

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CAMPUS  
APUCARANA**

CRISTIAN ANDRE SANCHES  
GABRIEL FINGER CONTE  
JOÃO VITOR GARCIA CARVALHO  
MARIA EDUARDA PEDROSO

PROJETO DE ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS I (FUCO5A)

APUCARANA - PARANÁ  
2022

## 1. RESUMO

Dentro de um circuito em série RC encontramos características de divisor de tensão, considerado como filtro de passa-baixa ou passa-alta, que limita para menores e maiores frequências dentro de um sistema.

Com isso temos um comportamento no circuito em que se demonstra como uma forma de onda para cada filtro analisado, com a análise dessas informações podemos construir um filtro passa-banda com comportamento similar e analisar os dados teóricos e compará-los com os dados simulados e experimentais para esse mesmo sistema.

## 2. INTRODUÇÃO

Relembrando, capacitores são dispositivos que armazenam cargas elétricas, em outras palavras, armazenam energia elétrica na forma de campo elétrico. A capacidade de armazenamento de cargas de um capacitor é denominada capacitância ( $C$ ), sendo medida em Farad ( $F$ ).

Conforme apresenta Albuquerque (2008), quando implementado com corrente contínua, os capacitores comportam-se como um circuito aberto. Todavia, ao implementá-los com corrente alternada o mesmo passa a se comportar como uma resistência elétrica. Além disso, em virtude da natureza da corrente ou tensão alternada aplicada no componente, o capacitor carrega-se e descarrega-se continuamente como aponta Capuano e Marino(2009).

Esse a medida desse comportamento de resistência recebe o nome de reatância capacitiva ( $X_c$ ). Tal medida é inversamente proporcional à frequência da corrente e à capacitância, sendo calculada conforme apresenta Albuquerque(2008):

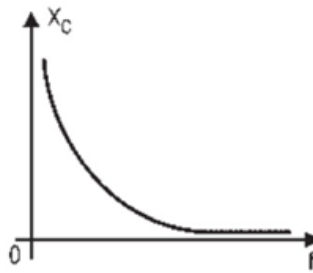
$$X_c = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{\omega C} [\Omega] \quad (1)$$

Sendo:

- $X_c$ : módulo da reatância capacitiva [ $\Omega$ ];

- $C$ : capacitância do capacitor [ $F$ ];
- $f$ : frequência da corrente [ $Hz$ ];
- $\omega$ : frequência angular da corrente [ $rd/s$ ];

Figura 01 – Característica da reatância capacitiva



Fonte: Capuano e Marino (2009)

Tendo em vista tal comportamento, pode-se observar que para um mesmo capacitor de capacitância  $C$ :

- Quanto mais alta a frequência da corrente, menor a reatância capacitiva. Logo, quando a frequência tende ao infinito, o comportamento do capacitor se assemelha a um curto-circuito.
- Já quanto mais baixa a frequência, maior a reatância capacitiva. Logo, quando a frequência tende à zero, o comportamento do capacitor se assemelha a um circuito aberto.

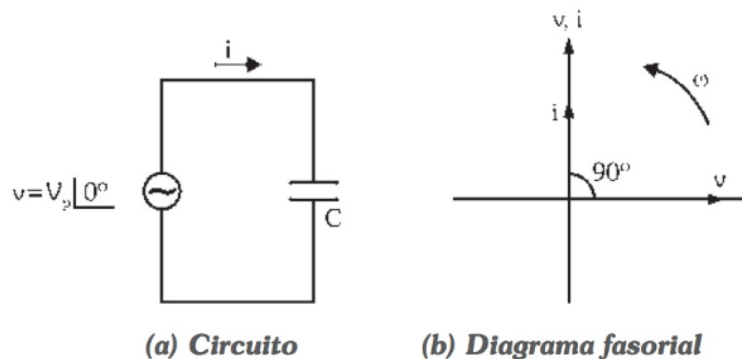
Ao adicionar um resistor no circuito, juntamente com o capacitor, obtém-se um circuito RC em série. Como o capacitor se comporta como uma resistência elétrica em corrente alternada, forma-se um circuito semelhante a um divisor de tensão. O qual é considerado um filtro passivo e que apresenta um comportamento diferente dependendo do componente que se terá a tensão de saída.

Considerando a tensão do capacitor como a tensão de saída, devido à natureza da reatância capacitiva, quanto maior a frequência da corrente menor a resistência, logo a tensão de saída é menor. No caso contrário, quanto menor a frequência maior a tensão de saída. Nesse caso, tem-se o chamado filtro passa-baixa, devido a essa propriedade de permitir a passagem de sinais de baixa frequência.

Já considerando a tensão do resistor como a tensão de saída, tendo em vista o comportamento do capacitor no filtro passa-baixa. Quanto maior a frequência menor a tensão acumulada no capacitor, e como trata-se de um divisor de tensão, quanto menor a tensão no capacitor maior a tensão no resistor. Nesse caso, tem-se o chamado filtro passa-alta, pois quanto maior a frequência maior a tensão de saída acumulada no resistor, em outras palavras, permite a passagem de sinais de alta frequência.

Vale ressaltar também, que aplicando uma corrente em um capacitor, leva um tempo para que o mesmo fique completamente carregado. Com isso, Albuquerque (2008) demonstra que a corrente está adiantada em relação a tensão no capacitor. Além disso, caso a corrente possua um comportamento senoidal, a mesma se encontrará adiantada em  $90^\circ$  em relação a tensão. Apresentando assim componentes imaginários, sendo possível observar melhor através da representação fasorial abaixo:

Figura 02 - Representação fasorial da corrente e tensão em um circuito capacitivo



Fonte: Albuquerque (2008)

A partir dessa análise fasorial, aplicada ao circuito RC, como demonstrado por Albuquerque (2008), percebe-se que a reatância capacitiva de um capacitor tem fase sempre igual a  $-90^\circ$ , na forma polar, ou somente parte imaginária negativa no formato de representação cartesiano.

Observando agora no ponto de vista matemático, ao considerar a reatância capacitiva igual ao valor da resistência do resistor, é possível encontrar a chamada frequência de corte ( $f_c$ ). Ou seja, quando  $X_c = R$ , tem-se  $\frac{1}{2\pi f_c C} = R$ , logo:

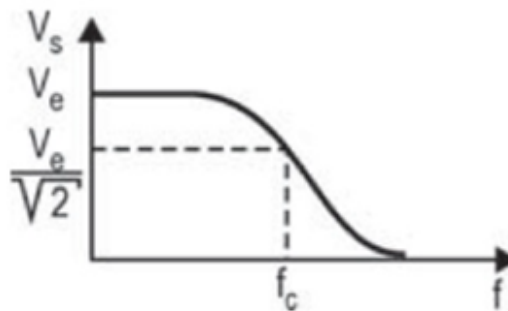
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} [Hz] \quad (2)$$

Nesse caso, conforme demonstra Capuano e Marino (2009), tem-se que a tensão de saída do filtro é exatamente igual à:

$$V_s = \frac{V_e}{\sqrt{2}} [V] \quad (3)$$

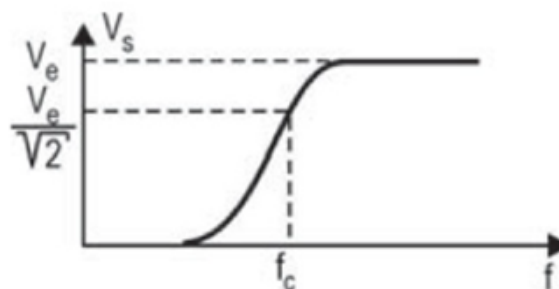
A partir da equação (3), pode-se encontrar a característica da tensão e da defasagem para ambos os filtros, permitindo assim uma visualização do comportamento de cada filtro.

Figura 03 – Característica da tensão de saída de um filtro passa-baixa



Fonte: Capuano e Marino (2009)

Figura 04 – Característica da tensão de saída de um filtro passa-alta



Fonte: Capuano e Marino (2009)

A partir da junção desses dois filtros é possível construir o que é chamado de filtro passa-faixa ou passa-banda, pois seria possível determinar um intervalo de frequências entre a frequência de corte do filtro passa baixa e do passa alta.

Além disso, ressalta-se o cálculo da tensão eficaz ou rms para uma tensão senoidal, como demonstrado por Albuquerque (2008), calculada a partir da tensão de pico a pico:

$$V_{RMS} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} [V] \quad (4)$$

Tendo isso em vista, no presente projeto alterou-se a proposta inicial de construção e análise de um único filtro RC passa-baixas a fim de analisar o comportamento de um circuito ligeiramente mais complexo. Assim, visou-se construir um filtro passa-bandas e analisar superficialmente o seu comportamento.

### **3. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS**

#### **3.1 Objetivos Gerais**

- O projeto tem como objetivo geral a análise de um filtro passa-banda a partir de uma associação de dois filtros RC;
- Comparar os resultados obtidos neste experimento com a simulação.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Projetar um filtro passa-banda com a associação de dois filtros RC, uma passa-baixa e outro passa-alta;
- Validar filtro passa-baixa e passa-alta para frequências entre 1 KHz e 10 MHz;
- Testar o filtro em placa de prototipagem;
- Realizar simulações do projeto;
- Comparar dados obtidos da simulação com os testados em placas de prototipagem.

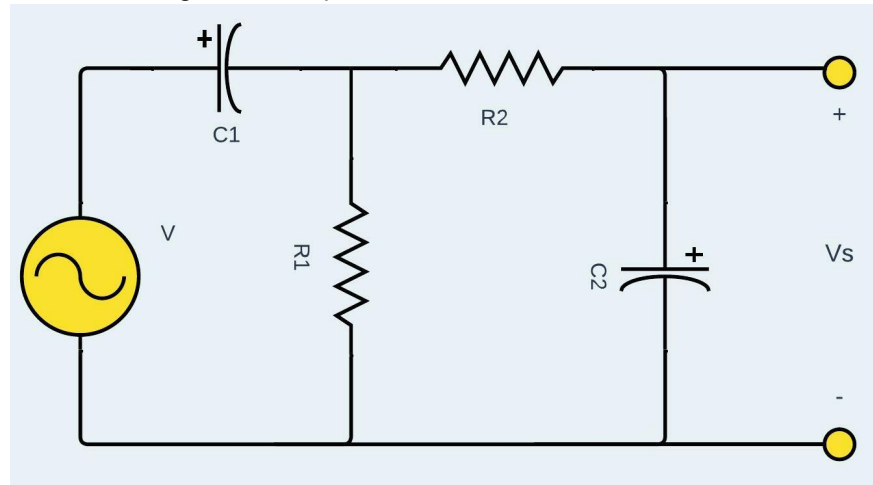
### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização deste projeto foi necessário:

- 01 Placa de prototipagem (protoboard);
- 02 Resistores de 1 KΩ;
- 01 Capacitor de 4,7 μF;
- 01 Capacitor de 1,0 μF;
- 01 Fonte AC (Gerador de Função);
- 01 Osciloscópio.

Os componentes citados serão colocados na placa de prototipagem montando o circuito representado na Figura 05. Onde os pontos  $V_s+$  e  $V_s-$  vão para o osciloscópio, permitindo a visualização da onda e das frequências de saída.

Figura 05: Esquemático do circuito desenvolvido.



Fonte: autoria própria

## 5. CRONOGRAMA

	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Análise do projeto					
Escolha do tema					
Escrita pré projeto					
Relatório final					
Implementação prática					
Apresentação final					

## 6. ESTABELECIMENTO DO PROBLEMA

Tendo o conceito que se trata de um circuito Resistor-Capacitor com uma corrente alternada, os estados da impedância capacitiva dependem muito da frequência da corrente do sistema, podendo variar entre estados de curto no lugar do capacitor, onde a frequência é infinita, e uma abertura no lugar do capacitor, onde

a frequência é nula. Para a análise dos sinais de uma faixa específica de frequência buscou-se construir um limitante chamado de Filtro Passa Banda.

## **7. ROTEIRO DO PROJETO**

### **7.1. Parte Simulada**

Para simular este experimento, o circuito foi montado em um software de simulação, LTSpice, e obtido a resposta do sistema em relação à frequência. A tensão de entrada foi de 10 volts em uma função senoidal de 1 Hz à 10 Hz aumentando de 1 em 1 Hz. Depois deste, a frequência foi aumentada de 10 em 10Hz até 100Hz. Por fim, de 100 em 100 Hz até 1KHz.

### **7.2. Parte Prática**

A partir dos materiais e do esquemático de conexões presente na Figura 05, montou-se o circuito na placa de prototipagem.

Em seguida, configurou-se o gerador de tensão para fornecer uma tensão senoidal com 10V de pico a pico, considerando um offset de 5 V.

Após isso, configurou-se inicialmente a frequência da senoide para 1 Hz. Mediu-se o valor da tensão de pico a pico,  $V_{pp}$ , e a tensão eficaz,  $V_{RMS}$ , para tal frequência.

Repetiu-se o mesmo processo de medição, aumentando a frequência em 1Hz até chegar em 10Hz. Assim que atingiu a marca de 10 Hz, passou-se a incrementar 10Hz a cada iteração até a marca de 100Hz. Em 100Hz, mudou-se o passo para 100Hz, incrementando até alcançar a marca final de 1 Kz.

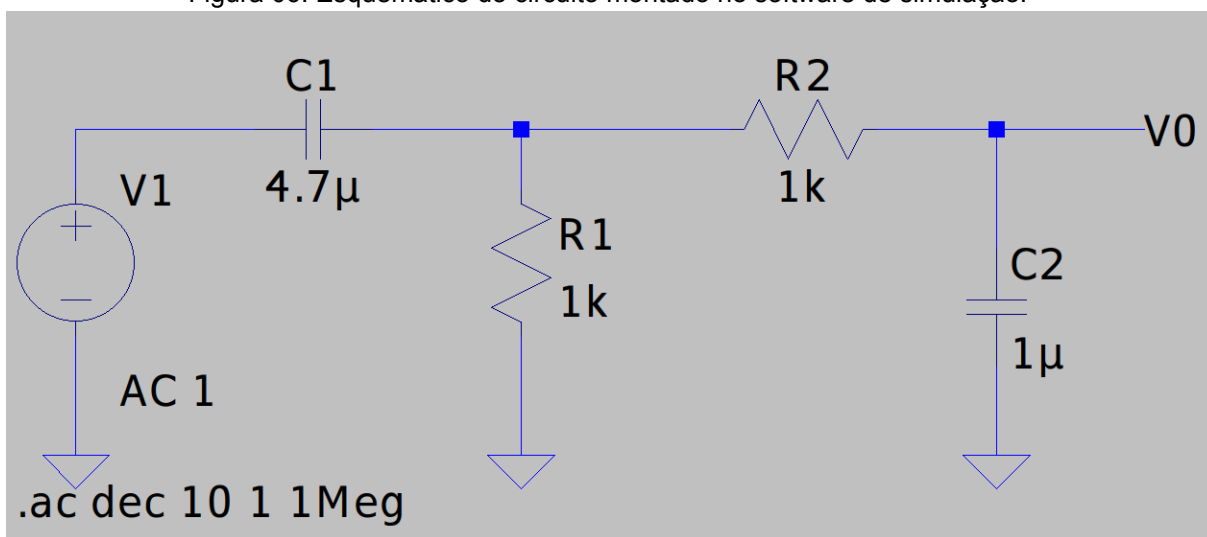
## **8. RESULTADOS OBTIDOS**

### **8.1. Parte Simulada**

O circuito montado no software de simulação está representado na figura 06 e a tensão que foi medida para a análise do filtro foi o ponto V0.



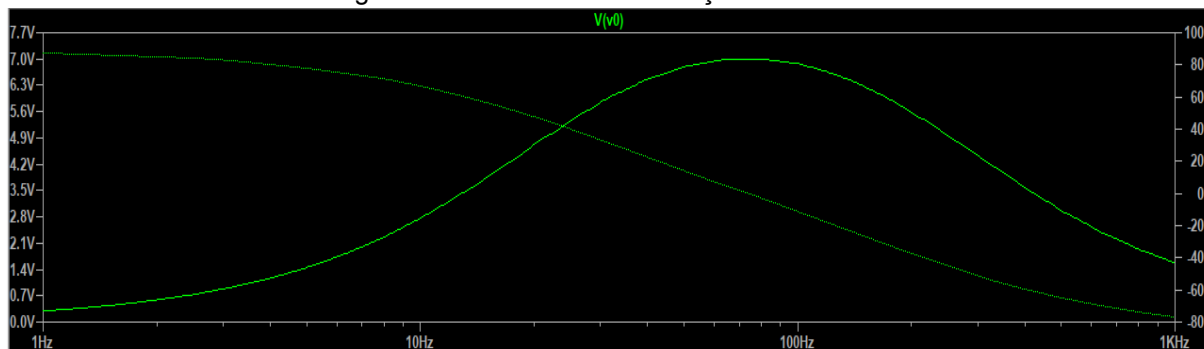
Figura 06: Esquemático do circuito montado no software de simulação.



Fonte: autoria própria

Utilizando a ferramenta de simulação do aplicativo que provê a resposta do circuito em relação à frequência, foi possível observar qual o valor da tensão em relação à frequência de entrada, conforme demonstra a figura 07.

Figura 07: Resultado da simulação do circuito.



Fonte: autoria própria

## 8.2. Parte Prática

Inicialmente, após medir a resistência real dos resistores, encontrou-se:

Tabela 01 - Dados dos resistores utilizados no experimento

Resistor	Código de Cores	$R_{\text{nominal}}$ (K $\Omega$ )	Tolerância (%)	$R_{\text{experimental}}$ (K $\Omega$ )
R1	Marrom - Preto - Vermelho - Dourado	1,000	5,000	0,978
R2	Marrom - Preto - Vermelho - Dourado	1,000	5,000	0,990

Fonte: autoria própria

Já para os capacitores, considerou-se apenas a capacitância nominal dos mesmos, de modo que obteve-se:

Tabela 02 - Dados dos capacitores utilizados no experimento

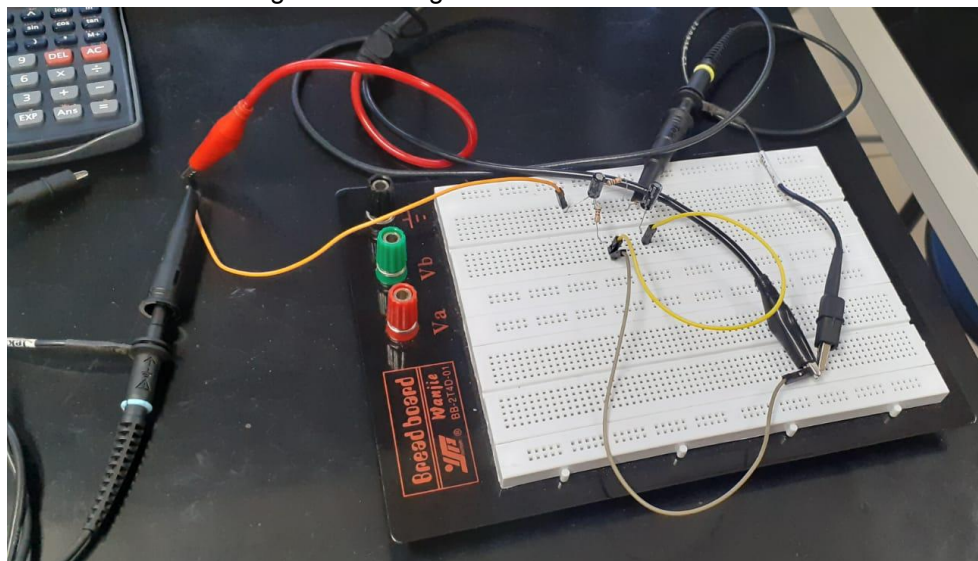
Capacitor	$C_{\text{nominal}} (\mu\text{F})$
C1	4,70
C2	1,00

Fonte: autoria própria

Em seguida, configurou-se o gerador de tensão para fornecer uma tensão senoidal, inicialmente de 1Hz, com uma tensão de pico a pico fixa  $V_{pp} = 10 \text{ V}$  e um offset fixo de 5 V, sendo esse o valor médio da fonte.

Logo após a montagem, resultou no circuito representado na figura abaixo:

Figura 08: Fotografia do circuito montado.



Fonte: autoria própria

Com o auxílio do osciloscópio, obtiveram-se os seguintes valores de tensão pico a pico e tensão rms para cada uma das frequências analisadas:

Tabela 03 - Dados sobre a tensão  $V_s$  para frequência analisada

Freq. AC (Hz)	$V_{pp}$ (V)	$V_{RMS}$ (V)		Freq. AC (Hz)	$V_{pp}$ (V)	$V_{RMS}$ (V)
1	104 m	128 m		60	6,72	2,37
2	112 m	272 m		70	6,72	2,37
3	786 m	228 m		80	6,68	2,36
4	1,14	372 m		90	6,64	2,34
5	1,48	521 m		100	6,52	2,31
6	1,80	671 m		200	5,16	1,83
7	2,06	784 m		300	4,04	1,42
8	2,32	874 m		400	3,24	1,14
9	2,56	927 m		500	2,72	951 m
10	2,82	983 m		600	2,32	814 m
20	4,72	1,65		700	2,02	710 m
30	5,76	2,03		800	1,82	630 m
40	6,32	2,23		900	1,64	566 m
50	6,60	2,32		1000	1,46	511 m

Fonte: autoria própria

## 9. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dados os valores presentes nas tabelas 01 e 02, podemos obter as frequências de corte, experimentais e teóricas, que foram consideradas neste experimento. Para tanto, utilizamos a fórmula (2), assim:

- Frequências de corte teóricas:

$$\circ f_{C1} = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1} = \frac{1}{2\pi \cdot 1k \cdot 4,7\mu F} \approx 33,86 [Hz]$$

$$\circ f_{C2} = \frac{1}{2\pi \cdot R2 \cdot C2} = \frac{1}{2\pi \cdot 1k \cdot 1,0\mu F} \approx 159,15 [Hz]$$

- Frequências de corte experimentais:

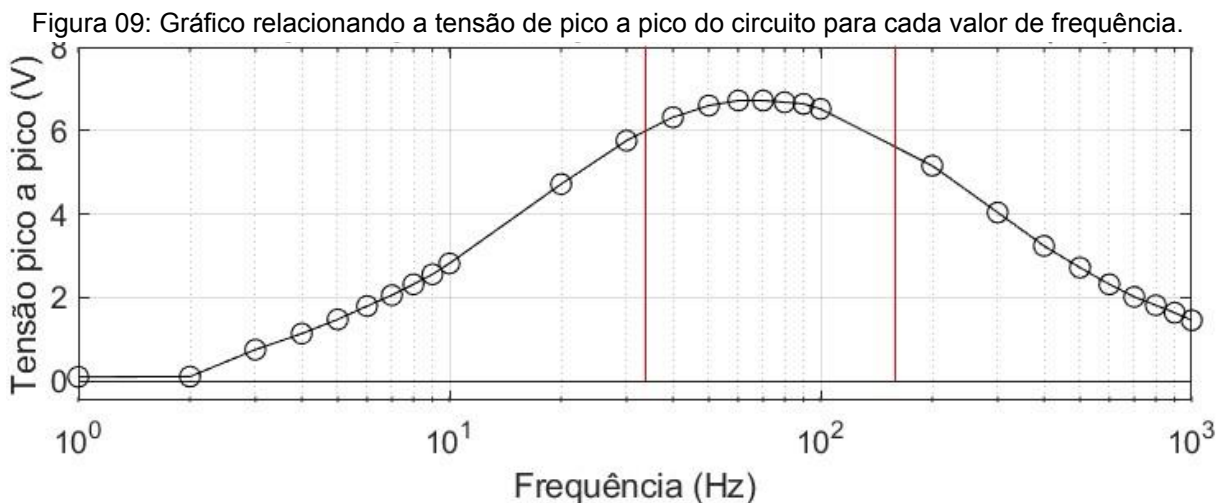
$$\circ f_{C1} = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,978k \cdot 4,7\mu F} \approx 34,62 [Hz]$$

$$\circ f_{C2} = \frac{1}{2\pi \cdot R2 \cdot C2} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,990k \cdot 1,0\mu F} \approx 160,76 [Hz]$$

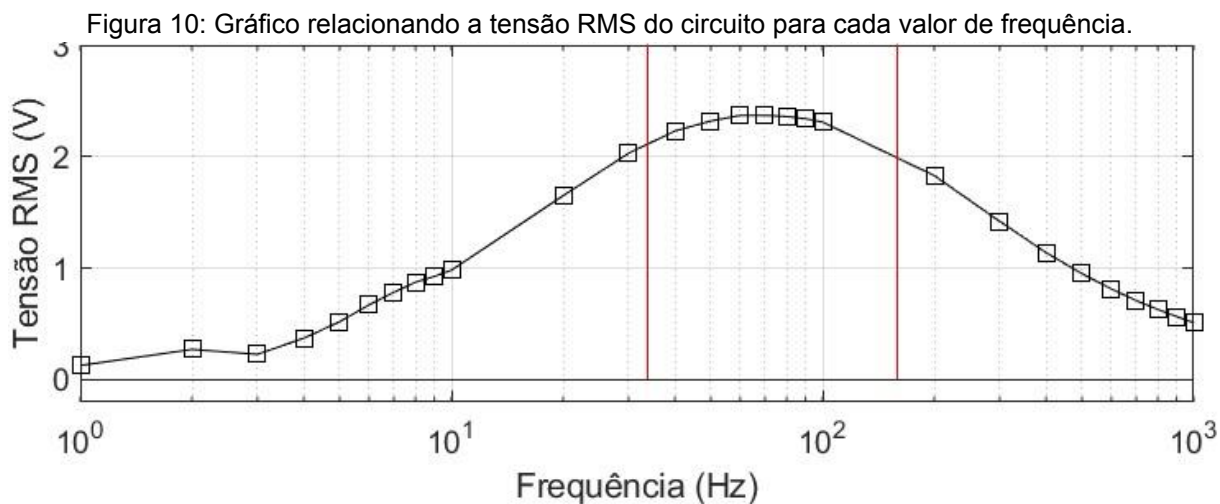
Logo temos que a banda esperada que passe pelo filtro sejam frequências entre 33,86 Hz e 159,15 Hz, teoricamente. Ressalta-se que, comparando os valores calculados acima, nota-se uma leve diferença entre os valores de frequência de corte teórico e experimental.

Além disso, a partir dos dados da Tabela 03, foi possível montar um gráfico demonstrando o comportamento do circuito, com o auxílio do software MATLAB, da tensão de pico a pico em função da frequência e outro da tensão eficaz em função da frequência. Devido a natureza do intervalo de frequências considerado, utilizou-se a escala logarítmica no eixo-x para uma melhor visualização do comportamento do circuito.

Ressalta-se que nas figuras abaixo, as retas verticais vermelhas representam as frequências de corte teóricas calculadas anteriormente, demarcando a faixa de frequências desejada neste experimento.



Fonte: autoria própria



Fonte: autoria própria

Analisando com o resultado obtido de maneira simulada, conforme mostra a figura 07, verifica-se um comportamento semelhante ao obtido experimentalmente, observado nos dois gráficos acima.

Observa-se melhor pelos gráficos acima, que fora da faixa de frequências esperada, ou seja, entre as retas vermelhas, a tensão do sinal se mantém mais próxima do valor de pico, atenuando as frequências fora da banda esperada.

## 10. CONCLUSÃO

Neste projeto pode-se explicar e comparar o filtro implementado com a simulação feita no LTSpice e com isso, conseguimos observar o comportamento de um capacitor em um circuito de corrente alternada, que devido a sua natureza de armazenamento de carga resulta em um avanço de corrente em função da tensão, além da importância da frequência neste circuito, obtendo o controle da tensão sob o componente por meio de sua relação com a impedância capacitiva. E por fim, conseguimos concluir que os valores práticos se assemelham bastante com os teóricos, mostrando que nosso projeto teve um resultado satisfatório e positivo. Esse trabalho agregou bastante conhecimento principalmente na importância desse circuito para a eletrônica.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Rômulo de O. **Análise de Circuitos em Corrente Alternada**. São Paulo: Editora Saraiva, 2008. E-book. ISBN 9788536518091. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518091/>. Acesso em: 28 out. 2022.

CAPUANO, Francisco G.; MARINO, Maria Aparecida M. **Laboratório de Eletricidade e Eletrônica**. São Paulo: Editora Saraiva, 2009. E-book. ISBN 9788536519777. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519777/>. Acesso em: 29 out. 2022.

IRWIN, J D.; NELMS, R M. **Análise Básica de Circuitos para Engenharia**. Grupo GEN, 2013. E-book. ISBN 978-85-216-2320-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2320-5/>. Acesso em: 31 out. 2022.