

## 4 Relatório

### 4.1 Introdução

Um retificador é um dispositivo elétrico que converte corrente alternada ( $AC$ ) para corrente contínua ( $DC$ ) que flui em apenas uma direção. Fisicamente e historicamente, retificadores assumiram várias formas como: Diodos de válvula termiônica, retificadores de óxido de selênio, retificadores baseados em semicondutores, etc. O objeto de nosso estudo neste experimento, no entanto, serão aqueles construídos a partir de diodos semicondutores.

A necessidade de retificadores surge de aplicações que requerem fontes de correntes  $DC$ , assim como as que seriam produzidas por uma bateria. Nestas aplicações, também é comum usar um filtro eletrônico, normalmente um capacitor, para que se reduza a pulsação de tensão. A Figura 3 mostra os blocos típicos que compõem uma fonte de tensão moderna. No entanto, o foco desta prática serão apenas os dois grupos principais de circuitos retificadores, os de meia-onda e os de onda completa.

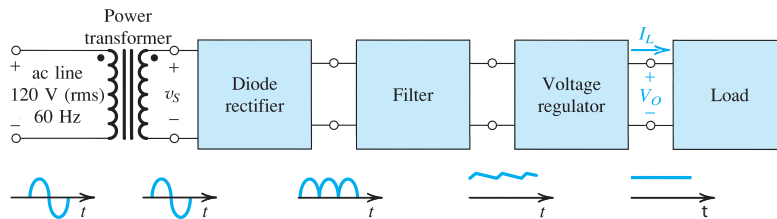


Figura 3: Diagrama de blocos de uma fonte  $DC$ .

Os circuitos retificadores de meia-onda, que tem uma implementação possível mostrada pela Figura 1, permitem a passagem de apenas um dos semiciclos de tensão de entrada para a saída. Como a tensão na entrada é alternada, o diodo permite a passagem do sinal, apenas quando estiver diretamente polarizado no semiciclo positivo. Quando estiver no semiciclo negativo, o diodo estará reversamente polarizado e não haverá tensão na saída. A Figura 4 nos mostra o output de um circuito retificador de meia onda dado uma entrada senoidal. Neste gráfico, podemos observar que, como um diodo não-ideal tem queda tensão, existe um certo *delay* na curva de output e que o pico do output é reduzido pela queda de tensão do diodo diretamente polarizado ( $V_D$ ). Nota-se também que se este sinal é de pouco efeito prático, se for utilizado sem um filtro capacitivo, pois pode ser prejudicial aos componentes eletrônicos. A Figura 5 ilustra o funcionamento de um retificador de pico de

meia onda, que nada mais é que um retificador de meia onda com um filtro capacitivo.

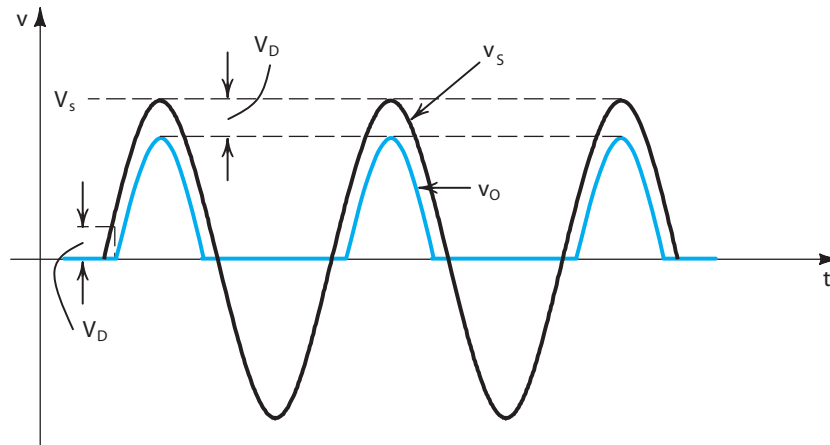


Figura 4: Entrada (preto) e saída (azul) de um circuito retificador de meia-onda.  $V_s$  representa tensão de pico da entrada,  $V_o$  a tensão de pico da saída,  $V_D$  a queda de tensão no diodo diretamente polarizado e  $v_o$  o sinal de saída.

Os circuitos retificadores de onda-completa, que tem uma implementação possível mostrada pela Figura 2, permitem a passagem de sinal por apenas alguns diodos a cada semiciclo positivo, ou negativo, invertendo qualquer sinal negativo para positivo. A Figura 2 é um retificador de onda completa em ponte; quando temos um semiciclo positivo, os diodos  $D2$  e  $D1$  estarão diretamente polarizados e  $D4$  e  $D3$  inversamente polarizados o que resultará em um caminho para corrente no “sentido horário” e o sinal de entrada pouco mudará, já quando a entrada muda para seu semiciclo negativo, apenas os diodos  $D3$  e  $D4$  estarão diretamente polarizados, o que resultará em uma inversão do sinal. Podemos analisar estes efeitos com a Figura 6

Nota-se que diferentemente do retificador de meia-onda não “desperdiçamos” o semiciclo negativo, o que fará com que este circuito tenha uma tensão média de output maior que o anterior. Aqui, também a prática de utilizar um filtro capacitivo é de extrema importância para se aproximar do sinal desejado  $DC$ , como é ilustrado na Figura 7

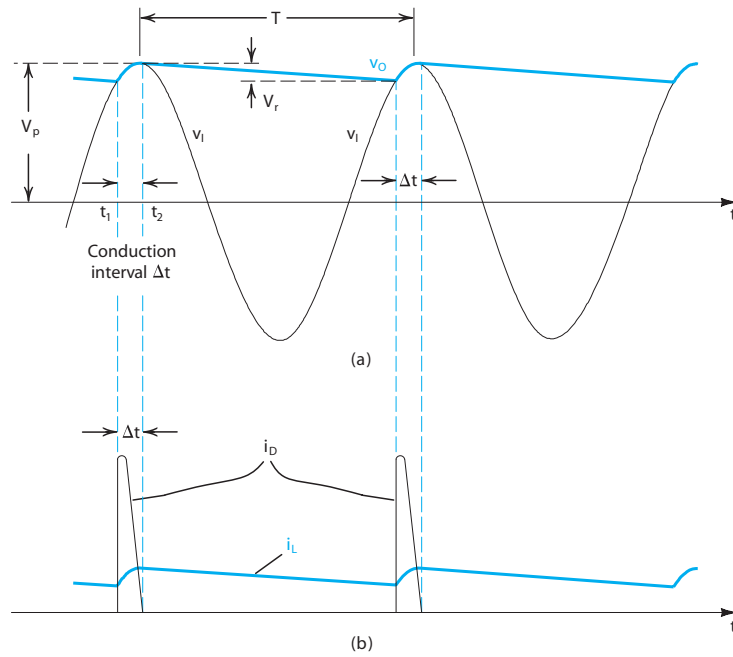


Figura 5: **(a)** Comportamento da tensão de entrada e saída de um filtro capacitor em um retificador de meia onda. **(b)** Corrente entregue a carga acoplada ao retificado de pico de meia-onda. **Obs:** Em ambas figuras assumiu-se um diodo ideal.

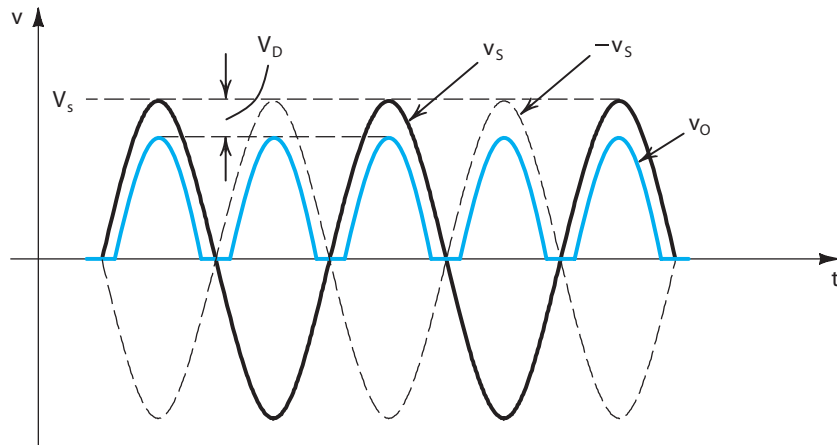


Figura 6: Entrada (preto) e saída (azul) de um circuito retificador de onda completa.  $V_s$  representa tensão de pico da entrada,  $V_s$  a tensão de pico da saída,  $V_D$  a queda de tensão no(s) diodo(s) diretamente polarizado e  $v_o$  o sinal de saída.

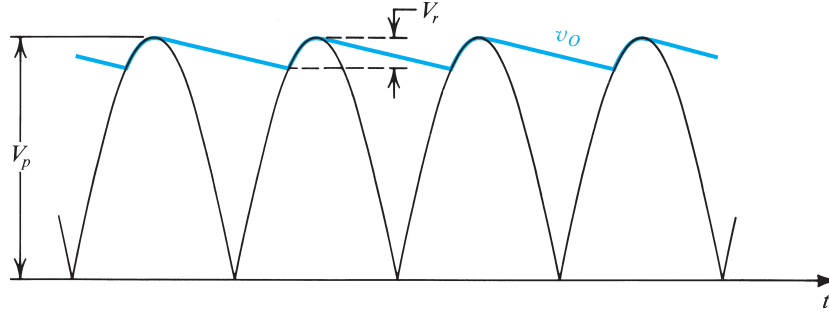


Figura 7: Comportamento de um retificador de onda completa com filtro capacitivo, também chamado de retificador de pico de onda completa.

## 4.2 Análise

No experimento de número 1 foi montado um retificado de meia onda conforme a Figura 1. Com o auxílio de um osciloscópio verificou-se os seguintes valores:

$$\begin{aligned} V_{Avg} &= 6.353V \\ V_{Min} &= -0.437V \\ V_{Max} &= 20.266V \\ V_{CA} &= 7.873V \end{aligned}$$

Ao adicionarmos um capacitor, notamos que os valores se alteraram para:

$$\begin{aligned} V_{Avg} &= 18.995V \\ V_{Min} &= 17.588V \\ V_{Max} &= 20.322V \\ V_{CA} &= 868mV \end{aligned}$$

O gráfico da Figura 8 foi produzido através dos dados obtidos do osciloscópio com o circuito montado como na Figura 1. Em seguida adicionou-se um capacitor no circuito, o que resultou no gráfico da Figura 9. Com os dados das Figuras 8-9, produzimos a Tabela 1, que nos auxiliou no cálculo do fator de ondulação. Para o experimento de número 2, montou-se o circuito descrito pela Figura 2, observou-se o comportamento nos terminais descrito pela Figura 11. A entrada do circuito está ilustrada pela Figura 10.

Com este mesmo circuito, adicionou-se um capacitor eletrolítico de  $100\mu F$ . Esta adição mudou o comportamento do sinal de saída, conforme a Figura 12 nos mostra. Em seguida, o mesmo passo foi repetido, no entanto, com um capacitor de  $220\mu F$ , o que gerou a Figura 13.

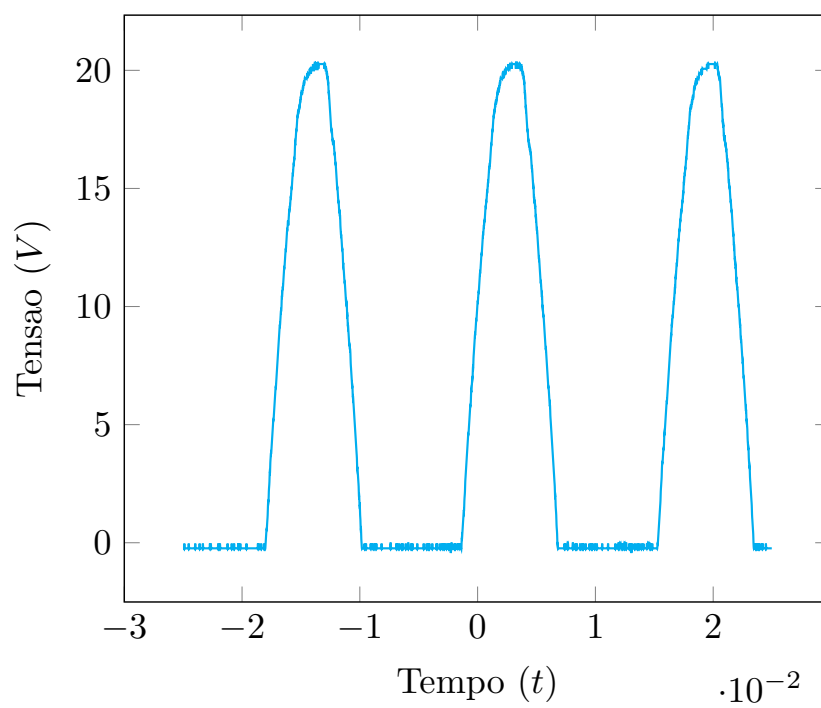


Figura 8: Sinal de saída do circuito retificador de meia onda sem filtro capacitivo, do experimento de número 1.

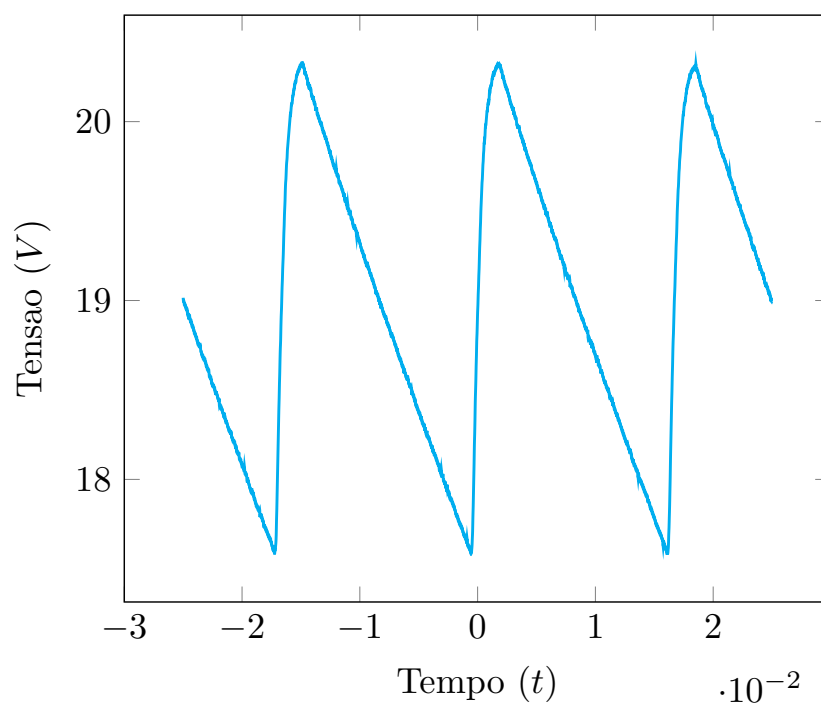


Figura 9: Sinal de saída do circuito retificador de meia onda com filtro capacitivo, do experimento de número 1.

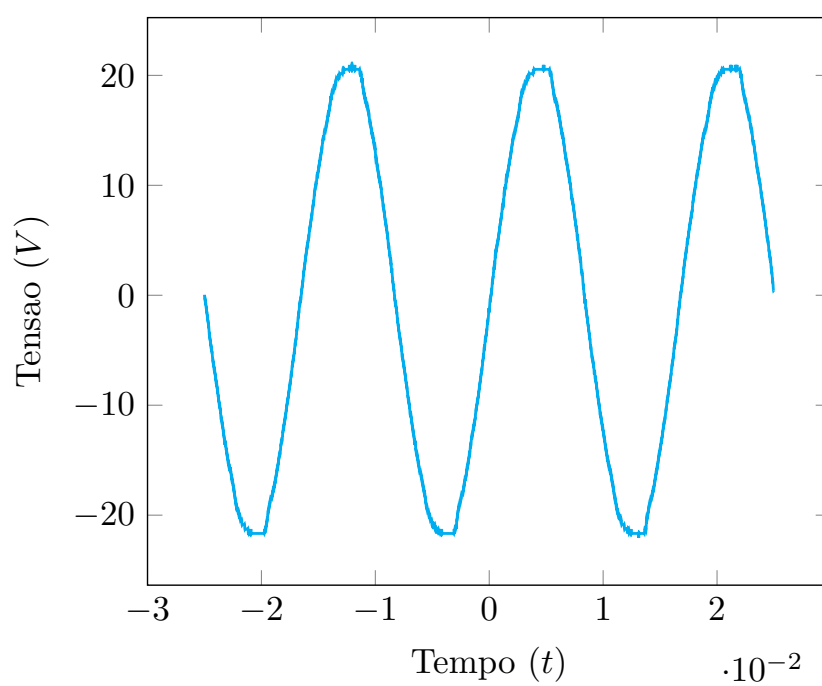


Figura 10: Sinal de entrada do circuito retificador de onda completa do experimento de número 2.

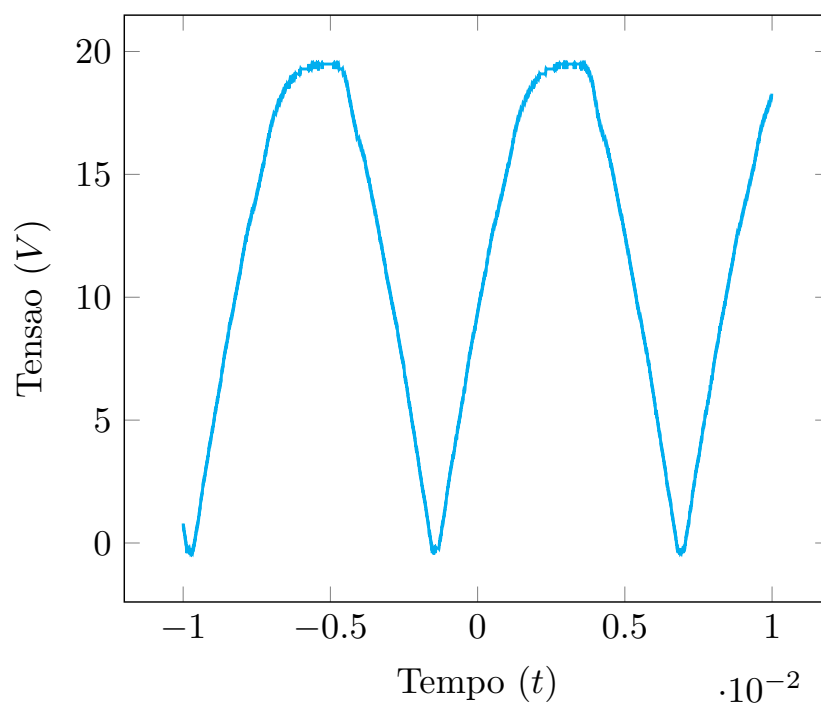


Figura 11: Sinal de saída do circuito retificador de onda completa sem um filtro capacitivo do experimento de número 2.



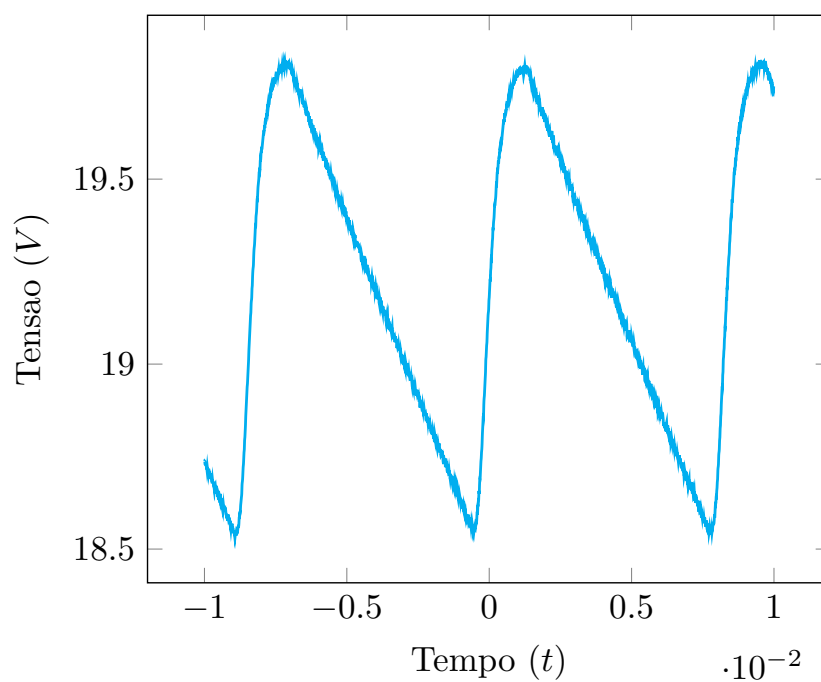


Figura 12: Sinal de saída do circuito retificador de onda completa com um filtro capacitivo de  $100\mu F$  do experimento de número 2.

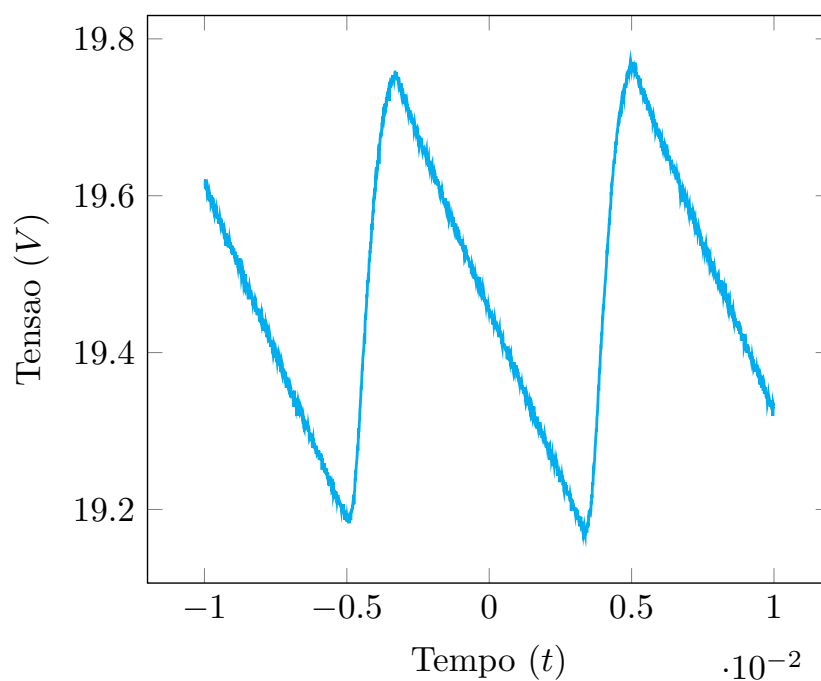


Figura 13: Sinal de saída do circuito retificador de onda completa com um filtro capacitivo de  $200\mu F$  do experimento de número 2.

### 4.3 Discussões

Com a ajuda de um osciloscópio, calculou-se o fator de ondulação dos circuitos retificadores com e sem a presença do capacitor. Sabemos que o fator de ripple é dado por:

$$r = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \quad (1)$$

Sendo que  $V_{dc}$ , para o retificador de meia onda sem filtro capacitivo, é dado por:

$$V_{dc} = 0.318V_{max} \quad (2)$$

$$(3)$$

E com filtro capacitivo:

$$V_{dc} \approx V_{max} \quad (4)$$

Assim, calculamos os fatores de ondulação:

$$r = \frac{V_{ca}}{0.318V_{max}} = \frac{7.873}{0.318 \times 20.266} = 1.2216 \quad (5)$$

$$r = \frac{V_{ca}}{V_{max}} = \frac{868 \times 10^{-3}}{20.266} = 0.0428 \quad (6)$$

$$(7)$$

A Tabela 3 sumariza esta nova informação e o fator de onda obtido na Tabela 1. Esperávamos um valor para o fator de ripple do retificador de meia onda sem filtro capacitivo de aproximadamente 121% ( $\frac{0.385V_{max}}{0.315V_{max}}$ ). Observou-se valores suficientemente próximos a este.

Tabela 3: Fator de ondulação para as medidas realizadas com o multímetro e com o osciloscópio.

Multímetro		Osciloscópio	
Sem Capacitor	Com Capacitor	Sem Capacitor	Com Capacitor
123%	4.3%	122.1%	4.28%

Levando os dados da Tabela 2 em consideração, pudemos calcular o fator de ondulação de cada uma das três configurações do circuito. O valor  $V_{dc}$ ,

para o retificador de onda completa, foi calculado pela equações abaixo, a equação 8 se refere ao circuito sem capacitor, e a equação 9 se refere aos circuitos retificadores de onda completa com filtros capacitivos. O valor do  $V_{rms}$  foi obtido através da função do osciloscópio.

$$V_{dc} = 0.636V_{max} \quad (8)$$

$$V_{dc} \approx V_{max} \quad (9)$$

$$r_1 = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{6.5V}{19.7 \times 0.636V} = 51.87\% \quad (10)$$

$$r_2 = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \approx \frac{V_{rms}}{V_{max}} = \frac{411mV}{19.815} = 2.07\% \quad (11)$$

$$r_2 = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \approx \frac{V_{rms}}{V_{max}} = \frac{164mV}{19.79} = 0.828\% \quad (12)$$

O resultado é descrito na Tabela 4. Esperávamos valores de  $r$  próximos a 48.7% ( $\frac{0.308V_{max}}{0.636V_{max}}$ ) para o retificador de meia onda sem capacitor. Considerando o fator de ondulação como indicativo de qualidade, conclui-se que o retificador de meia onda é melhor com a presença de um filtro capacitivo, pois ambos valores foram significativamente menores que o valor sem filtro capacitivo. Da mesma forma, temos o indicativo que capacitores maiores tendem a nos dar fatores de ondulação melhores. Suspeita que sera confirmado no próximo experimento.

Tabela 4: Fator de ondulação para o circuito retificador de onda completa.

	Sem capacitor	Capacitor $100\mu F$	Capacitor $220\mu F$
Fator de ondulação	51.87%	2.07%	0.828%

Assim, como desejamos um sinal com baixo fator de ondulação, pode-se concluir que o circuito que melhor desempenha é o com capacitor de  $220\mu F$ . Isto pode ser verificado com os gráficos gerados a partir dos dados obtidos no osciloscópio; quando observamos a Figura 11, notamos uma excursão do sinal de 0 a 20V, como desejamos um sinal  $DC$  adicionou-se o capacitor de  $110\mu F$ , e observou-se na Figura 12 uma excursão de 1V entre 18.5V e 19.5V, o que já se parece com um sinal  $DC$ . No entanto, ao aumentarmos a capacitância do capacitor no circuito para  $220\mu F$  observou-se uma excursão de apenas 0.4V, entre 19.2V e 19.6V, o que rendeu um sinal  $DC$  melhor, conforme foi confirmado pelo fator de ondulação da Tabela 4.

O efeito do capacitor foi, em outras palavras, diminuir de forma significativa o efeito de ondulação, já que o sinal excursionou menos e ficou mais constante, assim como desejamos que uma fonte *DC* se comporte. Capacitores maiores tendem a diminuir a excursão e conseqüentemente o ripple no sistema é menor.

Nota-se também, pela equação 13, o relacionamento entre o resistor e o fator de ondulação. Quando a resistência da carga é diminuída, o fator de ondulação tende a aumentar.

$$r = \frac{2.4}{R_L C} \times 100\% \quad (13)$$

## 4.4 Conclusão

Esta prática possibilitou um estudo profundo a cerca de retificadores de tensão. Através de diodos e resistores somente, aprendemos configurações padrões para montar estes tipos de circuitos e muito a respeito do funcionamento esperado destes.

Na primeira prática, estudamos o comportamento de um circuito retificador de meia onda e como a inclusão de um capacitor tem um impacto positivo em diminuir o ripple total do circuito.

Estendendo a ideia anterior, o segundo experimento nos mostrou como podemos, a custo de mais complexidade no circuito, ter uma tensão média maior, retificando a onda tanto no seu semiciclo positivo e negativo, com o retificador de onda completa. Estudou-se também o impacto da variação da capacitância do filtro capacitivo no retificador, e conclui-se que altas capacitâncias ajudam na performance do retificador.

Em uma breve comparação entre os circuitos retificadores, estudou-se um parâmetro, o fator de ondulação ( $r$ ), que nos ajudou a avaliar a performance de cada retificador. Finalmente, conclui-se que o circuito com maior performance foi o circuito retificador de onda completa com filtro de maior capacitância.