



Instituto Politécnico do Cávado e do Ave  
Escola Superior de Tecnologia

**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

# Diodos Semicondutores

**Telmo Fernandes 15868**



# Resumo

Este documento tem como objetivo descrever a resolução da primeira parte prática relativa ao tema semicondutores, no âmbito da cadeira Eletrónica I, do curso Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica.

De geral forma este projeto recai sobre três vertentes principais: A resolução dos conceitos teóricos, como cálculos matemáticos e análise de circuitos, a realização de simulações utilizando softwares específicos para a modelagem de circuitos e por fim validação e comparação em contexto real.

As simulações reais permitiram a validação e a análise crítica em laboratório, possibilitando a comparação com as simulações virtuais e os cálculos teóricos. Este processo foi crucial para que fosse desenvolvido uma visão crítica, discutindo as diferenças entre os resultados obtidos nas simulações virtuais e aqueles verificados experimentalmente de forma real.

Durante o trabalho, foram exploradas diversas configurações utilizando elementos semicondutores, neste caso díodos, com foco nas suas características específicas. Este aprofundamento prático complementou e expandiu o conhecimento teórico adquirido nas aulas, evidenciando a importância da prática na consolidação dos conceitos estudados.

Temas gerais abordados:

## **Díodos emissores de luz (LEDs):**

- Polarização direta e as tensões típicas de operação, que variam de acordo com a cor do LED.
- Comparação com díodos retificadores em relação às quedas de tensão e comportamentos.
- Medição e simulações da corrente e tensão em diferentes LEDs (verde, amarelo e vermelho).

**Díodos retificadores:**

- Funcionamento de circuitos retificadores de meia onda e onda completa.
- Retificação de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), comparando simulações com medições reais.

**Díodos limitadores:**

- Uso de díodos em circuitos limitadores para proteger outros componentes, removendo parte do sinal de entrada além de níveis especificados.

**Resposta a diferentes frequências:**

- Análise da resposta de diferentes díodos, como os modelos 1N4007 e 1N4148, quando submetidos a frequências variadas.
- Analise da região PN dos semicondutores.

**Díodos Zener:**

- Aplicação de díodos Zener para estabilização de tensões de saída, utilizando a propriedade de condução inversa após a tensão de ruptura ser atingida.

**Blocos de filtragem:**

- Utilização de condensadores para filtrar correntes contínua pulsantes proveniente de um circuito retificador, visando obter uma corrente contínua mais pura e adequada para alimentar circuitos sensíveis.

**Montagem e análise de circuitos:**

- Tanto a montagem de circuitos de retificação, filtragem e estabilização quanto a comparação entre os resultados simulados e os obtidos em laboratório foram fundamentais para validar a teoria.

# Índice

<i>Resumo .....</i>	<i>iii</i>
<i>Índice.....</i>	<i>v</i>
<i>Índice de Figuras.....</i>	<i>vii</i>
<i>Índice de Tabelas.....</i>	<i>xi</i>
<b>1.1      Enquadramento.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2      Descrição.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3      Tecnologias utilizadas .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1      LEDS.....</b>	<b>3</b>
2.1.1     Realize o circuito de polarização do LED da figura. Registe os valores da corrente e da tensão do LED. Comente os valores face aos valores comuns para díodos retificadores. .....	3
2.1.1.1    Circuito limitador com díodos. ....	18
2.1.1.1.1    Excite o circuito com um sinal sinusoidal com 2V de amplitude e frequência 1kHz. Observe e registe as formas de onda dos sinais de entrada e de saída. ....	19
2.1.1.1.2    Altere a frequência do sinal de entrada de 1kHz ate 100kHz. Verifique e registe o tempo de atraso da resposta dos díodos para 20kHz, 40kHz e 90kHz. ....	20
2.1.1.1.3    Substitua os díodos <b>1N4007</b> por díodos <b>1N4148</b> . Observe e registe as alterações na resposta do circuito. Comente os resultados. ....	25
<b>2.2      Fonte de Alimentação .....</b>	<b>33</b>
2.2.1     Circuito retificador de meia onda .....	34
2.2.1.1    Usando o bloco 1 (transformador) e o bloco 2 (retificador), monte um circuito retificador de meia onda alimentando uma carga RL de 1.2KΩ (figura seguinte). Alimente o circuito, ligando os terminais do primário (230Vef) do transformador à rede. ....	34
2.2.2     Bloco de transformação e retificação.....	43
2.2.2.1    Desligue da rede o circuito anterior. Usando os mesmos elementos, monte agora um circuito retificador de onda completa alimentando também uma carga de 1.2 KΩ. ....	43
2.2.3     Bloco de filtragem .....	48
2.2.3.1    Coloque em paralelo com a carga o condensador de 470 nF. ....	49
2.2.3.2    Substitua o condensador, colocando agora em paralelo com a carga, um condensador superior a 330 μF. ....	50

2.2.3.3 Repita os dois procedimentos anteriores para as seguintes resistências de carga: 330Ω e 6.8Ω.....	52
.....	52
.....	54
2.2.4 Bloco de Estabilização.....	57

# Índice de Figuras

<i>Figura 1 Circuito polarização LED</i>	3
<i>Figura 2 Simulação circuito em Multisim</i>	4
<i>Figura 3 Medição da Tensão Led Verde</i>	5
<i>Figura 4 Medição da queda tensão resistência 330Ω</i>	5
<i>Figura 5 Medição da corrente(mA) no circuito</i>	6
<i>Figura 6 Simulação circuito em Multisim</i>	7
<i>Figura 7 Medição da Tensão Led Amarelo</i>	8
<i>Figura 8 Medição da queda tensão resistência 330Ω</i>	8
<i>Figura 9 Medição da corrente(mA) no circuito</i>	9
<i>Figura 10 Simulação circuito em Multisim</i>	10
<i>Figura 11 Medição da Tensão Led Vermelho</i>	11
<i>Figura 12 Medição da queda tensão resistência 330Ω</i>	11
<i>Figura 13 Medição da corrente(mA) no circuito</i>	12
<i>Figura 14 Simulação circuito em Multisim</i>	13
<i>Figura 15 Medição da Tensão Díodo</i>	14
<i>Figura 16 Medição da queda tensão resistência 330Ω</i>	14
<i>Figura 17 Medição da corrente(mA) no circuito</i>	15
<i>Figura 18 corrente máxima admissível</i>	17
<i>Figura 19 Circuito limitador com Díodos</i>	18
<i>Figura 20 Imagem Ilustrativa do funcionamento circuito</i>	18
<i>Figura 21 Simulação do circuito em Multisim</i>	19
<i>Figura 22 Montagem circuito em contexto real 1N4007</i>	19
<i>Figura 23 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio</i>	20
<i>Figura 24 Simulação circuito Frequência 20Khz</i>	21
<i>Figura 25 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio</i>	21
<i>Figura 26 Simulação circuito Frequência 40Khz</i>	22
<i>Figura 27 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio</i>	23
<i>Figura 28 Simulação circuito Frequência 90Khz</i>	23

<i>Figura 29 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio</i>	24
<i>Figura 30 Montagem circuito em contexto real 1N4148</i>	25
<i>Figura 31 Simulação circuito Frequência 20Khz</i>	26
<i>Figura 32 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio</i>	27
<i>Figura 33 Simulação circuito Frequência 40Khz</i>	27
<i>Figura 34 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio</i>	28
<i>Figura 35 Simulação circuito Frequência 90Khz</i>	29
<i>Figura 36 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio</i>	29
<i>Figura 37 Exemplo dos blocos constituintes fontes lineares</i>	34
<i>Figura 38 Retificador Meia onda</i>	34
<i>Figura 39 Cálculos Matemáticos meia onda</i>	36
<i>Figura 40 Waveform</i>	37
<i>Figura 41 Simulação Circuito meia onda Multisim (AC)</i>	39
<i>Figura 42 Simulação da onda de Entrada vs onda Saída (DC)</i>	39
<i>Figura 43 Valor médio e Sinal de Saída (DC)</i>	40
<i>Figura 44 Sinal Saída (DC) contexto Real</i>	40
<i>Figura 45 Sinal Saída (AC) contexto Real</i>	41
<i>Figura 46 Medição Valor médio</i>	42
<i>Figura 47 Montagem circuito contexto Real</i>	42
<i>Figura 48 Retificadora onda completa</i>	43
<i>Figura 49 Imagem ilustrativa funcionamento sentido das correntes</i>	43
<i>Figura 50 Simulação onda completa Multisim</i>	44
<i>Figura 51 Valor médio e Sinal de Saída (DC)</i>	45
<i>Figura 52 Sinal de Saída contexto Real</i>	45
<i>Figura 53 Cálculos Matemático Onda completa</i>	46
<i>Figura 54 Cálculos Matemático Onda completa</i>	47
<i>Figura 55 Filtragem</i>	48
<i>Figura 56 Simulação Circuito Multisim 470nF 1.2KΩ</i>	49
<i>Figura 57 Sinal Saída contexto Real</i>	49
<i>Figura 58 Simulação Circuito Multisim 330uF 1.2KΩ</i>	50

<i>Figura 59 Valor médio e Sinal de Saída (DC) Contexto Real</i>	50
<i>Figura 60 Sinal Saída contexto Real</i>	51
<i>Figura 61 Simulação Circuito Multisim 470nF 330Ω</i>	52
<i>Figura 62 Valor médio e Sinal de Saída (DC) Contexto Real</i>	52
<i>Figura 63 Sinal Saída contexto Real</i>	53
<i>Figura 64 Simulação Circuito Multisim 470nF 6.8KΩ</i>	53
<i>Figura 65 Sinal Saída contexto Real</i>	54
<i>Figura 66 Simulação Circuito Multisim 470uF 330Ω</i>	54
<i>Figura 67 Sinal Saída contexto Real</i>	55
<i>Figura 68 Simulação Circuito Multisim 470uF 6.8KΩ</i>	55
<i>Figura 69 Valor médio e Sinal de Saída (DC) Contexto Real</i>	56
<i>Figura 70 Sinal Saída contexto Real</i>	56
<i>Figura 71 Bloco Estabilização Díodo Zener</i>	58
<i>Figura 72 Limitação corrente 80mA</i>	58
<i>Figura 73 Valor corrente Real</i>	59
<i>Figura 74 R Equivalente</i>	59
<i>Figura 75 Valor de Saída com respetivo valor médio</i>	60
<i>Figura 76 Valor de Saída com respetivo valor médio</i>	60
<i>Figura 77 Valor de Saída com respetivo valor médio</i>	61
<i>Figura 78 Valor de Saída com respetivo valor médio</i>	61
<i>Figura 79 Figura 80 Valor de Saída com respetivo valor médio</i>	62
<i>Figura 81 Figura 82 Valor de Saída com respetivo valor médio</i>	62



# Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 Valores Simulação</i>	20
<i>Tabela 2 Valores medidos em contexto real</i>	21
<i>Tabela 3 Valores de simulação</i>	22
<i>Tabela 4 Valores medidos em contexto real</i>	22
<i>Tabela 5 Valores de simulação</i>	23
<i>Tabela 6 Valores medidos em contexto real</i>	24
<i>Tabela 7 Valores de simulação</i>	26
<i>Tabela 8 Valores medidos em contexto real</i>	26
<i>Tabela 9 Valores de simulação</i>	27
<i>Tabela 10 Valores medidos em contexto real</i>	28
<i>Tabela 11 Valores de simulação</i>	28
<i>Tabela 12 Valores medidos em contexto real</i>	29

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

Este documento apresenta todas as atividades realizadas durante o primeiro desafio prático da disciplina de Eletrónica I, parte integrante do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. O trabalho descrito foca-se na análise de circuitos que envolvem diferentes características dos díodos, elementos semicondutores.

Ao longo da prática, foram analisadas diversas montagens com o uso de díodos, incentivando os alunos do grupo a realizar análises críticas, promovendo assim uma compreensão mais aprofundada do funcionamento destes dispositivos semicondutores.

## 1.2 Descrição

O objetivo principal deste trabalho prático, como referido anteriormente, foi proporcionar uma compreensão mais aprofundada dos semicondutores díodos, tanto em termos teóricos como práticos. Para isso, foi necessário um estudo minucioso de diversas especificações destes dispositivos, tais como as quedas de tensão associadas, comportamento dos díodos quando sujeitos a diferentes tipos de sinais de entrada, ondas sinusoides, ondas quadradas e triangulares, estudo das respostas quando sujeitos a diferentes frequências de entrada.

Entre os conceitos teóricos mais relevantes aplicados durante o trabalho, foram aplicados métodos como, Lei de Ohm, utilizada para o cálculo e dimensionamento adequado dos componentes nos circuitos, 1<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff, 2<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff fundamentais para a análise das correntes e tensões nos diferentes pontos dos circuitos.

Consulta de dados técnicos fornecidos pelos fabricantes (datasheets), permitindo aos alunos escolher corretamente os díodos a utilizar, garantindo que as suas especificações técnicas eram respeitadas e, assim, prevenindo danos ao componente durante os ensaios.

Além disso, o trabalho incluiu a realização de simulações em softwares especializados, como o Multisim e o LTSpice, que permitiram replicar as condições reais dos circuitos e comparar os resultados experimentais com as previsões teóricas.

### **1.3 Tecnologias utilizadas**

As tecnologias utilizadas neste trabalho prático incluíram principalmente softwares de simulação para modelar e analisar os circuitos virtualmente. Esses softwares ajudaram a fornecer uma base de referência e comparação para as atividades práticas realizadas em laboratório.

Na parte prática, foram usados diversos equipamentos, como placas de montagem (breadboards) para interligar os circuitos, multímetros digitais, osciloscópio para observar sinais e formas de onda, gerador de frequências para fornecer sinais de entrada variados. Essas ferramentas foram essenciais para testar e validar os resultados das simulações.

## 2 Descrição Técnica

### 2.1 LEDs

Os diodos emissores de luz, ou LEDs, são dispositivos que emitem luz quando são polarizados diretamente, produzindo uma cor específica de acordo com o comprimento de onda da luz emitida. A tensão direta nos terminais de um LED é de uma maneira geral entre os 1.8V e 3.6V dependendo da cor do mesmo e sendo que estes operam eficientemente com correntes que variam entre 5mA e 20 mA nas maiorias dos casos. No entanto, os LEDs são sensíveis à tensão de polarização reversa e não suportam valores elevados; Valores de tensão reversos aplicados acima de 5V podem danificar o dispositivo dependendo dos casos e da corrente a que estes mesmos são sujeitos.

**2.1.1** Realize o circuito de polarização do LED da figura. Registe os valores da corrente e da tensão do LED. Comente os valores face aos valores comuns para díodos retificadores.

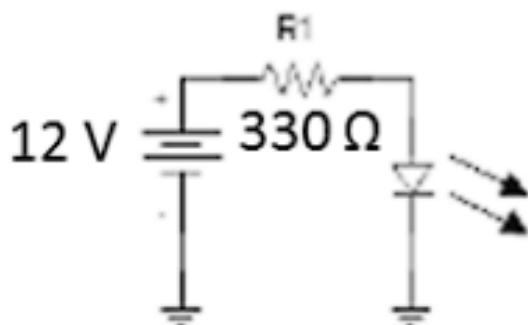


Figura 1 Circuito polarização LED

## Led Verde

- Cálculos Teóricos

$$(I)_{LedVerde} = \frac{VE - V_{led}}{R_{lim}} = \frac{12V - 2.1V}{330\Omega} = 0.030A (30mA)$$

$$Ur = R \times I = 330 \times 0.030 = 9.9V$$

$$Pr = U \times I = 9.9 \times 0.030 = 0.297 \text{ Watts}$$

$$U_{led} = 12 - 9.9 = 2.1V$$

- Simulação do circuito polarização Led Verde

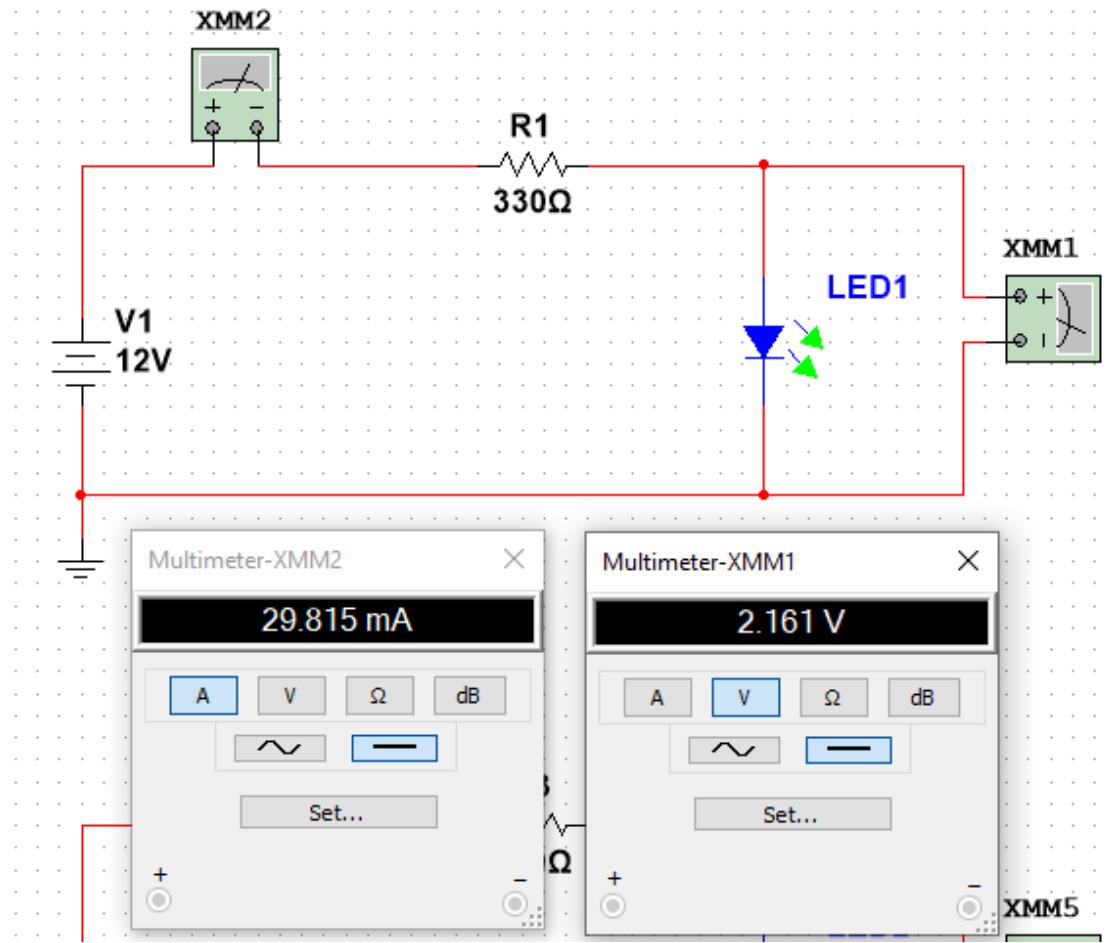


Figura 2 Simulação circuito em Multisim

### Medição e simulação em contexto real circuito polarização Led Verde

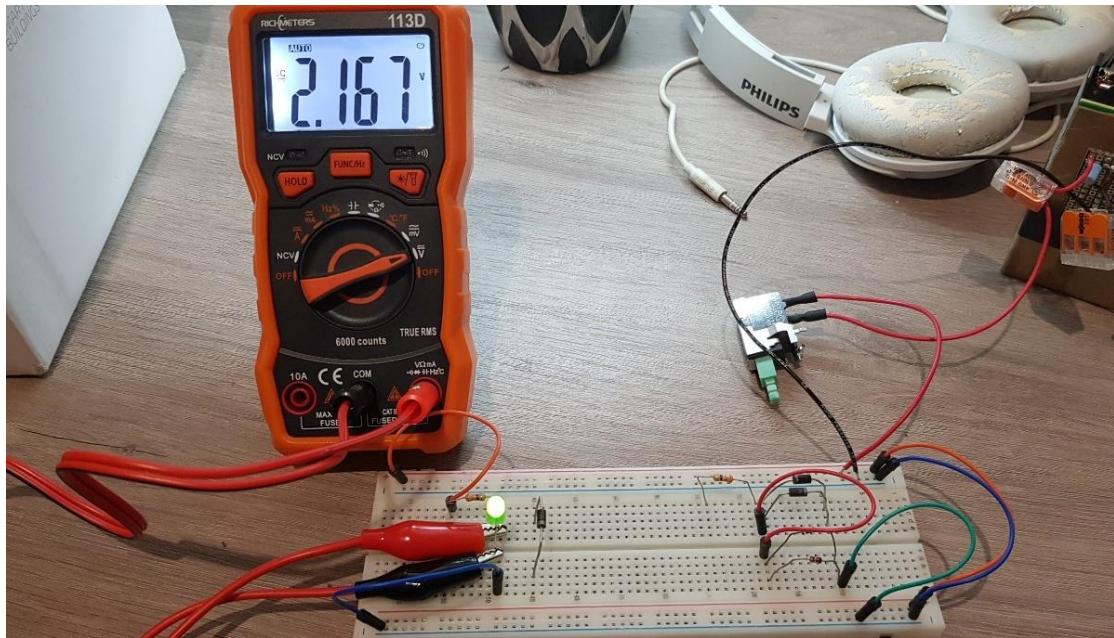


Figura 3 Medição da Tensão Led Verde

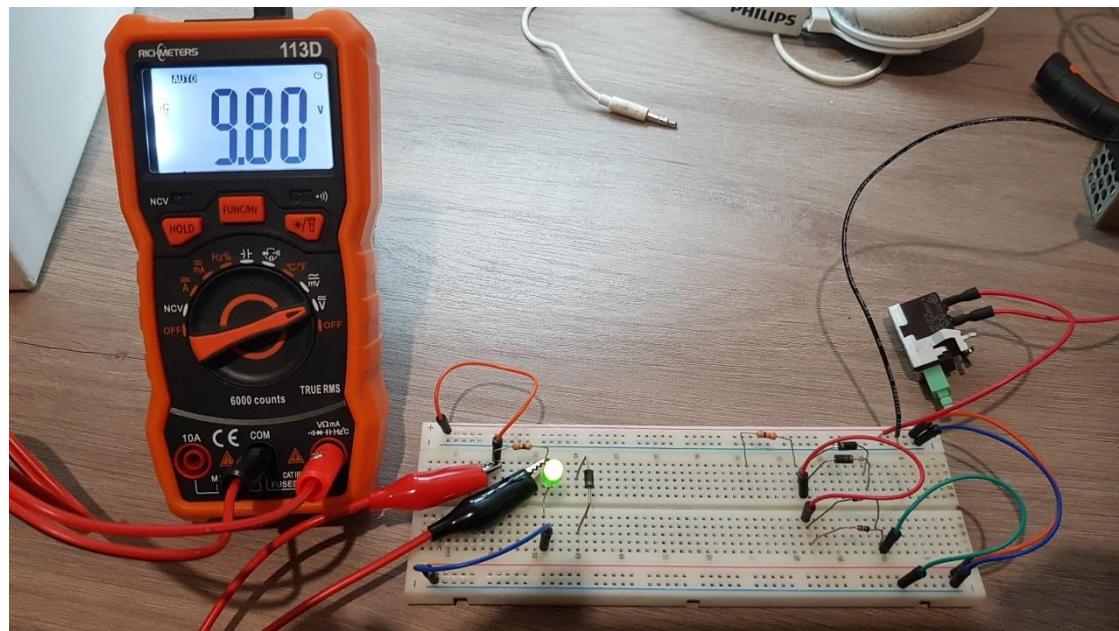


Figura 4 Medição da queda tensão resistência 330Ω

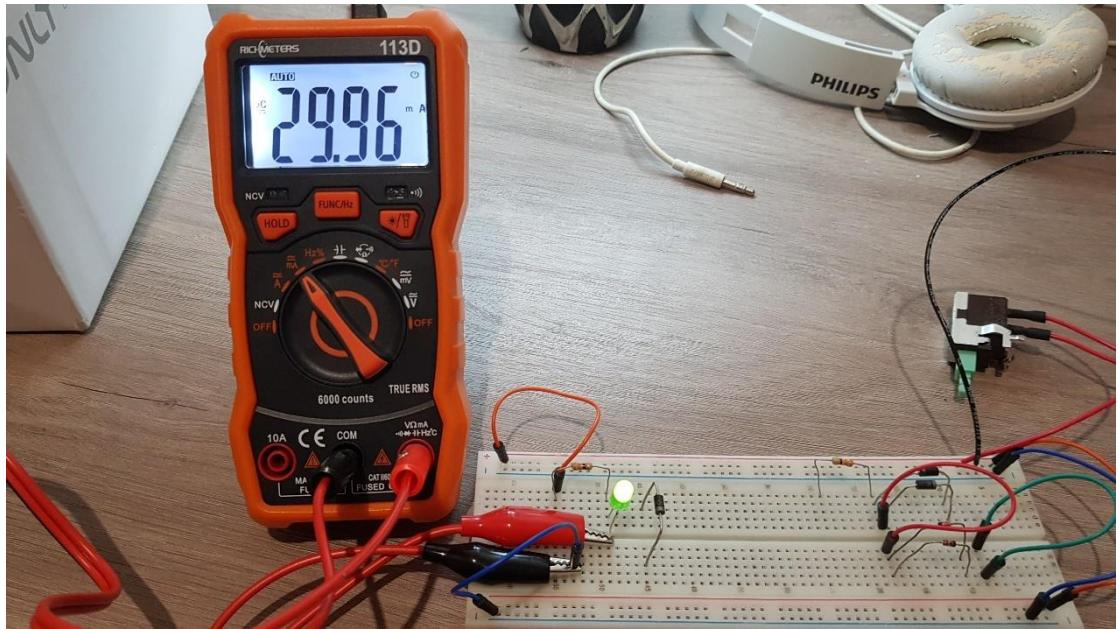


Figura 5 Medição da corrente(mA) no circuito

## 1. Led Amarelo

- Cálculos Teóricos

$$(I)_{LedAmarelo} = \frac{VE - Vled}{R_{lim}} = \frac{12V - 1.8V}{330\Omega} = 0.031A (31mA)$$

$$Ur = R \times I = 330 \times 0.031 = 10.2V$$

$$Pr = U \times I = 10.2 \times 0.031 = 0.316 \text{ Watts}$$

$$U_{led} = 12 - 10.2 = 1.8V$$

- Simulação do circuito polarização Led Amarelo

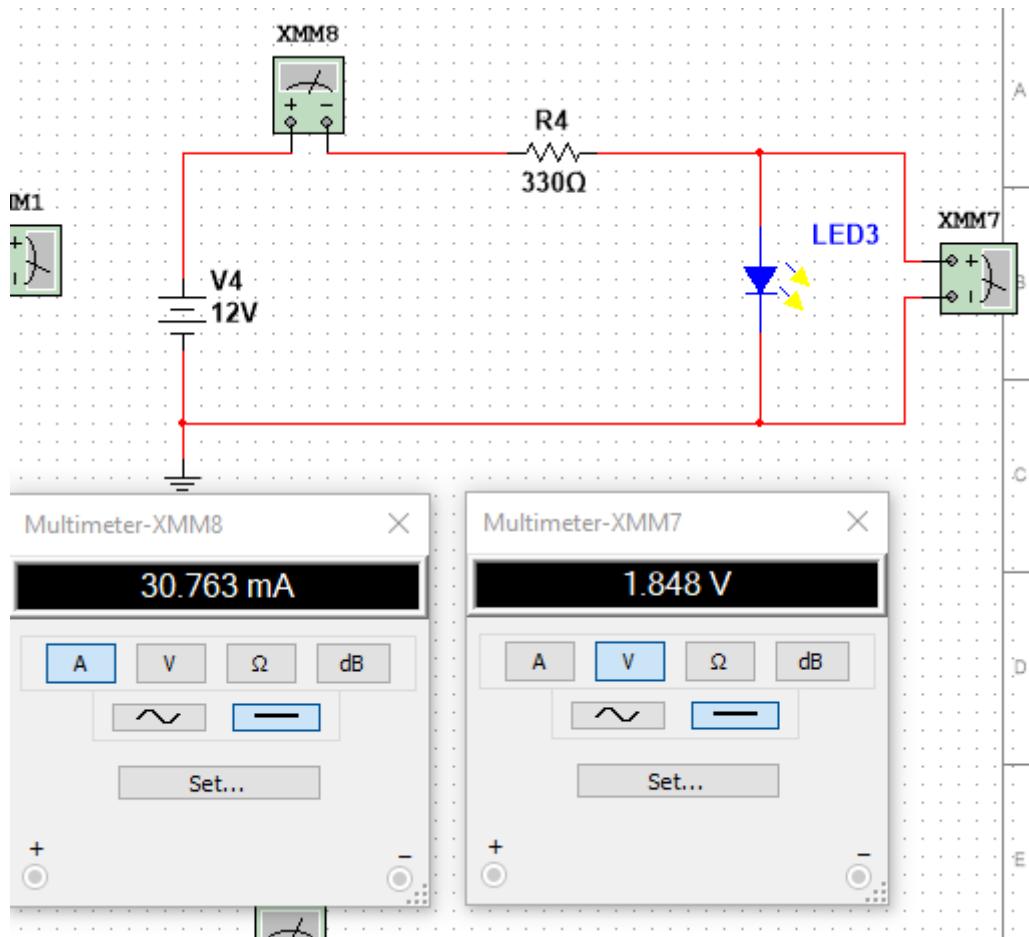


Figura 6 Simulação circuito em Multisim

### Medição e simulação em contexto real circuito polarização Led Amarelo

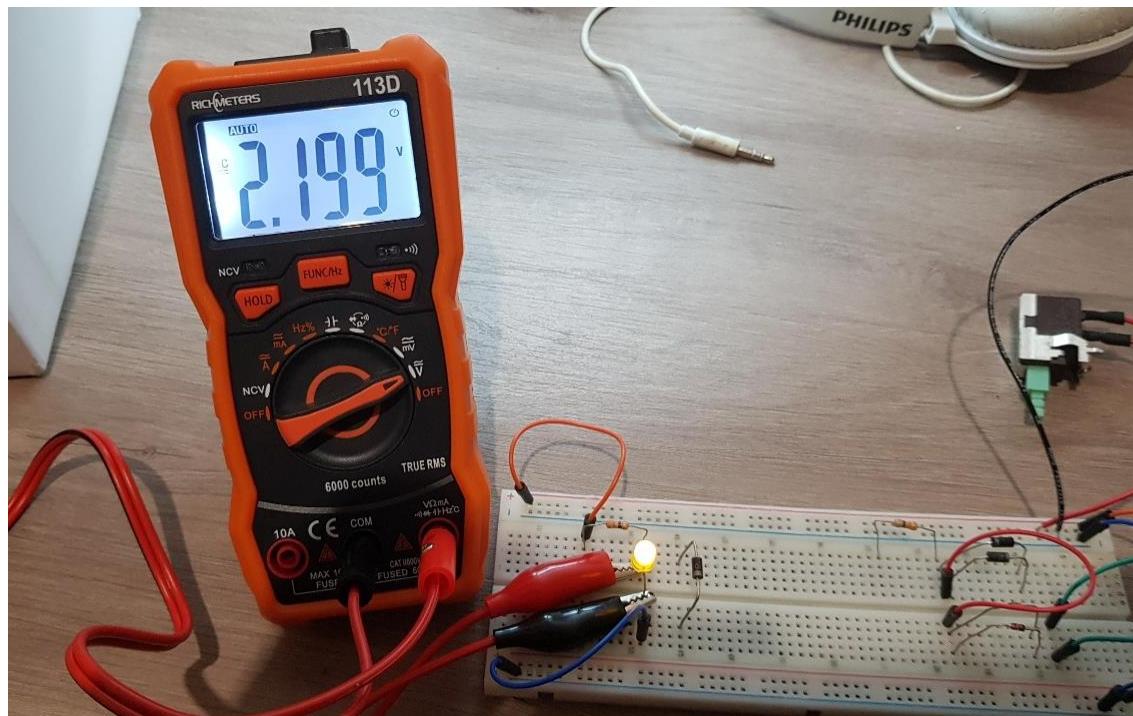


Figura 7 Medição da Tensão Led Amarelo

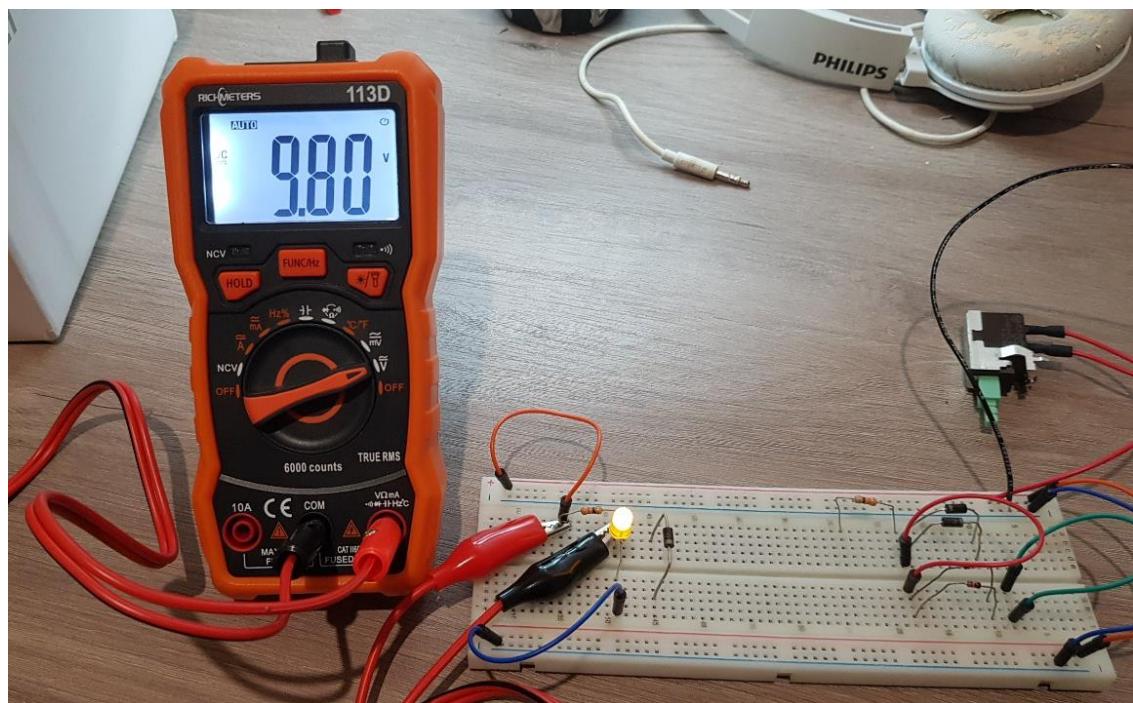


Figura 8 Medição da queda tensão resistência 330Ω

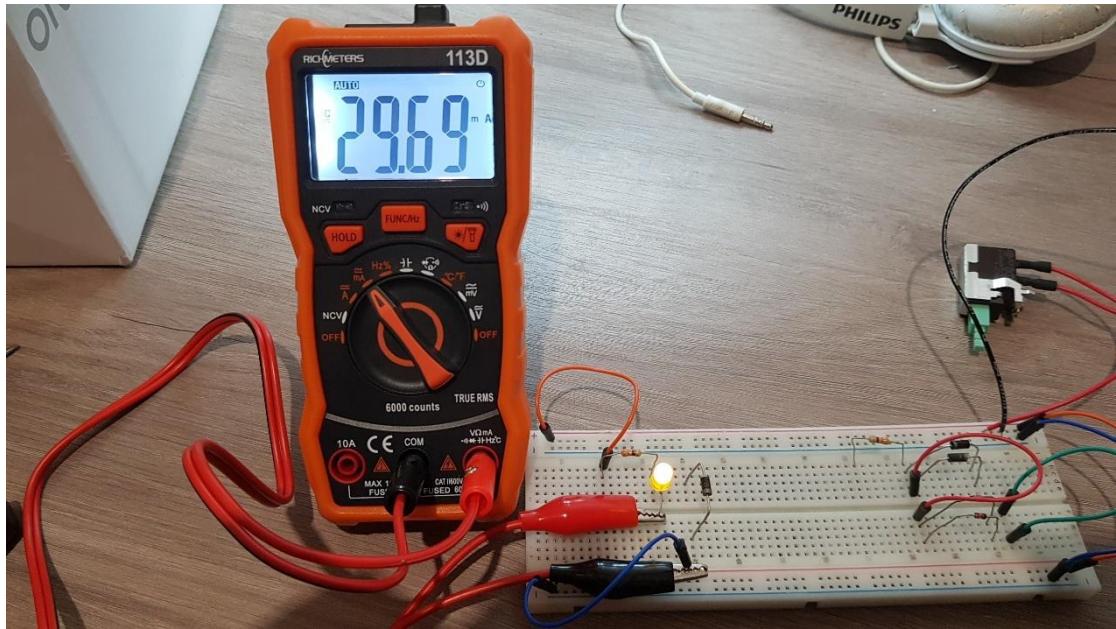


Figura 9 Medição da corrente(mA) no circuito

## 2. Led Vermelho

- **(Cálculos Matemáticos)**

$$(I)_{LedVermelho} = \frac{VE - Vled}{R_{lim}} = \frac{12V - 1.8V}{330\Omega} = 0.031A (31mA)$$

$$Ur = R \times I = 330 \times 0.031 = 10.2V$$

$$Pr = U \times I = 10.2 \times 0.031 = 0.316 Watts$$

$$U_{led} = 12 - 10.2 = 1.8V$$

- **Simulação do circuito polarização Led Vermelho**

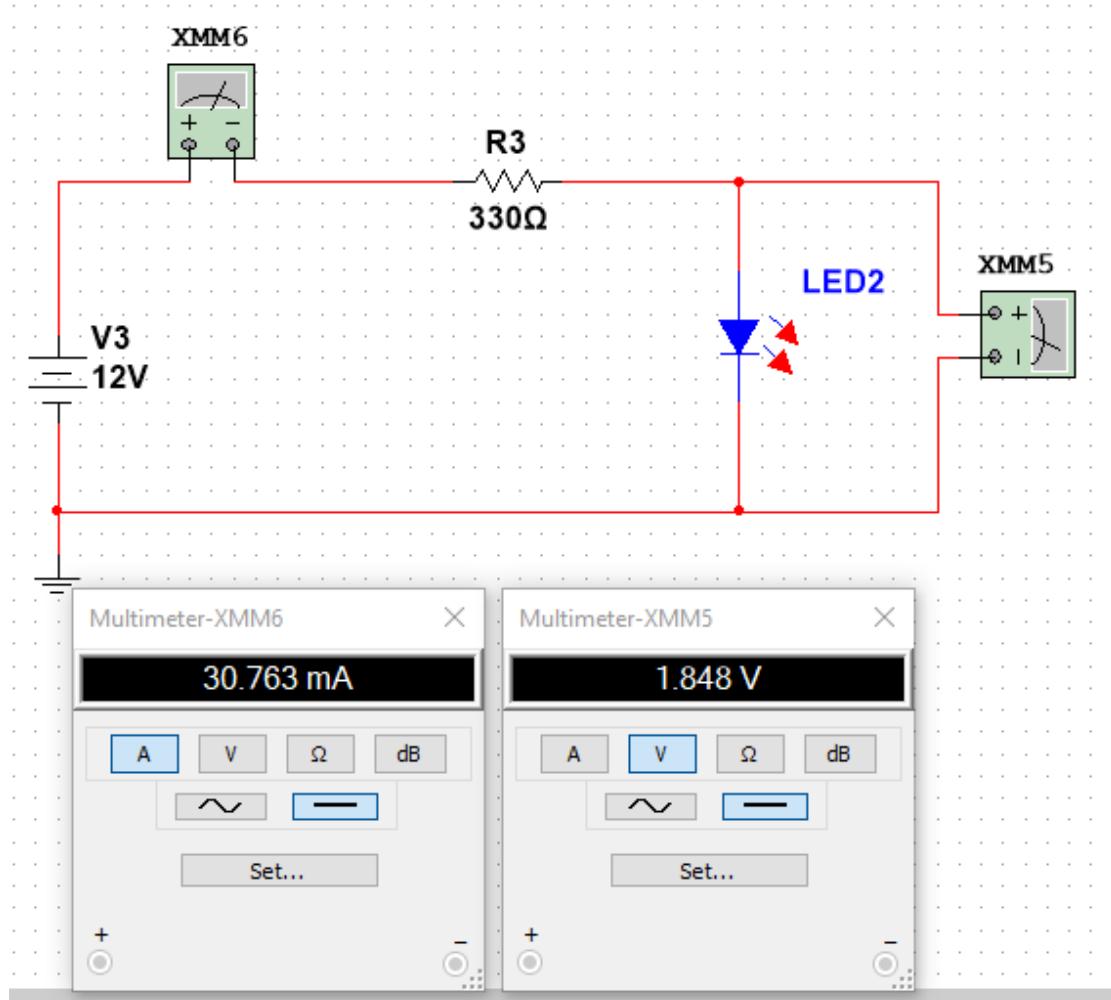


Figura 10 Simulação circuito em Multisim

### Medição e simulação em contexto real circuito polarização Led Amarelo

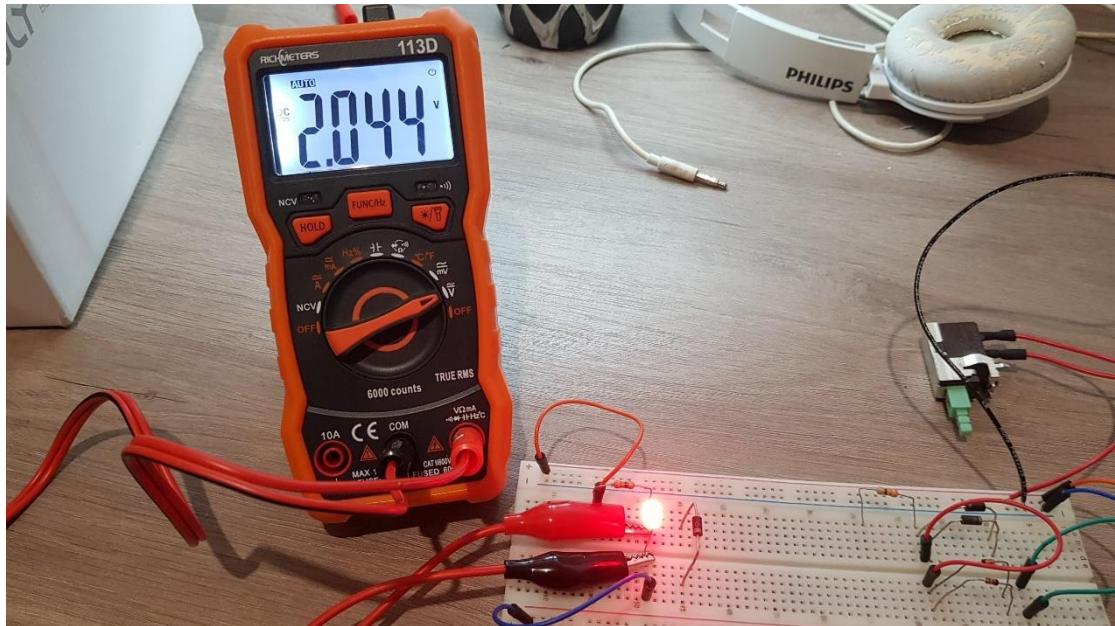


Figura 11 Medição da Tensão Led Vermelho

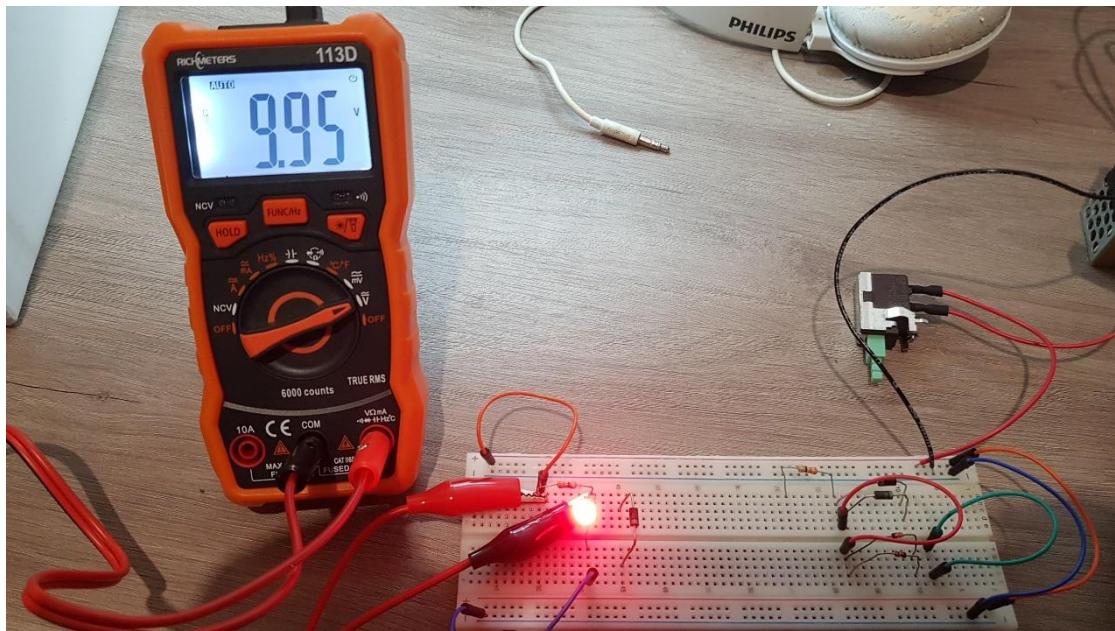


Figura 12 Medição da queda tensão resistência  $330\Omega$

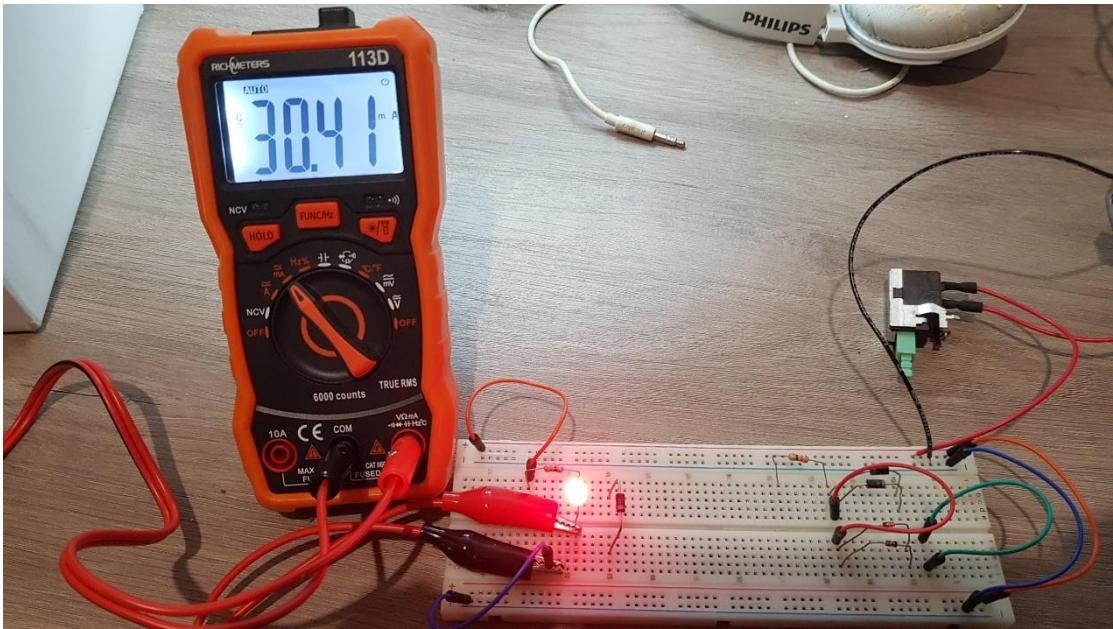


Figura 13 Medição da corrente(mA) no circuito

### 3. Díodo

- (Cálculos Matemáticos)

$$(I)_{diodo} = \frac{VE - V_{diodo}}{R_{lim}} = \frac{12V - 0.7V}{330\Omega} = 0.0342A (34.2mA)$$

$$Ur = R \times I = 330 \times 0.0342 = 11.286V$$

$$Pr = U \times I = 11.286 \times 0.0342 = 0.386 \text{ Watts}$$

$$U_{diodo} = 12 - 11.286 = 0.714V$$

- Simulação do circuito polarização Díodo

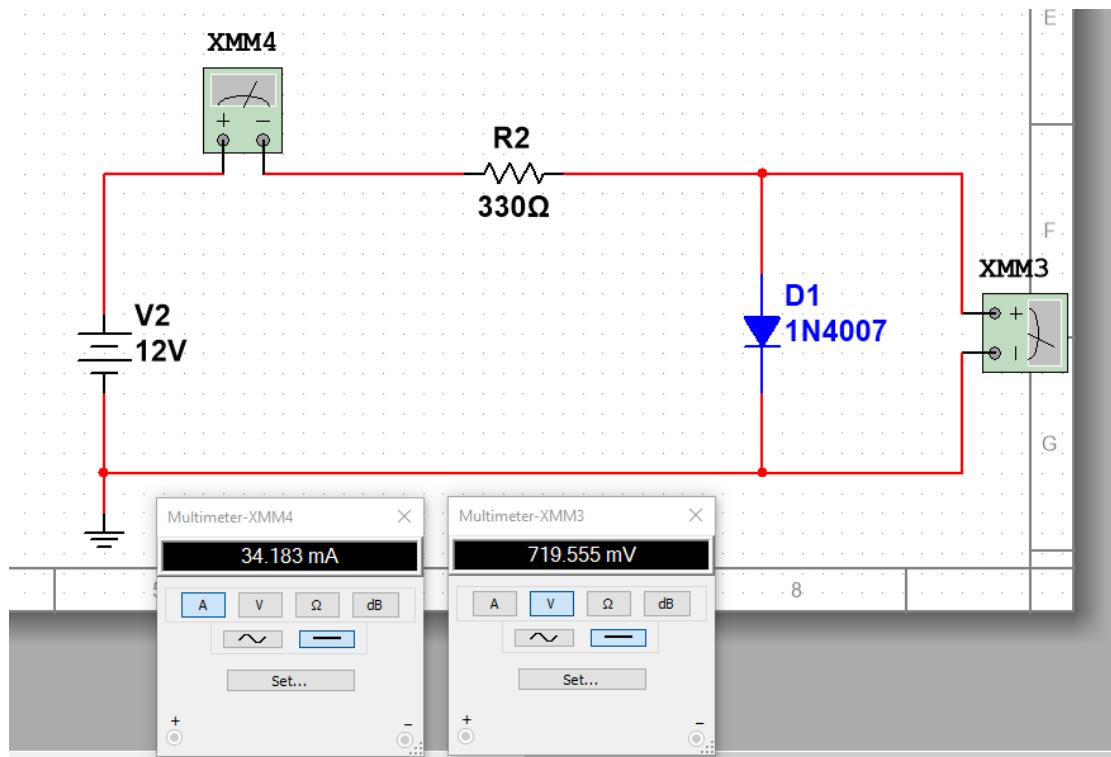


Figura 14 Simulação circuito em Multisim

### Medição e simulação em contexto real circuito Díodo

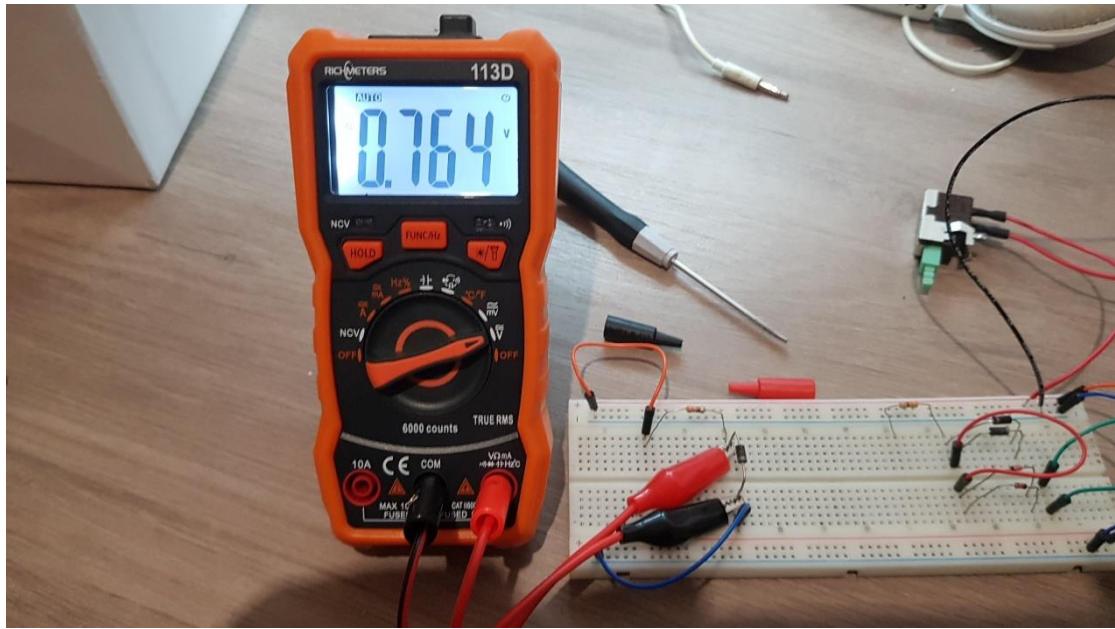


Figura 15 Medição da Tensão Díodo



Figura 16 Medição da queda tensão resistência  $330\Omega$

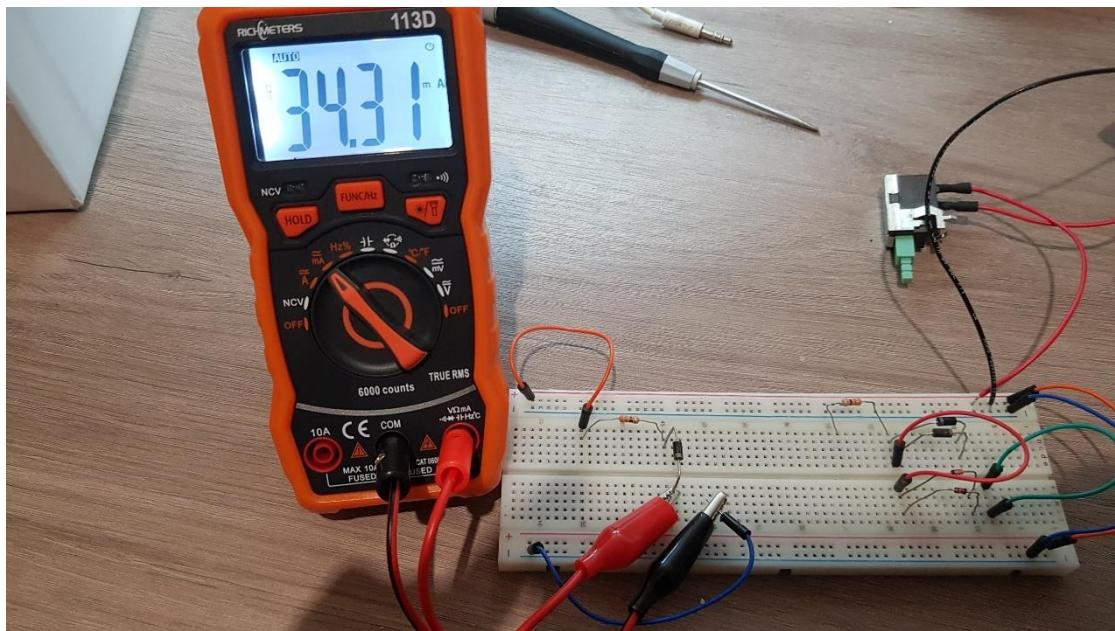


Figura 17 Medição da corrente(mA) no circuito

**Observações:**

Pelos cálculos matemáticos podemos constatar que as tensões nos LEDS são superiores as tensões no diodo, nos leds tipicamente temos faixas de tensões na ordem dos 1.5V até 3.8V dependendo da cor e da intensidade dos mesmos, já nos díodos dependendo do tipo temos quedas de tensão tipicamente de aproximadamente 0.7V no caso dos de Silício, e no caso do silício 0.3V Germânio.

- Os LEDs emitem luz quando a corrente flui através deles, enquanto os díodos permitem que a corrente flua em uma direção e não emitem luz.
- Os LEDs são mais eficientes em termos de energia do que os díodos tradicionais, pois convertem energia elétrica diretamente em luz sem geração significativa de muito calor.
- Os LEDs estão disponíveis em várias cores e intensidades, enquanto os díodos são normalmente incolores e não possuem diversos níveis de intensidade.

Tendo em conta todos estes factos é normal que estes semicondutores tenham comportamento diferentes aplicados ao mesmo tipo de circuito, variações que se venham a refletir por exemplo em quedas de tensões, corrente nominais, potências entre outros como verificado anteriormente.

Além disso, foi observado que, no circuito, a resistência de  $330\Omega$  é relativamente baixa. Como não houve acesso ao modelo em específico de cada LED, foram usadas as características de um LED padrão para análise. As correntes e a tensão resultantes podem causar uma dissipação de potência significativa no LED e assim sendo uma tensão excessiva pode fazer com que uma alta corrente passe pelo LED, levando ao superaquecimento e à falha potencial. Isso pode resultar em problemas como aumento do aquecimento, redução da durabilidade e possíveis danos ao componente, caso a dissipação de potência exceda as especificações recomendadas.

**Absolute Maximum Ratings at  $T_a = 25^\circ\text{C}$** 

Parameter	Maximum	Unit
Power Dissipation	80	mW
Peak Forward Current (1/10 Duty Cycle, 0.1 ms Pulse Width)	100	mA
Continuous Forward Current	20	
Derating Linear From 50°C	0.4	mA / °C
Reverse Voltage	5	V
Operating Temperature Range	-25°C to +80°C	
Storage Temperature Range	-40°C to +100°C	
Lead Soldering Temperature (4 mm (0.157) Inches from Body)	260°C for 5 s	

*Figura 18 Corrente máxima admissível LED standard*

### 2.1.1 Circuito limitador com díodos.

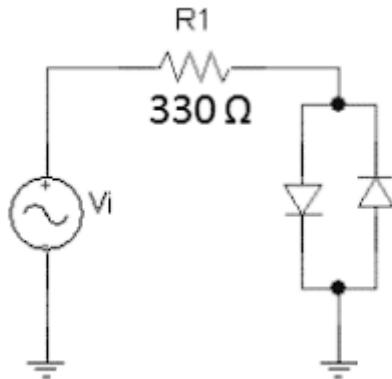


Figura 19 Circuito limitador com Díodos

Os circuitos limitadores são utilizados para remover parte do sinal de entrada acima ou abaixo de um nível especificado. Poderá ser utilizado para proteção de circuitos ou na formação de um sinal de entrada. Nestes circuitos são utilizados díodos para pequenos sinais.

Em jeito de funcionamento temos que quando é aplicado uma sinusoide como sinal de entrada, o díodo da esquerda(D1) representado na imagem limitada o semicírculo positivo da forma de onda de entrada senoidal, enquanto o díodo da direita(D2) limitada o semicírculo negativo da forma de onda de entrada senoidal.

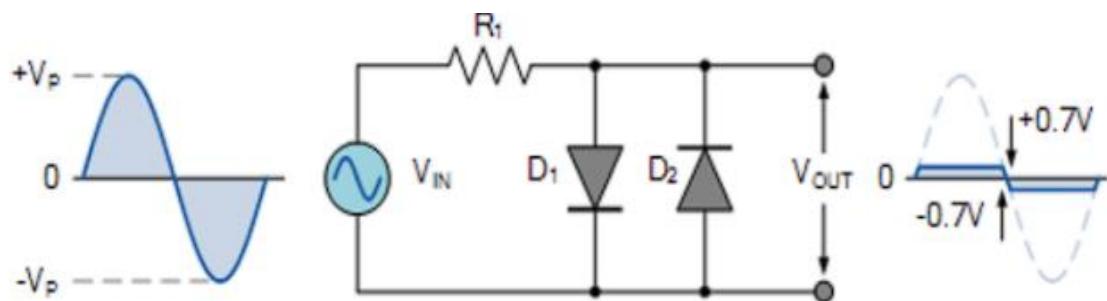


Figura 20 Imagem Ilustrativa do funcionamento circuito

2.1.1.1 Excite o circuito com um sinal sinusoidal com 2V de amplitude e frequência 1kHz. Observe e registe as formas de onda dos sinais de entrada e de saída.

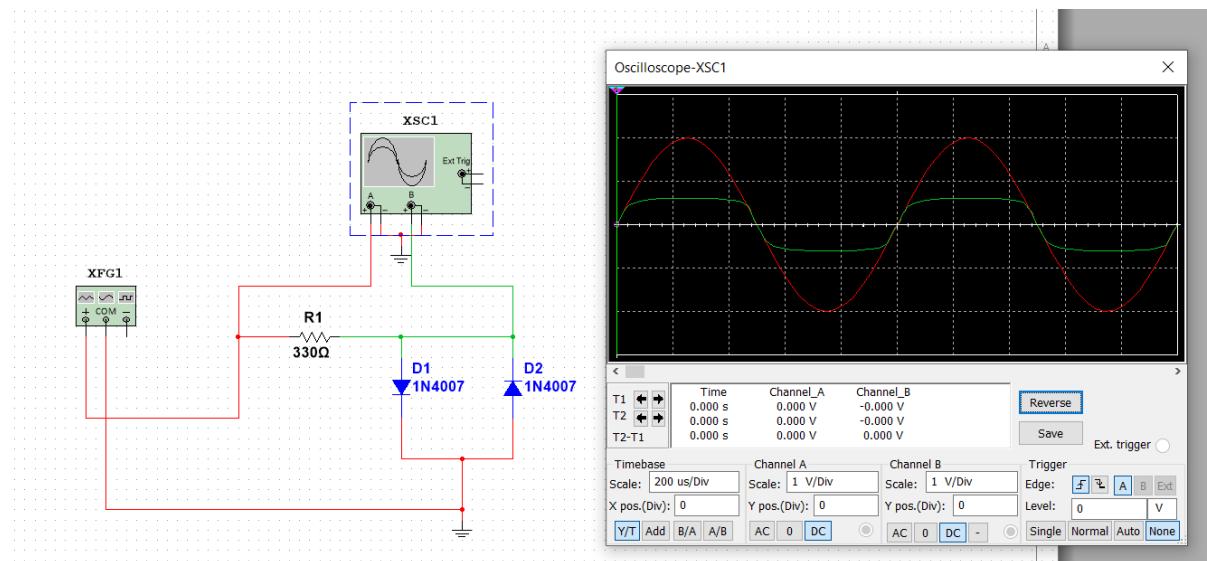


Figura 21 Simulação do circuito em Multisim

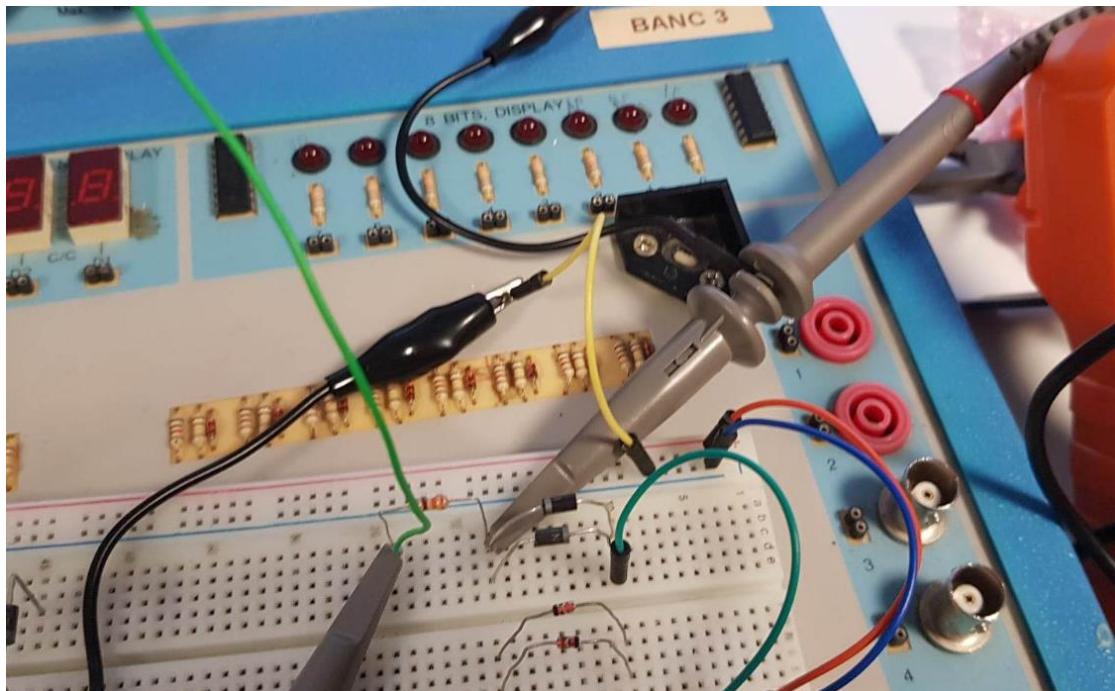


Figura 22 Montagem circuito em contexto real 1N4007



Figura 23 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio

2.1.1.2 Altere a frequência do sinal de entrada de 1kHz até 100kHz. Verifique e registe o tempo de atraso da resposta dos díodos para 20kHz, 40kHz e 90kHz.

### 20Khz

Tabela 1 Valores Simulação

#### **Simulação 20Khz**

Período(s)	1N4007	Tempo(s)	Tempo(us)
0,00005	Vin (0V)	0,000025	25
	Vout (0V)	0,00002883	28,83
	$\Delta t$	0,00000383	3,83
	Desfasamento	<b>27,576 Graus</b>	

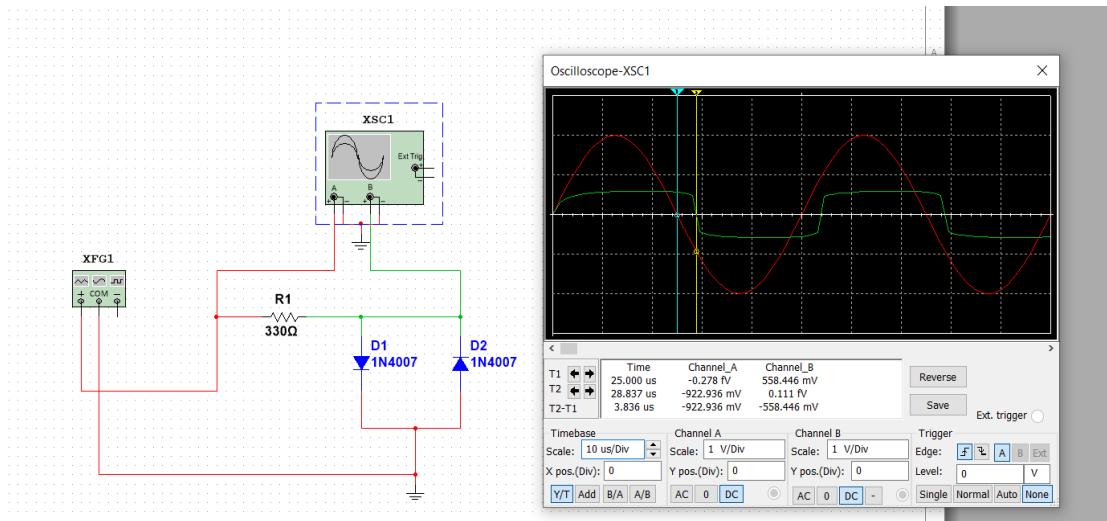


Figura 24 Simulação circuito Frequência 20Khz

Tabela 2 Valores medidos em contexto real

**Em Aula****20Khz**

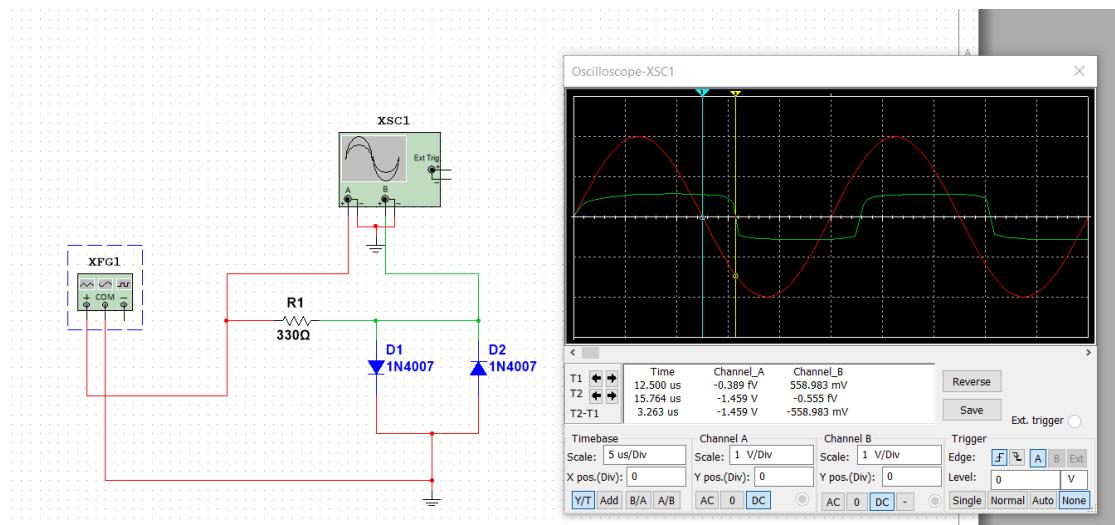
	Período(s)	1N4007	Tempo(s)	Tempo(us)
	0,00005	Vin (0V)	-0,0000001	-0,1
		Vout (0V)	0,0000033	3,3
		Δt	0,0000034	3,4
		Desfasamento	<b>24,48 Graus</b>	



Figura 25 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio

**40Khz****Simulação 40Khz**

Periodo(s)	1N4007	Tempo(s)	Tempo(us)
0,000025	Vin (0V)	0,0000125	12,5
	Vout (0V)	0,00001576	15,76
	$\Delta t$	0,00000326	3,26
	Desfasamento	<b>46,944 Graus</b>	

*Tabela 3 Valores de simulação**Figura 26 Simulação circuito Frequência 40Khz***Em Aula 40Khz**

Periodo(s)	1N4007	Tempo(s)	Tempo(us)
0,000025	Vin (0V)	0,0000001	0,1
	Vout (0V)	0,0000024	2,4
	$\Delta t$	0,0000023	2,3
	Desfasamento	<b>33,12 Graus</b>	

*Tabela 4 Valores medidos em contexto real*

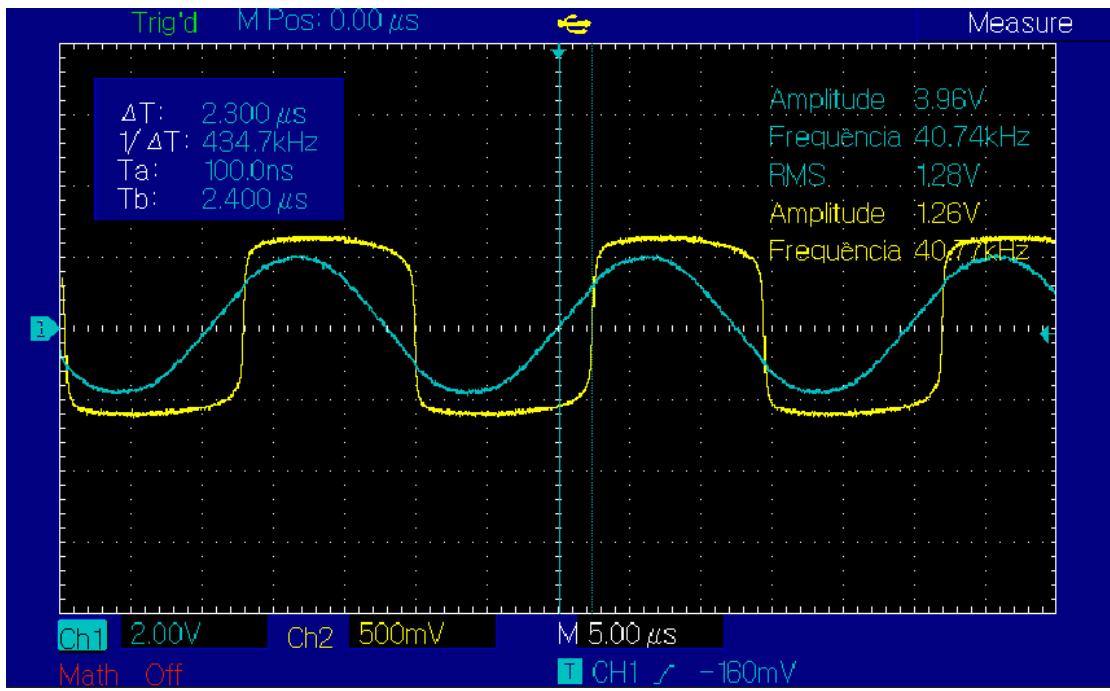


Figura 27 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio

90Khz

Simulação	90Khz	1N4007	Tempo(s)	Tempo(μs)
Período(s)		Vin (0V)	0,00000555	5,55
0,0000111		Vout (0V)	0,00000748	7,48
		$\Delta t$	0,00000193	1,93
		Desfasamento	<b>62,532 Graus</b>	

Tabela 5 Valores de simulação

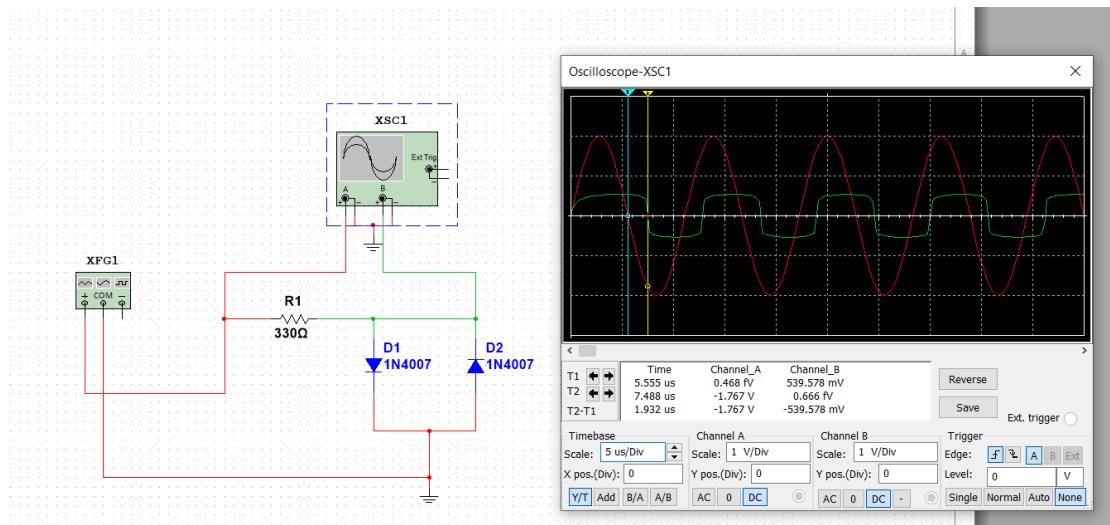


Figura 28 Simulação circuito Frequência 90Khz

<b>Em Aula</b>	<b>90Khz</b>	<b>1N4007</b>	<b>Tempo(s)</b>	<b>Tempo(us)</b>
	Periodo(s)	Vin (0V)	-0,00000004	-0,04
	0,0000111	Vout (0V)	0,0000012	1,2
		$\Delta t$	0,00000124	1,24
		Desfasamento	<b>40,176 Graus</b>	

Tabela 6 Valores medidas em contexto real

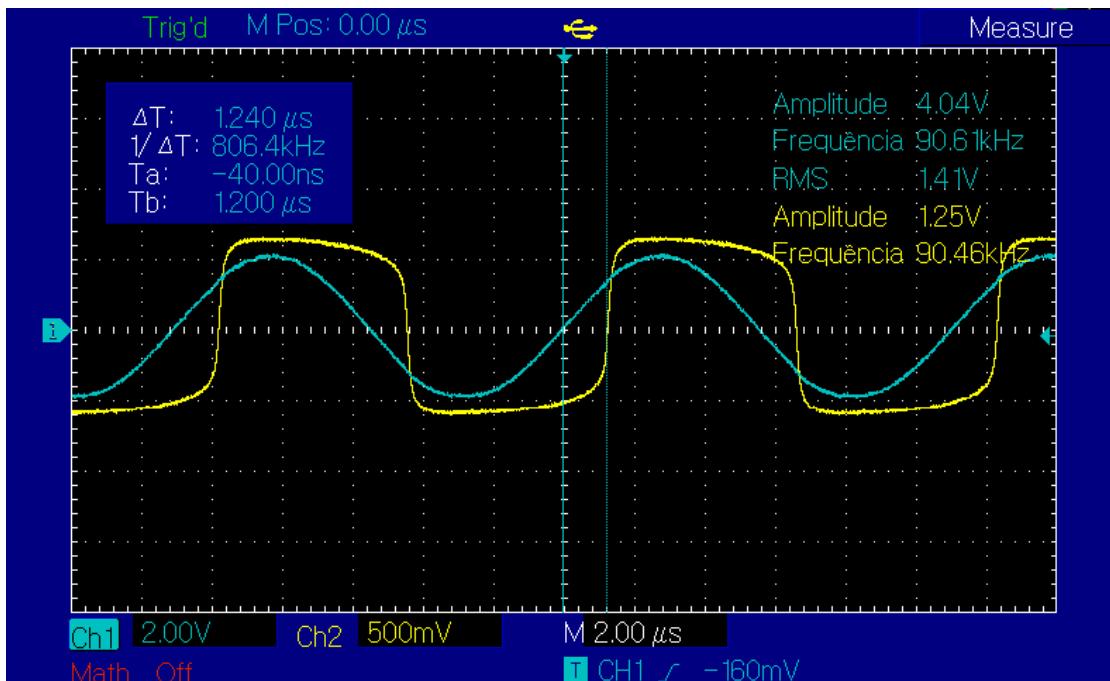


Figura 29 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio

2.1.1.3 Substitua os díodos **1N4007** por díodos **1N4148**. Observe e registe as alterações na resposta do circuito. Comente os resultados.

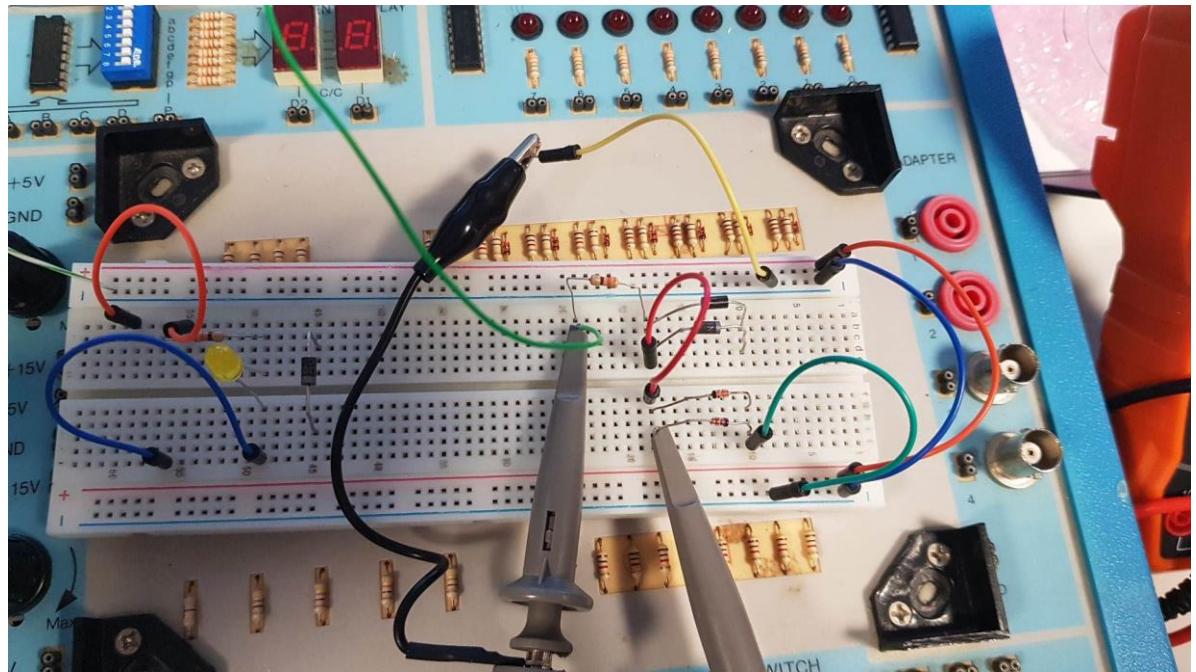
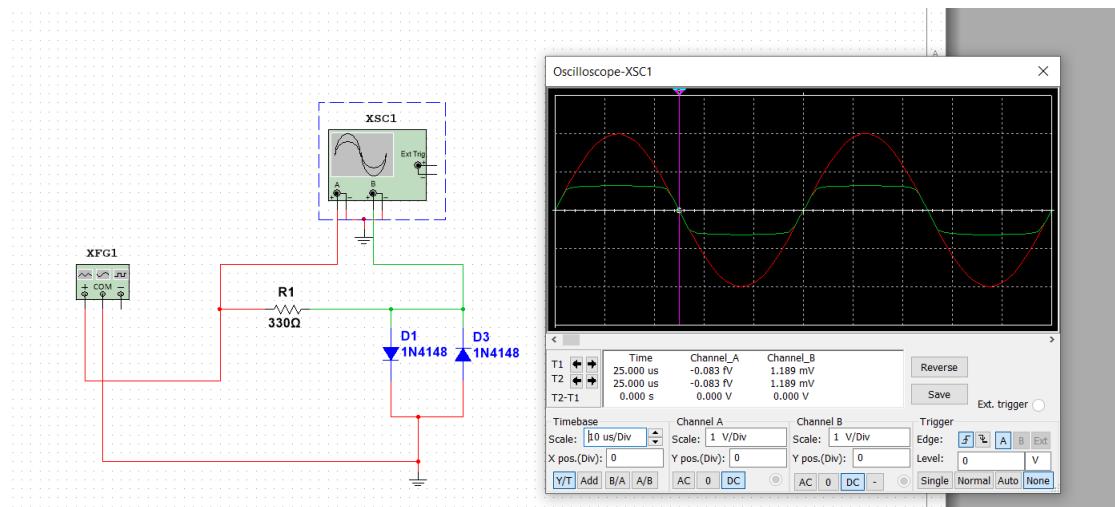


Figura 30 Montagem circuito em contexto real 1N4148

**20Khz**

<b>Simulação</b>	<b>20Khz</b>	<b>1N4007</b>	<b>Tempo(s)</b>	<b>Tempo(us)</b>
Período(s)		Vin (0V)	0,000025	25
0,0000500		Vout (0V)	0,000025	25
		$\Delta t$	0	0
		Desfasamento	<b>0</b>	

*Tabela 7 Valores de simulação**Figura 31 Simulação circuito Frequência 20Khz*

<b>Em Aula</b>	<b>20Khz</b>	<b>1N4007</b>	<b>Tempo(s)</b>	<b>Tempo(us)</b>
Período(s)		Vin (0V)	-0,0000001	-0,1
0,0000500		Vout (0V)	-0,0000001	-0,1
		$\Delta t$	0	0
		Desfasamento	<b>0</b>	

*Tabela 8 Valores medidos em contexto real*

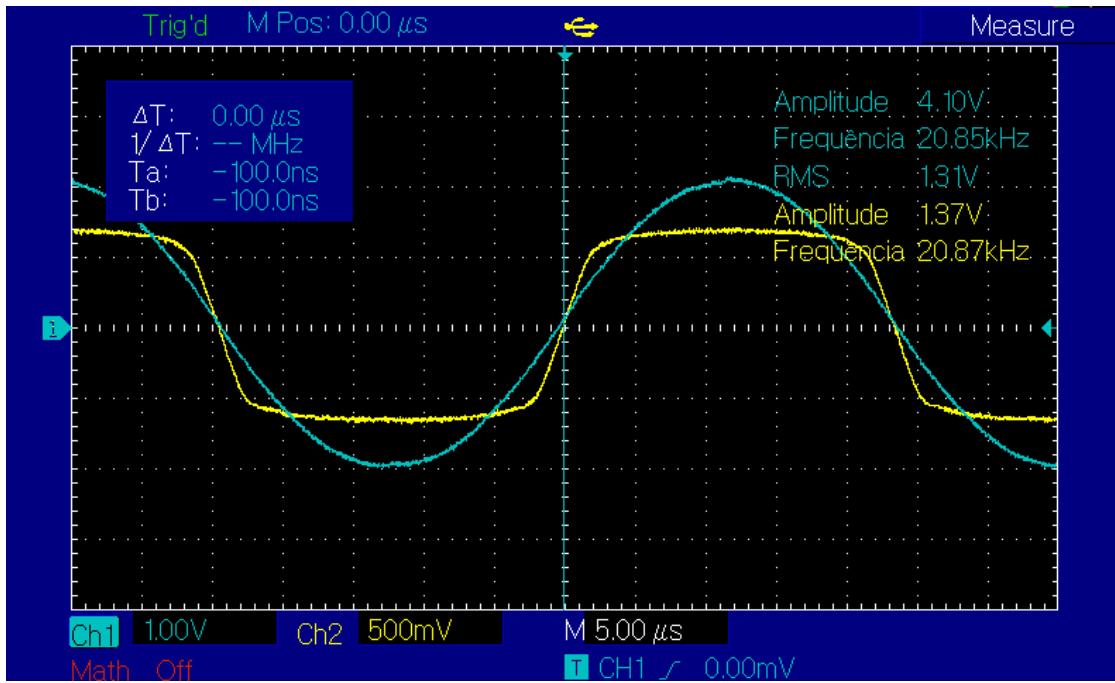


Figura 32 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio

40Khz

Simulação	40Khz	1N4007	Tempo(s)	Tempo(us)
	Período(s)	Vin (0V)	0,0000125	12,5
	0,0000250	Vout (0V)	0,0000125	12,5
		Δt		0
		Desfasamento		0

Tabela 9 Valores de simulação

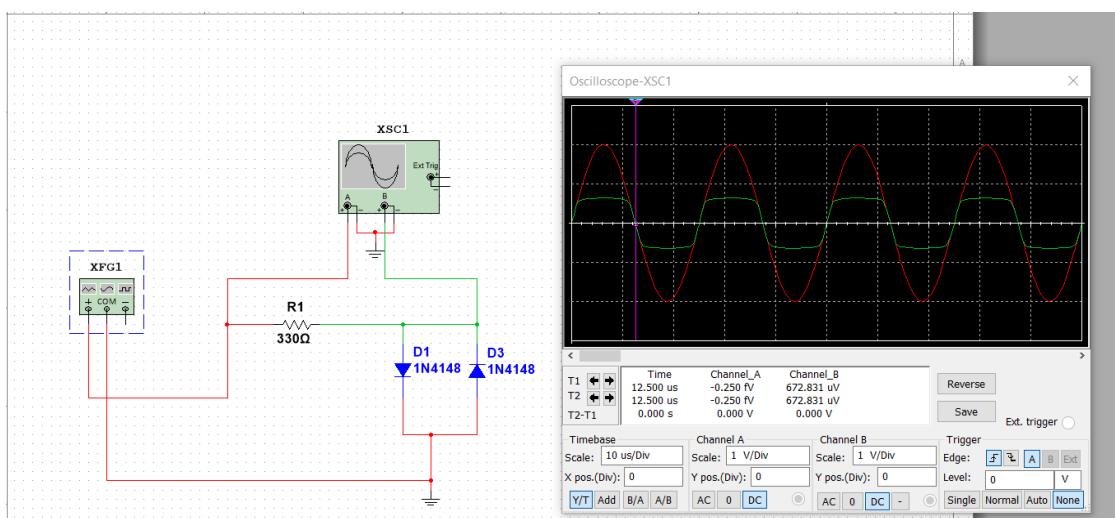


Figura 33 Simulação circuito Frequência 40Khz

<b>Em Aula</b>	<b>40Khz</b>	<b>1N4007</b>	<b>Tempo(s)</b>	<b>Tempo(us)</b>
	Período(s)	Vin (0V)	-0,00000001	-0,1
	0,0000250	Vout (0V)	-0,00000001	-0,1
		$\Delta t$	0	0
		Desfasamento	<b>0</b>	

Tabela 10 Valores medidos em contexto real

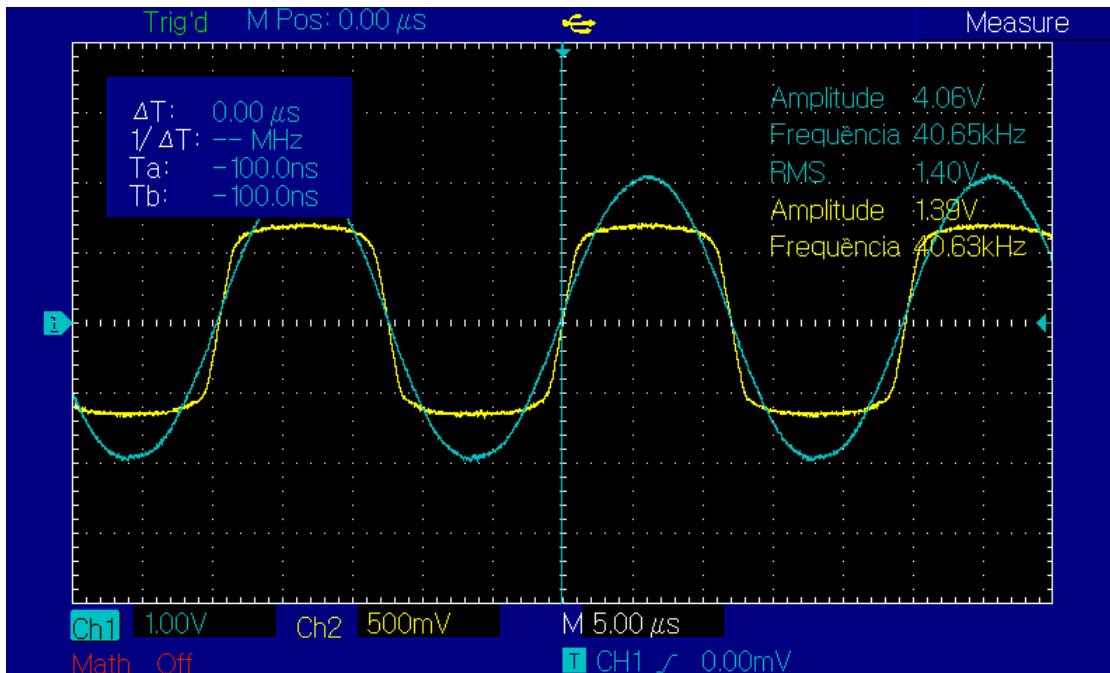


Figura 34 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio

**90Khz**

<b>Simulação</b>	<b>90Khz</b>	<b>1N4007</b>	<b>Tempo(s)</b>	<b>Tempo(us)</b>
	Período(s)	Vin (0V)	0,00000556	5,56
	0,0000111	Vout (0V)	0,00000556	5,56
		$\Delta t$	0	0
		Desfasamento	<b>0</b>	

Tabela 11 Valores de simulação

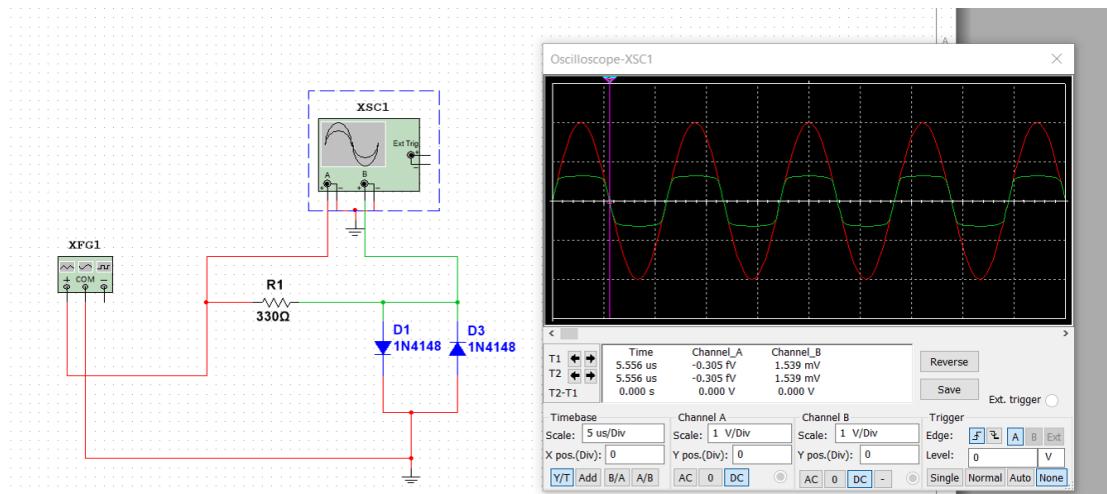


Figura 35 Simulação circuito Frequência 90Khz

Em Aula	90Khz	1N4007	Tempo(s)	Tempo(us)
	Período(s)	Vin (0V)	-0,00000004	-0,04
	0,0000111	Vout (0V)	-0,00000004	-0,04
		Δt	0	0
		Desfasamento	0	0

Tabela 12 Valores medidas em contexto real

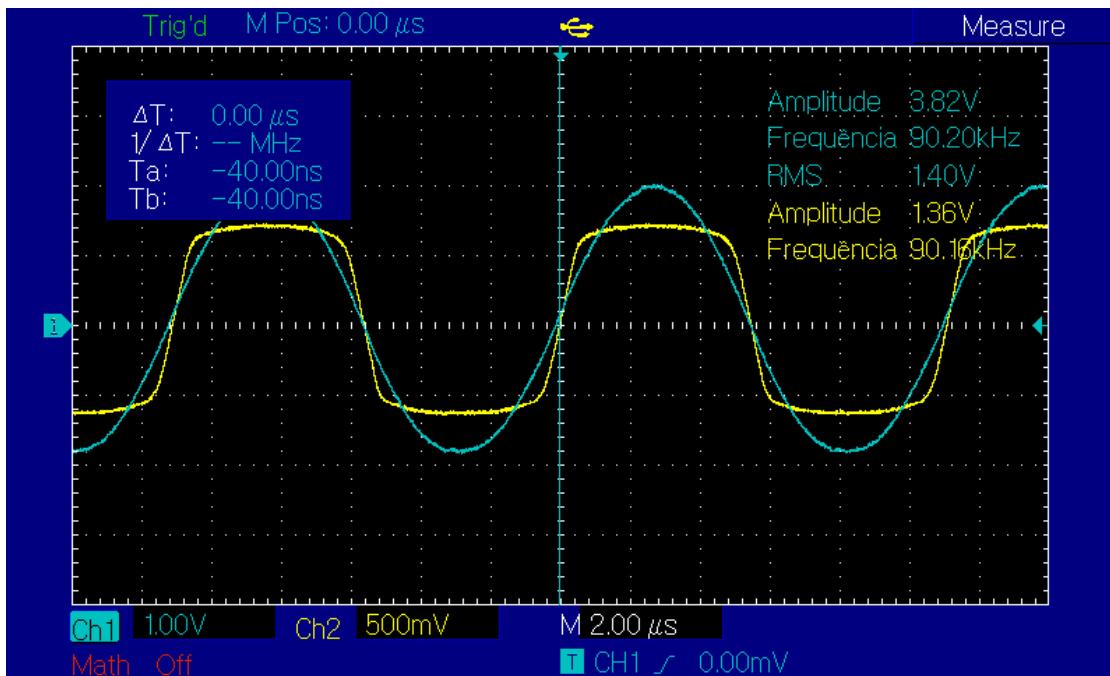


Figura 36 Sinal entrada e Sinal de saída osciloscópio

**Observações:**

Os díodos apresentam uma característica interessante que, quando a corrente é interrompida abruptamente (cessada a zero), estes continuam a conduzir por um pequeno intervalo de tempo. Este facto deve-se aos "minority carriers" que continuam armazenados na junção PN próprio material semicondutor. Estes requerem um certo tempo para se recombinarem com as cargas opostas e serem "neutralizados".

Neste intervalo de tempo a corrente no díodo é negativa até que toda a carga armazenada na **capacitância** durante a condução se anule. Após a carga se verificar anulada o díodo entra em bloqueio, ou seja, circuito aberto. Esta corrente reversa pode além de comprometer o bom funcionamento do circuito, gerar ruídos, sobretensões e perdas adicionais de comutação, atrasos etc.

Pela fórmula da **reactância**, vemos também que  $XC$  é **inversamente proporcional à frequência**. Isso significa que, à medida que a frequência  $f$  aumenta,  $XC$  diminui.

Quando a frequência é baixa, a reactância capacitiva é alta, ou seja, o condensador (ou capacitância do díodo) oferece uma resistência maior à passagem da corrente AC. No entanto, à medida que a frequência aumenta,  $XC$  diminui, e o condensador começa a "permitir" a passagem de uma maior corrente AC, o que compromete a função de bloqueio do díodo.

**Reactância:**

$$Xc = \frac{1}{2\pi * f * C}$$

Posto isto, temos que o desempenho inferior do **1N4007** em altas frequências em comparação com o **1N4148** está relacionado a dois fatores principais:

### 1. Tempo de Recuperação Reversa (Reverse Recovery Time)

O **tempo de recuperação reversa (reverse recovery time)** é um dos principais fatores que afeta o desempenho dos díodos em altas frequências:

- **1N4007:** O tempo de recuperação reversa do **1N4007** é bastante longo, geralmente na ordem de **30 µs** (microssegundos). Isso significa que, quando a polaridade da tensão muda de direta para reversa, o díodo demora um tempo significativo para interromper a condução da corrente. Este longo tempo de recuperação torna a inadequado para aplicações de alta frequência, pois não consegue "desligar" rápido o suficiente para acompanhar as mudanças rápidas de polaridade em sinais de alta frequência.
- **1N4148:** Por outro lado, o **1N4148** é um díodo de comutação rápida, com um tempo de recuperação reversa muito curto, geralmente na faixa de **4 ns** (nanossegundos). Isso significa que ele é capaz de interromper a condução rapidamente quando a polaridade da tensão se inverte, o que o torna ideal para aplicações de alta frequência.

**Conclusão:** O tempo de recuperação reversa do **1N4007** é muito maior, o que resulta em uma resposta mais lenta a sinais de alta frequência, enquanto o **1N4148** tem um tempo de recuperação reversa extremamente rápido, tornando-o ideal para essas aplicações.

## 2. Capacitância de Junção PN

Outro fator que afeta o desempenho dos díodos em altas frequências é a **capacitância de junção PN**:

- **1N4007:** Como discutido anteriormente, o **1N4007** tem uma **capacitância de junção relativamente alta**, tipicamente entre **15 pF** e **20 pF**. Em altas frequências, essa capacitância torna se um problema porque a **reactância capacitativa (XC) diminui** à medida que a frequência aumenta. Isso faz com que o díodo se comporte mais como um condensador, permitindo que correntes alternadas de alta frequência passem, o que afeta negativamente sua capacidade de retificação.
- **1N4148:** O **1N4148** tem uma **capacitância de junção muito menor**, tipicamente em torno de **2 pF**. Isso resulta em uma reactância capacitiva muito maior em altas frequências, permitindo que o díodo mantenha sua função de retificação mesmo em frequências elevadas. Como o **1N4148** foi projetado para alta velocidade, essa capacitância baixa é fundamental para seu desempenho eficiente em circuitos de alta frequência.

**Conclusão:** A capacitância de junção mais alta do **1N4007** faz com que ele seja menos eficaz em altas frequências em comparação ao **1N4148**, que tem uma capacitância significativamente menor, permitindo um melhor desempenho.

Temos que, o **1N4007** é ideal para retificação de baixa frequência e alta potência, enquanto o **1N4148** é adequado para comutação rápida e circuitos de alta frequência.

## 2.2 Fonte de Alimentação

Uma fonte de alimentação, é um elemento que recebe a energia fornecida pela rede elétrica, e é responsável por converter a tensão da energia elétrica, que lhe é chegada em tensões menores, capazes de serem suportadas por outro tipo de componentes.

As fontes de alimentação podem ser divididas em duas categorias, consoante o seu princípio de funcionamento:

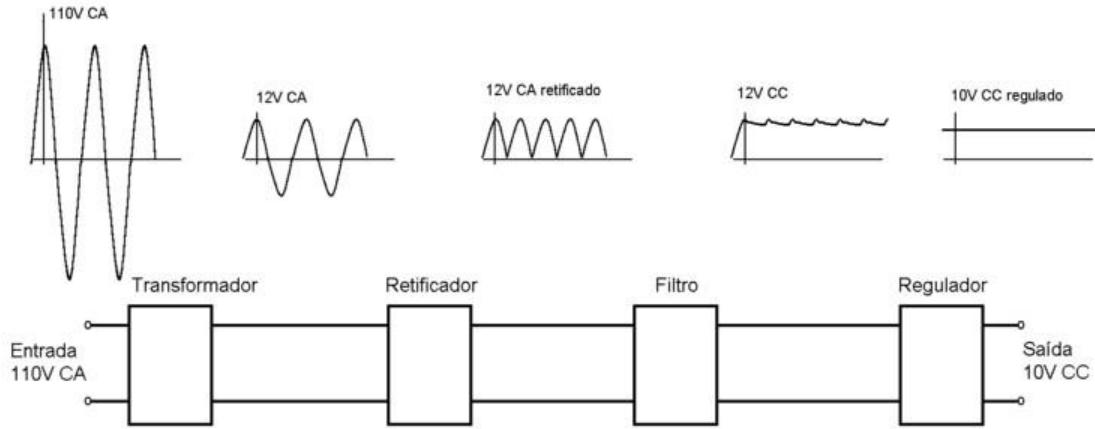
- Fontes de alimentação lineares (É sobre estas que recai esta parte prática).
- Fontes de alimentação comutadas.

Fontes lineares de alimentação fornece uma ou mais tensões contínuas estabilizadas e constantes, independentemente das variações de tensão da rede.

Uma fonte de alimentação linear é composta por um transformador, um retificador, um filtro e um regulador (neste caso um diodo Zener).

O transformador baixa o nível da tensão da rede, o retificador converte a tensão alternada em tensão contínua, o filtro armazena a energia de modo a tornar mais constante e linear a tensão obtida à saída do retificador e, por fim, o regulador estabiliza e regula a tensão de saída.

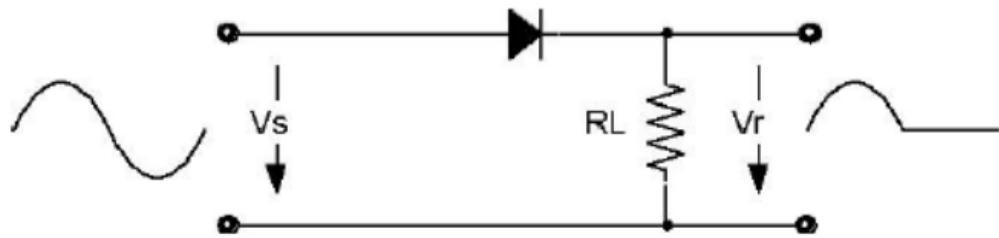
Etapas fontes de alimentação Lineares:



*Figura 37 Exemplo dos blocos constituintes fontes lineares*

### 2.2.1 Circuito retificador de meia onda

2.2.1.1 Usando o bloco 1 (transformador) e o bloco 2 (retificador), monte um circuito retificador de meia onda alimentando uma carga  $RL$  de  $1.2\text{K}\Omega$  (figura seguinte). Alimente o circuito, ligando os terminais do primário (230Vef) do transformador à rede.



*Figura 38 Retificador Meia onda*

**Funcionamento:**

Retificação é o nome dado ao processo de transformação de corrente alternada (ca) em corrente contínua (cc). Este processo é utilizado com a finalidade de permitir que equipamentos de corrente contínua sejam alimentados a partir da rede elétrica que é disponível apenas na forma de corrente alternada.

A retificação de meia onda é um processo de transformação de ca em cc, que permite o aproveitamento de apenas um do semicírculo da tensão de alimentação.

As características de condução do díodo de bloqueio da corrente quando aplicado reversamente são utilizadas para obter uma retificação de meia onda a partir da corrente alternada da rede elétrica domiciliar. A configuração básica desse tipo de circuito é ilustrada como na Fig 39.

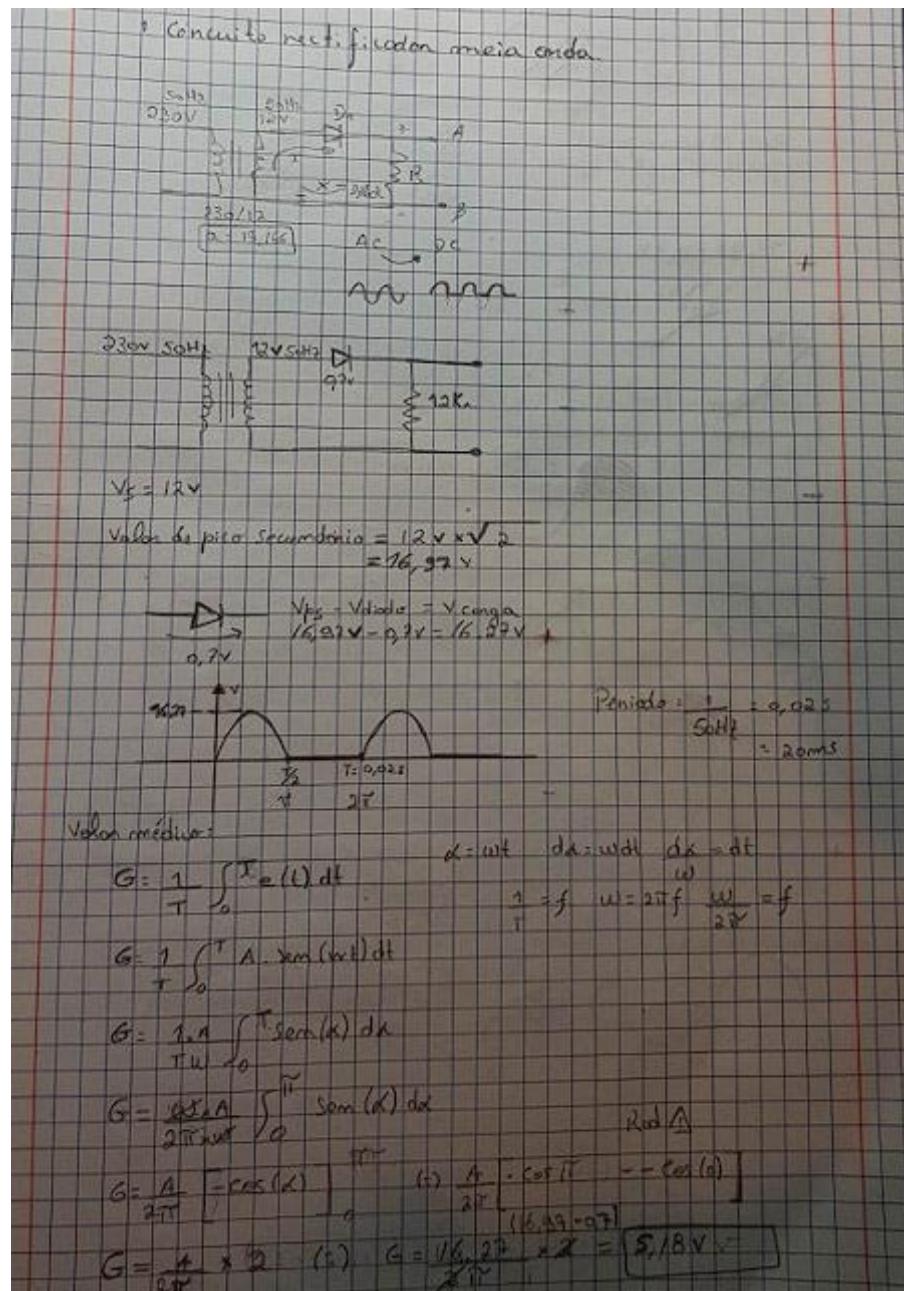


Figura 39 Cálculos Matemáticos meia onda

**Cálculos:**

- **Valor de pico no secundário do transformador:**

$$V_{pico\ Secundario} = 12V * \sqrt{2} = 16.97\ V$$

- **Tensão de saída após o diodo:**

$$V_{carga} = 16.97V - 0.7V = 16.27\ V$$

- **Período:**

$$Periodo (T) = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20ms$$

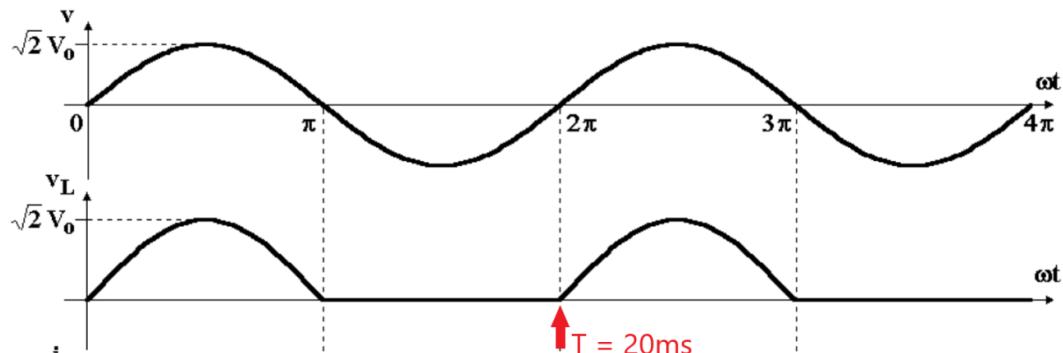


Figura 40 Waveform

## Valor Médio da Tensão

Fórmula geral:

$$\alpha = wt \quad (=) \quad dx = w \, dx \quad (=) \frac{dx}{w} = dt$$

$$\frac{1}{T} = f \quad (=) \quad w = 2\pi * f \quad (=) \quad \frac{w}{2\pi} = f$$

Posto isto temos que:

$$G = \frac{1}{T} \int_0^T e(t) * dt$$

$$G = \frac{1}{T} \int_0^T A \cdot \sin(wt) * dt$$

$$G = \frac{1 * A}{2\pi * w} \int_0^\pi \sin(wx) * dx$$

$$G = \frac{1 * A}{2\pi * w} \int_0^\pi \sin(x) * dx$$

$$G = \frac{w * A}{2\pi * w} \int_0^\pi \sin(x) * dx$$

$$G = \frac{A}{2\pi} [-\cos(x)]|_0^\pi$$

$$G = \frac{A}{2\pi} [-\cos(x)]|_0^\pi$$

$$G = \frac{A}{2\pi} [-\cos \pi - (-\cos(0))]|_0^\pi$$

$$G = \frac{A}{2\pi} * 2 = \frac{A}{\pi} = \frac{16.27V}{\pi} = \textcolor{red}{5.17V}$$

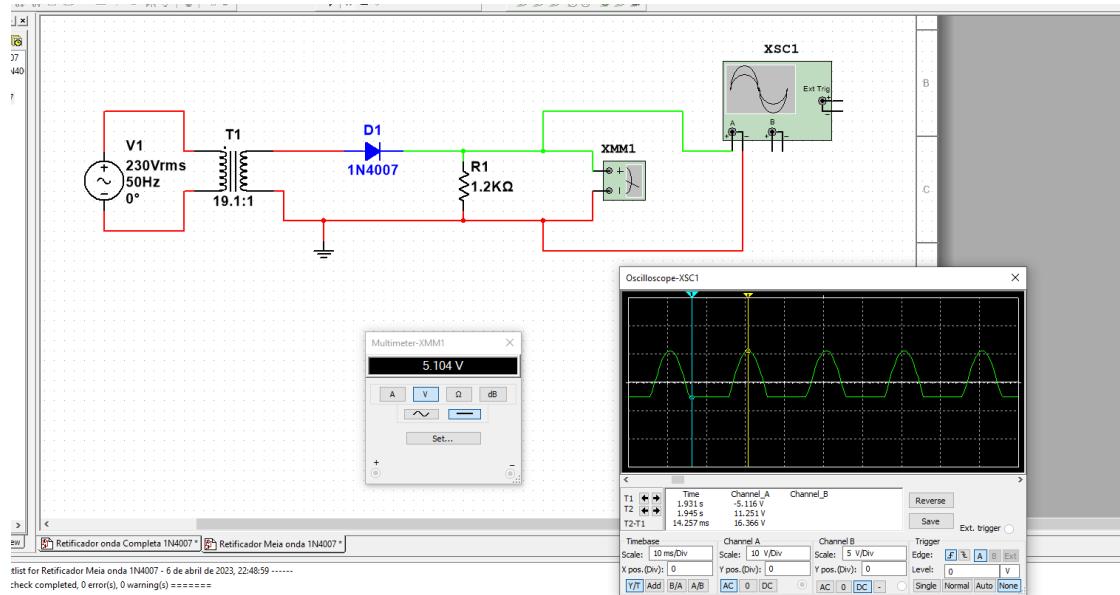


Figura 41 Simulação Circuito meia onda Multisim (AC)

Escreva uma equação aqui.

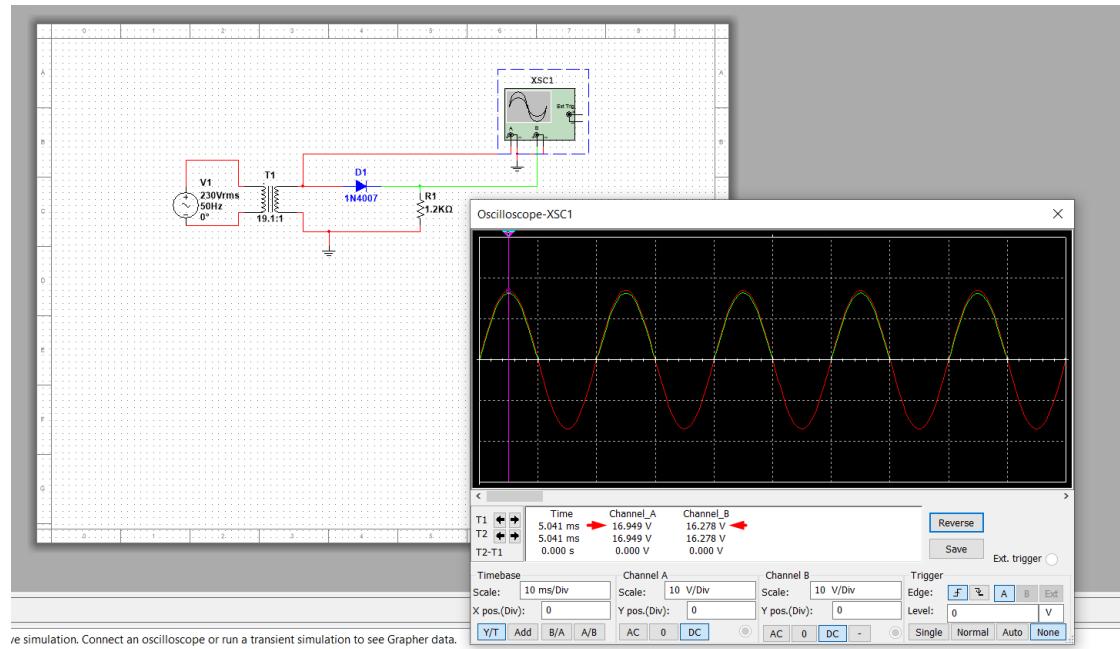


Figura 42 Simulação da onda de Entrada vs onda Saída (DC)

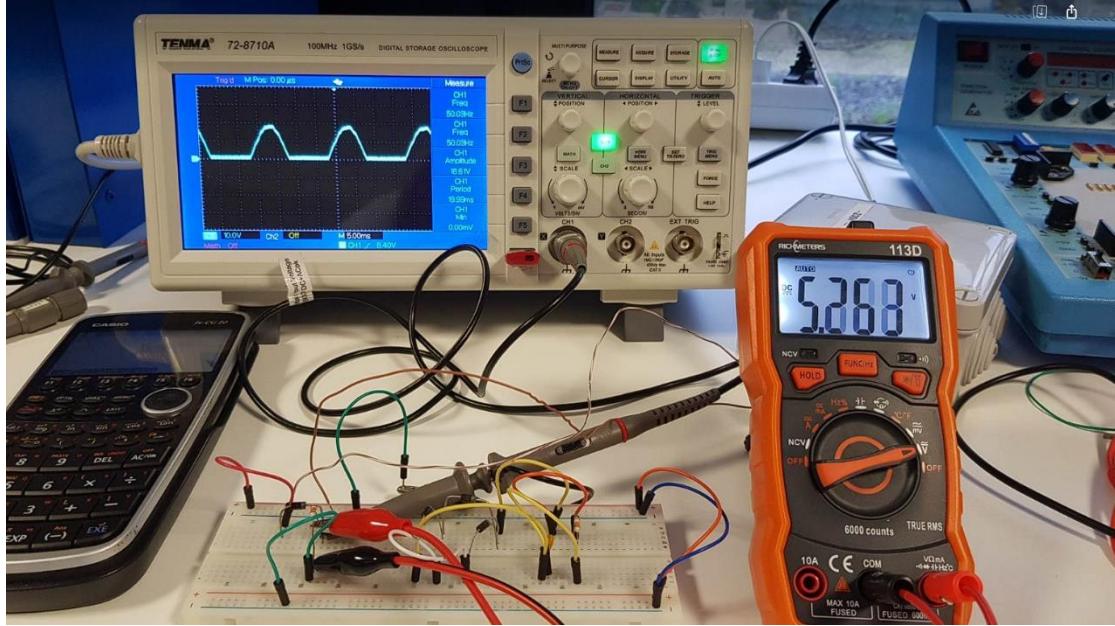


Figura 43 Valor médio e Sinal de Saída (DC)

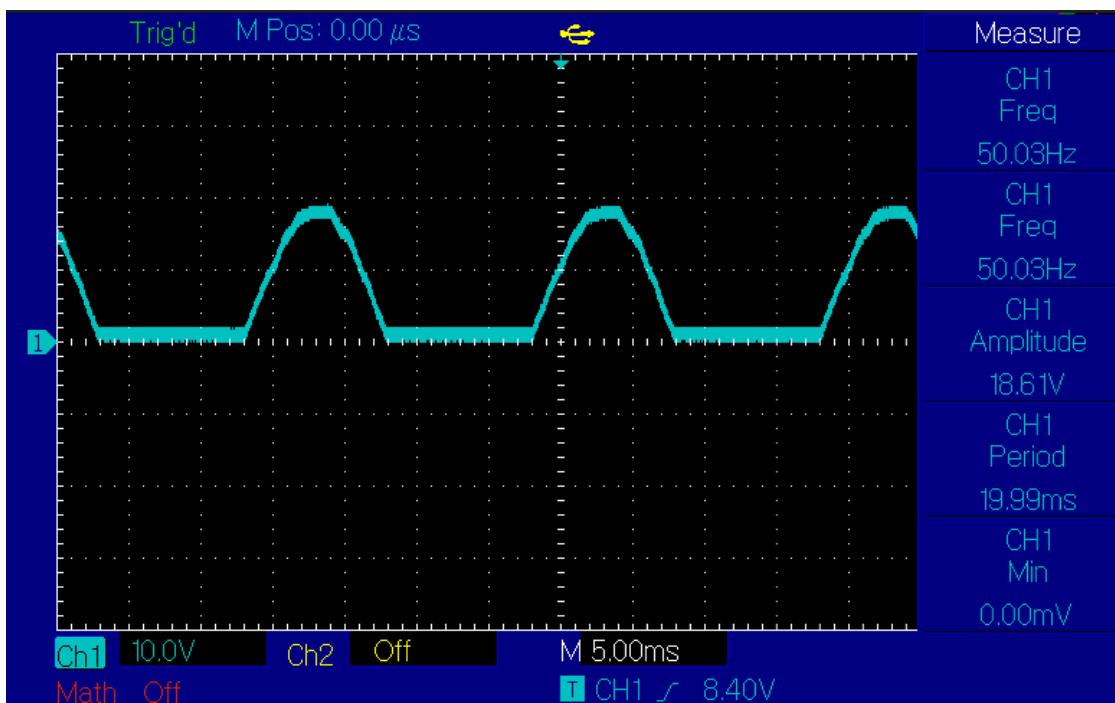


Figura 44 Sinal Saída (DC) contexto Real

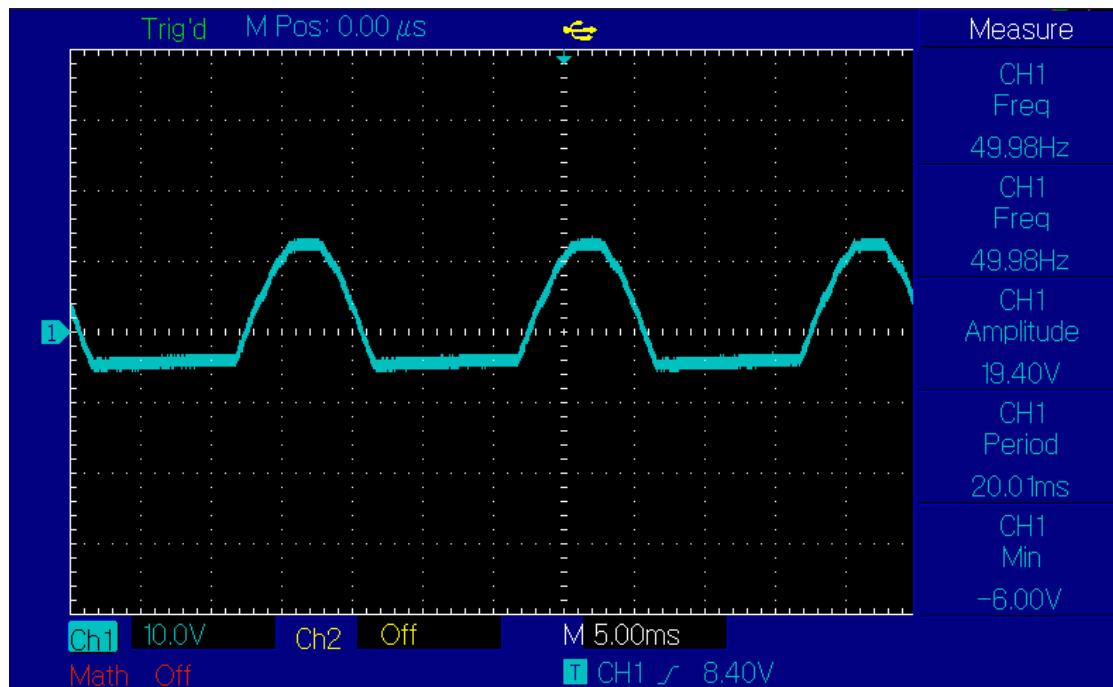


Figura 45 Sinal Saída (AC) contexto Real

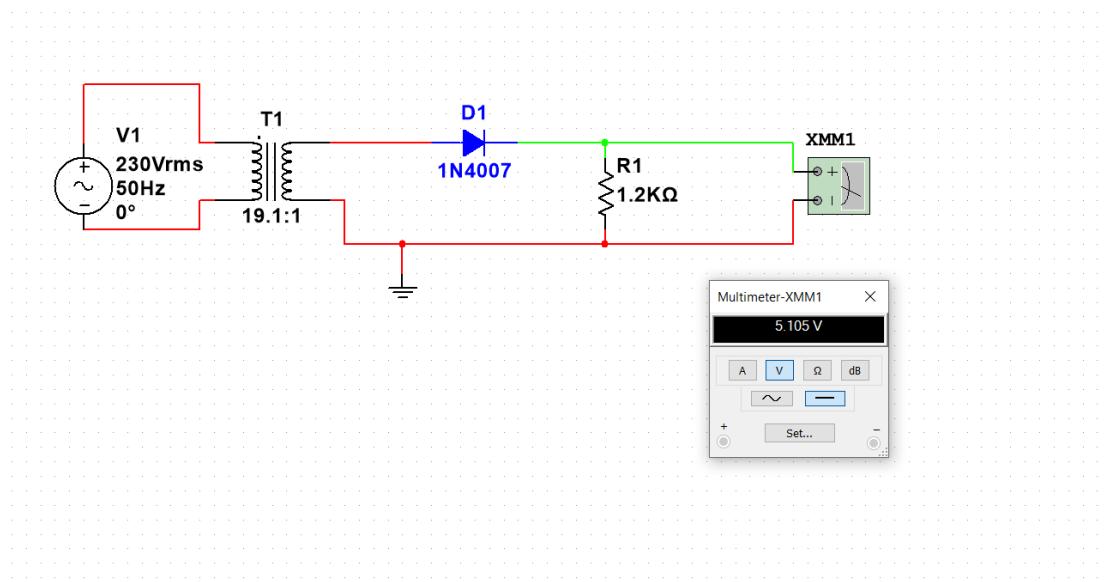


Figura 46 Medição Valor médio

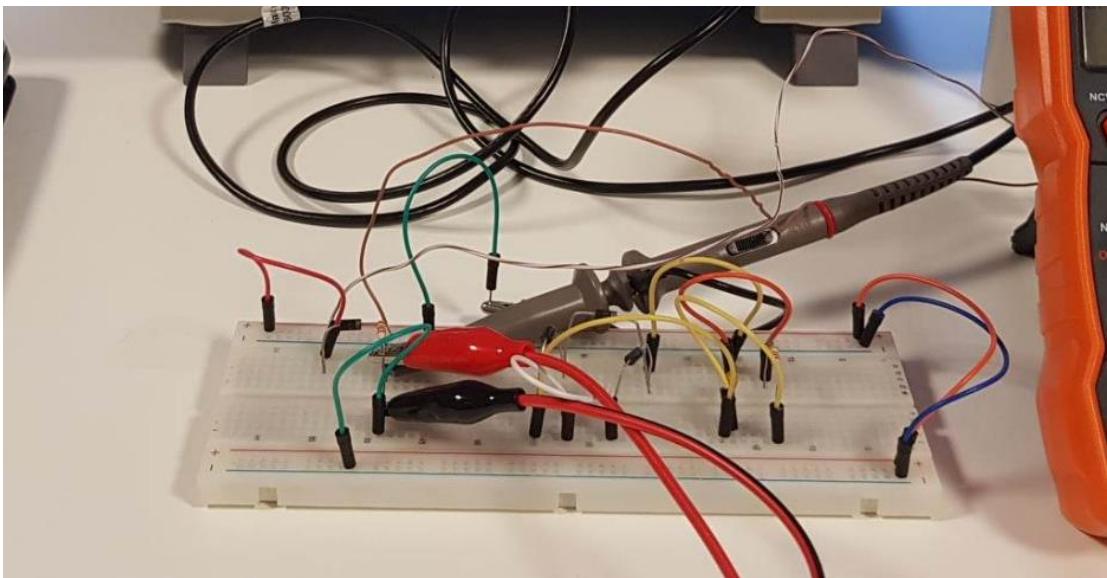


Figura 47 Montagem circuito contexto Real

## 2.2.2 Bloco de transformação e retificação

2.2.2.1 Desligue da rede o circuito anterior. Usando os mesmos elementos, monte agora um circuito retificador de onda completa alimentando também uma carga de  $1.2 \text{ K}\Omega$ .

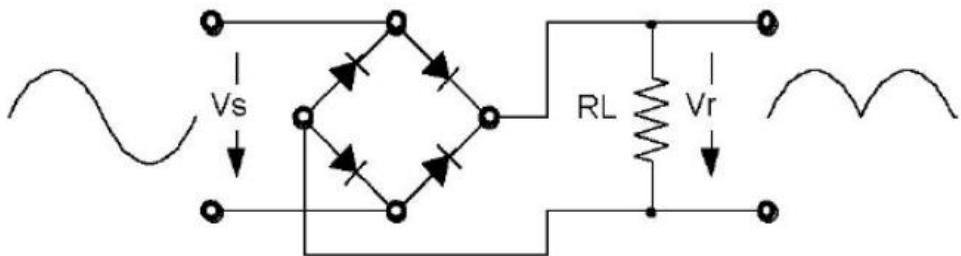


Figura 48 Retificadora onda completa

### Funcionamento:

O circuito retificador de onda completa tem o mesmo princípio de funcionamento do retificador de meia onda, a diferença operacional é que o retificador de onda completa aproveita também o ciclo negativo da tensão de entrada, convertendo essa tensão em tensão positiva para a carga, diferentemente do retificador de meia onda, em que essa tensão é “perdida”.

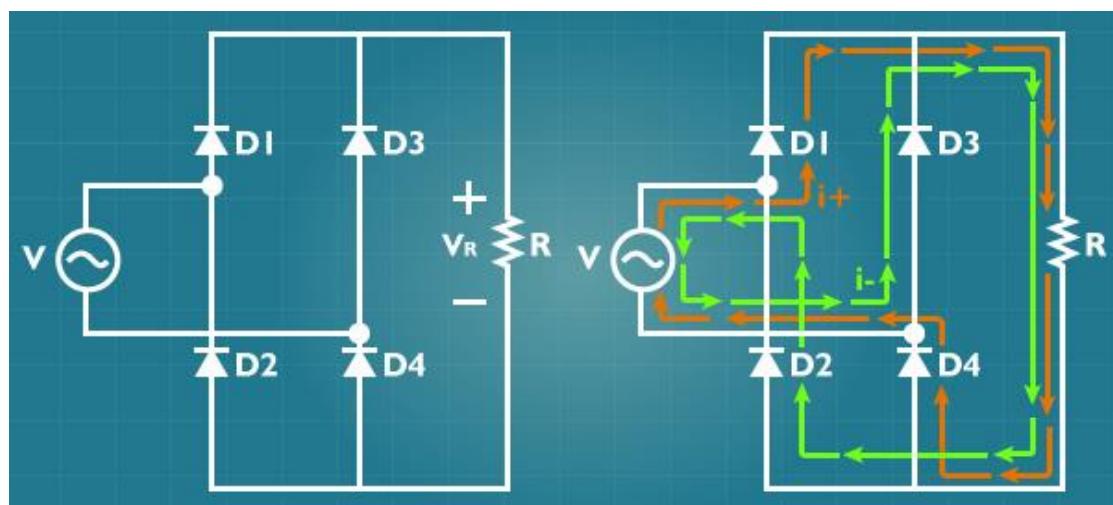


Figura 49 Imagem ilustrativa funcionamento sentido das correntes

Durante o ciclo positivo da tensão  $V$ , a corrente que circula pelo circuito retificador é a corrente vamos chamar-lhe de  $i+$ . Nessa situação, a tensão positiva polariza diretamente os díodos D1 e D4, enquanto que os díodos D2 e D3 estão cortados. Quando a tensão  $V$  está no seu semicírculo negativo, então os díodos D2 e D3 estão polarizados diretamente e os díodos D1 e D4 comportam-se como circuitos abertos, isso faz com que circule no circuito a corrente  $i-$ . Em ambos os casos, a corrente passa sempre pela carga (Resistência R) com o mesmo sentido (isto faz com a corrente seja DC aos terminais da mesma), e consequentemente faz com que a tensão tenha sempre a mesma polaridade, e sentido na carga, desta forma, sempre positiva.

Observe e registe apenas a forma de onda da tensão na carga ( $V_r$ ).

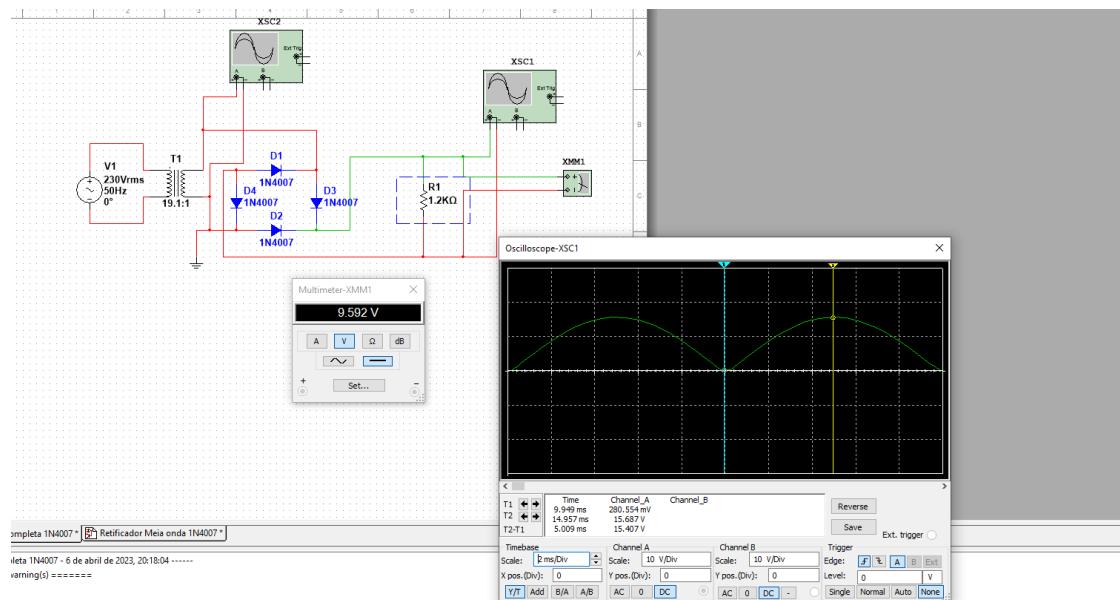


Figura 50 Simulação onda completa Multisim

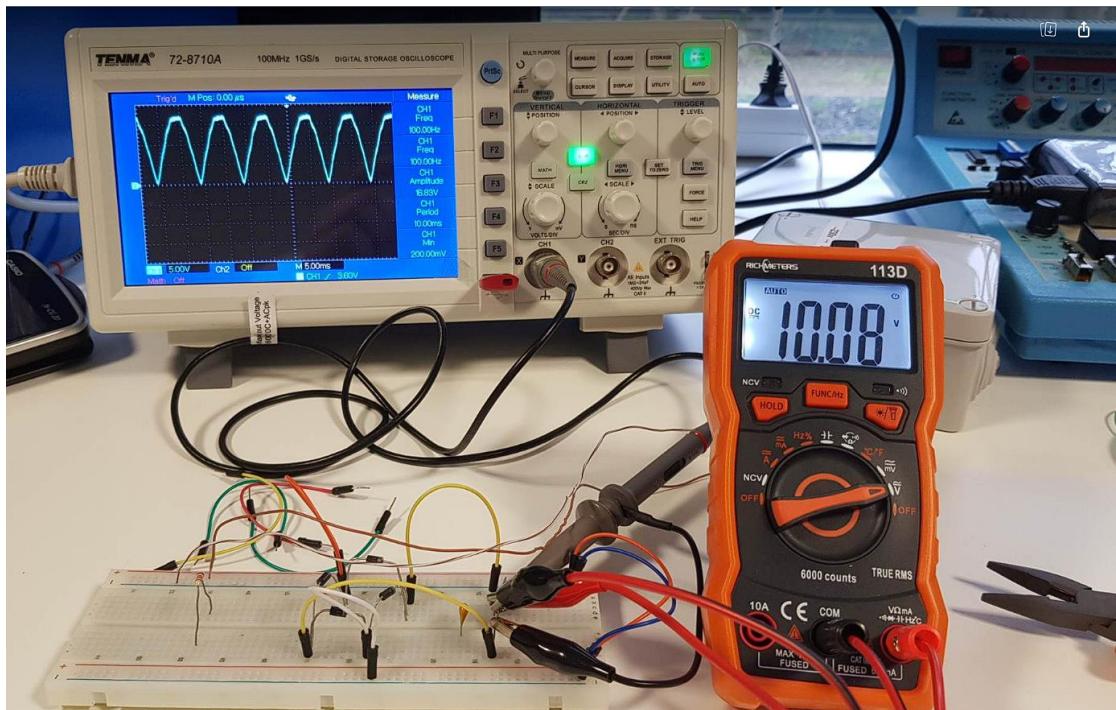


Figura 51 Valor médio e Sinal de Saída (DC)

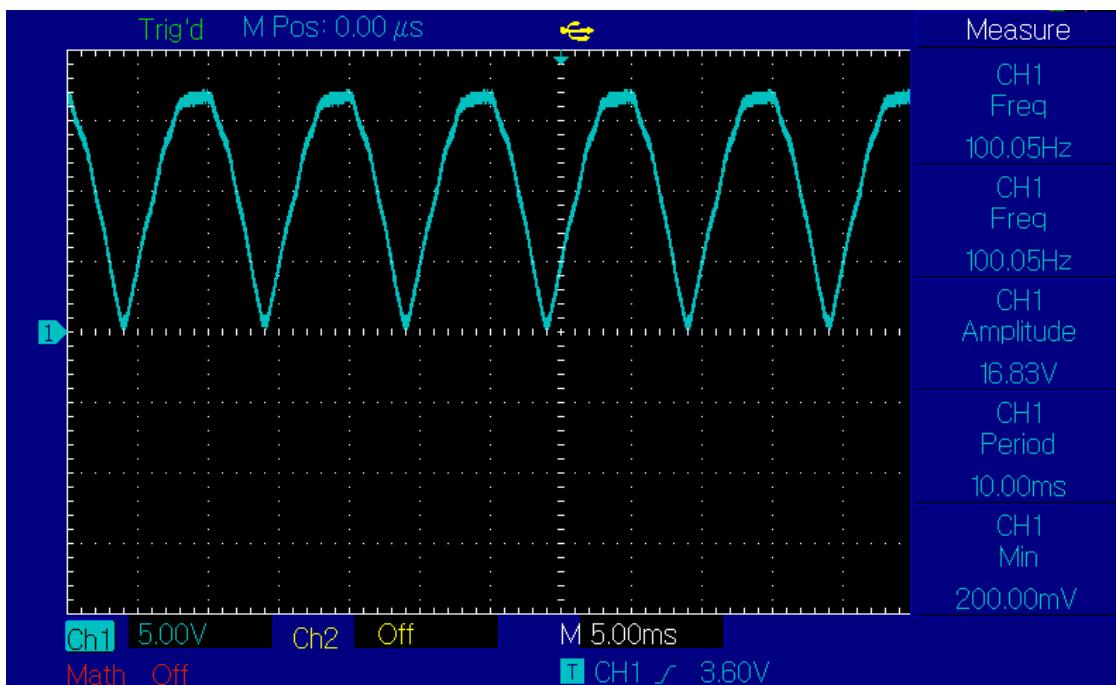


Figura 52 Sinal de Saída contexto Real

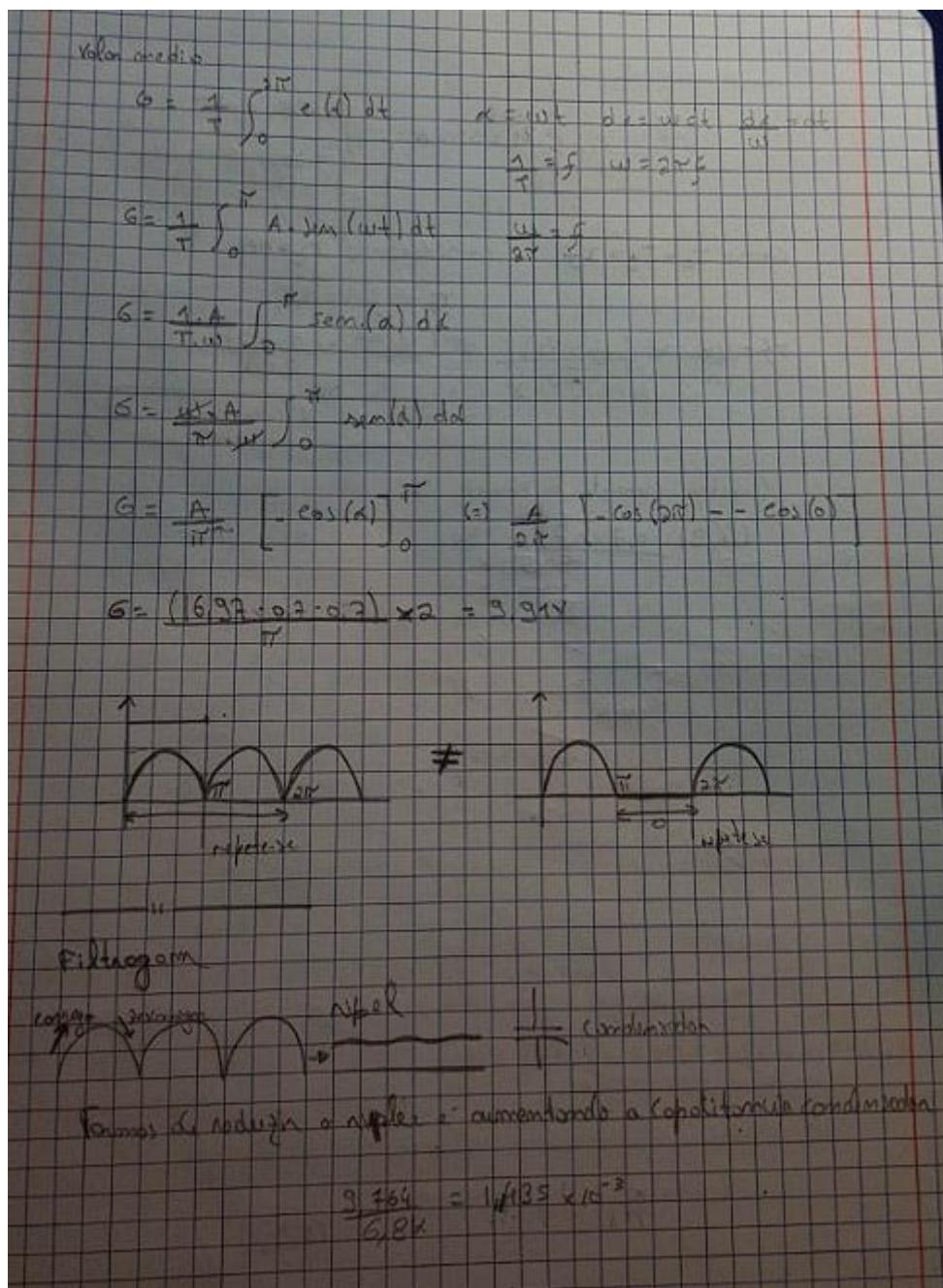


Figura 53 Cálculos Matemático Onda completa

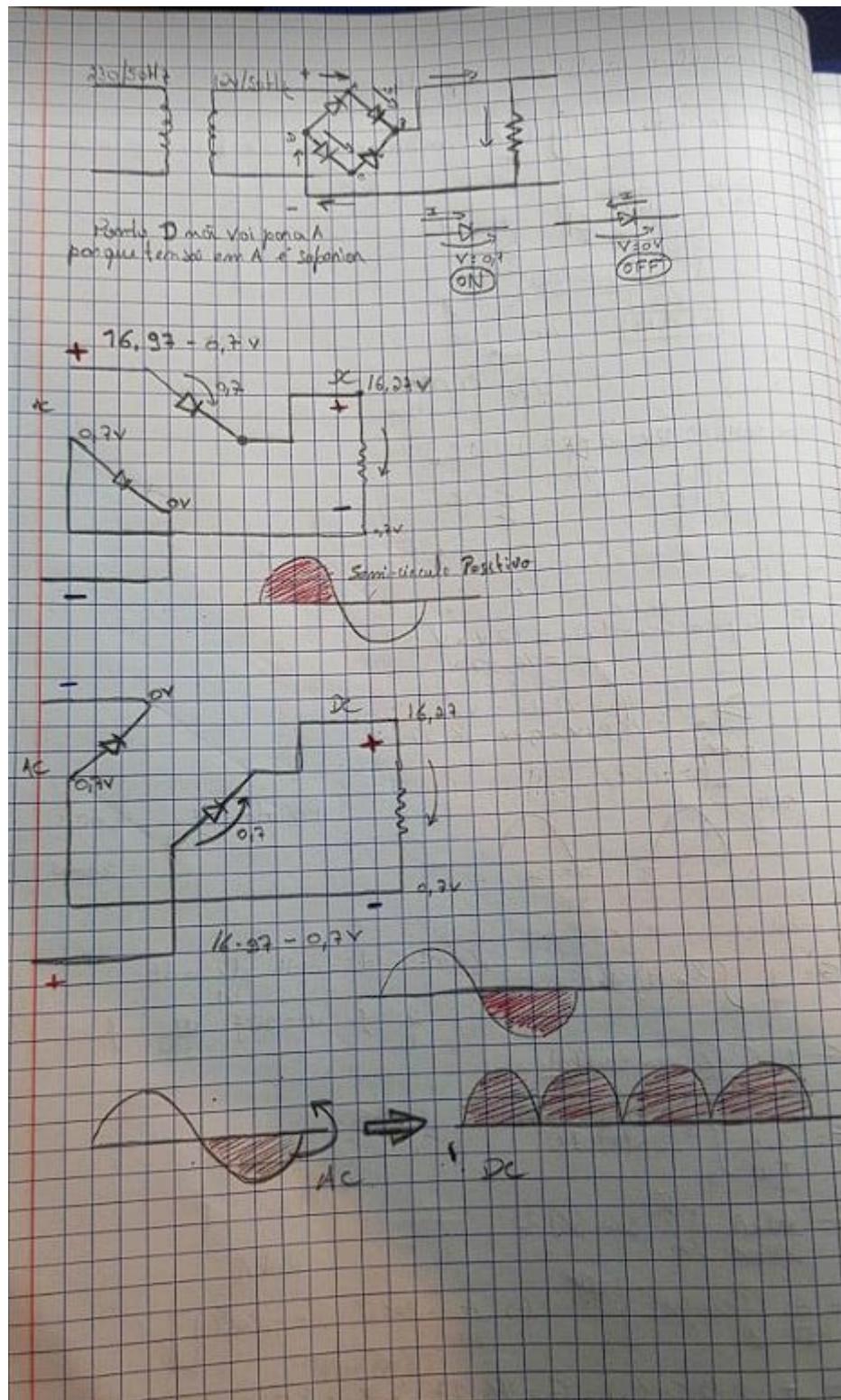


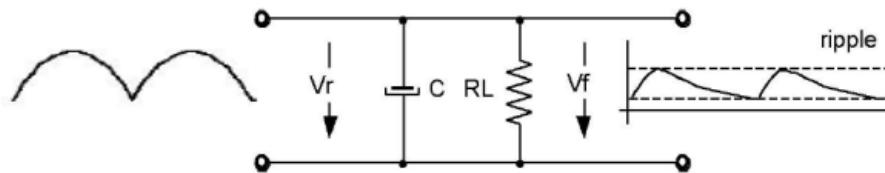
Figura 54 Cálculos Matemático Onda completa

### 2.2.3 Bloco de filtragem

Na saída de um sistema retificador obtemos corrente contínua pulsante, ou seja, formada pelos semicírculos da corrente alternada que são conduzidos pelos díodos. Esta corrente contínua não é pura, não servindo para alimentar a maioria dos circuitos eletrônicos.

A corrente contínua pulsante da saída de um sistema retificador precisa passar por um processo de filtragem que, dependendo da aplicação, deve ser o mais eficiente quanto seja possível.

A filtragem da corrente contínua pulsante pode ser realizada de diversas formas. A mais simples é a obtida com a utilização de um condensador ligado conforme mostra a figura 47.



*Figura 55 Filtragem*

### 2.2.3.1 Coloque em paralelo com a carga o condensador de 470 nF.

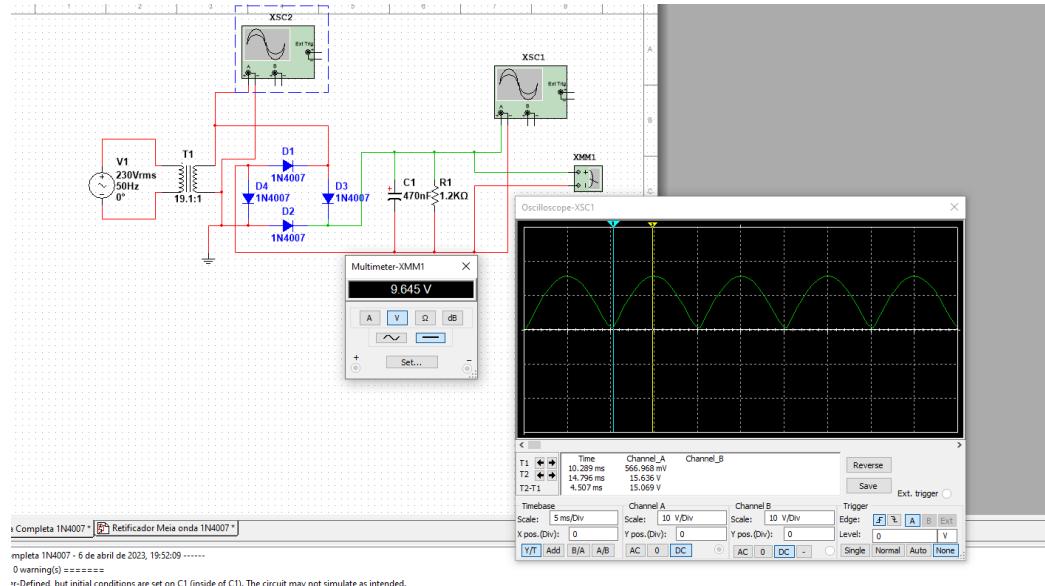


Figura 56 Simulação Circuito Multisim 470nF 1.2KΩ

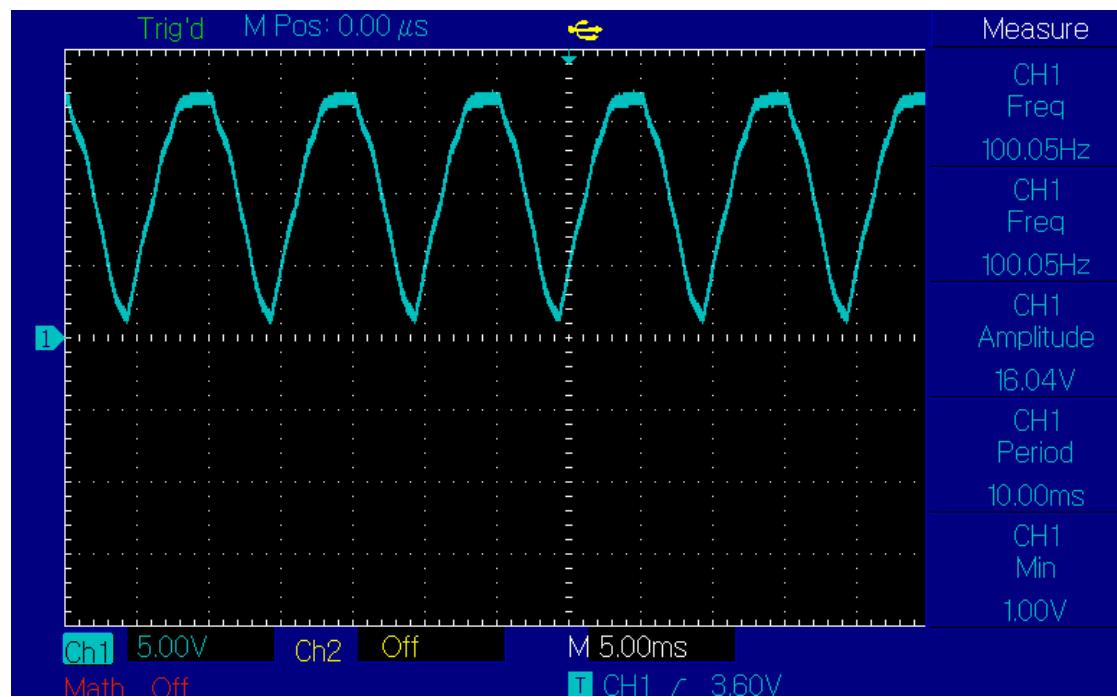


Figura 57 Sinal Saída contexto Real

2.2.3.2 Substitua o condensador, colocando agora em paralelo com a carga, um condensador superior a  $330 \mu\text{F}$ .

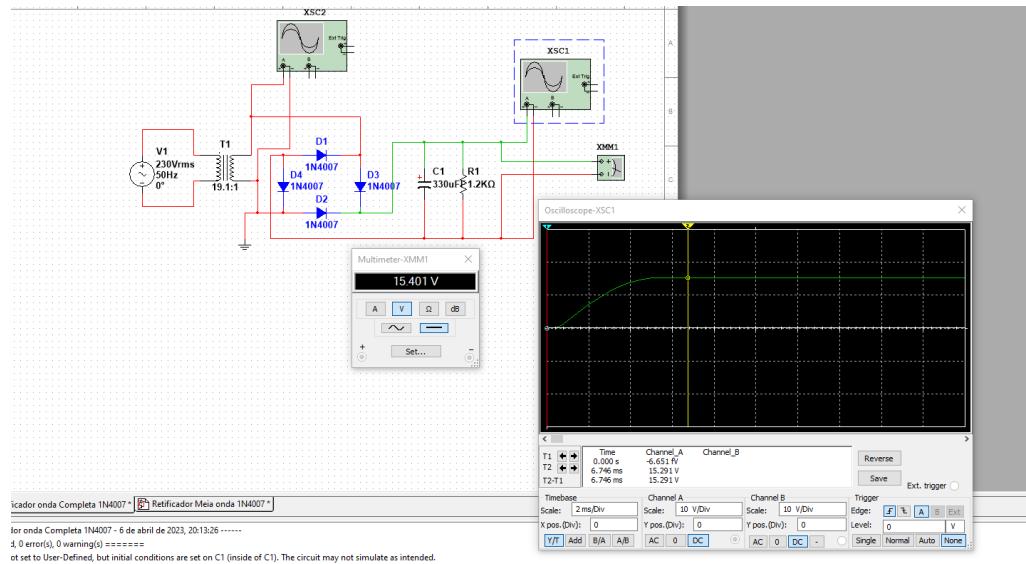


Figura 58 Simulação Circuito Multisim  $330\mu\text{F} 1.2\text{k}\Omega$

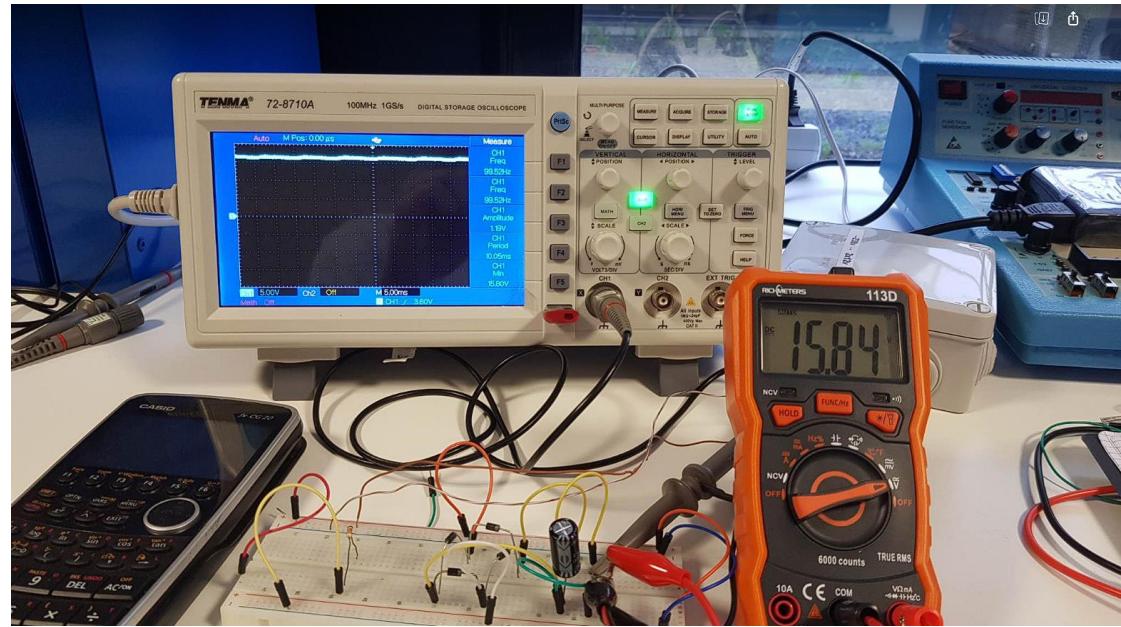


Figura 59 Valor médio e Sinal de Saída (DC) Contexto Real

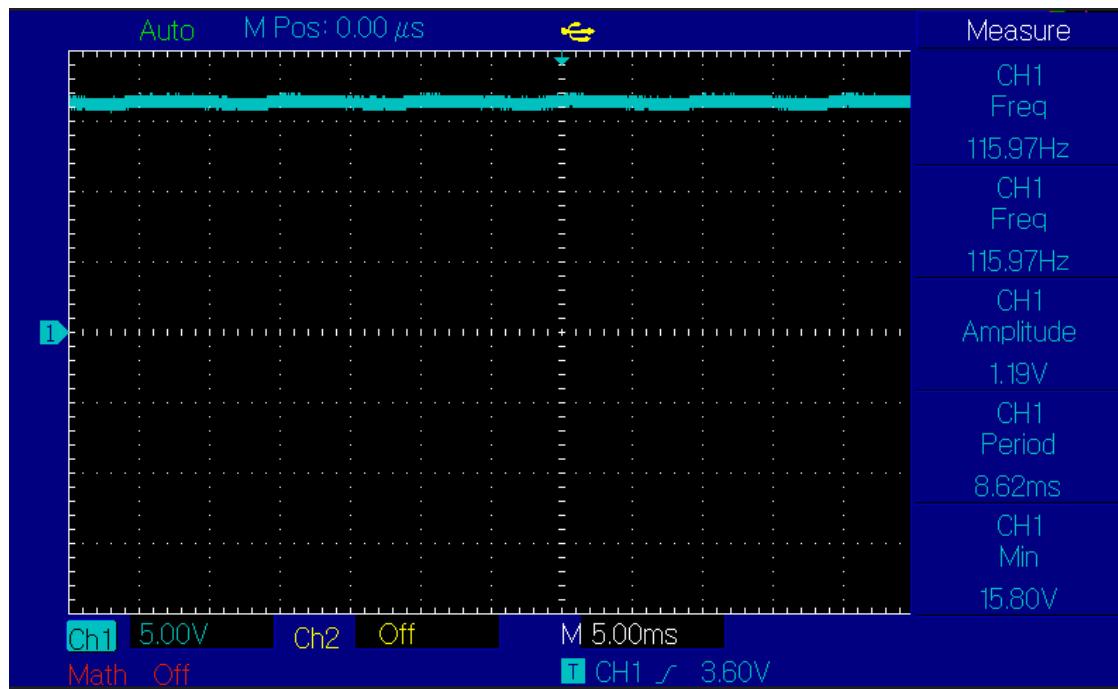


Figura 60 Sinal Saída contexto Real

2.2.3.3 Repita os dois procedimentos anteriores para as seguintes resistências de carga:  $330\Omega$  e  $6.8\Omega$ .

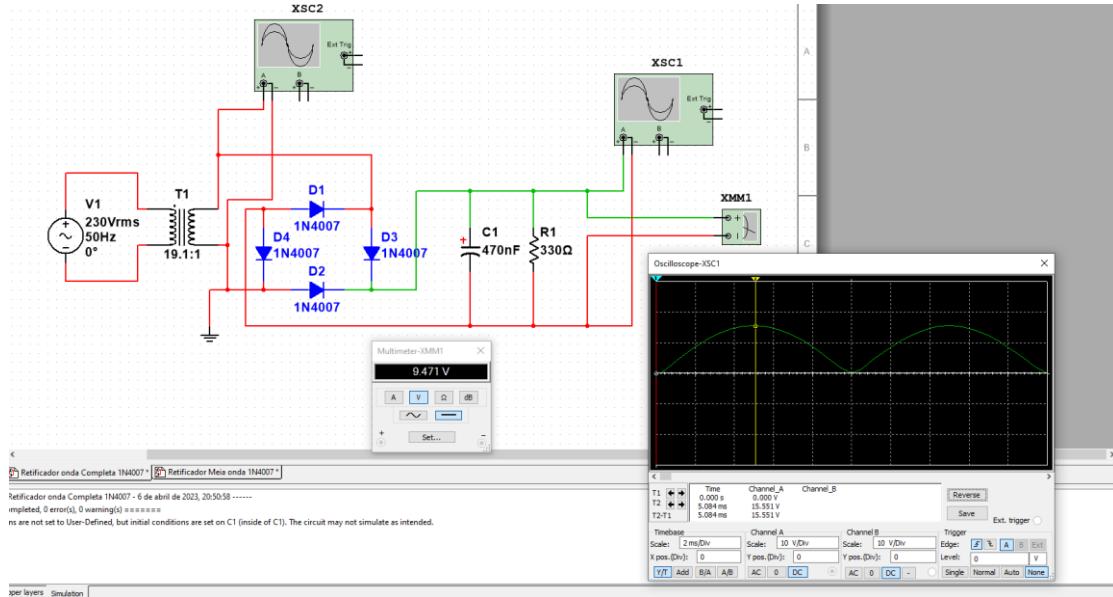


Figura 61 Simulação Circuito Multisim  $470nF$   $330\Omega$

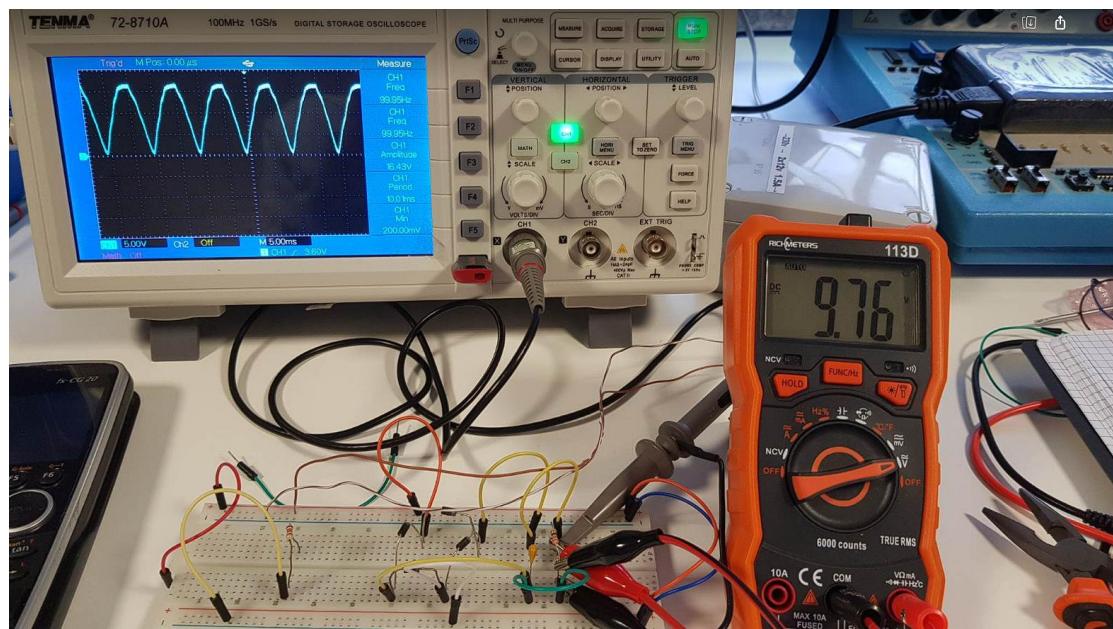


Figura 62 Valor médio e Sinal de Saída (DC) Contexto Real

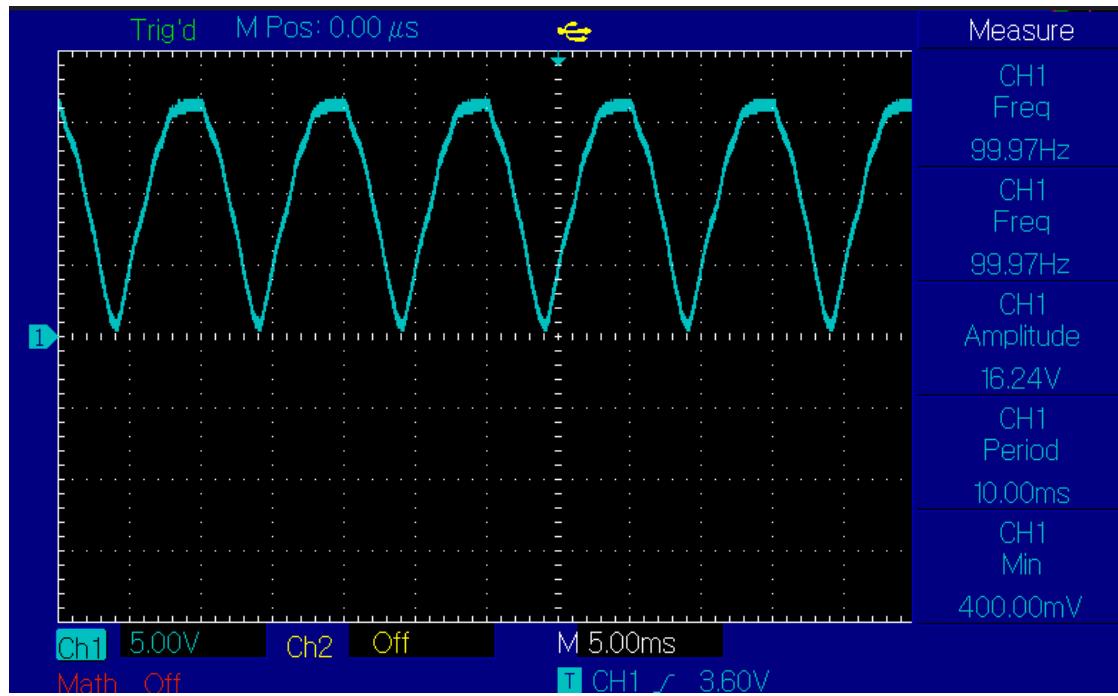


Figura 63 Sinal Saída contexto Real

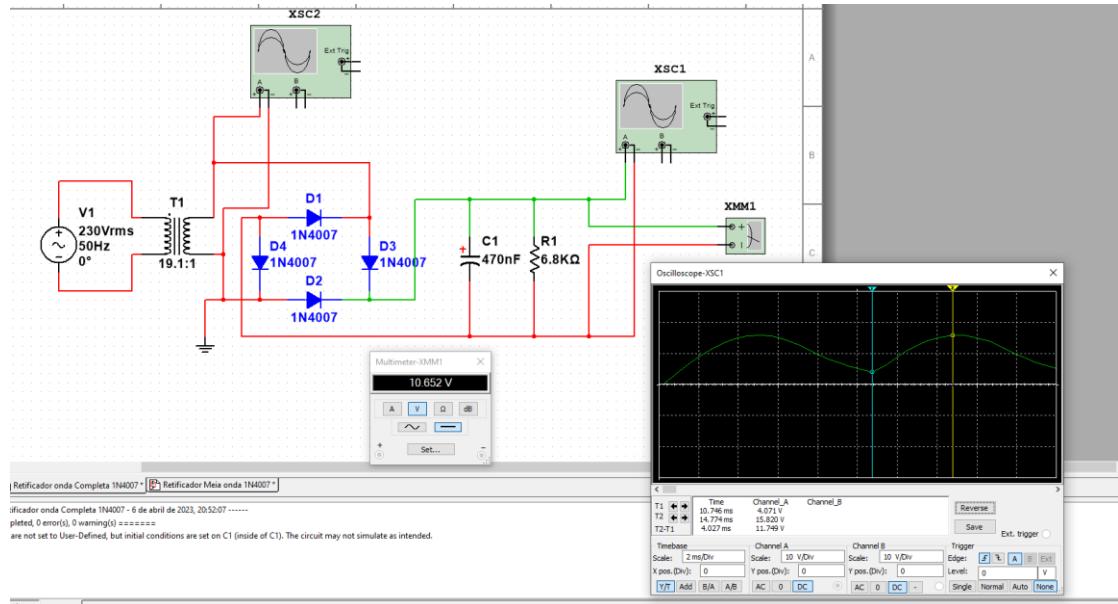


Figura 64 Simulação Circuito Multisim 470nF 6.8KΩ

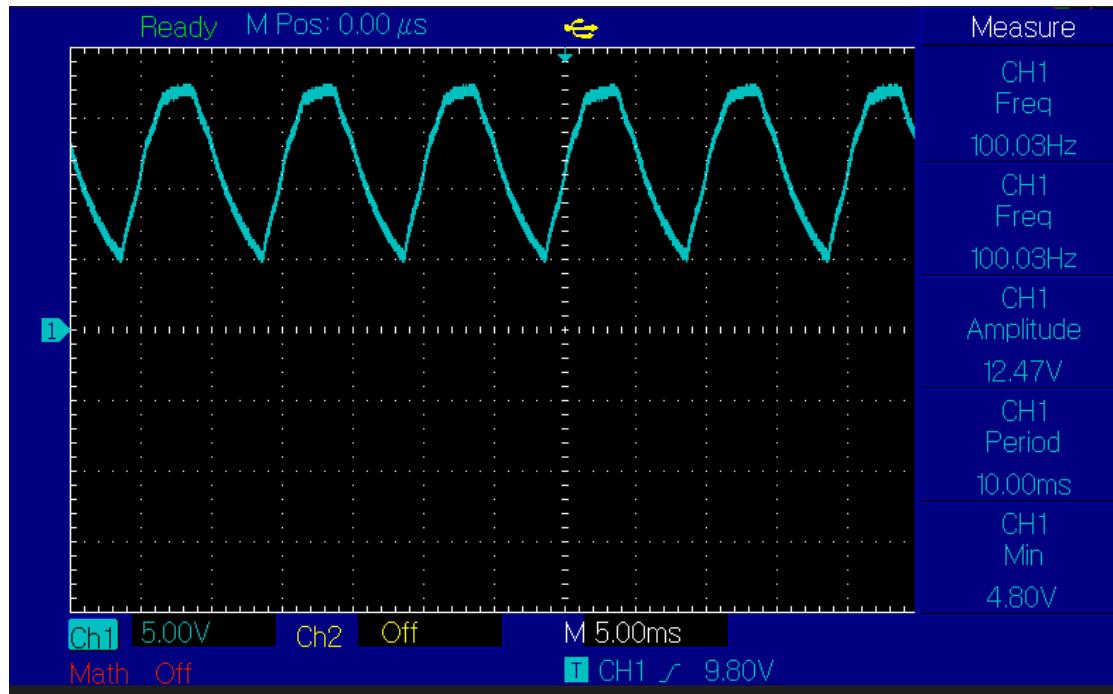
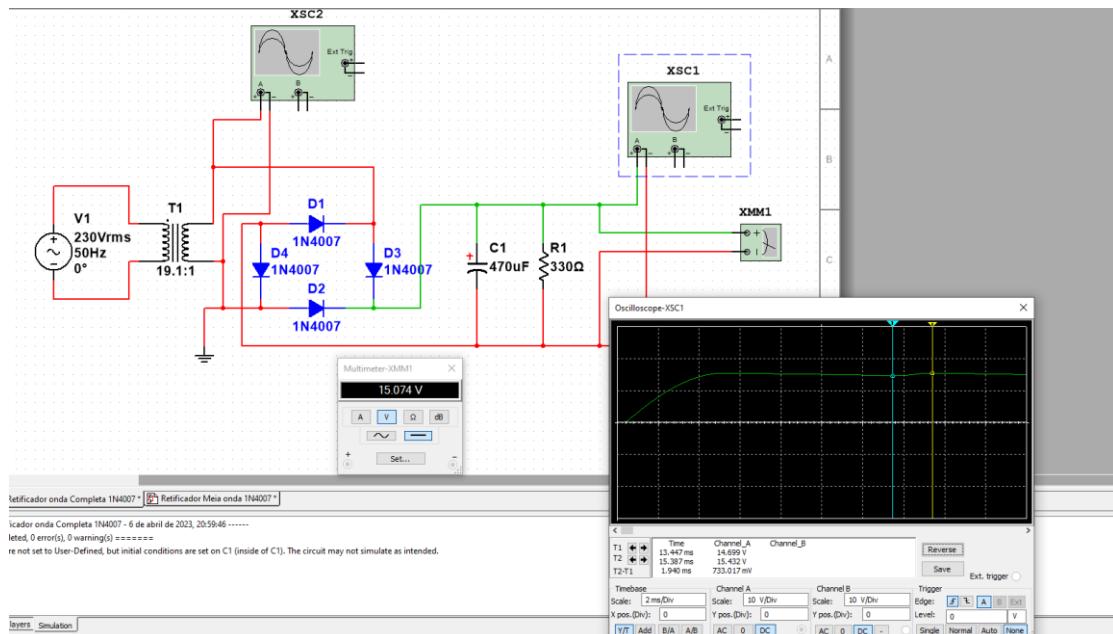


Figura 65 Sinal Saída contexto Real

Figura 66 Simulação Circuito Multisim 470uF 330 $\Omega$

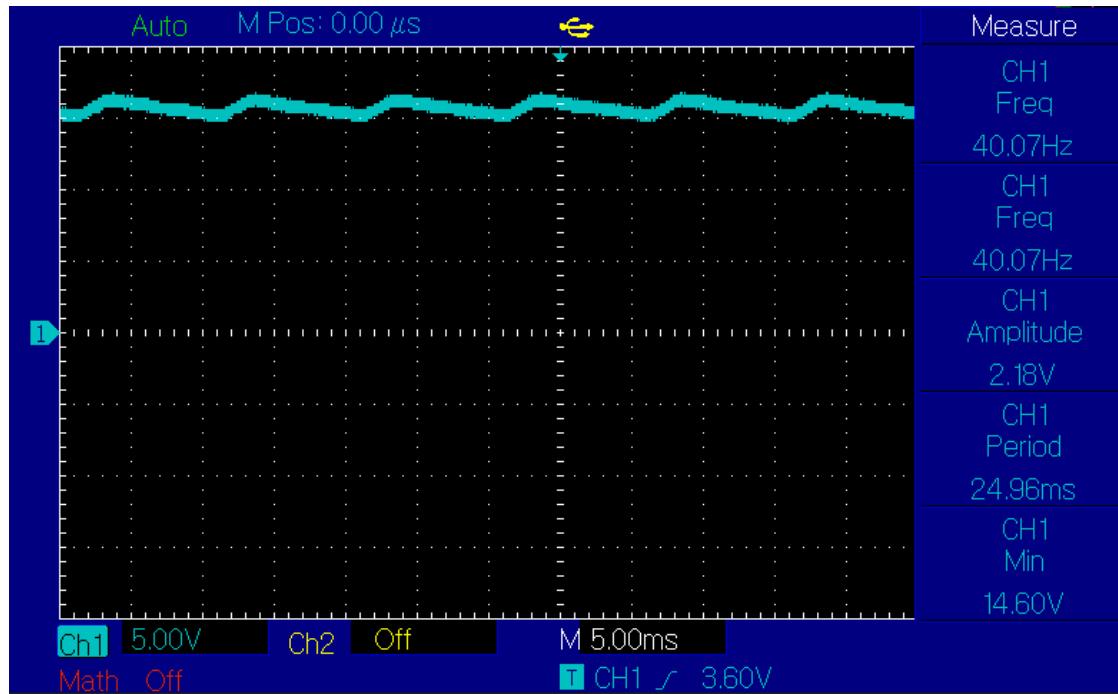


Figura 67 Sinal Saída contexto Real

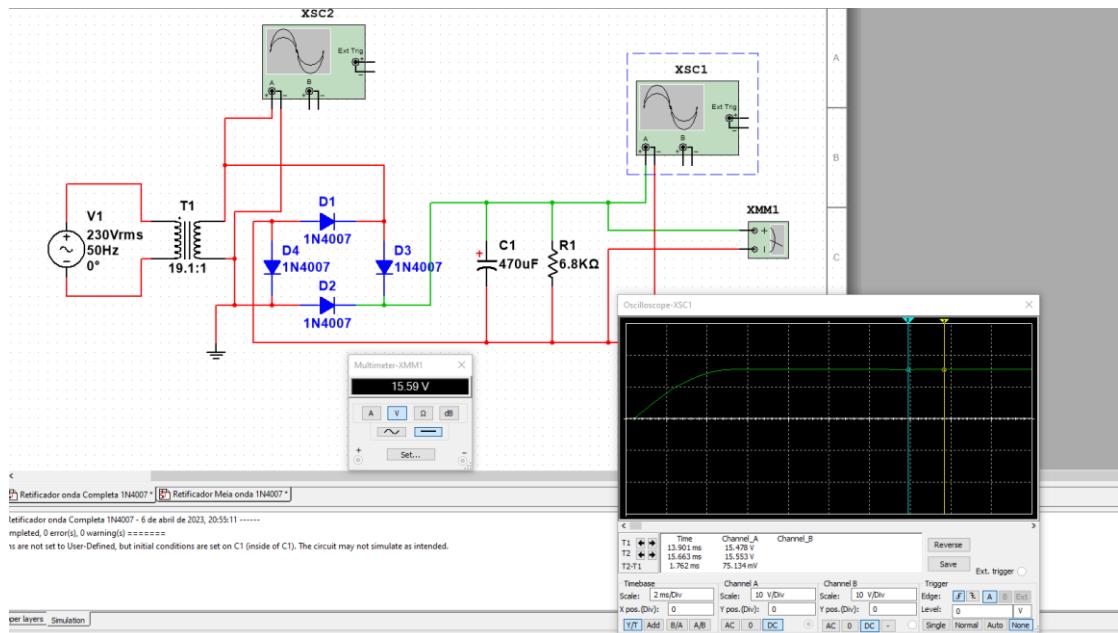


Figura 68 Simulação Circuito Multisim 470uF 6.8KΩ

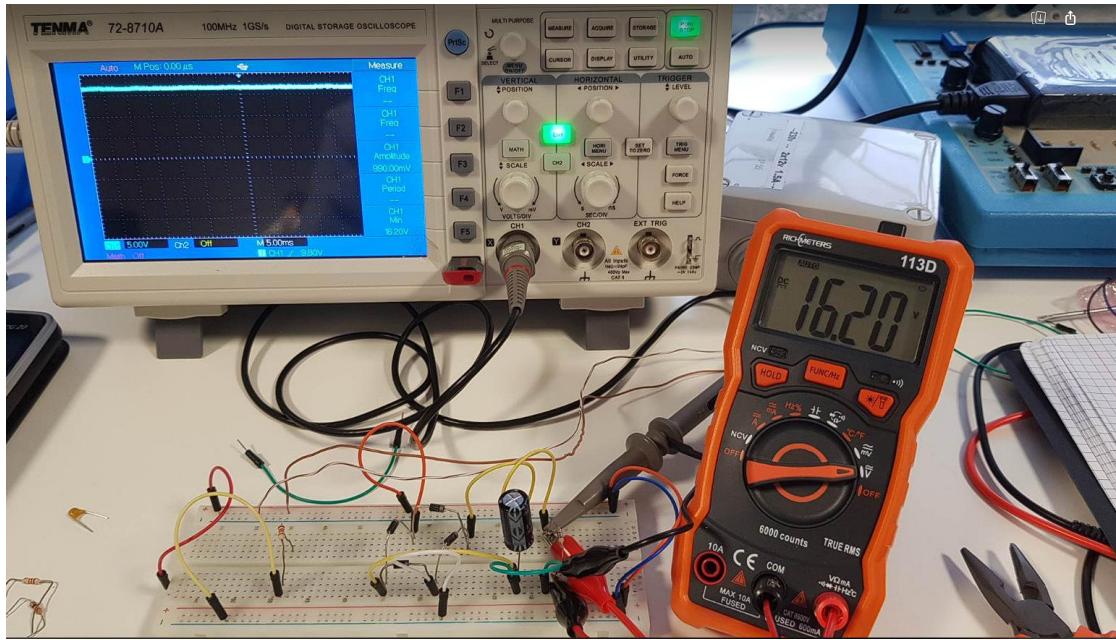


Figura 69 Valor médio e Sinal de Saída (DC) Contexto Real

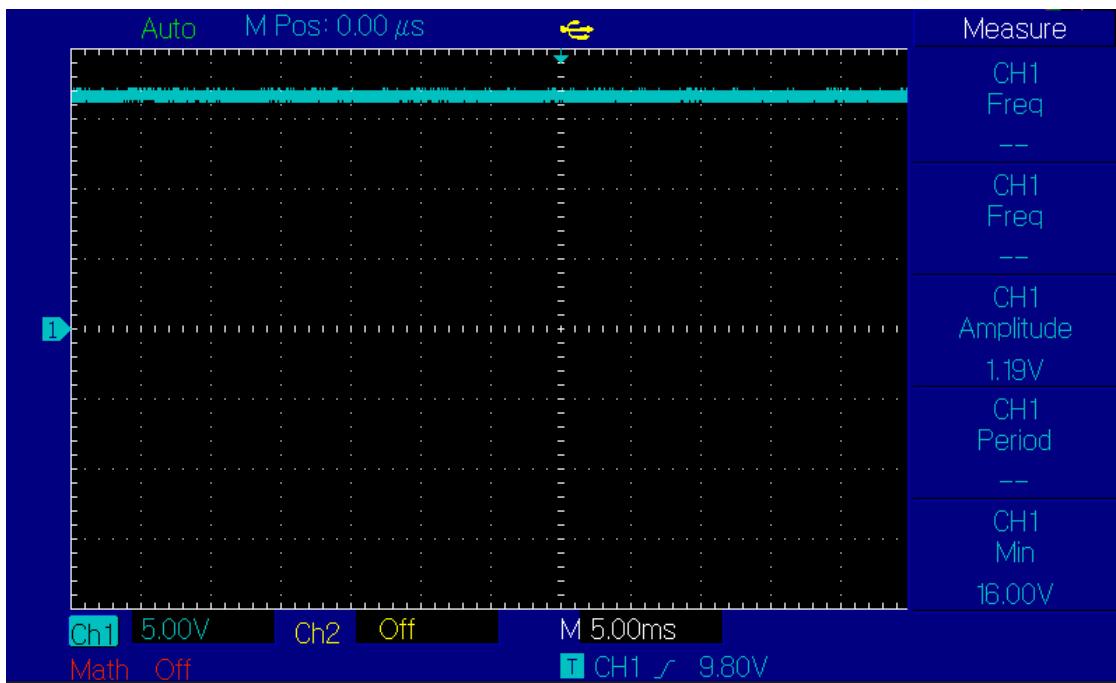


Figura 70 Sinal Saída contexto Real

## 2.2.4 Bloco de Estabilização

Pretende-se agora estabilizar a tensão de saída em 3.3V, qualquer que seja a carga a alimentar (fonte de alimentação ideal). Para o efeito e numa primeira aproximação, utilizar-se-á um díodo Zener cuja tensão de funcionamento inversa é de 3.3V.

O díodo Zener é um tipo especial de díodo utilizado como regulador de tensão. A sua capacidade de regulação de tensão é utilizada principalmente nas fontes de alimentação, para obtenção de uma tensão de saída praticamente constante.

**POLARIZAÇÃO DIRETA:** Quando polarizado diretamente, o díodo Zener comporta-se como um diodo convencional, ou seja, operando assim no regime de condução com uma queda de tensão típica através de seus terminais.

**POLARIZAÇÃO INVERSA:** Até um determinado valor da tensão inversamente aplicado, o díodo Zener comporta-se como um diodo comum, ou seja, operando no regime de bloqueio. A partir de um determinado valor da tensão inversa aplicada ao díodo, ocorre o efeito de rutura, que faz com que o díodo entre subitamente em condução, mesmo estando submetido a uma polarização inversa.

A partir dessa condição, a corrente inversa aumenta rapidamente e a queda de tensão através do díodo mantém-se praticamente constante. O valor  $V_Z$  da tensão inversa a partir da qual o díodo Zener entra no regime de condução é denominado de tensão Zener.

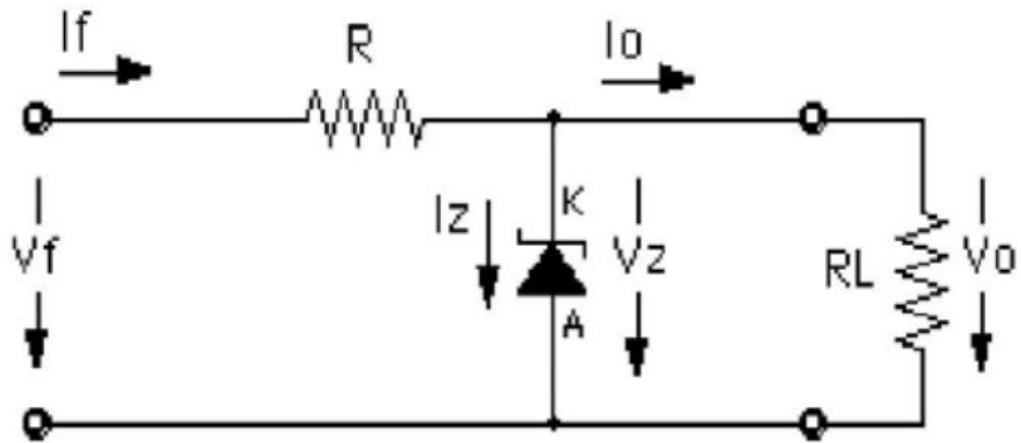


Figura 71 Bloco Estabilização Díodo Zener

Cálculo Corrente limitada a 80mA:

$$\text{Simulação: } R = \frac{V - V_Z}{I} = \frac{14.8 - 3.3V}{0.080A} = 143.5\Omega$$

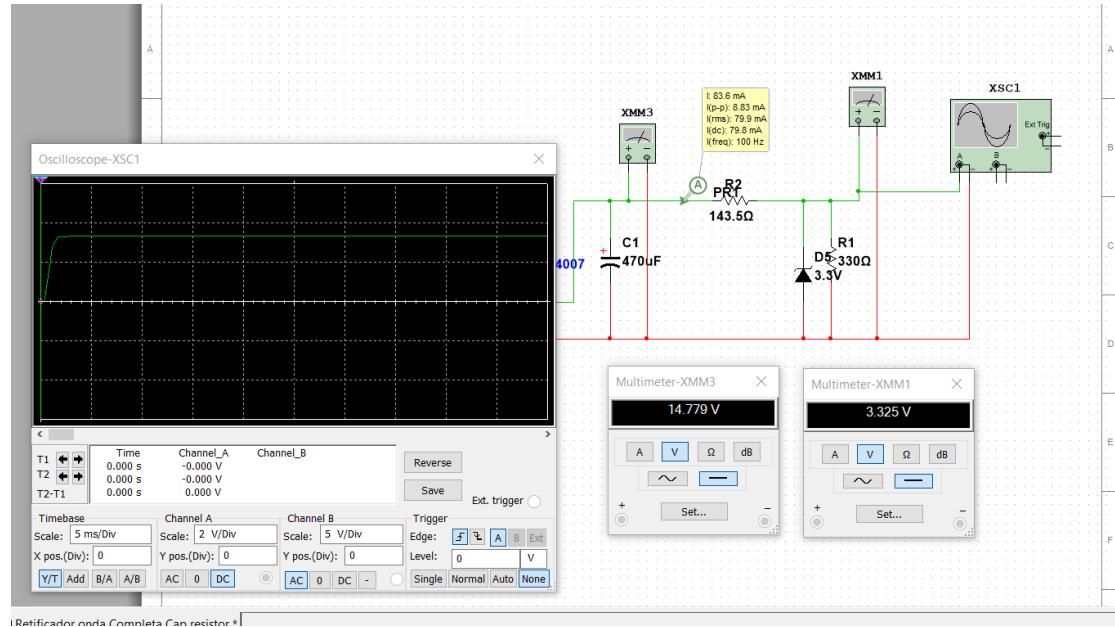


Figura 72 Limitação corrente 80mA

$$\text{Valor Real: } R = \frac{V_f - V_z}{I} = \frac{15.3 - 3.3V}{0.080A} = 150\Omega$$

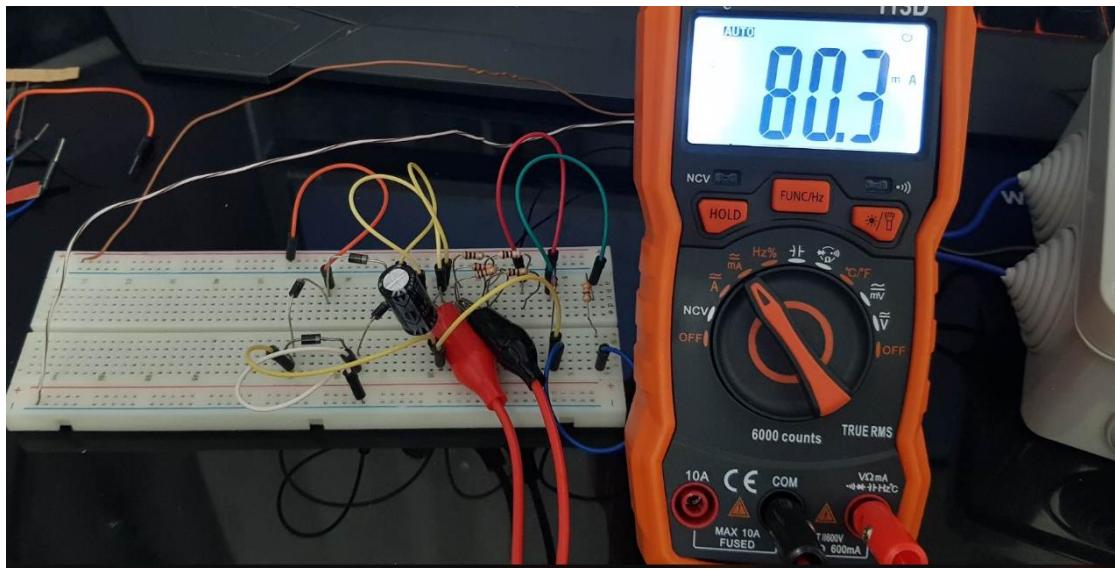


Figura 73 Valor corrente Real

Esquema de resistências de modo a obter  $150\Omega$  com potências dissipadas e distribuídas:

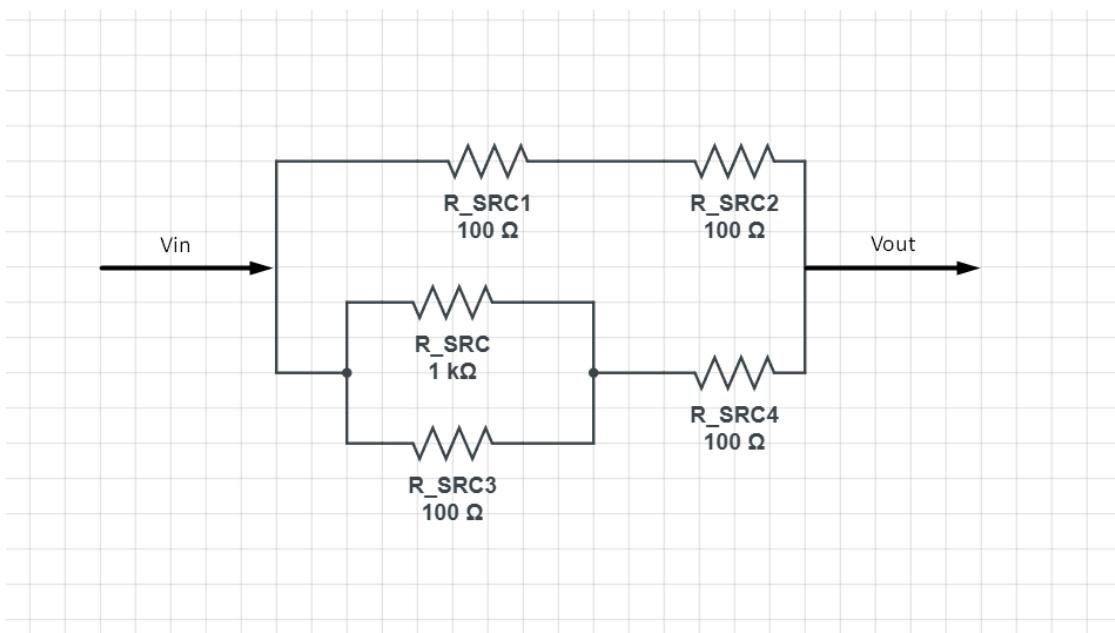


Figura 74 R Equivalente

$$\text{Resistencia Total} = \frac{200 * 600}{200 + 600} = 150\Omega$$

### Vo para RL=330 Ω com díodo de Zener

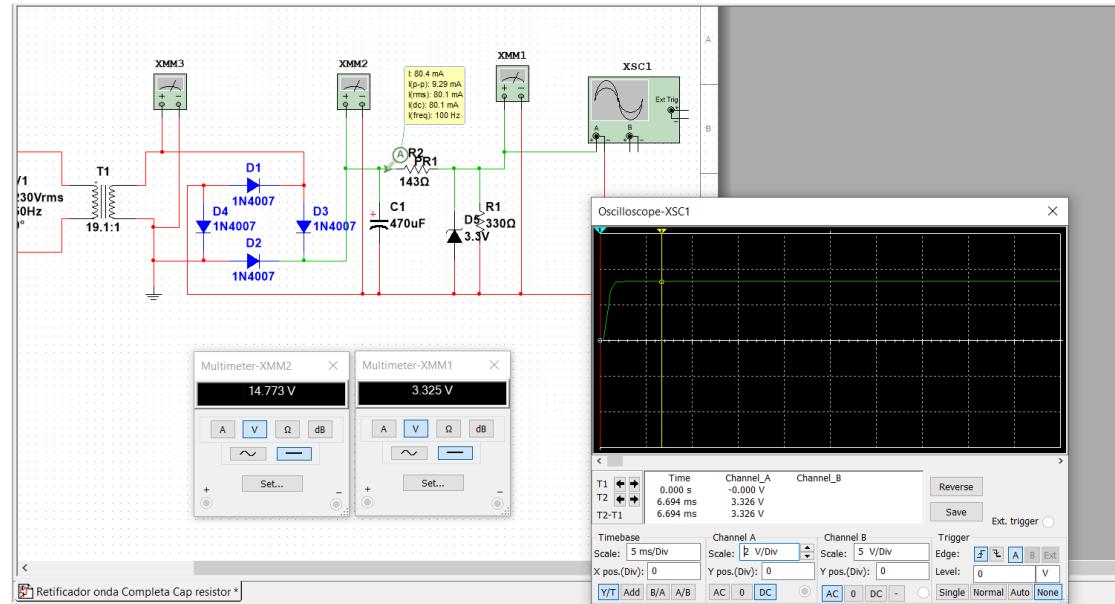


Figura 75 Valor de Saída com respetivo valor médio

### Vo para RL=330 Ω sem díodo de Zener

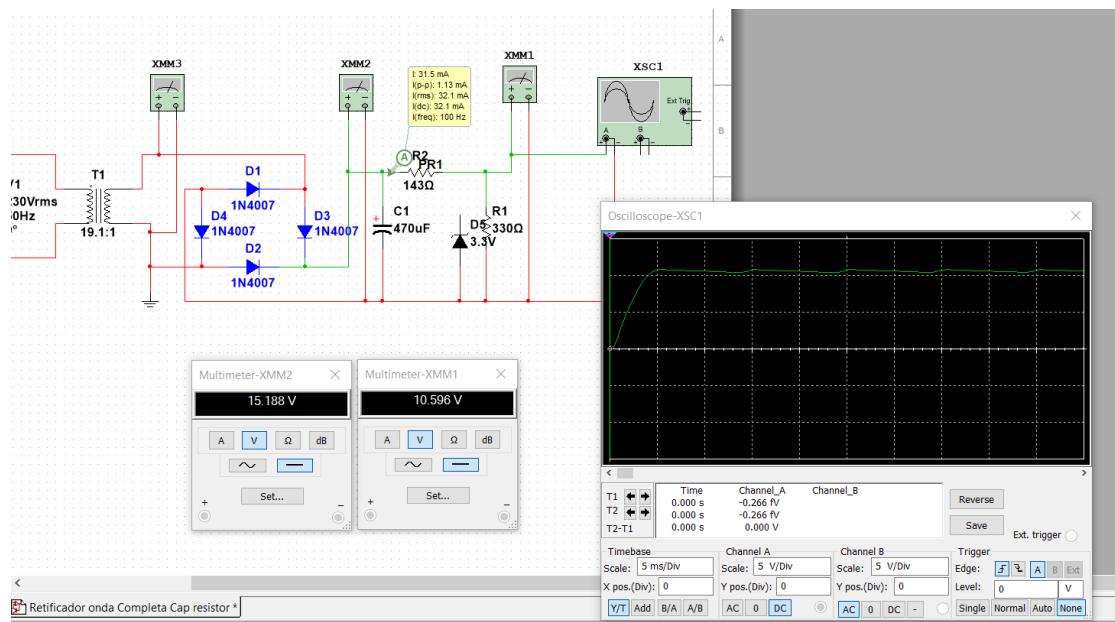


Figura 76 Valor de Saída com respetivo valor médio

Vo para  $RL=3.9\text{ k}\Omega$  com díodo de Zener

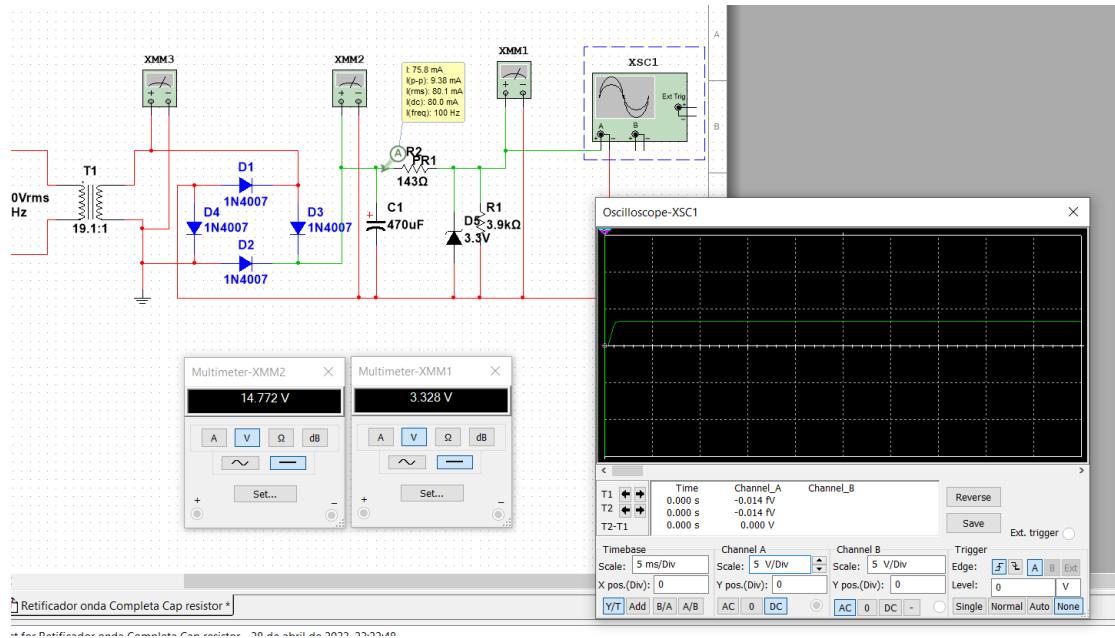


Figura 77 Valor de Saída com respetivo valor médio

Vo para  $RL=3.9\text{ k}\Omega$  sem díodo de Zener

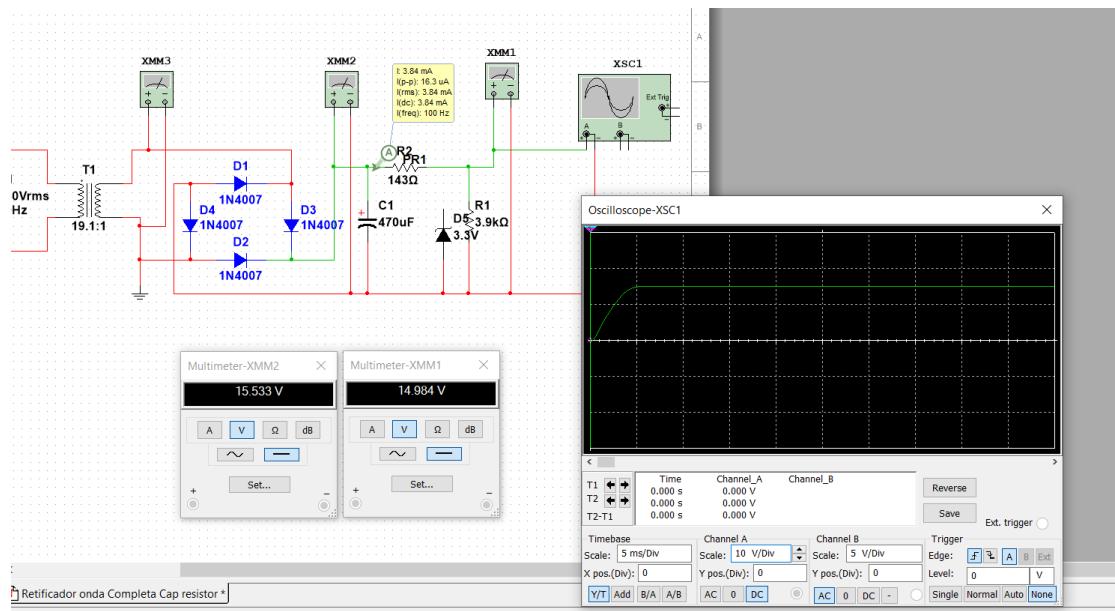


Figura 78 Valor de Saída com respetivo valor médio

### Vo para RL=6.8 KΩ com díodo de Zener

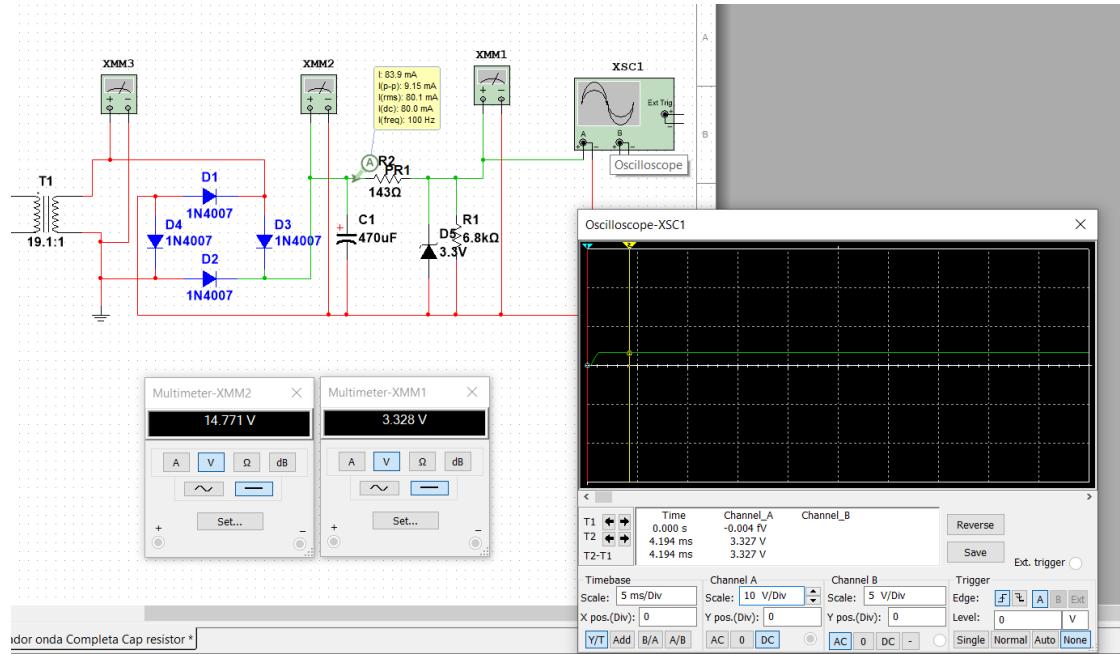


Figura 79 Figura 80 Valor de Saída com respetivo valor médio

### Vo para RL=6.8 KΩ sem díodo de Zener

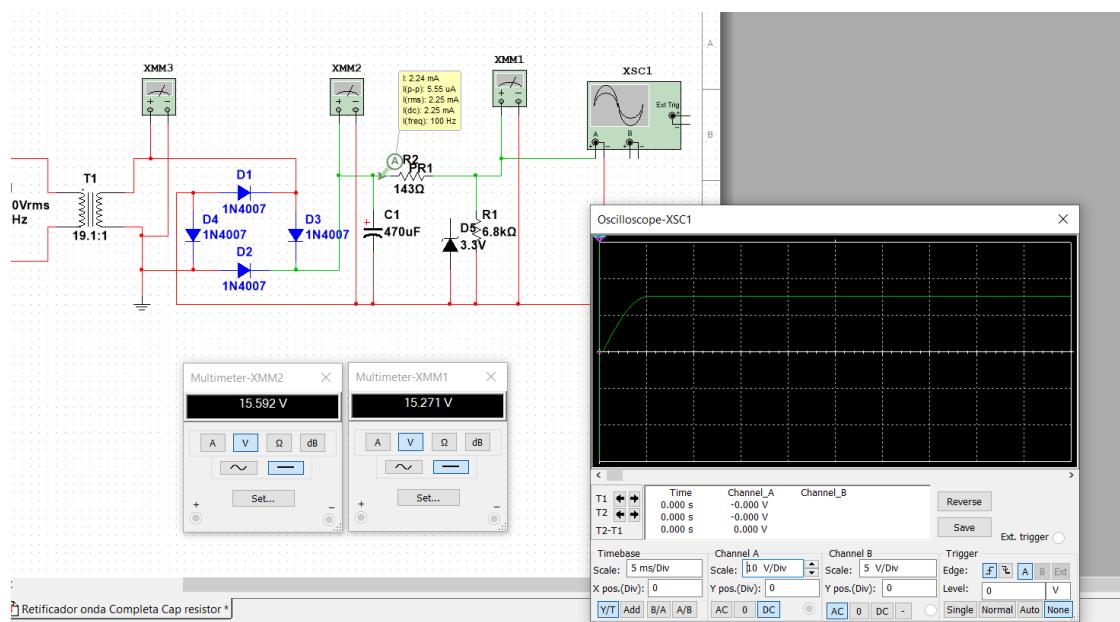


Figura 81 Figura 82 Valor de Saída com respetivo valor médio

### 3 Conclusões

Em resumo, considero esta atividade uma experiência muito enriquecedora. Foi interessante perceber como é que a teoria se pode conectar de forma direta com a prática, permitindo alcançar os resultados esperados. Foi interessante observar comportamentos inesperados destes semicondutores, o que me levou a explorar mais o tema e aprofundar meu conhecimento.

Estes desafios foram fundamentais para meu crescimento técnico, contribuindo para aprimorar as minhas habilidades e confiança no uso de novos equipamentos e na resolução de problemas prático



