



# INSTITUTO DE FÍSICA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

*Laboratório de Eletromagnetismo (4300373)*

Grupo: .....

.....

.....

**(nomes completos)**

Prof(a): ..... Diurno ( ) Noturno ( )

Data : \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## **Experiência 7**

### **LINHA DE TRANSMISSÃO**

#### **1 - Introdução**

Neste laboratório estudaremos o transporte de energia eletromagnética por cabos coaxiais longos. A ideia central é verificar como se modifica um sinal eletromagnético (pulsos quadrados, enviados com frequência de alguns *kHz*) ao se propagar ao longo do cabo (linha de transmissão), em função das seguintes condições de contorno: extremidade da linha aberta, fechada e acoplada a uma resistência apropriada para que haja o *casamento de impedância*. Realizaremos também a medida experimental da velocidade de propagação da onda eletromagnética no cabo.

As linhas de transmissão são empregadas para carregar corrente alternada ou radiofrequência entre pontos distantes, com o mínimo de perdas. Há vários formatos de fios empregados para essa transmissão, e estaremos escolhendo o cabo coaxial (veja ilustração na Figura 1). Trata-se de um cabo cilíndrico com um fio condutor central, recoberto por um isolante (em geral plástico), e um condutor externo na forma de uma malha que recobre o conjunto. Há ainda uma capa externa para proteção do cabo. No interior dos condutores não há campo elétrico, mas no interior do dielétrico sim. A onda se propaga na direção do eixo do cilindro, com os campos elétrico e magnético oscilando perpendicularmente a essa direção.

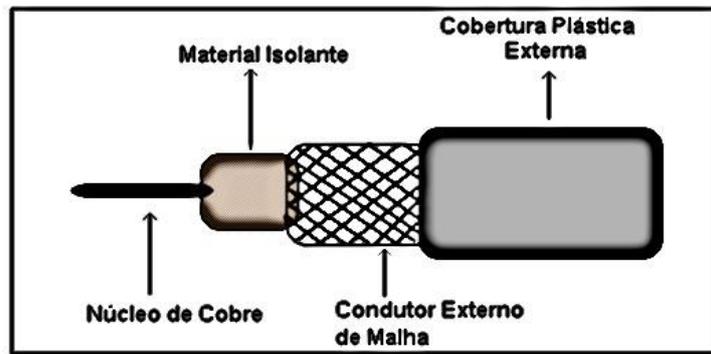


Figura 1: Esquema de cabo axial descrevendo seus componentes ([http://penta2.ufrgs.br/tp951/c\\_base.html](http://penta2.ufrgs.br/tp951/c_base.html))

## 2 - Material Utilizado

- :: Cabos coaxiais de 30, 40 e 50 m, e de ~0,5 m com conectores tipo BNC;
- :: Conectores BNC tipo T;
- :: Conectores BNC com carga resistiva ( $50 \Omega$ );
- :: Conectores BNC tipo terminador (em curto circuito);
- :: Gerador de ondas quadradas;
- :: Osciloscópio;

## 3 - Roteiro de Montagem

Nossa linha de transmissão está esquematizada na Figura 2: são utilizados conectores BNC tipo T entre os três segmentos de cabos coaxiais para, no caso, formar uma linha de transmissão de 120 m.

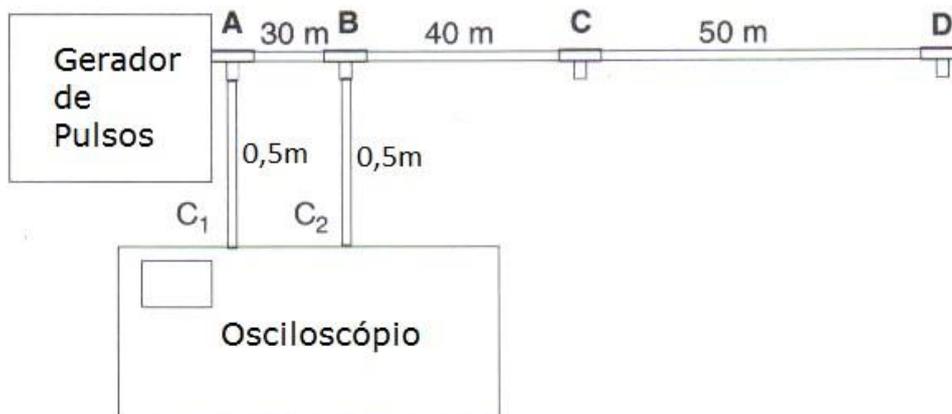
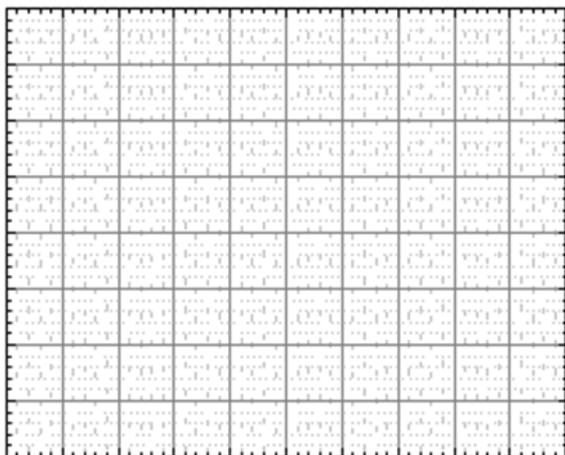


Figura 2: Esquema de montagem da linha de transmissão de 120 m.

Comece o experimento utilizando somente o cabo de 30 m. Use um *conector T* na saída (frontal) do gerador de onda (que possui impedância de  $50 \Omega$ ) e, em uma ponta deste, ligue o cabo de 30 m enquanto que, na outra ponta, ligue o cabo coaxial curto. Conecte o cabo curto ao *canal 1* do osciloscópio e o final do cabo de 30 m ao *canal 2* (usando outro cabo curto para isso, ligando-o em um outro conector *BNC* tipo *T*). Ajuste o osciloscópio para medidas em escala de tempo menor que  $1 \mu s$ . Prepare o osciloscópio para ser disparado em modo *NORMAL* utilizando o sinal do *canal 1* como referência.

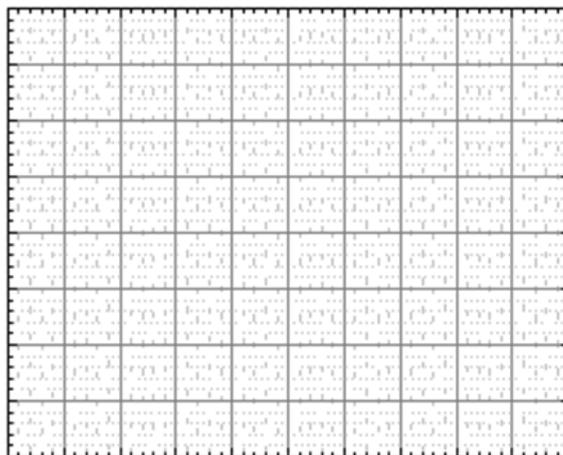
Ligue agora o gerador e ajuste-o para fornecer uma onda quadrada com frequência de alguns *kHz* e amplitude de aproximadamente **10 V pico a pico**. Na tela do osciloscópio, observe a forma do início da onda quadrada, escolhendo uma escala de tempo bem expandida. No espaço abaixo, faça um esboço das formas de onda observadas na saída do gerador (ponto **A**), nas situações que este está desconectado e conectado à linha de transmissão. Verifique a modificação que sofre esse sinal com os três cabos longos sendo utilizados.

**Desconectado**



Escalas: ...../div; ...../div

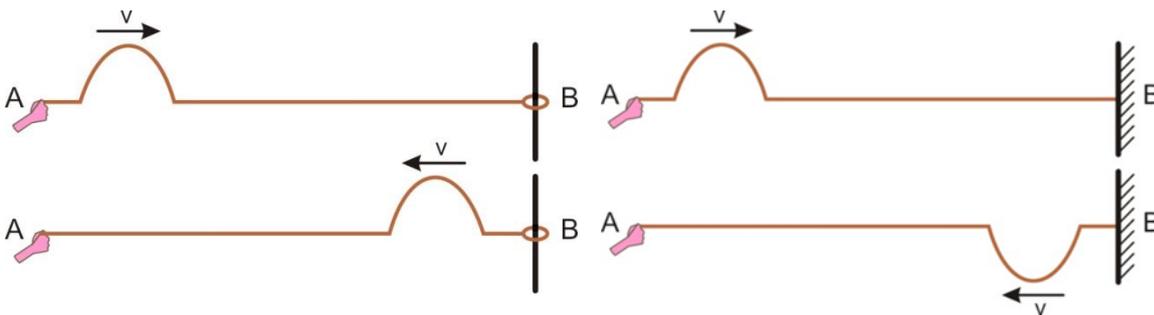
**Conectado**



Escalas: ...../div; ...../div

Compare as curvas obtidas e comente no espaço abaixo as diferenças observadas, tomando como referência o comportamento de ondas se propagando em uma corda, conforme as figuras abaixo:

- 1 - **extremidade solta** (montanha volta como montanha: na extremidade a amplitude dobra!)
- 2 - **extremidade presa** (curto circuito, refletor - a montanha volta como vale: na extremidade a interferência é totalmente destrutiva).




---

---

---

---

---

---

---

---

## 4 - Tomada de Dados

### 4.1 Análise qualitativa dos sinais

Com a linha de transmissão conectada ao gerador de sinais, observe simultaneamente os sinais nos canais 1 (ponto **A**) e 2 (sucessivamente nos pontos **B**, **C** e **D**) em três situações diferentes:

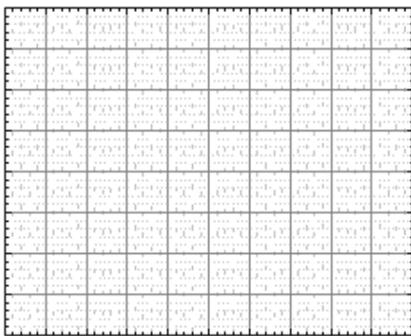
- Com a extremidade da linha em aberto,
- Com a extremidade da linha em curto-circuito,
- Com a terminação de  $50 \Omega$ .

**Use sempre o canal 1 do osciloscópio (ponto A) como referência no tempo.**

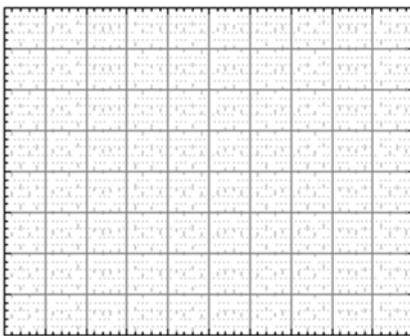
Para os pares de sinais observados (**A-B**, **A-C** e **A-D**) anote: as escalas usadas, as tensões medidas e os intervalos de tempo ( $\Delta t$ ) entre os sinais. Se possível, salve as imagens nas telas do osciloscópio (em um *pendrive*, por exemplo), para todas as situações. Utilize o cursor do osciloscópio para efetuar as medidas correspondentes aos  $\Delta t$ . Esboce nos quadros abaixo os pares de sinais, anotando também as escalas do osciloscópio.

a) Linha em aberto

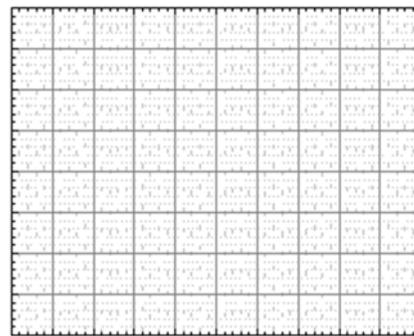
**A-B**



**A-C**



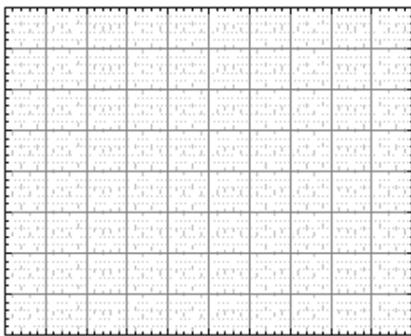
**A-D**



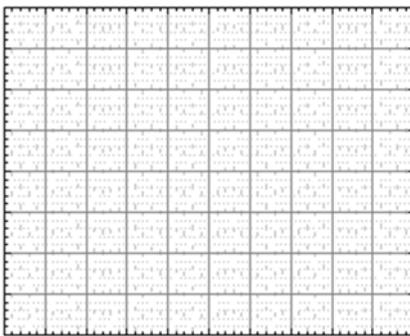
Escalas: ...../div; ...../div

b) Linha em curto-circuito

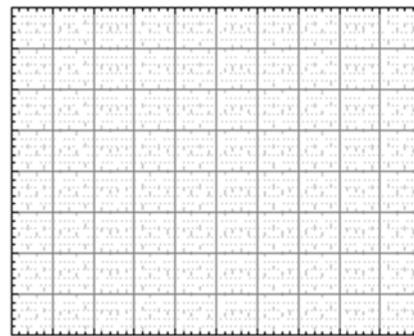
**A-B**



**A-C**



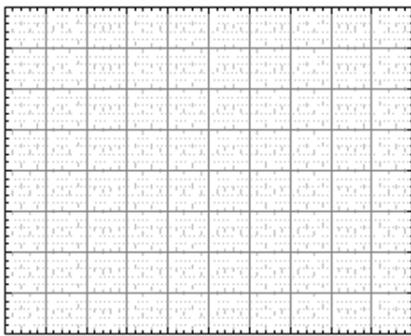
**A-D**



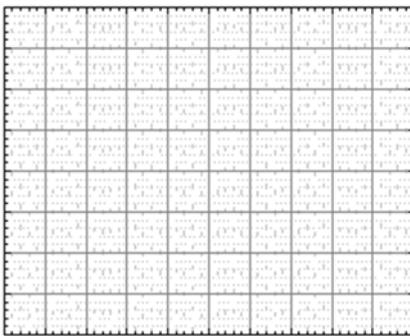
Escalas: ...../div; ...../div

c) Linha com carga de  $50 \Omega$

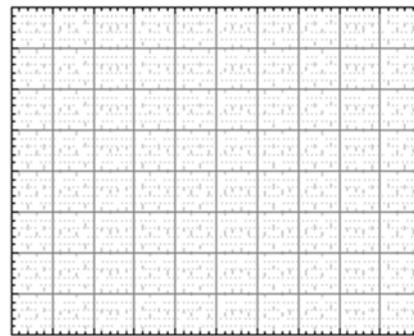
**A-B**



**A-C**



**A-D**



Escalas: ...../div; ...../div



Compare o seu resultado com o fornecido pelo fabricante, que é de  $v = 0,66 c$ ; onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.

---

---

---

---

---

---

---

---

## 5 - Questões para o Relatório

1. Supondo que a permeabilidade magnética do material isolante (polietileno) seja igual à do vácuo  $\mu \approx \mu_0$  calcule a constante dielétrica  $\gamma = \epsilon/\epsilon_0$  (também conhecida como *permissividade relativa*) desse meio a partir da velocidade de propagação que você mediu, lembrando que:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \approx \frac{1}{\sqrt{K\epsilon_0\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{K}}$$

Nesse cálculo está embutida a hipótese de que a permeabilidade magnética é a mesma no vácuo e no material isolante do cabo coaxial. Comente a respeito.

2. O que você espera que aconteça com o valor da velocidade de propagação determinada experimentalmente, se você utilizar uma onda com frequência 5 vezes maior?

**O GRUPO deve entregar este guia ao professor no final da aula.**