

CAPÍTULO 3

LabWLT - DESCRIÇÃO E APLICAÇÃO

3.1 - INTRODUÇÃO

Com o intuito de se criar um ambiente computacional baseado em *web* voltado para o estudo de linhas de transmissão, desenvolveu-se o software LabWLT atualmente na versão 1.0. Com ele é possível a solução gráfica de problemas clássicos envolvendo linhas de transmissão e ainda esclarecer as propriedades da carta de Smith e de suas aplicações na resolução desse tipo de problema.

Almeja-se que alunos de engenharia possam ter no LabWLT mais um importante mecanismo para auxiliar seus estudos na matéria de eletromagnetismo, utilizando para isso um dos seus símbolos mais representativos que é a carta de Smith.

O LabWLT não foi concebido como uma ferramenta para cálculos precisos. Sua motivação está na necessidade de se disponibilizar uma aplicação na *web* que possa familiarizar alunos dos períodos básicos de engenharia com a carta de Smith e suas aplicações na solução de problemas de eletromagnetismo.

O LabWLT pode ser encontrado no endereço eletrônico www.ufpa.br/dee/lea/labwlt. Dessa forma, qualquer pessoa com acesso à Internet poderá utilizá-lo a qualquer hora e de qualquer lugar. Torna-se necessário somente que o usuário possua instalado em seu computador um navegador que apresente suporte à tecnologia Java/JavaScript; independente do sistema operacional que seja usado pelo computador.

3.2 – DESCRIÇÃO DO LabWLT

O LabWLT 1.0 é um *applet* desenvolvido com a versão 1.2.2 da linguagem Java.

Acessando-se o endereço www.ufpa.br/dee/lea/labwlt, o usuário abrirá uma janela onde visualizará o LabWLT (Fig. 3.1 e Fig. 3.2).

O *applet* agrega três componentes principais:

- Uma carta de Smith localizada à esquerda do *applet*, a partir de agora chamada de Carta (Fig. 3.1);

- Um modelo de linha de transmissão localizado à direita, que a partir de agora será chamado apenas de Sistema(Fig. 3.1). Sistema possui uma barra que é usada para determinar a impedância de entrada em qualquer ponto da linha de transmissão;
- E um gráfico localizado mais abaixo no *applet*, como visto em Fig. 3.2. Esse gráfico mostra a distribuição do módulo da tensão ao longo da linha de transmissão, sendo citado a partir de agora apenas como Grafico. Grafico também possui um marcador que acompanha o posicionamento da barra do componente Sistema.

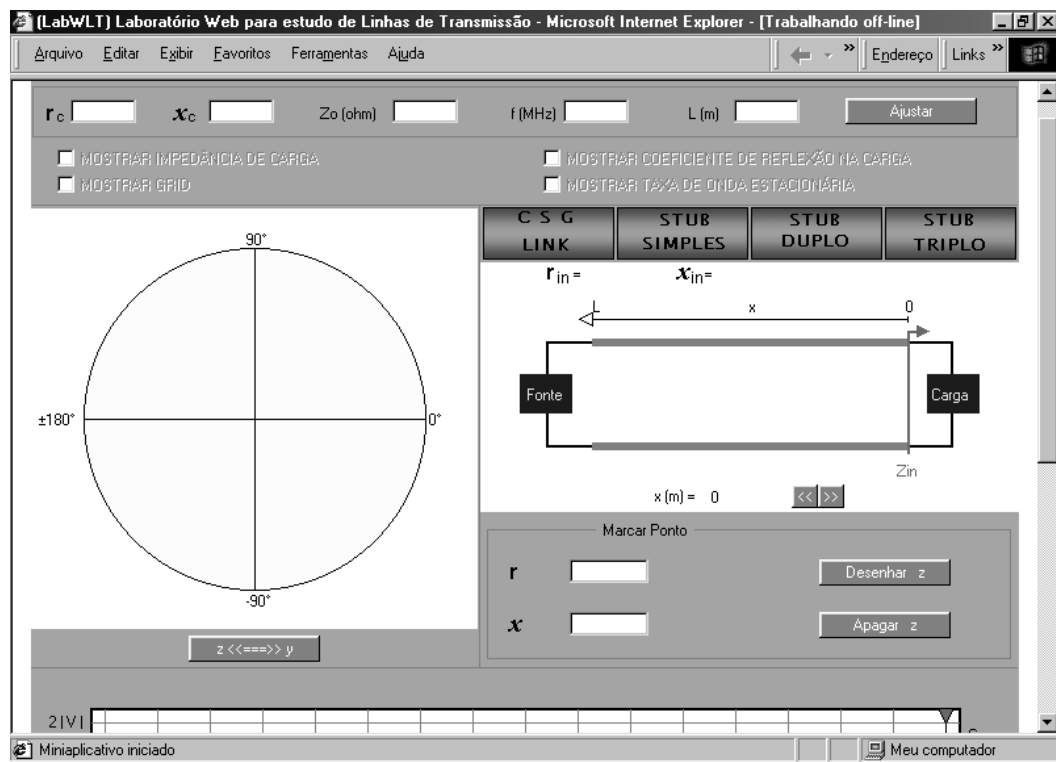


Fig. 3.1 – Parte superior do LabWLT.

No topo do LabWLT, encontram-se cinco campos e quatro caixas de verificação(Fig. 3.3). Os campos são para a definição dos seguintes parâmetros:

- r_c – Resistência de carga normalizada;
- x_c – Reatância de carga normalizada;
- Z_o – Impedância característica(em ohm) da linha de transmissão;
- f – Frequência(em MHz) de operação da fonte;
- L – Comprimento(em metros) da linha de transmissão.

Somente depois que esses campos estiverem preenchidos, deve-se clicar no botão **Ajustar** para que esses valores sejam armazenados pelo *applet*.

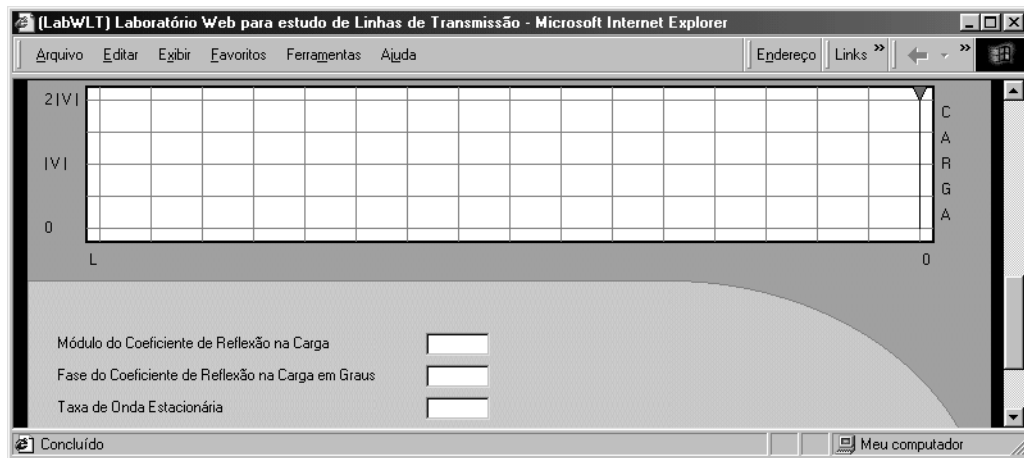


Fig. 3.2 – Parte inferior do LabWLT.

Mais abaixo, ainda em Fig. 3.3, vê-se as seguintes caixas de verificação:

- **MOSTRAR IMPEDÂNCIA DE CARGA** – quando marcada, exibe o lugar geométrico da impedância de carga em Carta;
- **MOSTRAR GRID** – quando marcada, exibe em Carta vários círculos e arcos que estão relacionados a diferentes valores de resistência e reatância;
- **MOSTRAR COEFICIENTE DE REFLEXÃO NA CARGA** – quando marcada, exibe o lugar geométrico do coeficiente de reflexão na carga em Carta;
- **MOSTRAR TAXA DE ONDA ESTACIONÁRIA** – quando marcada, exibe em Carta o lugar geométrico da taxa de onda estacionária.
-

Fig. 3.3 – Campos de ajuste do sistema e caixas de verificação.

Em Fig. 3.4, tem-se Sistema e, logo acima, uma barra de botões. O primeiro botão, **CSG LINK**, quando clicado, permite que os componentes Carta, Sistema e Grafico se comuniquem. Com isso, movimentando-se a barra do componente Sistema, o marcador de Grafico ocupará uma posição

equivalente e será exibido em *Carta* o lugar geométrico da impedância de entrada correspondente a esse ponto.

Os outros botões são **STUB SIMPLES**, **STUB DUPLO** e **STUB TRIPLO**. Quando clicados, iniciam respectivamente as rotinas para o casamento de impedâncias usando *stub* simples, *stub* duplo e *stub* triplo.

Como já mencionado, o componente *Sistema* possui uma barra que depois será usada para determinar a impedância de entrada para qualquer ponto da linha de transmissão. Além disso, abaixo de *Sistema* encontram-se dois botões que podem ser usados para movimentar a barra, tanto para a esquerda quanto para a direita. A posição ocupada pela barra, será exibida por um campo localizado à esquerda desses botões. Ainda em Fig. 3.4, encontram-se no canto superior esquerdo de *Sistema* dois campos: r_{in} e x_{in} . Quando a barra é movimentada esses campos exibem respectivamente a resistência de entrada e a reatância de entrada da posição da linha onde está a barra.

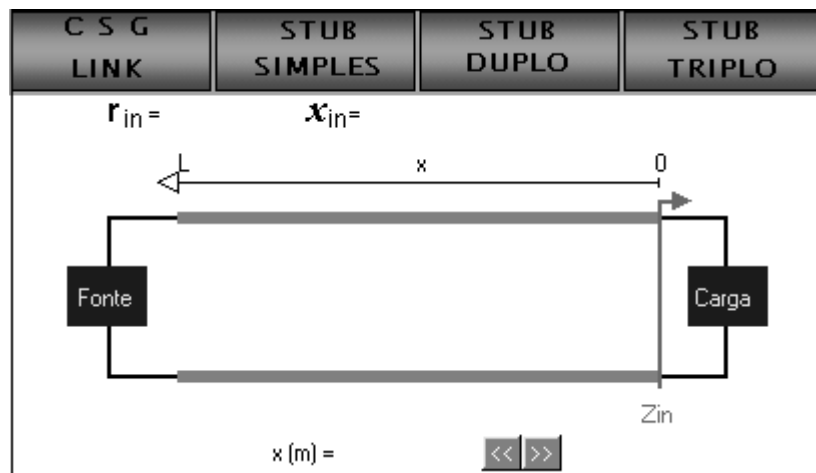


Fig. 3.4 – **Sistema** e barra de botões.

Em Fig. 3.5, mostra-se o grupo **Marcar Ponto** que se localiza logo abaixo do componente *Sistema*. Os campos r e x e os botões **Desenhar z** e **Apagar z** serão usados para marcar pontos de impedância em *Carta*.

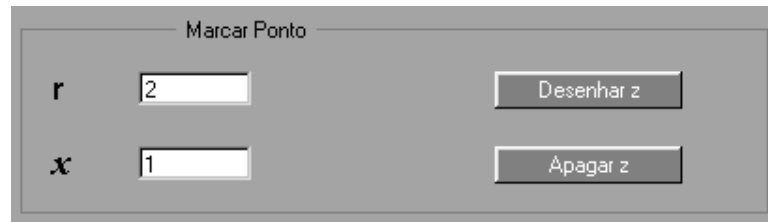


Fig. 3.5 – Grupo **Marcar Ponto**.

3.3 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO LabWLT

O LabWLT é uma ferramenta de cálculo e visualização, que por si só não resolve os problemas automaticamente. O aplicativo exige que o usuário tenha conhecimentos básicos de linhas de transmissão. Com isso e com os textos de ajuda que serão disponibilizados no endereço eletrônico www.ufpa.br/dee/lea/labwlt, espera-se que o ambiente ajude a esclarecer as propriedades da carta de Smith e de suas aplicações na solução de problemas de linhas de transmissão. Sendo essa a grande motivação deste trabalho.

Mesmo sendo uma técnica muito conhecida, para exemplificar a proposta de utilização do ambiente, primeiro a carta de Smith será mostrada detalhadamente e depois serão abordados alguns problemas que podem ser resolvidos com a ajuda do LabWLT.

3.3.1 – Impedância de carga

Para que se possa começar a trabalhar com o LabWLT, deve-se primeiramente definir os parâmetros do sistema (como já mencionado anteriormente). Apenas para facilitar a comparação, admita-se que os campos **r**, **x**, **Z₀**, **f** e **L** receberam os respectivamente valores: 0.5, 1.0, 50 Ω , 150 MHz e 1 m. Em seguida, o botão **Ajustar** deve ser pressionado.

Para que o lugar geométrico de uma impedância de carga seja exibido no componente *Carta*, basta que a caixa de verificação **MOSTRAR IMPEDÂNCIA DE CARGA** seja clicada. Na carta de Smith, as impedâncias são normalizadas em relação à impedância característica (**Z₀**) da linha de transmissão. Em função disso, o que se vê em Fig. 3.6 é a representação na carta de Smith de uma impedância de carga de $Z_c = 25 + j50 \Omega$. Na carta de Smith, resistências e reatâncias são representadas respectivamente por círculos e arcos. O círculo azul que aparece em Fig. 3.6 corresponde ao lugar geométrico de $R=25 \Omega$ e o arco vermelho, ao lugar

geométrico de $X=50 \Omega$. O que de fato define a impedância de $Z_c = 25 + j50 \Omega$ na carta de Smith é o ponto de interseção do círculo de resistência com o arco de reatância. Para confirmar isso, basta colocar a ponta do curso sobre o ponto de interseção do círculo azul com o arco vermelho. Movendo o cursor com o mouse sobre o componente Carta, no canto superior esquerdo deste aparecerão as coordenadas real(r) e imaginária(x) da impedância normalizada correspondente à posição ocupada pelo cursor.

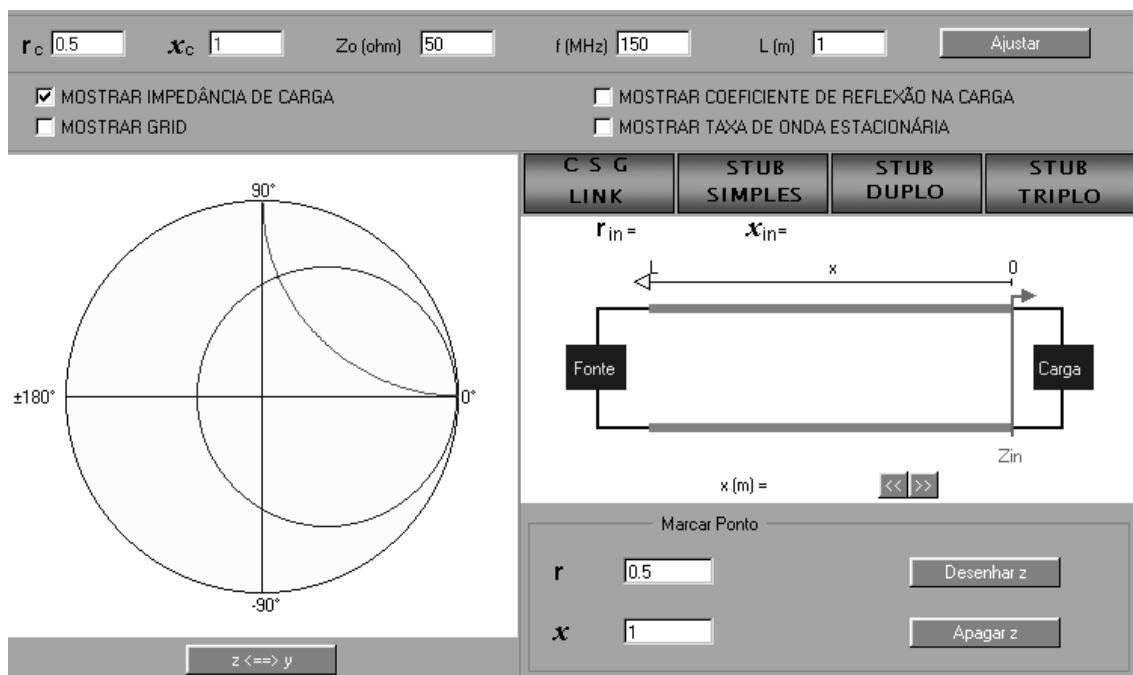


Fig. 3.6 – Representação gráfica da impedância de carga.

3.3.2 – Coeficiente de reflexão

Clicando-se na caixa de verificação **MOSTRAR COEFICIENTE DE REFLEXÃO NA CARGA**, aparecerá em Carta o lugar geométrico do coeficiente de reflexão na carga como visto em Fig. 3.7. Tal grandeza é geralmente complexa, apresentando módulo e fase. O círculo centrado na origem da carta corresponde à magnitude do coeficiente de reflexão (que varia de 0 a 1). Já sua fase é representada pelo ângulo (medido no sentido anti-horário) formado entre a posição de 0° e a reta que vai do dentro da carta, passa pela interseção de r e x , e se estende até seu perímetro. Neste exemplo, para uma impedância característica da linha de transmissão $Z_0=50\Omega$ e a impedância de carga do exemplo anterior, o coeficiente de reflexão apresenta módulo de aproximadamente 0,62 e uma fase de 83° . Apenas

para esclarecer, se o coeficiente de reflexão tivesse módulo $\Gamma=0$, sua representação seria um ponto no centro da carta. Por outro lado, se $\Gamma=1$, o círculo do coeficiente de reflexão teria raio igual ao raio da carta.

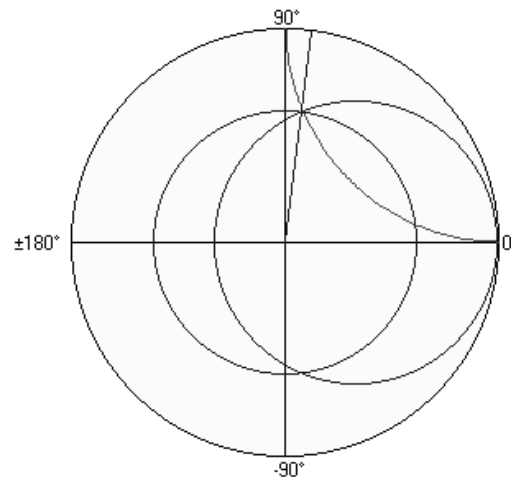


Fig. 3.7 – Representação gráfico do coeficiente de reflexão na carga.

3.3.3 – Taxa de onda estacionária

A relação entre o máximo e o mínimo da onda estacionária aparece no gráfico de Smith como um círculo (para uma linha sem perdas). Para que sua representação seja exibida no componente Carta, basta que a caixa de verificação **MOSTRAR TAXA DE ONDA ESTACIONÁRIA** seja clicada. Em Fig. 3.8, o círculo centrado na origem representa a taxa de onda estacionária. Note-se que esse círculo possui raio igual ao raio do círculo do coeficiente de reflexão e que o ponto da impedância de carga também se encontra sobre ele.

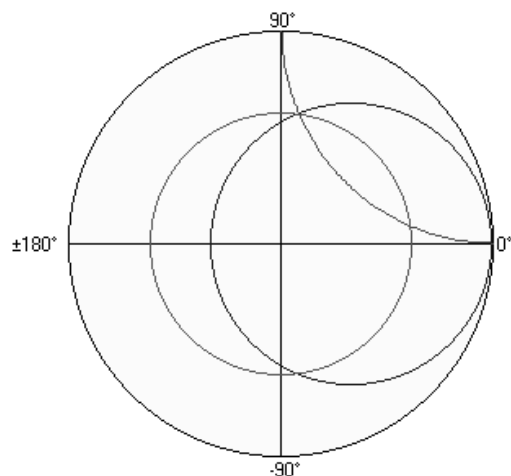


Fig. 3.8 – Representação gráfica da taxa de onda estacionária.

Logo depois que o botão **Ajustar** é pressionado, abaixo de **Grafico**, três campos mostram os valores do módulo do coeficiente de reflexão na carga, sua fase e o valor da taxa de onda estacionária (Fig. 3.9).

Módulo do Coeficiente de Reflexão na Carga	0.6201
Fase do Coeficiente de Reflexão na Carga em Graus	82.874
Taxa de Onda Estacionária	4.2655

Fig. 3.9 – Valores do coeficiente de reflexão e da taxa de onda estacionária.

3.3.4 – Marcando pontos em Carta

Para verificar a representação de qualquer impedância no gráfico de Smith, basta que se preencha os campos resistência(**r**) e reatância(**x**) do grupo **Marcar Ponto** que já foi citado. Em Fig. 3.10, vê-se um círculo e um arco que correspondem respectivamente aos valores de $r=2.1$ e $x=0.8$. Estes valores, para $Z_0=50\Omega$ equivalem a uma impedância $Z=105+j40\Omega$.

Variando-se os valores dos campos **r** e **x**, obtêm-se diferentes representações gráficas. Com tais exercícios, facilmente o usuário assimilará como localizar qualquer impedância na carta de Smith.

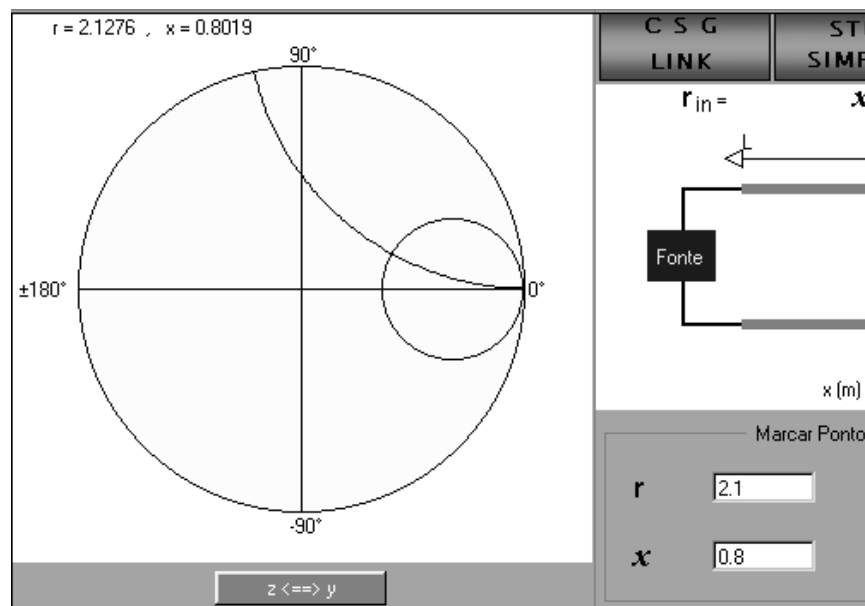


Fig. 3.10 – Localização de uma impedância qualquer na carta.

Ressalte-se também que é uma prática comum utilizar a carta de Smith como uma carta de admitâncias ao invés de impedâncias. Uma impedância pode ser convertida rapidamente em admitância caminhando-se um quarto de onda ao longo da carta. Isso equivale a rotacionar o ponto que define a impedância um ângulo igual a 180° sobre um círculo imaginário centrado na origem. Neste novo ponto, diametralmente oposto ao primeiro, verifica-se que círculo e que arco passam por ele. Estes agora devem ser tomados como condutância(g) e susceptância(b) respectivamente.

Para que isso tudo seja feito com o LabWLT basta que se clique no botão logo abaixo de Carta. O LabWLT desenha o ponto diametralmente oposto à impedância definida nos campos r e x , como visto na Fig. 3.11a. Além disso, deve-se atentar para o fato de que o botão abaixo de Carta muda de aparência depois de clicado. Os componentes do grupo **Marcar Ponto** também mudam de aparência e os campos g e b mostram as partes real e imaginária da admitância procurada. Para que somente a admitância seja exibida na carta, deve-se clicar no botão **Desenhar Y** do grupo **Marcar Ponto** (Fig. 3.11b).

Para passar de uma admitância para uma impedância, é só fazer o caminho inverso e clicar no botão abaixo de Carta.

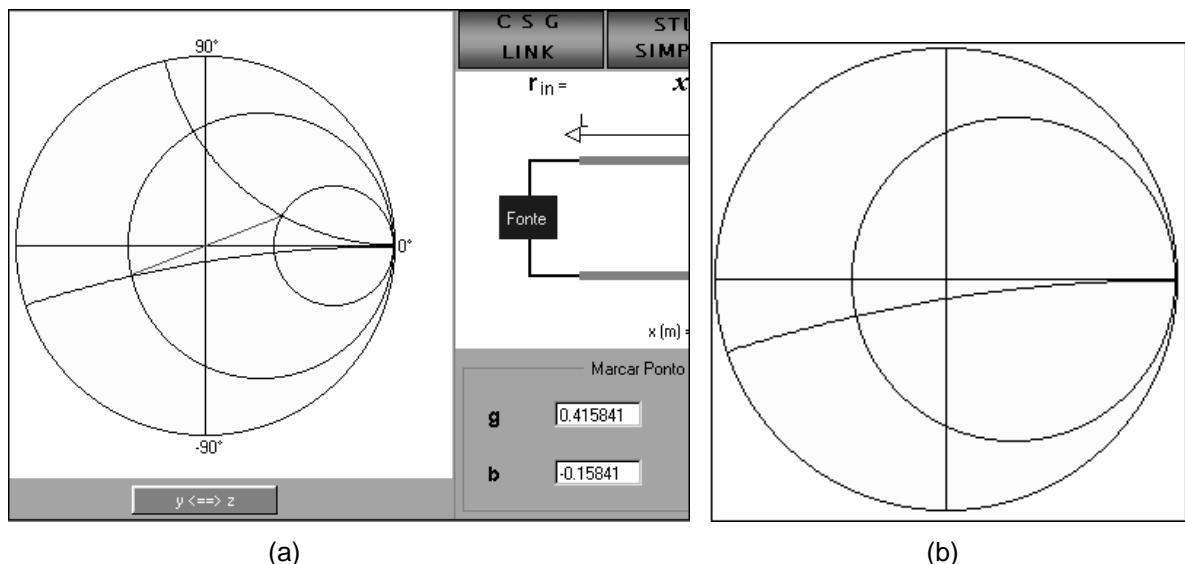


Fig. 3.11 – Convertendo impedância em admitância.

3.3.5 – Impedância de entrada

A determinação da impedância de entrada é um dos problemas mais clássicos quando se estuda linhas de transmissão.

Na carta de Smith, para se determinar a impedância de entrada, primeiramente a reta que define a fase do coeficiente de reflexão deve ser rotacionada, no sentido horário, um ângulo igual a $2\beta\ell$ (Fig. 3.12). Onde $\beta=2\pi/\lambda$ é a constante de fase e ℓ é a distância entre o ponto onde se deseja determinar a impedância de entrada e a carga. A impedância de entrada nessa posição localizada a uma distância ℓ da carga é então definida pelo ponto onde a reta rotacionada intercepta o círculo do coeficiente de reflexão. Por este ponto passam um círculo e um arco que correspondem respectivamente à resistência e à reatância da impedância de entrada. Isso é representado em Fig. 3.13.

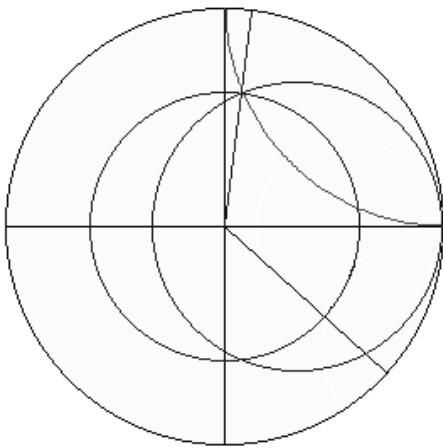


Fig. 3.12 – Reta de fase do coeficiente de reflexão girando um ângulo $2\beta\ell$.

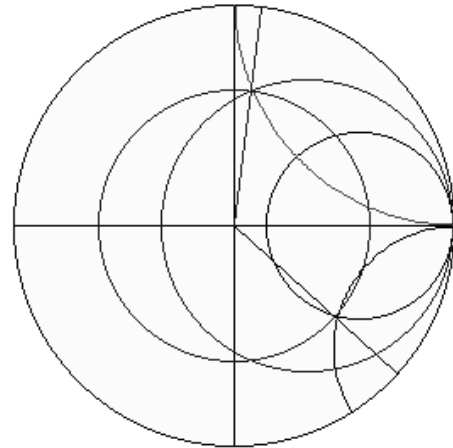


Fig. 3.13 – Impedância de entrada a uma distância ℓ da carga.

Com o LabWLT pode-se determinar a impedância de entrada em qualquer ponto da linha de transmissão em estudo de forma simples, interativa e agradável. Antes de tudo, os parâmetros de sistema deverão ser definidos (r_c , x_c , Z_0 , f e L) e o botão **Ajustar**, pressionado. Em seguida, é o botão **CSG LINK** que deve ser ativado. Por fim, o usuário deve apenas mover a barra do componente **Sistema** até a posição ℓ desejada. Pode-se mover a barra de três maneiras: clicando-se sobre ela e arrastando o mouse; clicando-se em qualquer posição da linha de transmissão; ou clicando nos botões localizados abaixo do modelo de linha de transmissão. Independente da forma como a barra for movimentada, é verificada instantaneamente uma representação gráfica em Carta da impedância de entrada correspondente à

posição da barra na linha de transmissão. Além disso, o marcador de Gráfico também se move de acordo com a posição da barra (Fig. 3.14). Nota-se também acima de Sistema dois campos (r_{in} e x_{in}) mostrando as partes real e imaginária da impedância de entrada.

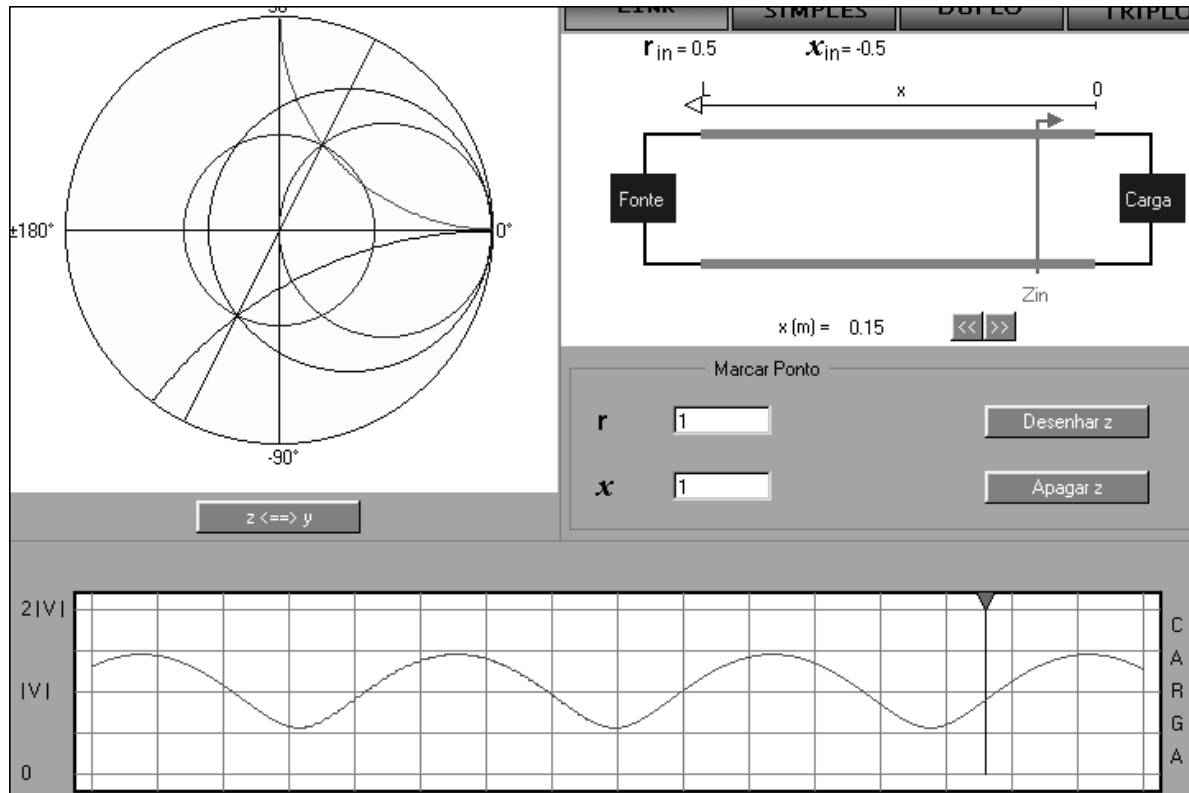


Fig. 3.14 – Usando o LabWLT para se determinar uma impedância de entrada.

3.3.6 – Máximos e mínimos de tensão

Saber localizar um máximo ou um mínimo de tensão na carta de Smith pode ser uma informação muito útil para a solução de problemas com linhas de transmissão.

Pode-se usar o LabWLT para se determinar a localização de qualquer máximo ou mínimo de tensão de forma bem simples. Para tanto, deve-se adotar o seguinte procedimento:

- Ajustar os parâmetros do sistema. Por exemplo, $r_c=1.6$, $x_c=-0.65$, $Z_0=50$, $f=750$ e $L=0.5$. Depois que o botão **Ajustar** for pressionado, os campos r e x do grupo **Marcar Ponto** recebem os valores definidos para a impedância de carga ;

- Clicar no botão **Desenhar z** do grupo **Marcar Ponto**, para fazer com que os valores de r e x sejam definidos com a carga do componente Sistema;
- Clicar no botão **Apagar z**, apenas para limpar Carta;
- Ativar o botão **CSG LINK**;
- Mover lentamente a barra de Sistema verificando quando o marcador do componente Grafico vai se localizar, por exemplo, no primeiro mínimo de tensão(Fig. 3.15).

Na carta, o ponto referente à impedância de entrada estará localizado na linha de reatância nula e sobre o círculo do coeficiente de reflexão(à esquerda do centro da carta). Se um máximo de tensão estivesse sendo determinado, o ponto estaria localizado ainda sobre o círculo do coeficiente de reflexão, mas desta vez à direita do centro da carta.

Constata-se em Fig. 3.15, verificando-se o campo logo abaixo da linha de transmissão, que o primeiro mínimo de tensão está localizado a aproximadamente 8cm da carga.

O mesmo procedimento pode usado com o LabWLT para se determinar a localização de qualquer outro mínimo ou máximo de tensão.

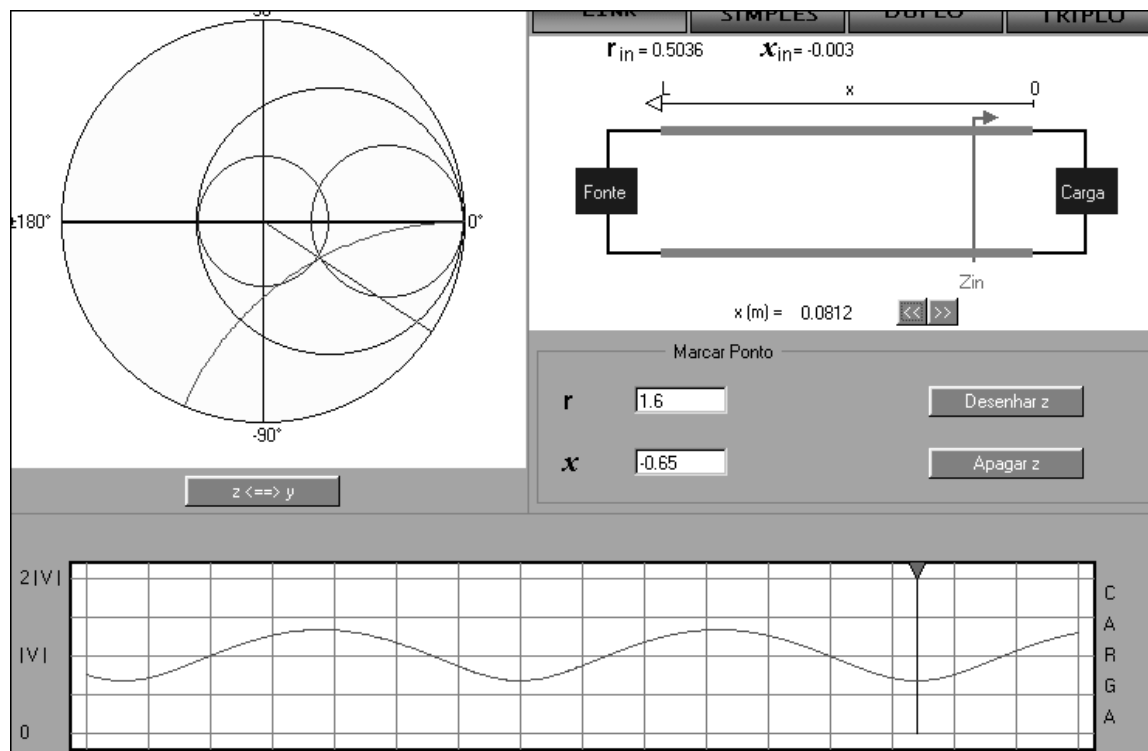


Fig. 3.15 – Localização de um mínimo de tensão com o LabWLT.

3.3.7 – Casamento de impedâncias com *stub* simples

Um importante problema que pode ser resolvido com a ajuda do LabWLT é o casamento de impedância utilizando-se um *stub*.

Depois de ajustar os parâmetros do sistema, o usuário deverá ativar o botão **STUB SIMPLES**. Feito isso, o usuário deve verificar o painel na base do *applet* mostrado em Fig. 3.16.

Nesse painel, é exposto de forma sucinta que na solução desse tipo de problema a carta de Smith costuma ser tomada como uma carta de admitâncias, visto que é mais fácil combinar admitâncias em paralelo do que impedâncias. O painel de Fig. 3.16 também menciona que para se passar de impedância para admitância, basta utilizar (como já exposto) o botão abaixo de Carta. Essa transição pode ser vista em Fig. 3.17 e Fig. 3.18.

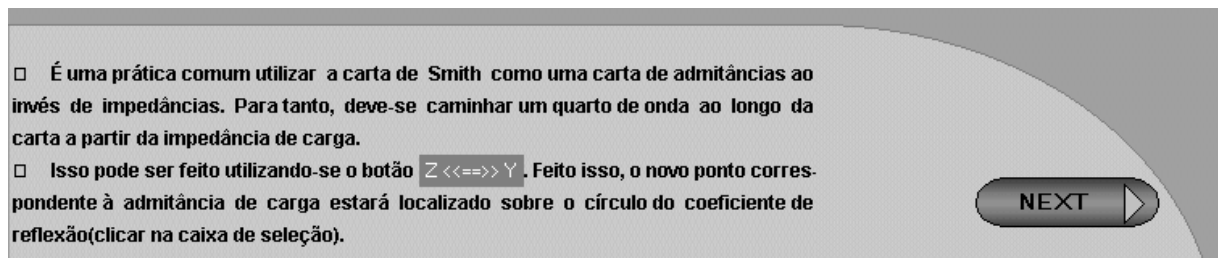


Fig. 3.16 – Primeiro painel da rotina de *stub* simples.

O botão **NEXT** leva ao painel de Fig. 3.19. Aqui o aluno será alertado de que ele deve determinar em que pontos do círculo do coeficiente de reflexão a parte real da admitância é igual à unidade. Em Fig. 3.20, como já citado, o círculo centrado na origem da carta corresponde ao módulo do coeficiente de reflexão. Ao passo que o círculo azul corresponde à resistência (r) ou condutância (g) igual a 1Ω ou a $1S$ respectivamente. Sendo assim, deve-se determinar em que pontos do círculo de Γ a admitância é $y=1+jb$. A resposta a essa pergunta corresponde aos pontos de interseção entre o círculo central e o círculo azul. Como se pode notar, tem-se duas soluções. No entanto, o *stub* deve ser conectado à menor distância d que forneça $y_{in}=1+jb$, a fim de manter a sensibilidade em frequência a menor possível[2].

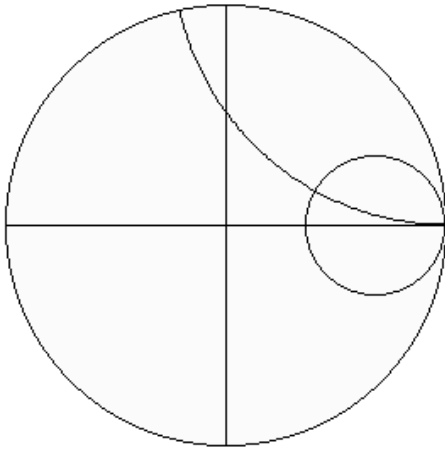


Fig. 3.17 – Impedância de carga.

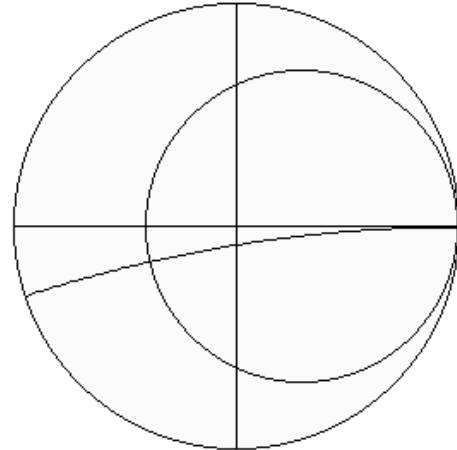


Fig. 3.18 – Admitância de carga.

Essa escolha é feita no próximo painel, mostrado em Fig. 3.21. Já em Fig. 3.22, tem-se duas retas na carta: uma que sai do centro da carta, passa pela admitância de carga, e se estende até o perímetro; e outra que também sai da origem, passa por um dos pontos onde $y=1+jb$, e segue até o perímetro do gráfico. Estas duas retas delimitam o arco que é visto em Fig. 3.22 e este arco tem uma abertura de $2\beta d$. Onde d é a distância da carga na qual o elemento reativo deve ser colocado para que o casamento seja obtido.

Uma carta de Smith convencional costuma apresentar uma escala de comprimento de onda no seu perímetro (uma volta completa na carta corresponde a meio comprimento de onda). Nela o aluno deve desenhar as duas retas vistas em Fig. 3.22, ver os valores definidos por elas na escala e subtraí-los. Por fim, restará somente multiplicar o valor encontrado pelo comprimento de onda para se ter a distância em metros que deve separar o *stub* da carga.

O LabWLT faz a representação dessa distância através do arco visto em Fig. 3.22, mas também já fornece a posição em que deve ser colocado o *stub* na linha como pode ser visto em Fig. 3.21.

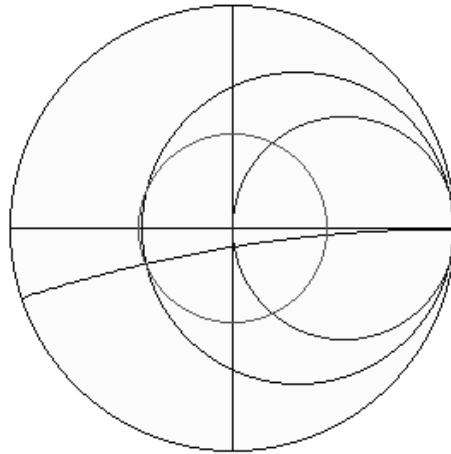
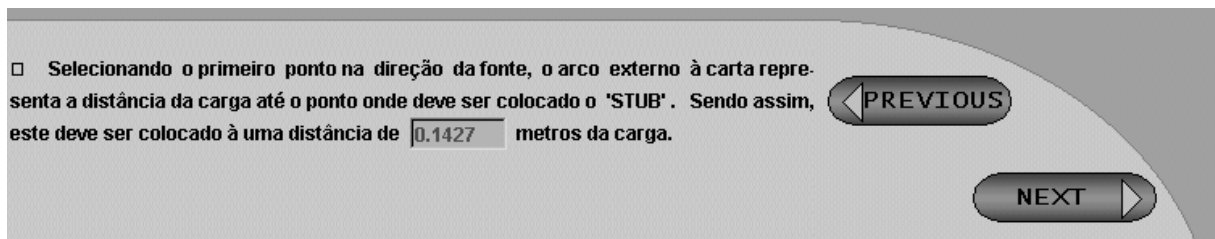
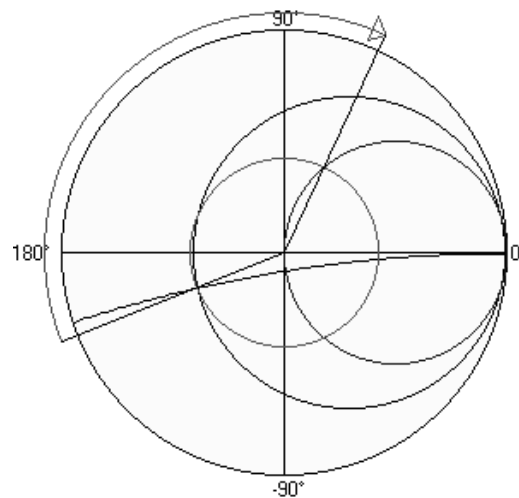
☐ Em seguida, deve-se determinar em que pontos do círculo de coeficiente de reflexão (círculo central) a parte real da admitância de carga é igual à unidade (círculo azul). Isto é, em que pontos do círculo centrado na origem da carta $Y=1+jB$. A resposta a essa pergunta corresponde aos pontos de interseção entre o círculo central e o círculo azul.

☐ Como se pode notar, há duas soluções para o problema.

PREVIOUS

NEXT

Fig. 3.19 – Segundo painel da rotina de *stub* simples.

Fig. 3.20 – Determinação dos pontos onde $g=1$.Fig. 3.21 – Terceiro painel da rotina de *stub* simples.Fig. 3.22 – Arco representando a posição onde deve ser colocado o *stub*.

O próximo painel (Fig. 3.23) lembra ao usuário que até o momento somente foi determinada a posição em que se deve colocar um *stub* na linha. Nesse ponto $y=1+jb$ e portanto ainda se torna necessário neutralizar a susceptância desse ponto. Para isso, o *stub* deve apresentar uma susceptância $-jb$. Esta susceptância dependerá do comprimento do elemento reativo, que deve ser determinado para a solução deste problema.

O LabWLT mostra em Fig. 3.23 os passos que devem ser tomados para a determinação do comprimento do *stub*:

- Definir no grupo Marcar Ponto **g**=0 e **b**=10000000;
- Clicar no botão **Desenhar y** e depois em **Apagar y**. Isso fará com que o componente Sistema assuma que sua carga é um curto-circuito;
- Ativar o botão **CSG LINK**;
- Mover a barra de Sistema até que seu campo **b_{in}** seja igual a $-jb$. O comprimento do *stub* é definida pelo campo de define a posição da barra(Fig. 3.24).

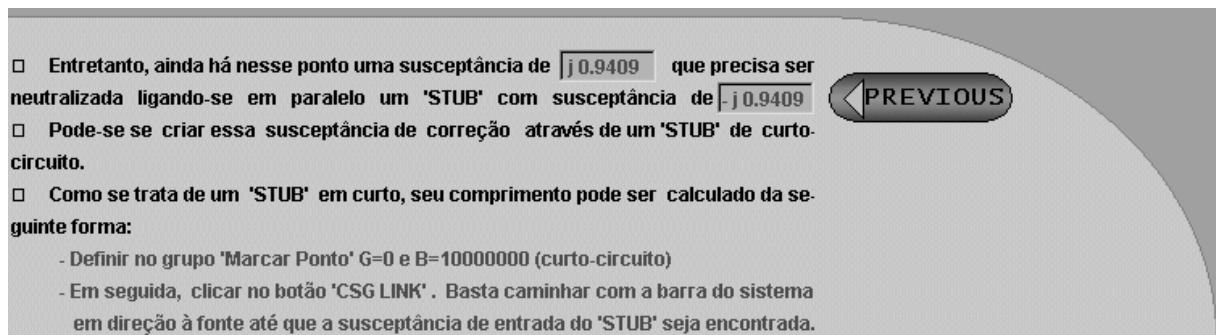


Fig. 3.23 – Quarto painel da rotina de *stub* simples.

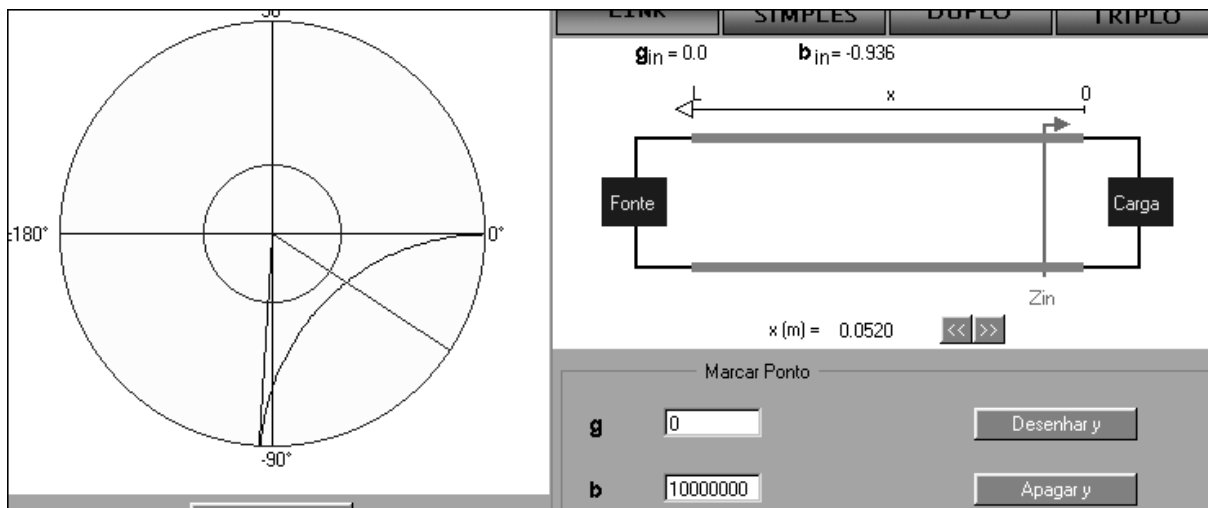


Fig. 3.24 – Determinação do comprimento do *stub*.