

## 6

# Projeto e caracterização experimental de transformadores de impedância em linha de transmissão (TLTs)

## 6.1

### Introdução

Os resultados obtidos no capítulo 5 para as propriedades dielétricas dos diferentes filmes investigados foram utilizados aqui para projetar, construir e caracterizar uma diversidade de dispositivos transformadores de impedância em linha de transmissão (TLTs).

De acordo com o que foi visto no capítulo 4, é possível obter um perfil de impedância ao longo do comprimento de uma linha de transmissão variando-se pelo menos uma de suas dimensões físicas seguindo um certo padrão. No caso da configuração QCPW, analisada na seção 3.2.4, é possível obter um perfil de impedância determinado a partir de variações na separação entre os planos laterais (“gap”), e mantendo-se a seção transversal da linha central constante. Pode-se assim obter uma estrutura de adaptação de impedâncias.

Neste trabalho foram fabricados, pela primeira vez, dispositivos passivos do tipo TLT para realizar adaptação de impedâncias na faixa de microondas baseados na configuração QCPW. Segundo os resultados das simulações feitas para estas estruturas, a flexibilidade em termos de dimensões para se atingir as impedâncias desejadas, sobretudo impedâncias tão baixas quanto  $3 \Omega$ , tornou esta configuração de linhas de transmissão a melhor candidata para elaborar os dispositivos TLT propostos.

A realização prática dos TLTs na configuração QCPW requer cuidados adicionais aos dos ressoadores e linhas OCPW usados na caracterização de substratos e filmes, elaborados e descritos no capítulo 5. Em primeiro lugar, a elaboração de estruturas QCPW requer um grau de precisão maior nas dimensões dos condutores, uma vez que o valor da impedância característica é muito sensível às variações na separação dos planos laterais, especialmente na região próxima à superposição deles com a linha central, conforme analisado na seção 3.2.4. Por

este motivo, o processo de fotolitografia usado para elaborar os circuitos deve ser executado com rigor, a fim de se obter as dimensões certas com quais e foram projetados.

Outra exigência adicional das estruturas QCPW refere-se à qualidade do filme depositado. Para que seja possível depositar a camada de metalização sobre a qual é gravado o perfil do TLT, é necessária uma boa aderência do condutor à superfície do filme. Além disso, a superfície do filme deve ser livre de defeitos para não introduzir efeitos indesejáveis no desempenho do dispositivo.

No processo de fabricação dos planos laterais do TLT, além de garantir as dimensões projetadas para a sua separação, é fundamental o alinhamento entre os planos laterais e a linha central da estrutura QCPW. Um pequeno desvio neste passo ocasiona uma grande variação nos valores resultantes da impedância, gerando resultados indesejáveis, conforme mencionado anteriormente. Uma exigência própria das estruturas multicamadas é a necessidade de se confeccionar fotoferramentas especiais, com marcações adequadas de referência, para garantir o melhor alinhamento possível entre os “gaps” dos planos laterais e a linha central.

Quanto aos materiais usados na confecção dos TLTs, foram escolhidos condutores de ouro ( $t = 3 \mu\text{m}$ ) e alumínio ( $t \sim 0,4 \mu\text{m}$ ) para a fabricação dos circuitos usando filmes espessos e finos, respectivamente. As altas constantes dielétricas e as baixas perdas obtidas na caracterização dos filmes finos de STO e dos filmes espessos de CTO, reportadas no capítulo 5, fizeram com que estes materiais fossem escolhidos para serem usados na confecção dos TLTs. Os filmes espessos de CTO foram depositados pela técnica de “screen-printing”, do modo descrito na seção 5.2.1, em colaboração com o Grupo de Cerâmicas do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os filmes finos de STO foram obtidos pelo método de “RF Magnetron Sputtering” no Laboratório de Filmes Finos do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). O substrato usado em todos os casos foi alumina (Piconics ®) com 0,635 mm de espessura. Os circuitos foram fabricados no Laboratório de Semicondutores (LabSem) da PUC-Rio.

O desempenho de todas as estruturas fabricadas foi avaliado em termos da correlação entre as medidas experimentais e as análises teóricas. Os resultados experimentais no domínio da frequência foram obtidos usando-se um analisador de redes (HP 8720C, 50 MHz - 20 GHz) e utilizou-se um TDR (“Time Domain

Reflectometer”, HP 54120B) para obter a variação da impedância da estrutura ao longo do seu comprimento. As análises teóricas foram feitas mediante simulações no domínio da frequência usando os aplicativos CST e HFSS. Tanto as simulações quanto as medidas foram realizadas no Laboratório de Microcircuitos e Microondas do Grupo de Sistemas Ópticos e Microondas do Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC) da PUC-Rio.

Para permitir a caracterização experimental dos TLTs na faixa de microondas, todos foram projetados, fabricados e medidos no arranjo “back-to-back”. O TLT em configuração “back-to-back” é aquele em que dois TLTs idênticos são montados de costas um para o outro de forma simétrica, de maneira que a impedância vista pelas duas extremidades seja de  $50 \Omega$  e o comprimento total seja o dobro do TLT original. O ponto de menor impedância se encontra no centro do arranjo, onde os dois TLTs estão ligados. Este arranjo é amplamente utilizado, pois dispensa o uso de uma carga resistiva específica com resposta em frequência banda larga para terminar o dispositivo do lado de baixa, ou de alta, impedância.

### 6.2.1

#### **TLT na configuração QCPW com filme espesso de CTO**

Inicialmente foi projetado e fabricado um TLT com perfil linear de variação da impedância, com 9,5 mm de comprimento, na configuração QCPW usando um filme espesso de CTO (com constante dielétrica medida de 17,5, conforme descrito no capítulo 5), para adaptar uma linha de  $50 \Omega$  a uma carga de  $90 \Omega$ . A separação entre os planos laterais foi projetada para variar linearmente desde 1,1 mm na extremidade do TLT com impedância de  $50 \Omega$ , até 3,8 mm no lado de  $90 \Omega$ . Este tipo de adaptação de impedâncias é bem comum em aplicações para adaptar uma linha de transmissão a uma antena, que tipicamente apresenta uma impedância característica bem maior do que  $50 \Omega$  (Maxim, 2003). A partir de simulações de estruturas QCPW utilizando o aplicativo HFSS, as dimensões da separação dos planos laterais correspondentes às impedâncias desejadas foram determinadas. As outras dimensões da estrutura foram as seguintes: largura total da seção transversal de 5 mm; largura da linha central de

0,5 mm, gravada em ouro com 3  $\mu\text{m}$  de espessura; espessura do filme depositado de 70  $\mu\text{m}$  e substrato de alumina com uma espessura de 0,635 mm.

Apesar da baixa qualidade da superfície dos filmes de CTO disponíveis, foi depositada uma camada fina de alumínio sobre ela para a obtenção dos planos de terra laterais. Antes da deposição, uma máscara metálica foi ajustada à superfície do filme, com a parte central da máscara vazada e com o perfil do TLT. O TLT fabricado em arranjo “back-to-back” com filme espesso de CTO é mostrado na figura 31. As duas partes simétricas do arranjo estão conectadas por uma linha QCPW de 2 mm de comprimento.

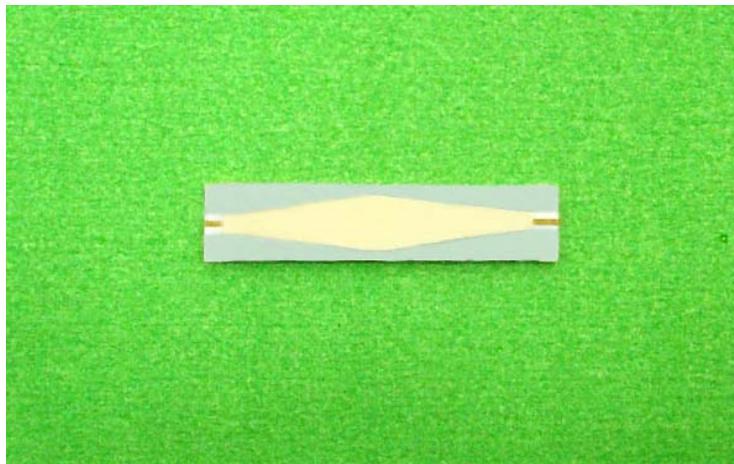


Figura 31. Dispositivo TLT “back-to-back” fabricado com filme espesso de CTO.

Os resultados experimentais da perda de retorno e da perda por inserção do TLT com o perfil de variação linear e fabricado com o filme espesso de CTO são apresentados nas figuras 32 e 33, respectivamente. Para efeitos de comparação, foram acrescentadas as previsões teóricas na faixa de 50 MHz a 10 GHz. Verifica-se nessas figuras que há uma boa concordância entre os resultados teóricos e experimentais. Nas simulações foram incluídas as perdas devidas aos dielétricos usando os valores de  $\tan\delta$  de 0,0001 para a alumina (Piconics®) e de 0,0092 para o CTO (de acordo com os resultados da tabela 2).

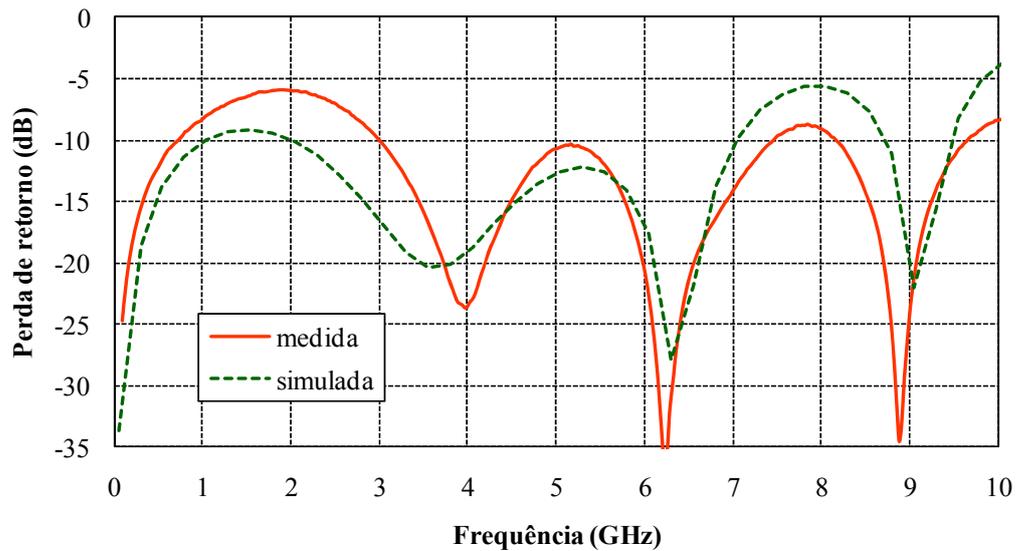


Figura 32. Perda de retorno medida e simulada do TLT “back-to-back” elaborado com filme espesso de CTO.

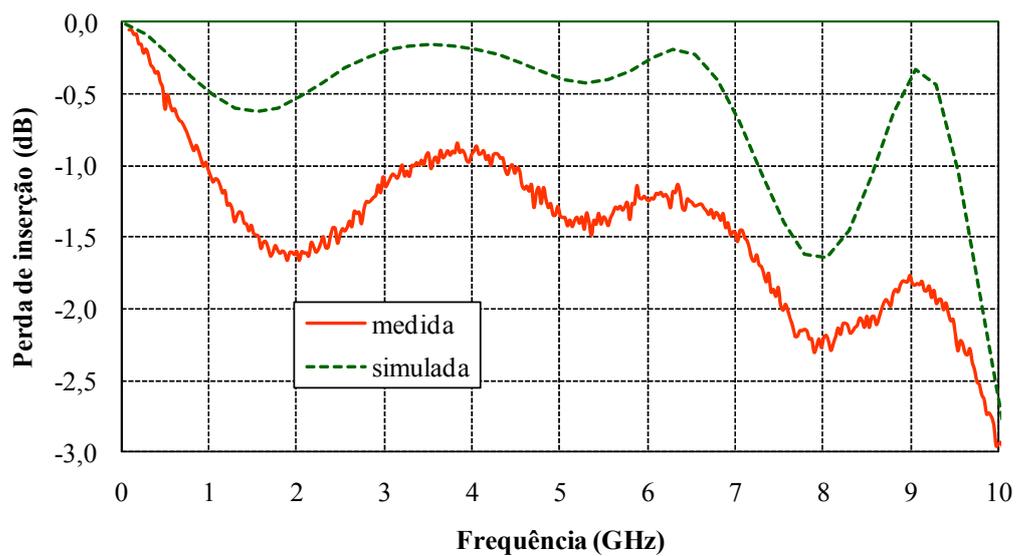


Figura 33. Perda por inserção medida e simulada do TLT “back-to-back” elaborado com filme espesso de CTO.

A diferença entre as curvas teórica e experimental da perda por inserção na figura 33, de aproximadamente 1 dB, deve-se principalmente à qualidade da superfície do condutor de alumínio, depois de depositado sobre a superfície irregular do CTO. Essas imperfeições não foram consideradas na simulação deste TLT.

A Figura 34 mostra o traço obtido no TDR para o perfil de variação da impedância (coeficiente de reflexão) ao longo da estrutura. Calculando-se as impedâncias do dispositivo ao longo do seu comprimento foram obtidos resultados bastante satisfatórios:  $50 \Omega$  nas extremidades e  $93 \Omega$  no centro, quando eram esperados  $50 \Omega$  e  $90 \Omega$ , respectivamente.

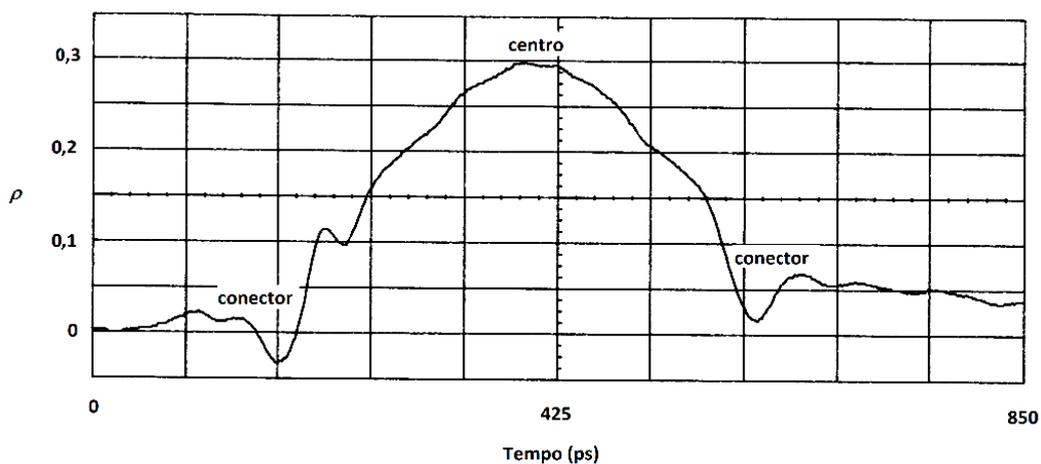


Figura 34. Traço do TDR para o TLT linear “back-to-back” elaborado com filme de CTO.

A partir desses resultados, pode-se concluir que o TLT com perfil de variação linear elaborado com o filme de CTO apresenta, de fato, as características previstas teoricamente, demonstrando, então, a viabilidade de implementação de TLTs na configuração QCPW proposta nesta tese, que apresenta todas as vantagens mencionadas na seção 3.2.4.

## 6.2.2

### TLT linear na configuração QCPW com filme fino de STO

Diferente do método de “screen-printing”, a técnica de deposição por “RF Magnetron Sputtering” para filmes finos é muito mais precisa e permite fixar a espessura final do filme, uma vez que sejam estabelecidos os parâmetros e condições de deposição e calibrado o sistema.

Foi projetado e fabricado, então, um dispositivo TLT usando filme fino de STO para adaptar uma linha de  $50 \Omega$  a uma carga de  $3 \Omega$ . A separação dos planos laterais foi também projetada para variar linearmente. Com o intuito de obter as dimensões da separação dos planos laterais correspondentes às impedâncias

desejadas, foram feitas simulações com o HFSS, fixando os demais parâmetros nos seguintes valores: comprimento do dispositivo de 10 mm e largura total de 5 mm; largura da linha central de 0,5 mm, gravada em alumínio com 0,2  $\mu\text{m}$  de espessura; espessura do filme de STO de 3  $\mu\text{m}$  e o valor da sua constante dielétrica foi considerado como 80, de acordo com a caracterização feita na seção 5.3.1. para um filme semelhante. O resultado das simulações determinaram o valor de 0,97 mm para a separação dos planos laterais do lado de 50  $\Omega$  e 0,42 mm do lado de 3  $\Omega$ . Nota-se que a separação dos planos laterais no lado de menor impedância é menor que a largura da linha central, o que significa que neste caso, tem-se uma superposição dos planos laterais sobre a linha central. Esta superposição representa uma grande flexibilidade para a obtenção de baixos valores de impedância utilizando a configuração QCPW. É importante salientar que durante a fabricação do TLT na configuração QCPW, o alinhamento mais preciso possível entre as duas camadas condutoras (planos laterais e linha central) é fundamental, tal como mencionado anteriormente.

O filme foi depositado pelo método de “RF Magnetron Sputtering” com as mesmas condições adotadas na seção 5.3.1, exceto pela taxa de deposição, que neste caso foi de 110  $\text{\AA}/\text{min}$ , resultando numa superfície de excelente qualidade para a deposição da segunda camada de metalização de alumínio de 0,2  $\mu\text{m}$  de espessura, sobre a qual foi gravado o perfil do TLT mediante fotolitografia convencional. Também neste caso, a configuração “back-to-back” foi empregada para a realização das medidas elétricas.

A forma assimétrica da curva da figura 35, obtida por reflectometria no domínio do tempo (TDR), mostra que existem perdas no dispositivo TLT elaborado nesta seção. A partir dessa curva, pode-se observar que a mínima impedância atingida com este dispositivo foi de 17  $\Omega$ . Quando o comportamento desse TLT é simulado sem considerar os efeitos decorrentes da profundidade pelicular, presentes quando os condutores são demasiadamente finos, o valor mínimo da impedância é de 3  $\Omega$ . Por limitações de ordem prática, não foi possível fabricar TLTs com camadas condutores mais espessas do que 0,4  $\mu\text{m}$  e por esse motivo os efeitos da profundidade pelicular não podem ser desprezados. De fato, a medida da resistência em DC da linha central do TLT analisado nesta seção foi de 24  $\Omega$ , para um condutor de alumínio com 500  $\mu\text{m}$  de largura e 0,2  $\mu\text{m}$  de espessura. Enquanto que para o caso de uma linha de ouro com a mesma largura e

3  $\mu\text{m}$  de espessura, tal como a linha usada na confecção do TLT com o filme de CTO na seção anterior, a resistência em DC foi só de apenas 0,5  $\Omega$ . Essa grande diferença entre os valores da resistência DC das duas linhas evidencia a influência da espessura dos condutores sobre as perdas no dispositivo TLT elaborado. Em altas frequências, também deve-se esperar um aumento considerável no valor da impedância da estrutura devido à espessura da camada condutora. De fato, este aumento no valor de impedância pode ser previsto teoricamente utilizando-se um recurso específico disponível no HFSS que considera os efeitos de profundidade pelicular (“skin depth”) presentes nas metalizações com espessuras inferiores a 0,5  $\mu\text{m}$ . Esse efeito será tratado com maiores detalhes na próxima seção.

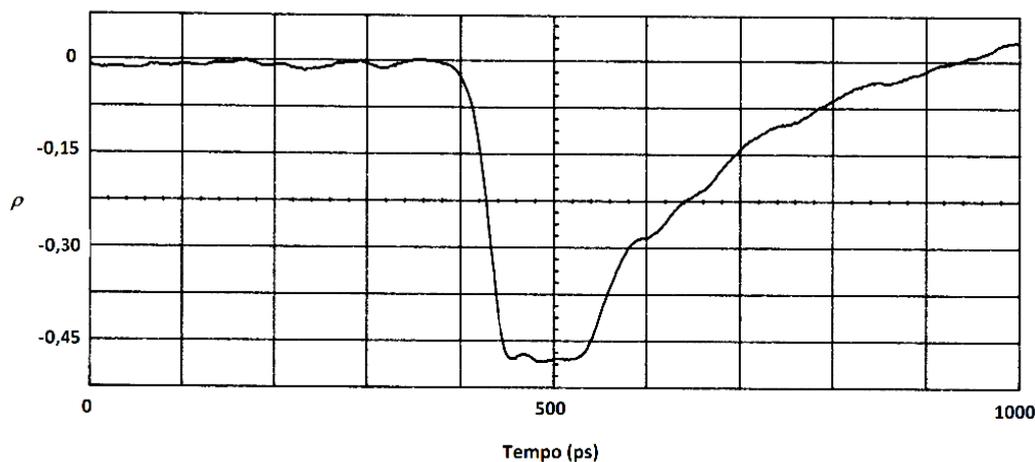


Figura 35. TDR para o TLT linear “back-to-back” elaborado com filme fino de STO.

### 6.3

#### TLT com perfil Chebyshev na configuração QCPW com filme fino de STO

Nesta seção é apresentado o projeto, confecção e caracterização experimental de um TLT com perfil Chebyshev para realizar a adaptação de impedâncias entre uma linha de 50  $\Omega$  e uma carga de 3  $\Omega$ . Como analisado na seção 4.3, uma linha de transmissão afilada com perfil Chebyshev otimiza a adaptação de impedâncias entre as suas extremidades.

O projeto de um dispositivo TLT com perfil Chebyshev começa estabelecendo-se os parâmetros de operação do mesmo. No caso da presente tese, o projeto do transformador de impedâncias envolveu uma razão de transformação

de impedâncias elevada ( $>10$ ) e uma perda de retorno máxima na banda passante de -20 dB ( $\rho_m = 0,1$ ).

Depois de se definir os parâmetros de transmissão do dispositivo adaptador de impedâncias, obtém-se a curva característica da linha de transmissão afilada com perfil Chebyshev. Para isto é preciso calcular os parâmetros a serem substituídos nas eq. (6) e (7). O parâmetro  $\beta_0$  da eq. (6) pode então ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$\cosh \beta_0 = \frac{\ln \bar{Z}_L}{2\rho_m} \quad (11)$$

que resulta da otimização do coeficiente de reflexão de uma linha de transmissão afilada (Collin, 1956). Com a relação de transformação  $Z_L$ ,  $L = 0,01$  m (o comprimento da linha) e o valor de  $\rho_m = 0,1$  na eq. (11), obtém-se  $\beta_0 L = 3,33$ , com o qual é possível obter a curva da perda de retorno em função do comprimento elétrico da linha ( $\beta L$ ) usando a eq. (6). Na figura 36 é mostrada a perda de retorno teórica para um TLT com o perfil Chebyshev proposto.

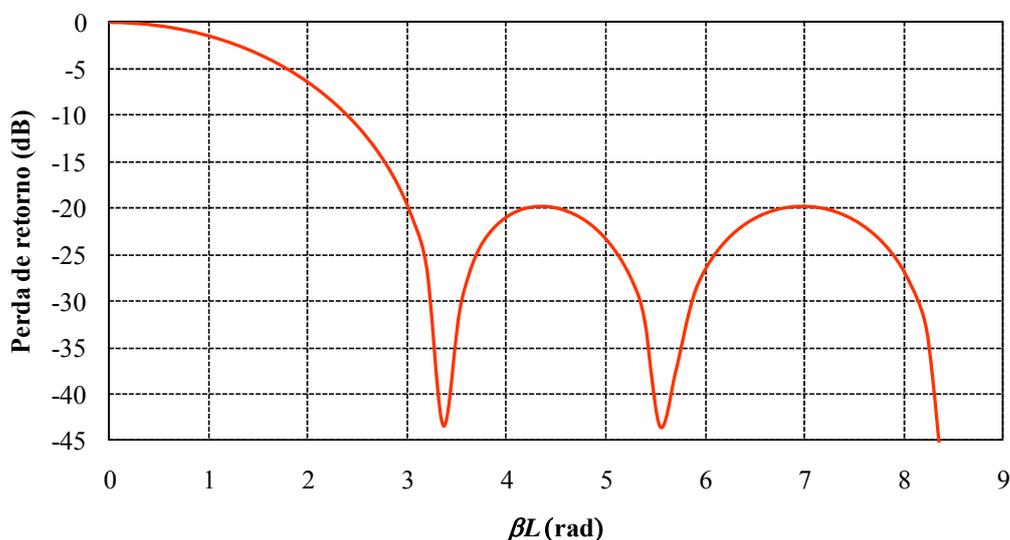


Figura 36. Perda de retorno teórica do TLT com o perfil Chebyshev proposto.

O perfil de impedância ao longo do comprimento do TLT é obtido a partir da eq. (7), substituindo-se os parâmetros já calculados. A figura 37 mostra a impedância da linha afilada com perfil Chebyshev como função do comprimento

para um TLT deste tipo com 10 mm de comprimento que faz uma adaptação de  $50 \Omega$  para  $3 \Omega$ . Notam-se as descontinuidades nas extremidades (Collin, 1992). O lado de  $50 \Omega$  deve ser projetado para ter  $43,4 \Omega$ , enquanto que o lado de  $3 \Omega$  deve ter  $3,4 \Omega$ .

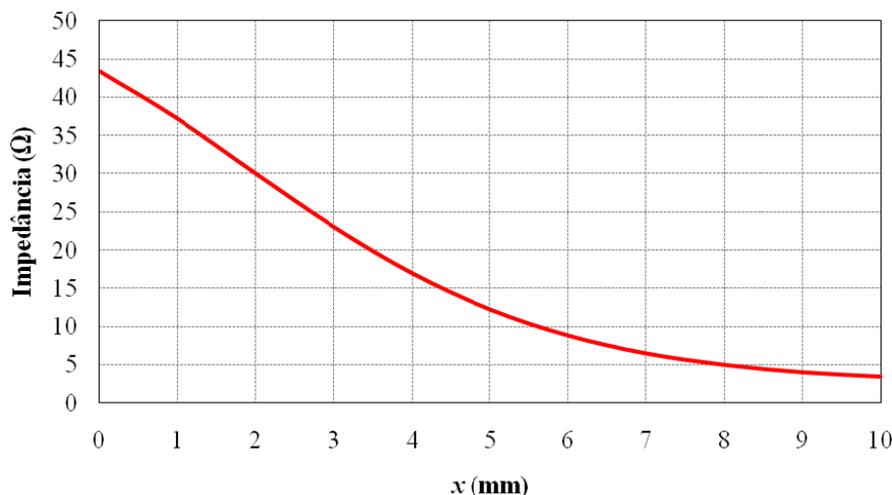


Figura 37. Perfil de impedância do TLT Chebyshev proposto.

O passo seguinte é determinar as dimensões físicas da separação dos planos laterais ( $S$ ) ao longo do comprimento do TLT. A partir de simulações teóricas de estruturas QCPW, como as apresentadas na figura 25 (a), obtiveram-se valores de impedância em função da separação  $S$  para estruturas simuladas com filmes de  $3 \mu\text{m}$  de espessura, constante dielétrica de 80 e tangente de perdas de  $10^{-3}$ , que foram os resultados da caracterização dos filmes de STO na seção 5.3.1. Mediante comparação dos valores de impedância em função de  $S$  obtidos nas simulações com os valores teóricos de impedância em função da posição obtidos com a eq. (7) e representados na figura 37, foi possível estabelecer uma relação entre a separação dos planos laterais ( $S$ ) e a posição ao longo do comprimento do TLT com perfil Chebyshev. Um procedimento de interpolação foi feito com o intuito de ter mais precisão nestas previsões teóricas.

Uma vez obtido o perfil da separação dos planos laterais a serem gravados sobre a camada de metalização depositada sobre o filme de STO, finalmente elaborou-se, também pela primeira vez, um TLT com perfil Chebyshev que realizasse uma adaptação de impedâncias entre uma linha de  $50 \Omega$  e uma carga de  $3 \Omega$ , usando a configuração QCPW. Novamente foi adotado um arranjo “back-to-

back” a fim de facilitar as medições. Do lado direito da figura 38 é mostrada a estrutura simulada no HFSS para o TLT projetado de acordo com os parâmetros descritos e do lado esquerdo seus elementos separados.

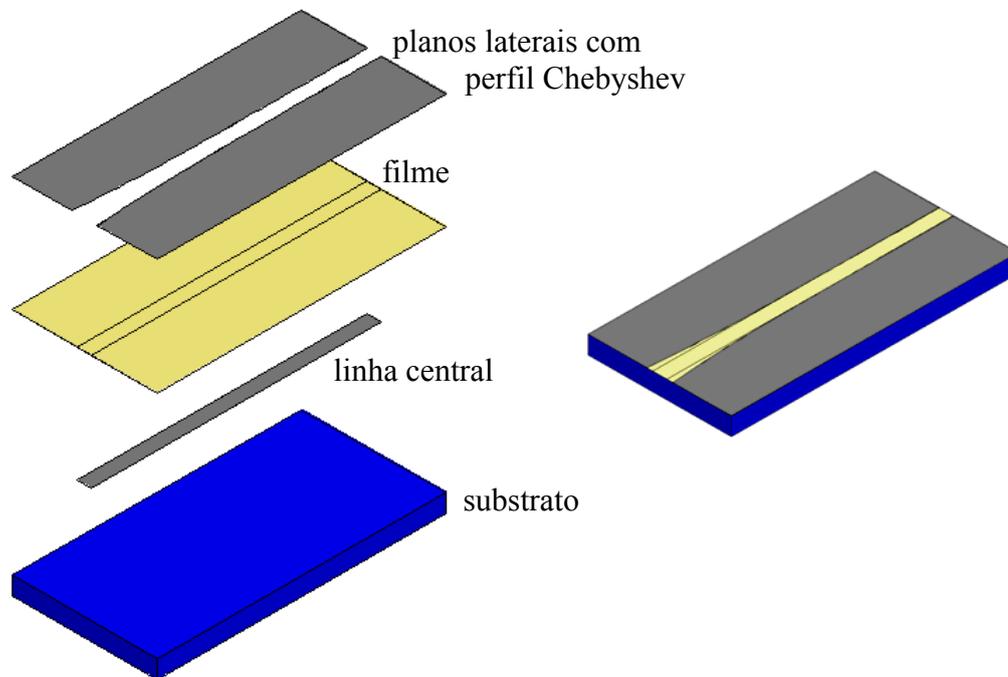


Figura 38. Estrutura do TLT com perfil Chebyshev simulado com o HFSS.

Na figura 39 são comparadas as curvas teóricas da perda de retorno como função da frequência obtidas a partir da eq. (6) (Collin, 1992) e da simulação com o HFSS do TLT mostrado na figura 38. Observa-se que as curvas apresentadas têm um grau de semelhança aceitável para a resposta desejada do TLT. A diferença entre elas deve-se aos efeitos de dispersão considerados na análise de onda completa feita na simulação com o HFSS, que não são levados em consideração na eq. (6).

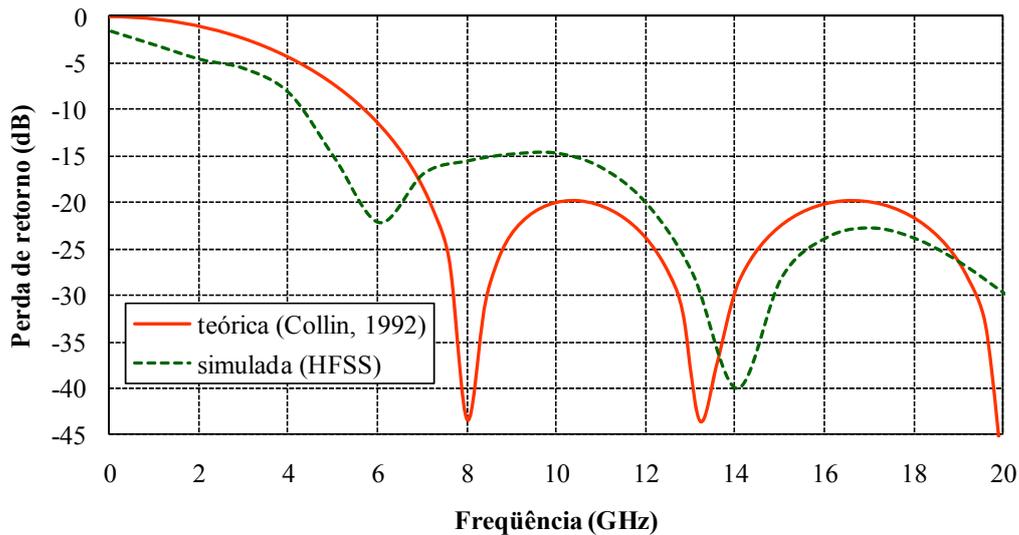


Figura 39. Perdas de retorno teórica e simulada para o TLT com perfil Chebyshev.

Foi então elaborado o TLT com perfil Chebyshev “back-to-back” em linha de transmissão QCPW, tal como aparece na fotografia da figura 40. As dimensões e os processos empregados foram os mesmos usados na elaboração do TLT linear da seção 6.2.2. Na figura 41 é mostrado o detalhe dos contatos com os conectores SMA usados para conectar o dispositivo ao analisador de rede.



Figura 40. TLT “back-to-back” QCPW com filme fino de STO elaborado com perfil Chebyshev.

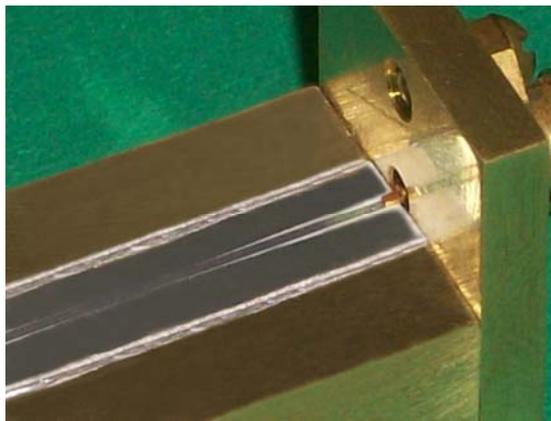


Figura 41. Detalhe da conexão do TLT “back-to-back” elaborado com perfil Chebyshev.

A resposta em frequência desta estrutura é apresentada na figura 42. As curvas da perda de retorno medida e simulada se aproximam bastante, especialmente para frequências superiores aos 6 GHz. Entretanto, o traço obtido a partir do TDR, mostrado na figura 43, indica novamente que fatores adicionais incrementam o valor da impedância do sistema, impedindo-se atingir valores tão baixos quanto  $3 \Omega$ , que podem ser obtidos quando são consideradas condições ideais de fabricação e desprezando-se os efeitos da profundidade pelicular.

A resistência em DC medida para a linha central do TLT com perfil Chebyshev elaborado foi de  $31 \Omega$ , que é bastante elevada se comparada com as linhas de ouro de  $3 \mu\text{m}$  de espessura usadas em outros circuitos neste trabalho ( $0,5 \Omega$ ). Mais uma vez, a forma assimétrica do traço obtido a partir do TDR na figura 43 evidencia as perdas no dispositivo. O valor extraído para a mínima impedância a partir do traço do TDR foi de  $13 \Omega$ , que embora não seja os  $3 \Omega$  desejados, mostra que é possível reduzir o valor da impedância de forma gradual até atingir valores reduzidos de impedância utilizando a configuração QCPW e filmes finos de STO.

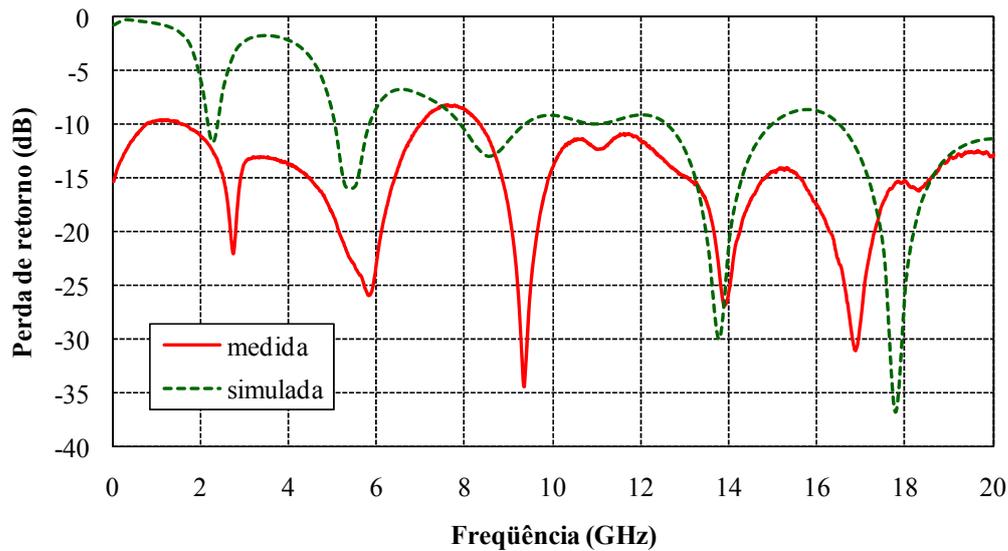


Figura 42. Perdas de retorno medida e simulada para o TLT QCPW com filme fino de STO com perfil Chebyshev.

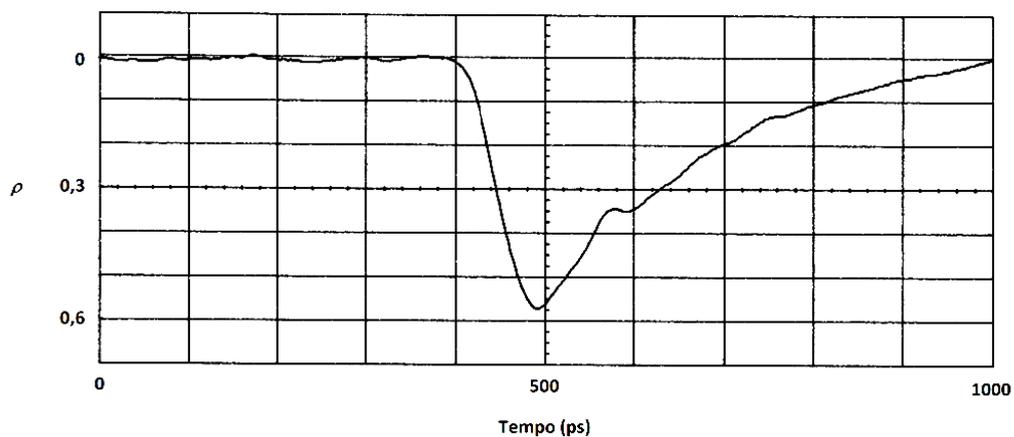


Figura 43. Traço do TDR para o TLT "back to back" QCPW com filme fino de STO com perfil Chebyshev.

Com o intuito de investigar com maior profundidade os efeitos da profundidade pelicular, foram realizadas sucessivas simulações utilizando o HFSS de modo a obter o gráfico da figura 44, que mostra o valor da impedância característica de uma linha de transmissão QCPW em função da frequência considerando as mesmas dimensões empregadas do lado de baixa impedância do taper Chebyshev fabricado.

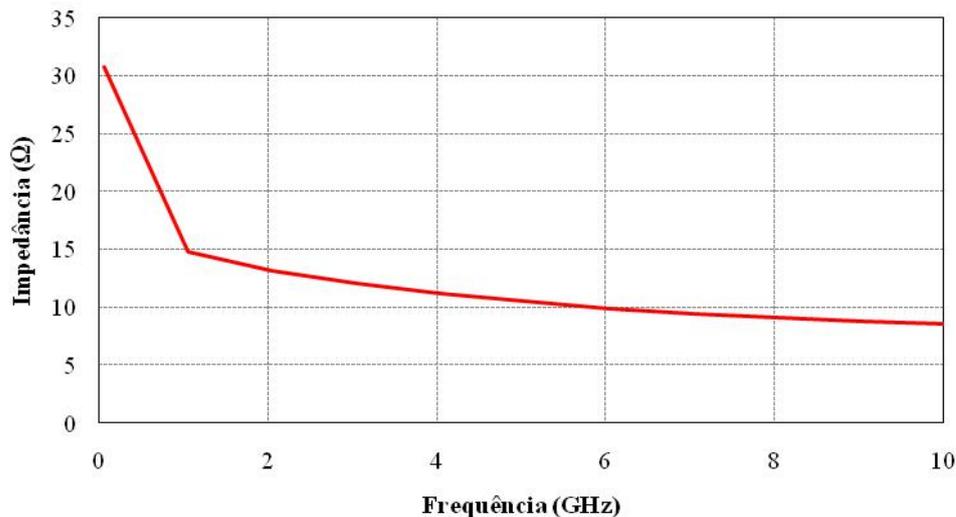


Figura 44. Impedância simulada para a estrutura QCPW com as dimensões da extremidade de baixa impedância do TLT com perfil Chebyshev considerando os efeitos da profundidade pelicular.

Nesta simulação, foi considerado o efeito da profundidade pelicular do campo eletromagnético ("skin depth") nos condutores, tal como mencionado no capítulo 5. Conforme mencionado, quando a espessura das linhas condutoras são inferiores ao "skin depth", torna-se necessário fazer uma análise eletromagnética bem mais profunda da estrutura, na qual os campos no interior do condutor devem ser resolvidos. O aplicativo HFSS conta com as ferramentas apropriadas que permitem resolver este tipo de problema, mas elas demandam tanta capacidade computacional, que não é viável resolver estruturas tão complexas como as do TLT Chebyshev completo aplicando tais ferramentas. Por esse motivo, as simulações realizadas para os TLTs não incluíram esta análise.

A partir do gráfico da figura 44, é possível observar que o valor da impedância para baixas frequências (50 MHz) aumenta bastante e é igual a 31  $\Omega$ . Este valor coincide com aquele obtido a partir da medida da resistência DC feita com um multímetro para a linha central do TLT Chebyshev.

Para as altas frequências, o resultado apresentado na figura 44, que considera o efeito da profundidade pelicular do campo, mostra uma impedância característica de 11  $\Omega$ . Quando tal efeito é desprezado, as previsões teóricas indicam uma impedância tão baixa quanto 3  $\Omega$ . Isto significa que, quando são utilizados condutores muito finos na fabricação dos TLTs, o valor da impedância

umenta em  $8 \Omega$ . De fato, esse acréscimo de  $8 \Omega$  no valor da impedância, devido aos condutores serem muito finos, pôde ser constatado experimentalmente. A medida da mínima impedância alcançada com o taper Chebyshev "back-to-back" obtida a partir do traço do TDR foi de  $13 \Omega$ , valor este bem próximo dos  $11 \Omega$  observados a partir da figura 44 para frequências em torno de 5 GHz.

É importante mencionar que valores de impedâncias tão baixos quanto  $3 \Omega$  poderiam ser alcançados, caso fosse possível fabricar a camada de metalização com uma espessura tal que fosse fina o suficiente para ser compatível com a espessura do filme dielétrico e espessa o suficiente para evitar os efeitos decorrentes da profundidade pelicular. Para satisfazer esse compromisso, e considerando um filme de  $3 \mu\text{m}$  de espessura, um valor de aproximadamente  $1,5 \mu\text{m}$  seria apropriado para a espessura da metalização utilizada, dado que para frequências acima de 3 GHz, a profundidade pelicular dos bons condutores (prata, cobre, ouro) é menor que  $1,5 \mu\text{m}$ . Além disso, é possível utilizar outros metais que apresentem melhores características de condutividade do que o alumínio, o que contribuiria para diminuir ainda mais as perdas no dispositivo.

## 6.4

### Conclusões

No presente trabalho, foram projetados, analisados e fabricados pela primeira vez, três dispositivos TLT usando configurações QCPW, empregando filmes de alta constante dielétrica de CTO com espessura de  $70 \mu\text{m}$  e de STO com espessura de  $3 \mu\text{m}$ .

O TLT fabricado com o filme espesso de CTO foi projetado para fazer a adaptação de impedâncias entre linhas convencionais ou fontes de  $50 \Omega$  e dispositivos com impedância maior ( $90 \Omega$ ). Na confecção deste dispositivo foi usado um filme com  $70 \mu\text{m}$  de espessura e uma constante dielétrica de 17,5. Com este dispositivo conseguiu-se a adaptação de impedâncias proposta de  $50 \Omega$  para  $93 \Omega$ . As perdas apresentadas por esse dispositivo foram predominantemente devidas as irregularidades na superfície do filme de CTO, que não permitiu uma metalização apropriada para gravar o padrão de separação entre os planos laterais. Para obter um desempenho ainda superior, seria preciso aperfeiçoar o método de

deposição do CTO, a fim de obter superfícies do filme de CTO de melhor qualidade e por conseguinte uma qualidade superior para a camada metálica.

Os TLTs fabricados com os filmes finos de STO foram projetados para fazer a adaptação de impedâncias de  $50 \Omega$  a dispositivos de baixa impedância ( $3 \Omega$ ) na faixa de microondas. Foram usados filmes de STO de elevada constante dielétrica ( $\epsilon_r = 80$ ) com  $3 \mu\text{m}$  de espessura, depositados pelo método de “RF Magnetron Sputtering”, que apresentaram boas características para a metalização da superfície. As altas perdas exibidas por estes dispositivos deveram-se predominantemente à fina espessura ( $\sim 0,2 \mu\text{m}$ ) dos condutores de alumínio usados na sua confecção, que introduziram termos de impedância adicionais ( $> 10 \Omega$ ) nos TLTs elaborados. Por esse motivo não foi possível atingir impedâncias tão baixas quanto  $3 \Omega$ , que podem ser atingidas de acordo com as previsões teóricas empregando-se camadas metálicas com espessuras adequadas e tecnicamente viáveis de serem obtidas. Segundo os resultados obtidos neste capítulo e previsões teóricas que levam em consideração as perdas nas linhas de transmissão planares devido à espessura dos condutores, é possível obter um melhor desempenho dos dispositivos projetados elaborando-se TLTs utilizando camadas metálicas de ouro com  $1,5 \mu\text{m}$  de espessura na confecção dos circuitos combinados com filmes de STO com  $3 \mu\text{m}$  de espessura.