

CIRCUITOS RC E RL – TRANSITÓRIO

COMPONENTES DA EQUIPE

Alunos(as):	NOTA
1 - _____	
2 - _____	
3 - _____	Data: ____/____/____ :____ hs

1 Objetivos

- 1.1 Verificar experimentalmente as situações de carga e descarga de um capacitor.
- 1.2 Verificar experimentalmente as situações de energização e desenergização de um indutor.

2 Introdução Teórica

2.1 O Capacitor

O capacitor é um componente que tem como finalidade armazenar energia elétrica. É formado por duas placas condutoras, também denominadas de **armaduras**, separadas por um material isolante ou **dielétrico**, ligados a estas placas condutoras estão os terminais para conexão deste com outros componentes, conforme mostra a Figura 1.

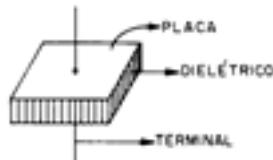


Figura 1: Modelo do Capacitor de Placas Paralelas

Capacitância (C) é a característica que o capacitor apresenta de armazenar mais ou menos cargas elétricas por unidade de tensão. Portanto, podemos escrever a relação: $C = \frac{Q}{V}$. Onde: C = Capacitância; Q = Carga Elétrica e V = Tensão. Quando aplicarmos uma tensão igual a 1 Volt (V) e o capacitor armazenar 1 Coulomb (C), teremos então uma capacitância igual a 1 Farad (F).

Devido às dificuldades construtivas, os capacitores encontram-se situados em faixa de valores submúltiplos do farad como o micro farad (μF), nano farad (ηF) e o pico farad (pF).

Além do valor da capacitância, é preciso especificar o valor limite da tensão a ser aplicada entre seus terminais. Esse valor é denominado **tensão de isolamento** e varia conforme o tipo de capacitor.

Na prática, encontramos vários tipos de capacitores, com aplicações específicas, dependendo de aspectos construtivos, tais como, material utilizado como dielétrico tipo de armaduras e encapsulamento. Dentro dos diversos tipos, destacamos:

- **Capacitores Plásticos** (poliestireno, poliéster): consistem em duas folhas de alumínio separadas pelo dielétrico de material plástico. Sendo os terminais ligados às folhas de alumínio, o conjunto é bobinado e encapsulado, formando um sistema compacto.

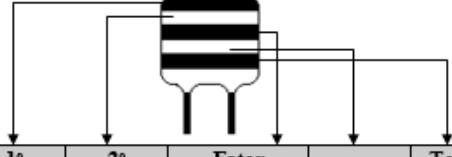
Uma outra técnica construtiva é a de vaporizar alumínio em ambas as faces do dielétrico, formando o capacitor. Essa técnica é denominada de metalização e traz como vantagem, maior capacidade em comparação com os de mesmas dimensões dos não metalizados.

- **Capacitores Eletrolíticos de Alumínio:** consistem em uma folha de alumínio anodizada como armadura positiva, onde por um processo eletrolítico, forma-se uma camada de óxido de alumínio que serve como dielétrico, e um fluido condutor, o eletrólito que impregnado em um papel poroso, é colocado em contato com outra folha de alumínio de maneira a formar a armadura negativa. O conjunto é bobinado, sendo a folha de alumínio anodizada, ligada ao terminal positivo e a outra ligada a uma caneca tubular, encapsulamento do conjunto, e ao terminal negativo. Os capacitores eletrolíticos, por apresentarem o dielétrico como uma fina camada de óxido de alumínio e em uma das armaduras um fluido, constituem uma série de altos valores de capacitância, mas com valores limitados de tensão de isolação e terminais polarizados.

De forma idêntica, encontramos os capacitores eletrolíticos de **tântalo**, onde o dielétrico é formado por óxido de tântalo, cuja constante dielétrica faz obter-se um capacitor de pequenas dimensões, porém com valores de tensão de isolação, mais limitados.

- **Capacitores Cerâmicos:** apresentam como dielétrico um material cerâmico, que é revestido por uma camada de tinta, que contém elemento condutor, formando as armaduras. O conjunto recebe um revestimento isolante. São capacitores de baixos valores e altas tensões de isolação.

Os capacitores, analogamente aos resistores, possuem valores de capacitância padronizados que obedecem à seqüência, 1 - 1.2 - 1.5 - 1.8 - 2.2 - 2.7 - 3.3 - 4.7 - 5.6 - 6.8 - 8.2 - com fator multiplicativo, conforme a faixa desde pF até mF . Normalmente, o valor da capacitância, a tensão de isolação e a tolerância são impressos no próprio encapsulamento do capacitor, todavia em alguns tipos como os de poliéster metalizado, estes parâmetros são especificados por um código de cores. A Tabela 1 mostra esse código de cores, bem como a identificação no corpo do capacitor.



Cor	1º Algarismo	2º Algarismo	Fator Multiplicativo	Tolerância	Tensão Nominal
Preta	—	0	—	$\pm 20\%$	—
Marrom	1	1	10^1 pF	—	—
Vermelho	2	2	10^2 pF	—	250 V
Laranja	3	3	10^3 pF	—	—
Amarelo	4	4	10^4 pF	—	400 V
Verde	5	5	10^5 pF	—	100 V
Azul	6	6	—	—	630 V
Violeta	7	7	—	—	—
Cinza	8	8	10^{-2} pF	—	—
Branca	9	9	10^{-1} pF	$\pm 10\%$	—

Tabela 1: Valores de Capacitores - Poliéster Metalizado

2.2 O Indutor

Um fio condutor ao ser percorrido por uma corrente elétrica cria ao redor de si um campo magnético. Para melhor aproveitarmos este campo enrolamos o fio condutor em forma de espiral, ao redor de

um núcleo, constituindo o componente denominado **indutor**. Chamamos de indutância (L), o parâmetro que relaciona esse efeito do campo magnético com a corrente que o produziu e sua unidade é o Henry [H], tendo como submúltiplos o milihenry (mH) e microhenry (μH). Na Figura 2 temos esquematizado um indutor.

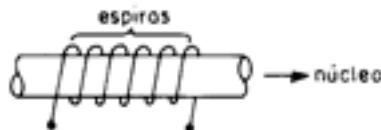


Figura 2: Esquema de um Indutor

Os indutores podem ser fixos ou variáveis. Os indutores fixos são constituídos por um fio de cobre esmaltado, enrolado ao redor de um núcleo que pode ser de ar, de ferro ou de ferrite. O indutor com núcleo de ar é simplesmente constituído pelo enrolamento do próprio fio e proporciona baixos valores de indutância. Os núcleos de ferro e de ferrite proporcionam valores mais altos de indutância, sendo que o de ferrite, pó de ferro com aglutinante, é aplicado principalmente em altas freqüências.

Os indutores variáveis consistem num sistema onde o núcleo é móvel, podendo o valor da indutância ser ajustado externamente, dentro de uma faixa preestabelecida.

2.3 Circuito Transiente RC

2.3.1 Carga no Capacitor

A seguir, vamos estudar o comportamento do capacitor em regime transitório, na situação de carga e descarga. Ao aplicarmos a um capacitor uma tensão continua através de um resistor, esse se carrega com uma tensão, cujo valor depende do intervalo de tempo em que se desenvolverá o processo. Na Figura 3, temos um circuito para carga do capacitor.

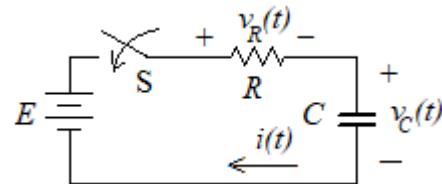


Figura 3: Circuito de Carga - Capacitor

Estando o capacitor inicialmente descarregado ($v_C(0) = 0$), fechamos a chave S do circuito. A corrente neste instante é a máxima do circuito, ou seja, $I_{max} = \frac{E}{R}$. A partir daí, o capacitor inicia um processo de carga com aumento gradativo da tensão entre seus terminais ($v_C(t)$) e, consequentemente, teremos uma diminuição da corrente, obedecendo a uma função exponencial, até atingir o valor zero, quando este estiver totalmente carregado.

Na Figura 4, temos a variação da corrente em função do tempo.

A partir desta característica, podemos equacionar a corrente em função do tempo e dos componentes do circuito: $i(t) = I_{max} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$, onde: $i(t)$ = valor da corrente em um determinado instante de tempo; I_{max} = valor inicial da corrente no circuito; e = base do logaritmo neperiano ($e \approx 2.7183$) e τ = constante de tempo do circuito ($\tau = RC$). A partir do circuito da Figura 3, podemos escrever que: $E = v_R(t) + v_C(t)$. Assim o máximo valor de $v_C(t)$ é $E = V_{C_{max}}$.

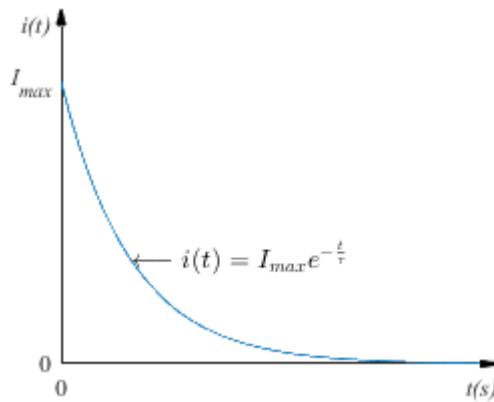


Figura 4: Característica da Corrente de Carga de um Capacitor

Substituindo a expressão da corrente, temos:

$$v_C(t) = V_{C_{max}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (1)$$

que é denominada a equação de carga do capacitor.

Podemos, através da Equação 1, levantar a característica do capacitor, ou seja, a tensão entre seus terminais em função do tempo. Vamos calcular a tensão do capacitor em três pontos notáveis: $v_C(0) = 0$; $v_C(\tau) = 0.632 V_{C_{max}}$ e $v_C(5\tau) = 0.993 V_{C_{max}} \cong V_{C_{max}}$. Ou seja, o capacitor para se carregar totalmente, necessita de um intervalo de tempo, maior que cinco vezes a sua constante de tempo. A Figura 5 mostra a curva de carga de um capacitor com os pontos notáveis.

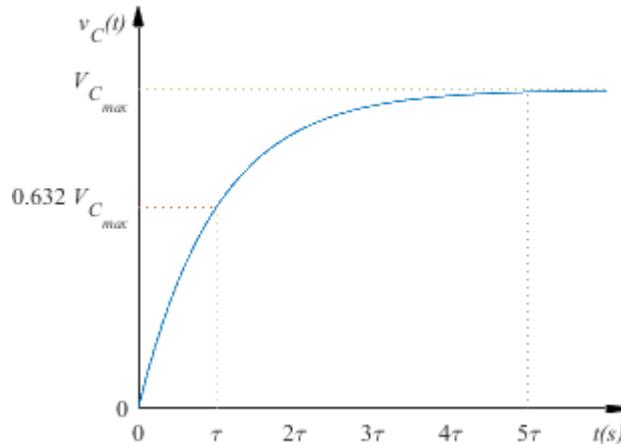


Figura 5: Carga de um Capacitor

2.3.2 Descarga no Capacitor

Estando o capacitor carregado, podemos montar um circuito para a sua descarga. Esse circuito é visto na Figura 6.

No instante $t = 0$, fechamos a chave S do circuito, e o capacitor inicia sua descarga através do resistor R . Neste instante, a corrente no circuito será máxima e a partir daí diminui, obedecendo uma função exponencial, até atingir o valor zero, quando o capacitor estiver totalmente descarregado. Novamente temos uma característica igual ao da Figura 4. Ou seja, a equação da corrente em função do tempo, será: $i(t) = I_{max} e^{-\frac{t}{\tau}}$.

No circuito da Figura 6, temos que: $v_C(t) = v_R(t)$, onde: $v_C(t) = R i(t) = R I_{max} e^{-\frac{t}{\tau}}$.

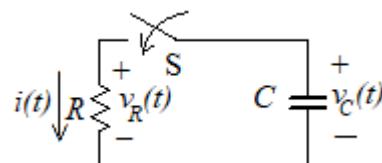


Figura 6: Circuito de Descarga de um Capacitor

Logo

$$v_C(t) = V_{C_{max}} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

onde $RI_{max} = V_{C_{max}}$ (tensão atingida pelo capacitor durante o processo de carga), que é denominada equação de descarga do capacitor.

Através da Equação 2, podemos levantar a característica do capacitor em três pontos notáveis: $v_C(0) = V_{C_{max}}$; $v_C(\tau) = 0.368V_{C_{max}}$ e $v_C(5\tau) = 0.0067V_{C_{max}} \cong 0$.

O capacitor para se descarregar, necessita de um intervalo de tempo maior que 5 vezes a sua constante de tempo. A Figura 7 mostra a curva da descarga do capacitor com os pontos notáveis.

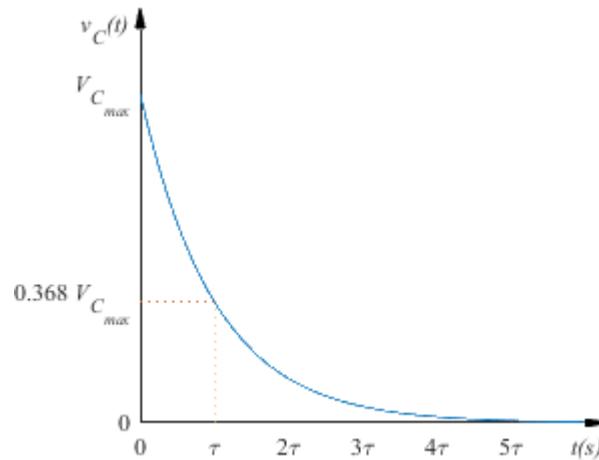


Figura 7: Descarga de um Capacitor.

2.4 Circuito Transiente RL

2.4.1 Energização de um Indutor

A seguir, vamos estudar o comportamento do indutor em regime CC (Corrente Contínua). Ao aplicarmos a um indutor uma tensão contínua através de um resistor, este armazenará energia magnética, pois a corrente criará um campo magnético no indutor. Na Figura 8 temos um circuito para tal finalidade.

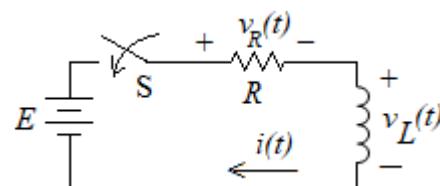


Figura 8: Circuito de Energização de um Indutor.

Estando o indutor inicialmente desenergizado, em $t = 0$ fechamos a chave S do circuito. A corrente inicial é nula, pois o indutor se opõe às variações bruscas de corrente. Após essa oposição inicial, a corrente aumenta gradativamente obedecendo a uma função exponencial, até atingir o valor máximo (I_{max}), quando o indutor estiver totalmente energizado. Nesta situação, temos $I_{max} = \frac{E}{R}$. Na Figura 9 temos a variação da corrente em função do tempo. A partir desta característica, podemos equacionar a corrente em função do tempo e dos componentes do circuito, $i(t) = I_{max} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$. Onde τ é a constante de tempo do circuito e é igual a relação entre o valor da indutância e o valor da resistência ($\tau = \frac{L}{R}$).

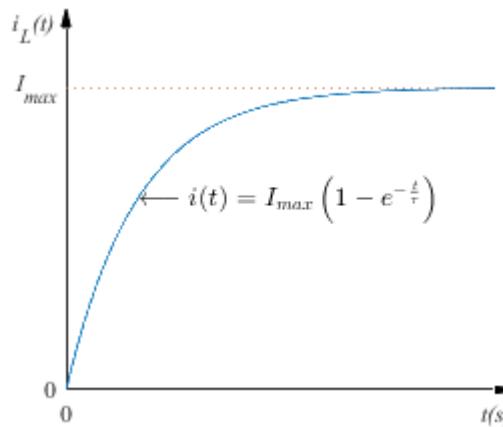


Figura 9: Característica da Corrente de Energização de um Indutor.

Para o circuito da Figura 8 podemos escrever que: $E = v_R(t) + v_L(t)$, substituindo a expressão da corrente e considerando a tensão máxima alcançada pelo indutor $V_{L_{max}} = E$, temos:

$$v_L(t) = V_{L_{max}} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (3)$$

que é denominada a equação de energização do indutor.

Podemos, através da equação 3, levantar a característica do indutor em regime transitório. Calculando a tensão no indutor em três pontos notáveis: $v_L(0) = V_{L_{max}}$; $v_L(\tau) = 0.368V_{L_{max}}$ e $v_L(5\tau) = 0.0067V_{L_{max}} \cong 0$. Ou seja, temos que, o indutor se energiza totalmente em um intervalo de tempo superior a 5 vezes a sua constante de tempo. A Figura 10 mostra a curva do indutor com os pontos notáveis.

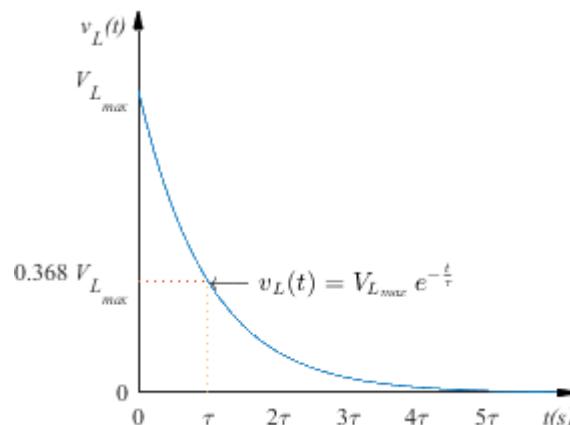


Figura 10: Energização de um Indutor.

2.4.2 Desenergização de um Indutor

Estando o indutor energizado, podemos montar um circuito para desenergizá-lo. Esse circuito é visto na Figura 11.

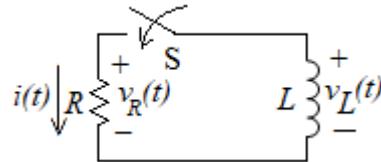


Figura 11: Circuito de Desenergização de um Indutor.

No instante $t = 0$, fechamos a chave S do circuito, e o indutor inicia o processo de desenergização através do resistor R . Neste instante, a corrente no circuito será máxima, decrescendo exponencialmente até atingir o valor zero, quando o indutor estiver totalmente desenergizado. Essa característica é mostrada na Figura 12. Equacionando a corrente em função do tempo, temos: $i(t) = I_{max} e^{-\frac{t}{\tau}}$.

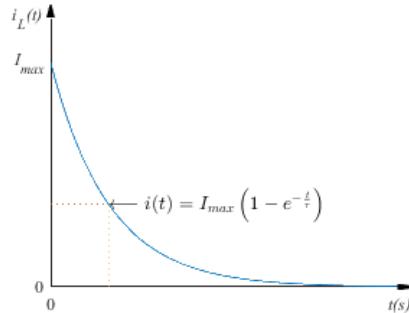


Figura 12: Corrente de Desenergização de um Indutor.

A partir do circuito da Figura 11, notamos que: $v_R(t) = v_L(t)$, onde $v_L(t) = R i(t) = R I_{max} e^{-\frac{t}{\tau}}$ e $R I_{max} = V_{L_{max}}$ (a tensão atingida pelo indutor durante o processo de energização). Assim:

$$v_L(t) = V_{L_{max}} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (4)$$

que é denominada equação de desenergização do indutor.

Através da Equação 4, podemos levantar a característica do indutor durante sua desenergização. Calculando a tensão do indutor em três pontos notáveis: $v_L(0) = V_{L_{max}}$; $v_L(\tau) = 0.368V_{L_{max}}$ e $v_L(5\tau) = 0.0067V_{L_{max}} \cong 0$.

Ou seja, o indutor para se desenergizar necessita de um intervalo de tempo maior que 5 vezes a sua constante de tempo. A Figura 13 mostra a curva da descarga do indutor com os pontos notáveis.

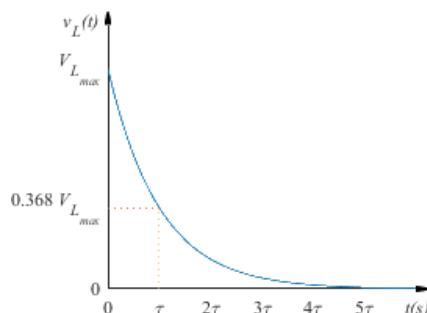


Figura 13: Tensão de Desenergização de um Indutor.

3 Material Utilizado para o Experimento

1. Fonte de tensão variável (DC Power Supply).
2. Gerador de onda quadrada.
3. Resistor: $2 \times 220\Omega$, 470Ω , 560Ω , $1K\Omega$, $4,7K\Omega$ e $56K\Omega$.
4. Capacitor Eletrolítico: $680\mu F \times 25V$.
5. Indutor: $820\mu H$.
6. Multímetro.
7. Osciloscópio.
8. Cronômetro (Aplicativo do Telefone Celular).

4 Pré-Relatório

Ler o item 5 e resolver teoricamente os circuitos propostos com os valores nominais para os resistores preenchendo as Tabelas nas linhas que se referem aos valores teóricos (calculados).

5 Parte Experimental

5.1 O Circuito RC

Monte o circuito da Figura 14. Ajuste a tensão do gerador (acoplado no circuito de teste) para $20 V_{cc}$ e monitore a tensão no capacitor com o auxílio do osciloscópio e um cronômetro (App Telefone Celular). Anote os valores requeridos nas tabelas de carga e descarga do capacitor (Tabela 2 e Tabela 3). Repita cinco vezes o mesmo procedimento e encontre a média dos parâmetros.

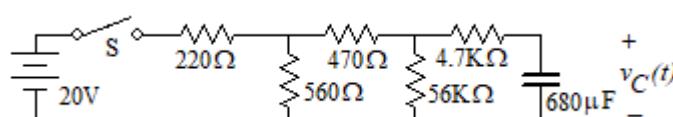


Figura 14: Circuito RC.

Carga			
Vezes	$v_C(\tau)$	$V_{C_{max}}$	τ
1			
2			
3			
4			
5			
Média	$\overline{v_C(\tau)}$	$\overline{V_{C_{max}}}$	$\overline{\tau}$

Descarga			
Vezes	$v_C(\tau)$	$V_{C_{max}}$	τ
1			
2			
3			
4			
5			
Média	$\overline{v_C(\tau)}$	$\overline{V_{C_{max}}}$	$\overline{\tau}$

Tabela 2: Carga no Capacitor

Nos espaços abaixo reservados às Equações 5 e 6, escreva as equações de cargas experimental (com os valores médios obtidos na Tabela 2) e teórico do capacitor para o circuito da Figura 14.

$v_C(t) = \underline{\hspace{100pt}}$ Volts (5)	$v_C(t) = \underline{\hspace{100pt}}$ Volts (6)
---	---

Da mesma forma, nos espaços abaixo reservados às Equações 7 e 8, escreva as equações de descargas experimental (com os valores médios obtidos na Tabela 3) e teórico do capacitor para o circuito da Figura 14.

$$v_C(t) = \underline{\hspace{10cm}} \text{ Volts } (7)$$

$$v_C(t) = \underline{\hspace{10cm}} \text{ Volts } (8)$$

Utilize as Equações 5 e 6 para plotar, em um mesmo gráfico, a tensão de carga do capacitor. Plote de 0 até 18 segundos. Identifique-os no gráfico obtido.

Utilize as Equações 7 e 8 para plotar, em um mesmo gráfico, a tensão de descarga do capacitor. Ploter de 0 até 20 segundos. Identifique-os no gráfico obtido.

5.2 O Circuito RL

Monte o circuito da Figura 15. Ajuste o gerador de sinais para onda quadrada, $10V_{pp}$ e freqüência $30KHz$.

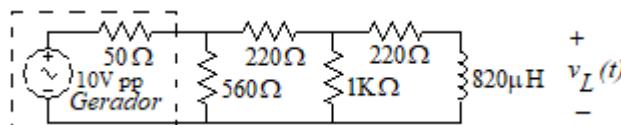


Figura 15: Circuito RL

Analise e escreva, no espaço (Equação 9) abaixo reservado, a Equação de Energização do indutor do circuito da Figura 15.

$$v_L(t) = \underline{\hspace{10cm}} \text{ Volts} \quad (9)$$

Através do osciloscópio verifique a tensão do indutor. Anote na Tabela 4 os valores de tensão para os tempos indicados experimentalmente e teoricamente através da Equação 9.

Tempo(μs)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10
Tensão (V) Exp.											
Tensão (V) Teo.											

Tabela 4: Valores de Tensão Obtidos no Indutor

Com os dados da Tabela 4 plote em um só gráfico as tensões do indutor (teórico e experimental), identificando-os.

6 Questionário

6.1 O experimento se mostrou válido? Explique por quê?

6.2 Comente os resultados, erros encontrados e a principal fonte de erro.