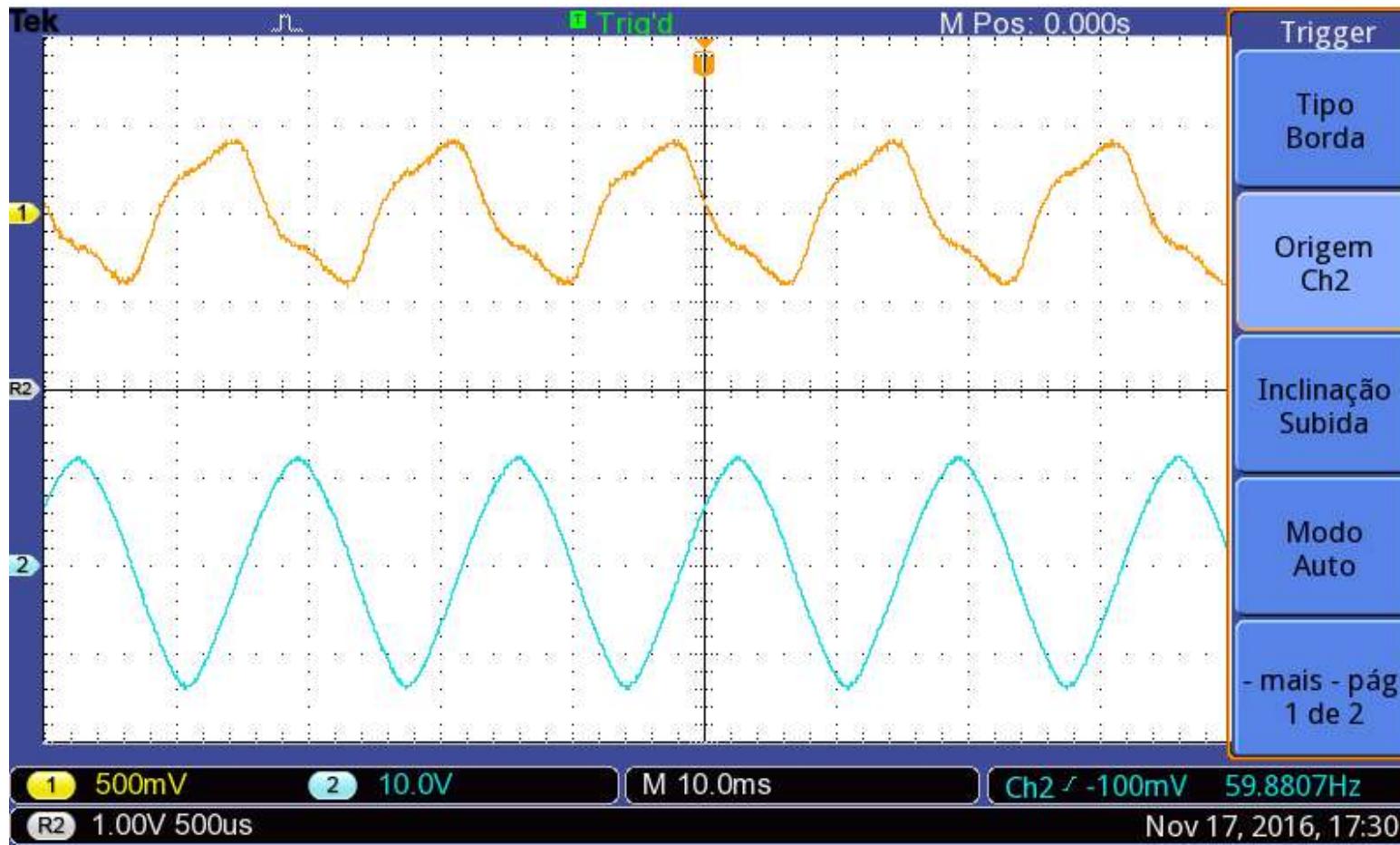
Resultados

Ensaio



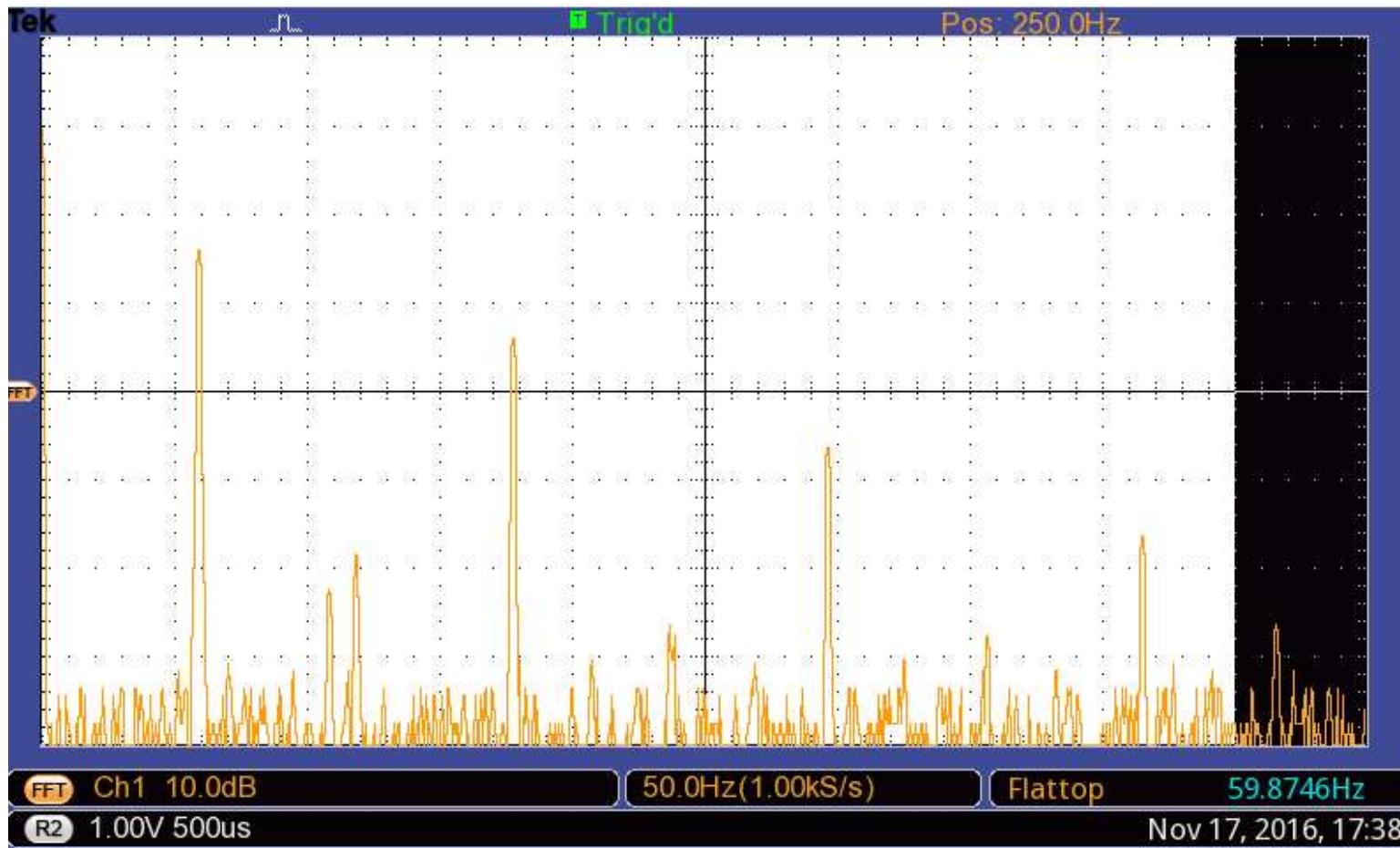
Resultados

Ensaio



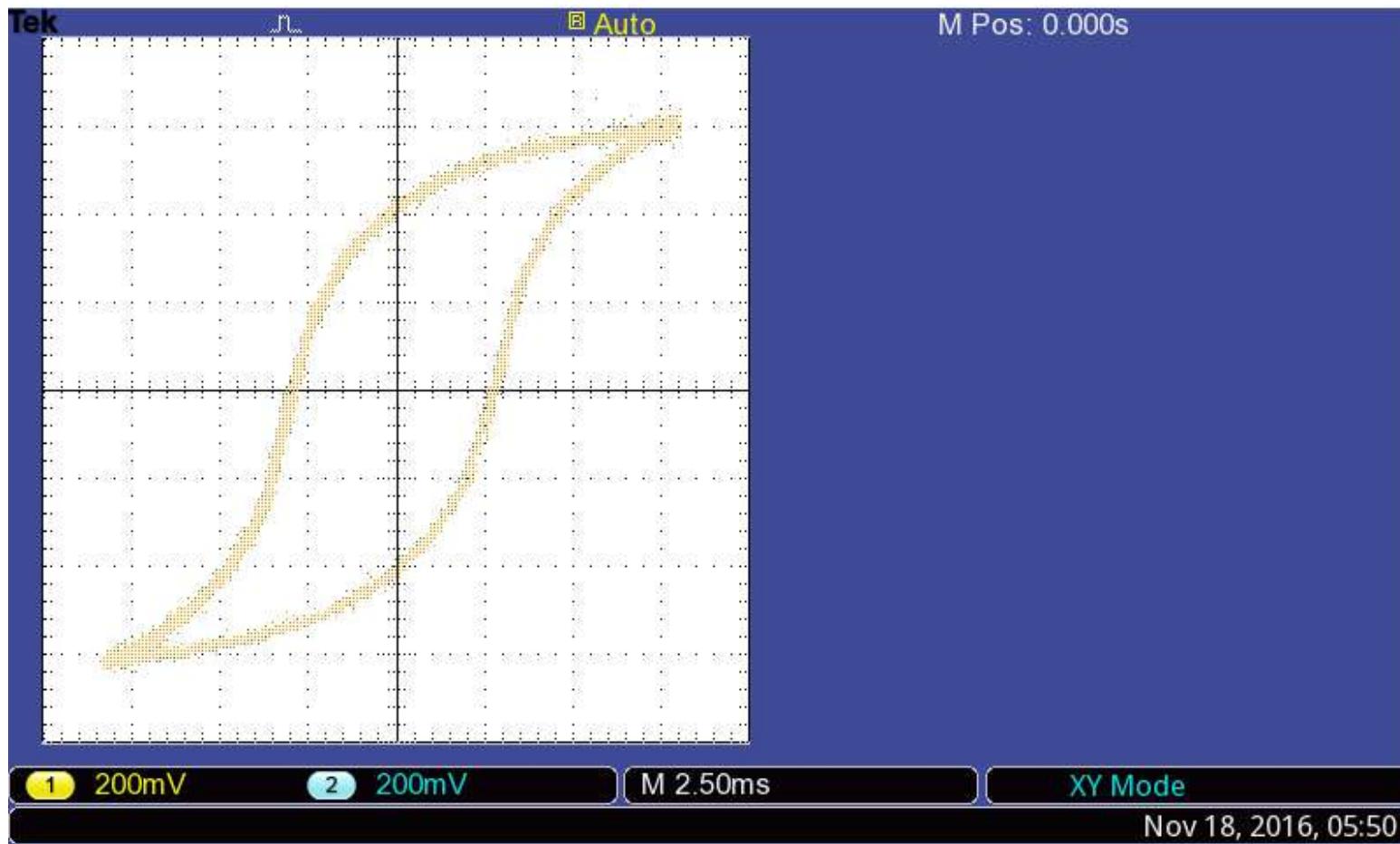
Resultados

Ensaio



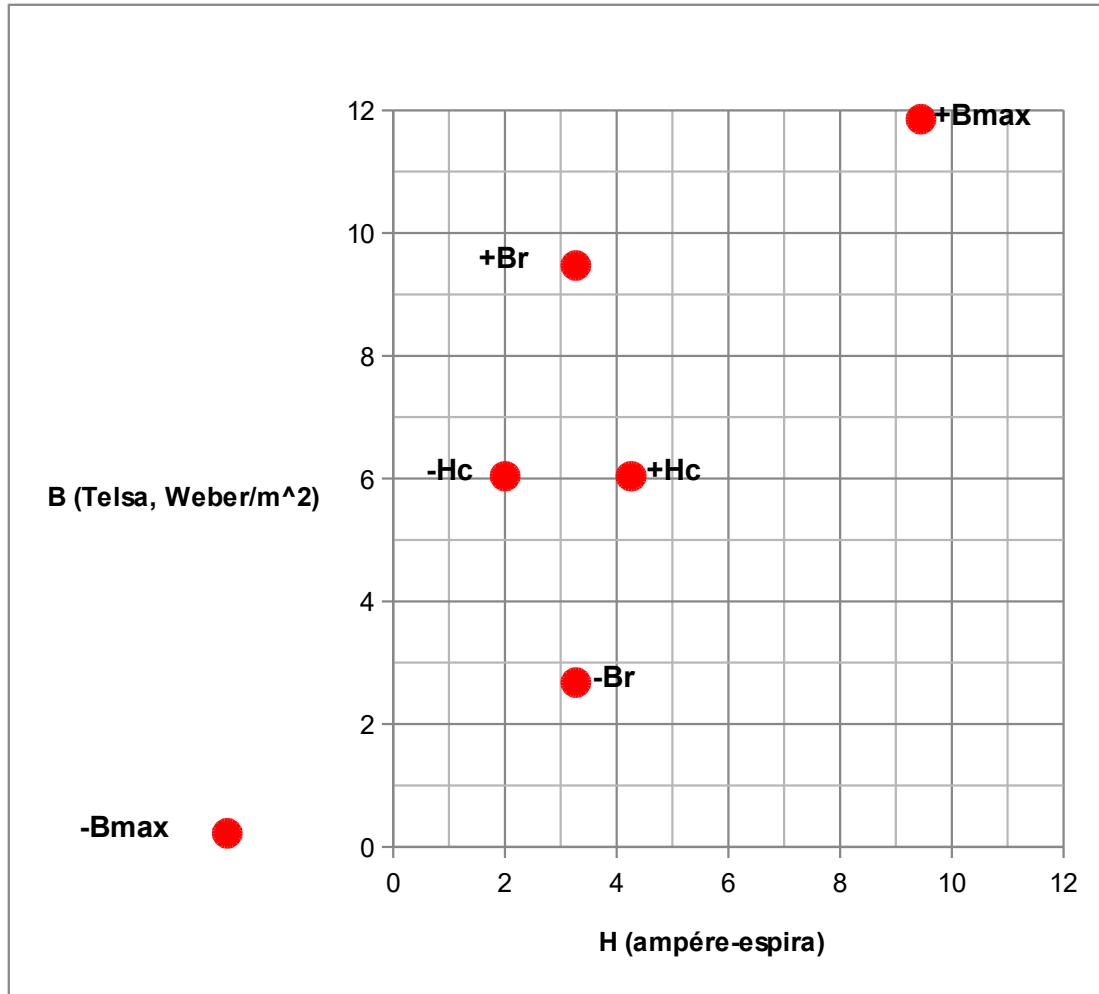
Resultados

Ensaio



Resultados

Ensaio



Resultados

Ensaio

Grandezas	Sigla	Unidade	Valor medido
Densidade magnética máxima positiva	+Bmax	Tesla	0,80
Densidade magnética máxima negativa	-Bmax	Tesla	-0,80
Magnetização remanente positiva	+Br	Tesla	0,42
Magnetização remanente negativa	-Br	Tesla	-0,42
Força coercitiva positiva	+Hc	Ampère-espira/metro	25
Força coercitiva negativa	-Hc	Ampère-espira/metro	-25

Resultados

Ensaio

Del Toro (2011, p. 31) afirma que as perdas por histerese ocorridas no núcleo do transformador podem ser representadas pelas áreas do laço de histerese.

$$\text{área do laço de histerese} = 341,84 \frac{\frac{J}{m^3}}{\text{ciclo}}$$

Resultados

Ensaio

Ainda segundo Del Toro (2011, p. 31), as perdas por histerese devem ser determinadas em watts.

$$w_h = \frac{\text{energia}}{\text{volume} \times \text{ciclos}} = \frac{\text{potencia} \times \text{segundos}}{\text{volume} \times \text{ciclos}} = \frac{\text{potencia}}{\text{volume} \times \frac{\text{ciclos}}{\text{segundos}}}$$

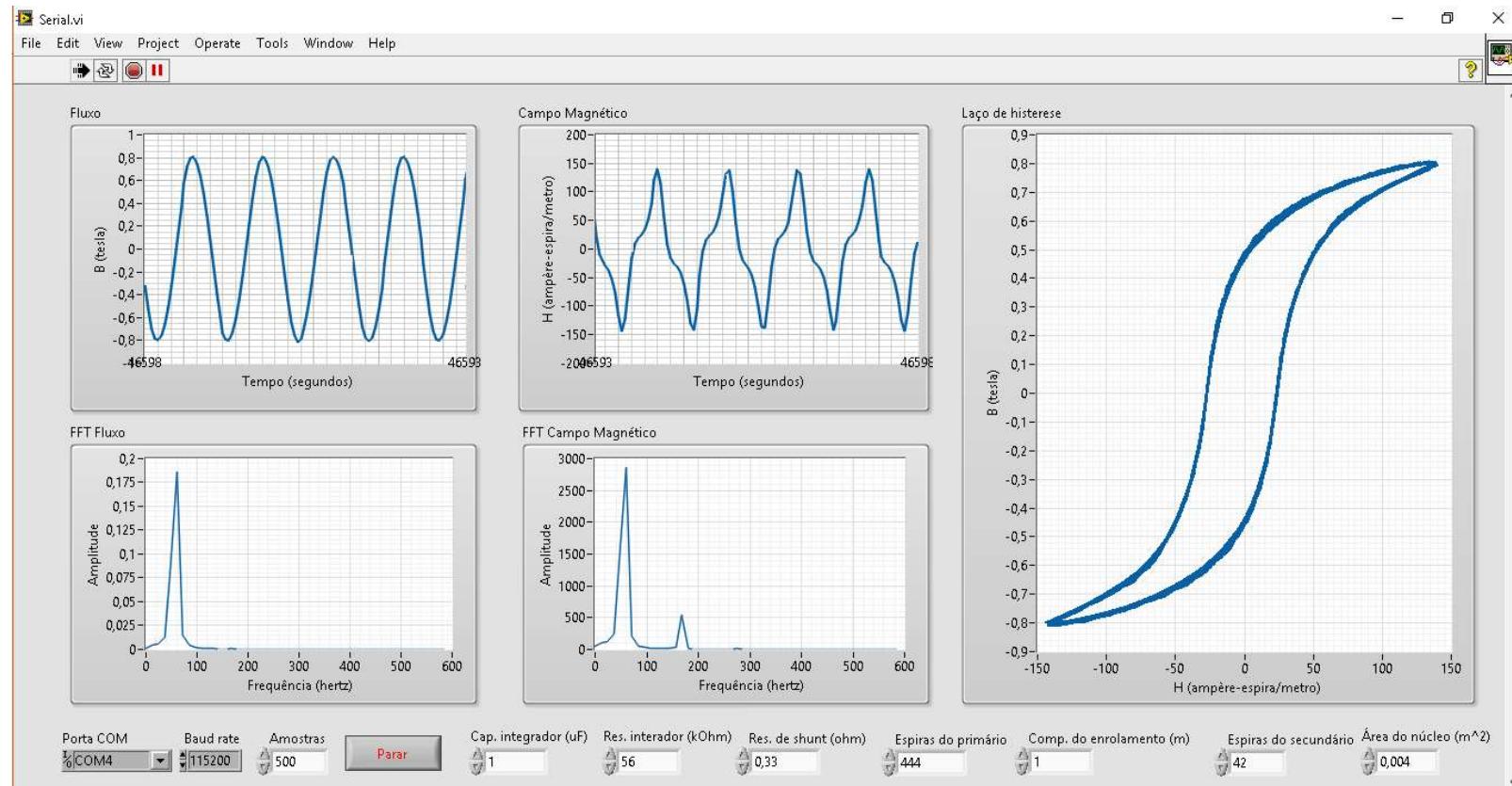
$$P_h = w_h vf$$

$$P_h = \left(341,84 \frac{\frac{J}{m^3}}{ciclo} \right) \times (0,000131m^3) \times \left(60 \frac{ciclos}{segundo} \right)$$

$$P_h = 2,68 \frac{J}{segundo} = 2,68 \text{ watts}$$

Resultados

Interface gráfica



Conclusão

-  Construir um dispositivo eletrônico capaz de fornecer valores nominais de tensão e frequência, ajustáveis, dentro de uma faixa previamente determinada.
-  Medir os valores da corrente de excitação que circula pelo primário do transformador e a tensão induzida em seu secundário.
-  Obter a curva de magnetização BH do transformador através dos valores de corrente e tensão obtidos nos enrolamentos primário e secundário, respectivamente.
-  Determinar os valores das forças atuantes na histerese magnética de um transformador de baixa tensão

Propostas

Em trabalhos futuros sugere-se:

- Implementar um processo digital de integração da forma de onda de tensão induzida, a fim de se obter o valor do fluxo que circula pelo núcleo do transformador; este processo foi realizado através de um circuito integrador RC.
- Desenvolver um algoritmo de cálculo de área do laço de histerese interno ao programa, para uma determinação mais ágil da potência perdida neste processo.
- Desenvolvimento de células universais para determinação das perdas em materiais magnéticos de formatos variados, como ferrites e indutores.



NEWTON PAIVA

Compromisso com o conhecimento

TCC

Obrigado.