

Capítulo 3

Metodologia para Medições em DSL

3.1 Considerações Iniciais

Para qualificar um determinado enlace do assinante, parâmetros físicos como impedância de entrada, função de transferência e parâmetro de espalhamento S_{11} podem ser utilizados. A determinação desses parâmetros é feita através de medições, usando-se equipamentos apropriados, *setups* de medições e procedimentos adequados. Diante disso, uma metodologia para medições desses parâmetros foi proposta. Neste capítulo será descrita e mostrada todas as etapas desta metodologia.

3.2 Metodologia para Medições de Parâmetros em Sistemas DSL

O desenvolvimento de uma metodologia para medições em DSL voltada para a caracterização do enlace do assinante é útil e necessária para a realização de testes associados às atividades de qualificação do enlace. Uma vez que essa metodologia seja aplicada com confiabilidade, seus resultados podem ser armazenados em uma base de dados para serem utilizados nas diversas técnicas de pós-processamento e também na validação de novos modelos de linha de par trançado.

A metodologia proposta neste trabalho consiste em duas etapas, conforme mostra o diagrama da Figura 3.1. A primeira etapa consiste nas medições dos parâmetros físicos do enlace escolhido. A segunda consiste em analisar os resultados das medições obtidas, através de uma análise estatística. Se, após esta análise, percebe-se que os resultados apresentam uma boa confiabilidade, eles serão armazenados em um banco de dados de medições, para uso posterior em diversas aplicações para qualificação do enlace.

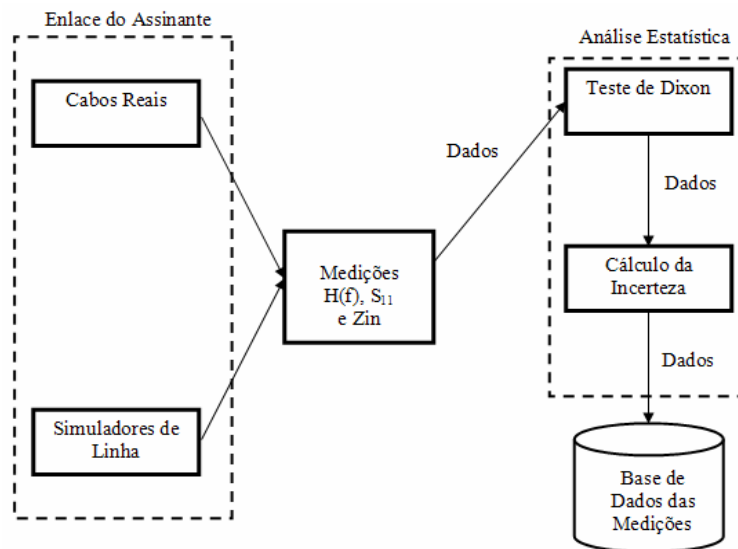


Figura 3.1: Diagrama das Etapas da Metodologia.

3.3 Implementação da Metodologia

Para realização das medições em DSL, a seleção dos instrumentos depende do parâmetro a ser medido e da banda de frequência que será utilizada. Uma vez definida essas variáveis, é possível saber a configuração adequada para cada um dos instrumentos. As seções 3.3.1. a 3.3.10. descrevem os instrumentos adequados para cada parâmetro a ser medido. Neste trabalho as faixas de frequências utilizadas foram: (4,3125 kHz a 1,104 MHz) para ADSL e (4,3125 kHz a 2,208MHz) para ADSL2+. Contudo, existe condição de se utilizar faixas de frequências maiores para VDSL (4,3125 kHz a 30 MHz).

Antes das descrições dos equipamentos, faz-se necessária a descrição dos chamados DUT - dispositivos de teste, que serão utilizados como enlace do assinante. Neste trabalho foram utilizados dois DUT, a saber:

DUT - Simulador de Linha ADSL

O simulador de Linha ADSL 400E3 mostrado na Figura 3.2, é composto de duas unidades. Sendo que cada unidade permite simular os cenários padrões ETSI. O simulador pode simular uma seção com bitola de 0.32 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 0.63 mm e 0.9 mm de comprimento máximo de 500 m; permite ainda utilizar cenários europeus de 50 m a 3.700 m com impedância característica da linha de 100 ohms.



Figura 3.2: Simulador de Linha ADSL 400E3.

DUT - Cabo de Par Trançado

Além do simulador de linha descrito acima, utilizou-se uma cabo de par trançado com 16 pares de bitola de 0.4 mm e comprimento de 500 m como mostrado na Figura 3.3. A impedância característica desse cabo é de 120 ohms.



Figura 3.3: Cabo de Par Trançado.

3.3.1 BALUN

O BALUN *North Hills* modelo 0301BB mostrado Figura 3.4 permite operação na faixa de 10 kHz a 60 MHz. O nome BALUN vem de “*BALanced/UNbalanced*”. É um dispositivo que acopla um sistema balanceado (o par trançado) a um sistema desbalanceado (analisador de rede ou de impedância), por exemplo.



Figura 3.4: BALUN *North Hills* 0301BB.

O BALUN utilizado deverá cobrir a faixa de frequência de interesse e também é necessário possuir um bom casamento de impedância entre o equipamento de medição e o DUT. No entanto, para medições em DSL e considerando a família ADSL, a faixa inicial da frequência utilizada é de 4,3125 kHz, portanto o BALUN utilizado limita em 10 kHz para essa primeira faixa, causando um corte nos dois primeiros tons. Porém, isso não resulta em perdas nas medições. O importante é que o BALUN deverá ter exatamente uma impedância característica que permita operar na faixa de frequência requerida. Isto é, a variação na perda por inserção sobre a faixa de frequência não deverá exceder 3 dB [36]. Além disso, a impedância em aberto no BALUN deverá ser dez vezes maior que a impedância do sistema, especialmente para as baixas frequências [36]. Isto porque, em geral, um BALUN é feito usando-se um indutor, cuja impedância diminui com a frequência. Sendo assim, a Figura 3.5 mostra o circuito equivalente do BALUN 0301BB.

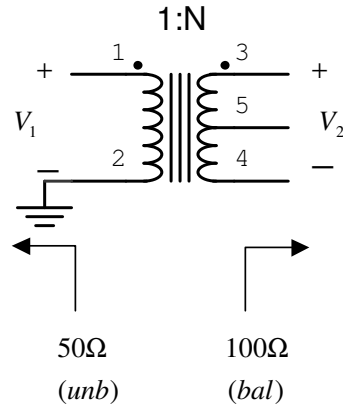


Figura 3.5: Circuito equivalente do BALUN.

As relações entre as tensões e correntes para um transformador ideal são:

$$V_2 = NV_1 \quad (3.1)$$

$$I_2 = \frac{I_1}{N} \quad (3.2)$$

Dividindo-se (3.1) por (3.2), tem-se.

$$\frac{V_2}{I_2} = \frac{N^2 V_1}{I_1} \quad (3.3)$$

A partir da Equação (3.3), obtem-se:

$$Z_2 = N^2 \times Z_1 \quad (3.4)$$

onde $Z_2 = 100\Omega$ e $Z_1 = 50\Omega$ para o BALUN, assim:

$$N^2 = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{100}{50} = 2 \quad (3.5)$$

A partir da Equação (3.5), as Equações (3.1), (3.2) e (3.3), podem ser re-escritas como:

$$V_2 = \sqrt{2} \times V_1 \quad (3.6)$$

$$I_2 = \frac{I_1}{\sqrt{2}} \quad (3.7)$$

$$Z_2 = 2 \times Z_1 \quad (3.8)$$

A equação resultante (3.8) mostra a relação existente entre a porta desbalanceada (1) e a porta balanceada (2) do BALUN 301BB. Sendo assim, os resultados observados nos instrumentos de medições deverão estar reduzidos pela metade.

3.3.2 Analisador de Impedância de Precisão

O analisador de impedância de precisão 4294A, mostrado na Figura 3.6 é um equipamento que opera na faixa de 40 Hz – 110 MHz e com uma escala para medições de impedância que vai de 3 mΩ a 500 MΩ. Este analisador é usado para fornecer o sinal de entrada para o dispositivo de teste, e também para as medições das variáveis de interesse [35]. Como no caso de medições em DSL, sua utilização é importante, pois permite obter a magnitude e a fase da impedância de entrada para o enlace do assinante com margem erro de $\pm 0,08\%$ [35]. Além disso, é ideal para medições em ADSL, ADSL2+ e VDSL, devido cobrir as faixas de frequências utilizadas por estas famílias.



Figura 3.6: Analisador de impedância de precisão 4294A.

3.3.3 Teste Fixo

O teste fixo (*test fixture*) 16047E mostrado na Figura 3.7 é um dispositivo que funciona como um conector, entre as 4 portas do analisador de impedância 4294A e a porta desbalanceada do BALUN. Também tem a função de ser usado para compensar as perdas durante o processo de calibração. Sua faixa de operação está entre DC – 110 MHz. No entanto, sua proporção de erro é de [35]:

$$0,2x\left(\frac{f}{10}\right)^2 [\%] \text{ para } f \leq 15 \text{ MHz} \quad (3.9)$$

$$4x\left(\frac{f}{100}\right) [\%] \text{ para } f > 15 \text{ MHz} \quad (3.10)$$

Para medições em ADSL, ADSL2+ e VDSL as proporções de erros encontradas são de: 0,0024%, 0,0097% e 1,2%. Diante desses resultados, a utilização deste dispositivo nas medições em DSL, não ocasiona erros de grandes proporções nas medições de impedância de entrada.

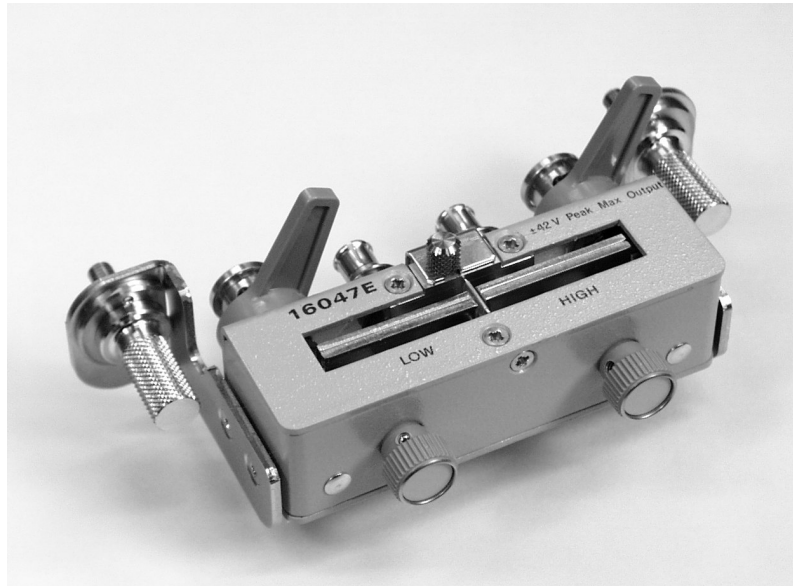


Figura 3.7: Teste fixo (*test fixture*) 16047E.

3.3.4 Analisador de Rede

O analisador 4395A mostrado na Figura 3.8 é um equipamento que opera na faixa de 10 Hz – 500 MHz. Este analisador combina três importantes funções: um analisador de rede, um analisador de espectro e um analisador de impedância. Isso permite que seja utilizado em múltiplos testes quando necessário. Porém, para as medições de função de transferência e de parâmetro de espalhamento do enlace do assinante, utiliza-se a função de analisador de rede. Neste analisador é possível se obter o módulo da magnitude e a fase da função de transferência, e do parâmetro de espalhamento, com uma precisão de $\pm 0,5$ dB para magnitude e $\pm 0,3$ grau para a fase [40]. Além disso, devido a faixa de operação desse analisador é possível medições em ADSL, ADSL2+ e VDSL.

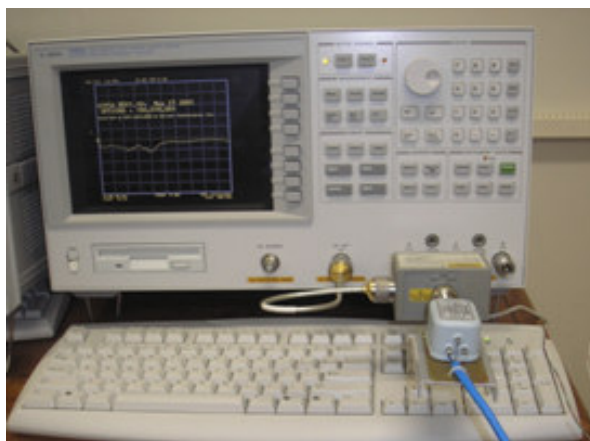


Figura 3.8: Analisador de Rede 4395A.

3.3.5 Conjunto de Teste de Transmissão/Reflexão

O conjunto de teste 87512A/B mostrado na Figura 3.9 fornece a capacidade de medições com características de transmissão e reflexão, para dispositivos com impedância de 50 Ohms ou 75 Ohms. A faixa de operação, quando atua como analisador de rede, é de DC a 2 GHz [36]. A porta de teste do 87512A é um conector tipo N (fêmea) com impedância de 50 ohms, e a porta de teste do 87512B é um conector tipo N (fêmea) com impedância de 75 Ohms. Porém, para medições da função de transferência e do parâmetro de espalhamento S_{11} utiliza-se o conjunto de teste 87512A, devido a porta desbalanceada do BALUN utilizado ser de 50 ohms. Além, de servir de conexão entre a porta do analisador de rede e a porta do

BALUN, uma outra função importante desse dispositivo é fornecer o sinal de referência (R), para o enlace ser comparado com a porta de entrada (A) e de saída (B) do analisador de rede.



Figura 3.9: Conjunto de teste 87512A.

3.3.6 Interface GPIB (*General Purpose Interface Bus*).

Nas medições em DSL é importante o armazenamento dos dados obtidos, para uma posterior análise. Uma maneira de obter estes dados foi a utilização de um dispositivo que faça conexão do equipamento de medição ao computador. A interface utilizada foi a 82357B USB/GPIB como mostrada na Figura 3.10, que é uma placa compatível com os instrumentos de medições, como o analisador de impedância 4294A e o analisador de rede 4395A. Esta interface permite conectar até 14 instrumentos compatíveis a ela [39].



Figura 3.10: Interface 82357B USB/GPIB.

3.3.7 Cabo BNC/BNC

O cabo BNC/BNC mostrado na Figura 3.11 é utilizado para conexões entre o BALUN e as portas do analisador de rede 4395A. Esse cabo possui dois conectores BNC, um em cada uma das extremidades, e deverá ter um comprimento ideal para não influenciar nas medições. O cabo utilizado é um cabo de comprimento padrão fornecido pelo fabricante e a resistência dos contatos BNC é menor que 0,005 Ohms. Assim, a influência desses conectores utilizados nas medições é negligenciável.



Figura 3.11: Cabos BNC/BNC.

3.3.8 Conectores RJ45 e RJ11

Os conectores RJ45 e RJ11 mostrados na Figura 3.12 são padrões utilizados para conexões entre a porta balanceada do BALUN e o DUT.

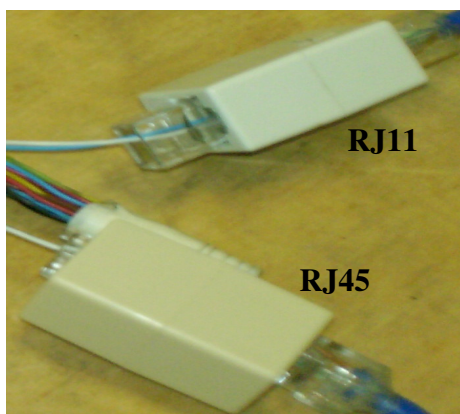


Figura 3.12: Conectores RJ45 e RJ11.

3.3.9 Computador

A utilização de um computador como mostrado na Figura 3.13, teve como finalidade, a armazenagem dos dados obtidos nas medições de impedância de entrada, função de transferência e do parâmetro de espalhamento S_{11} . Porém, para que isso seja possível, é necessário que o computador possua uma interface USB (*Universal Serial Bus*), para se conectar ao analisador de impedância 4294A e ao analisador de rede 4395A. Além disso, outra finalidade importante foi a necessidade de um computador para atuar como gerenciador dos programas (*softwares*) para controle e acesso desses analisadores.



Figura 3.13: Computador.

3.3.10 Terminações

Para medições em DSL existem três terminações que podem ser utilizadas. Estas terminações são descritas como:

- Terminação de 100 ohms: simula um modem conectado ao enlace; sendo que esta terminação pode ser feita usando-se um resistor de 100 ohms com $\pm 1\%$ de precisão.
- Terminação Aberta: É simplesmente um enlace sem nenhuma conexão na sua terminação.

- Terminação em Curto-circuito: simula uma terminação em curto conectada ao enlace; sendo que esta terminação pode ser feita usando um conector RJ4 (fêmea) com seus contatos internos curto-circuitados.

As terminações descritas acima foram feitas no laboratório para suprir a demanda das medições. A utilização destas terminações não causa erros consideráveis nas medições. Porém, para uma maior precisão é necessário adquirir um *kit* de terminações padrões junto ao fabricante.

3.3.11 *Setup's* de Medições

Esta seção descreve os atuais *setup's* utilizados para as medições dos parâmetros descritos no capítulo anterior, assumindo que o DUT pode ser um cabo real ou um simulador de linha [34]. O Anexo A traz uma instrução técnica para cada *setup's* de medições, mostrando os seus principais procedimentos necessários.

3.3.11.1 *Setup* para Medição de Impedância de Entrada

Para realização da medição de impedância de entrada, os equipamentos necessários para o *setup* são mostrados na Figura 3.14. O analisador de impedância de precisão 4294A é conectado a porta desbalanceada do BALUN 0301BB através do teste fixo 16047E. O DUT se conecta a porta balanceada do BALUN utilizando um cabo apropriado e um conector RJ45 ou RJ11. A interface 82357B USB/GPIB se conecta ao analisador de impedância através de uma porta paralela e ao computador utilizando a porta GPIB.

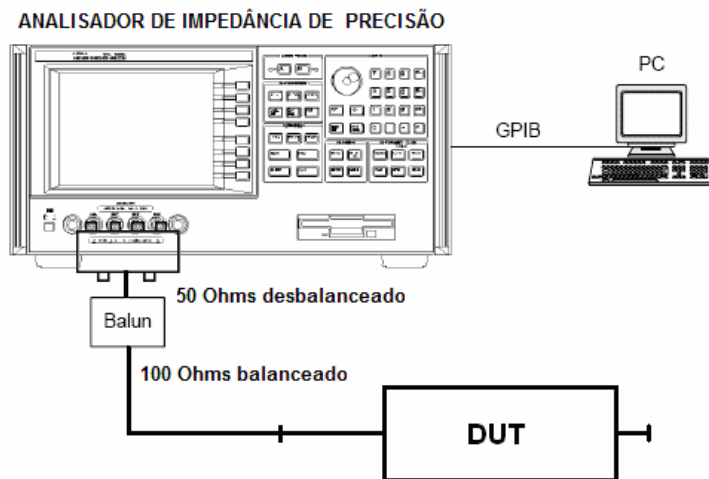


Figura 3.14: *Setup* para medição de Impedância de Entrada [35].

3.3.11.2 *Setup* para Medição da Função de Transferência.

Para realização das medições da função de transferência o *setup* utilizado está mostrado na Figura 3.15. Neste *setup*, o analisador de rede 4395A se conecta ao primeiro BALUN através do conjunto de teste 87512A utilizando a porta de entrada de referência (R), a porta de saída de referência (RF out) e a porta de entrada de transmissão (A). O segundo BALUN se conecta à porta de saída de reflexão (B) através de um cabo macho BNC/BNC. Nas portas balanceadas dos BALUNS, o DUT é conectado através de dois cabos apropriados com conectores RJ45 ou RJ11. A interface 82357B USB/GPIB se conecta ao analisador de rede através de uma porta paralela e ao computador utilizando a porta GPIB.

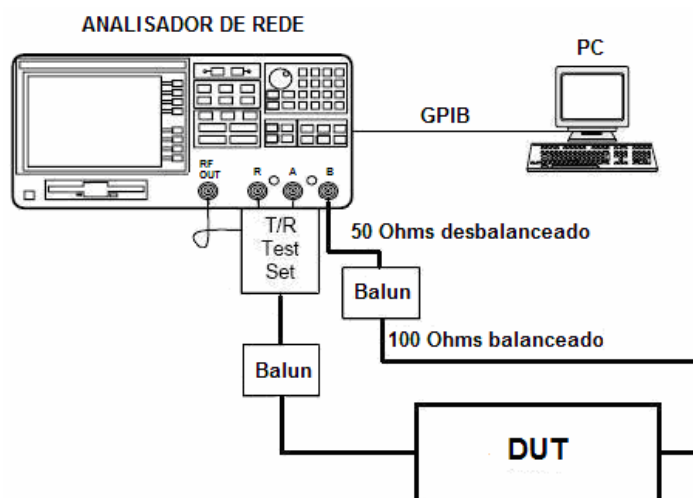


Figura 3.15: *Setup* para medição da Função de Transferência [40].

3.3.11.3 Setup para Medição do Parâmetro de Espalhamento S_{11}

Para realização da medição do parâmetro de espalhamento S_{11} , os equipamentos necessários para o *setup* são mostrados na Figura 3.16. Neste *setup*, o analisador de rede 4395A se conecta somente através de um BALUN 0301BB ao conjunto de teste 87512A, utilizando a porta de entrada de referência (R), a porta de saída de referência (RF out) e a porta de entrada de transmissão (A). Na porta balanceada do BALUN, o DUT é conectado através de um cabo apropriado com conector RJ45 ou RJ11. A interface 82357B USB/GPIB se conecta ao analisador de rede através de uma porta paralela e ao computador utilizando a porta GPIB.

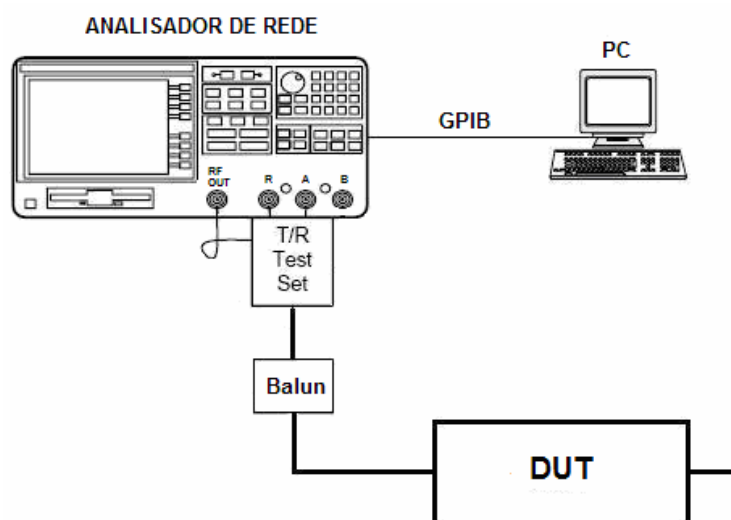


Figura 3.16: Setup para medição do Parâmetro de Espalhamento S_{11} [40].

3.3.12 Calibração

As medições dos parâmetros do enlace do assinante são feitas por equipamentos que estão sujeitos a erros. Para remover esses erros sistemáticos algumas técnicas de calibração foram desenvolvidas, tais como: SOLT (*short-open-load-thru*), TRL (*thru-reflection-line*) e LRM (*line-reflection-match*) [37]. Estas técnicas têm vantagens e desvantagens. Então, uma escolha cuidadosa é recomendada para se achar o procedimento de calibração mais adequado para cada aplicação específica. Todas essas técnicas incluem alguma variação, sendo as três técnicas utilizadas principalmente para análise dos parâmetros de espalhamento S . As medições dos parâmetros S são baseadas na razão entre as ondas refletidas e incidentes

através da impedância característica do sistema [37]. Entre a fonte de sinal e a porta do dispositivo, são encontrados muitos componentes, tais como: conectores, adaptadores, baluns, cabos e etc. Estes componentes do sistema representam possíveis perdas e descontinuidades. Como resultado, um procedimento de calibração é necessário para remover os erros produzidos pelas imperfeições dos componentes.

3.3.12.1 Métodos de Calibração Utilizados

Para a realização de cada medição de um determinado parâmetro, é necessária a utilização de um método derivado das técnicas descritas na seção anterior. Os parâmetros a serem medidos possuem um método particular que utilizam um procedimento de calibração apropriado. A seguir são descritos cada um desses métodos. Para melhor entendimento, o Anexo A mostra as instruções para cada procedimento de calibração descrito abaixo.

A. Método de Compensação Fixa (*Fixture Compensation*)

O analisador de impedância de precisão, utilizado nas medições de impedância de entrada, permite três métodos de calibração: *user calibration*, *port extension compensation* e *fixture compensation* [35]. Para medir a impedância de entrada, assumindo que o enlace do assinante é medido na banda ADSL, o método apropriado é a compensação fixa. O método de compensação fixa reduz os erros parasitas existentes entre o teste fixo 16047E e as portas do analisador de impedância 4294A. Este método utiliza três cargas de compensação conhecidas como: *ABERTA*, *CURTO* e *CARGA*, que são conectadas na porta balanceada do BALUN 0301BB, para reduzir os possíveis erros e compensar as perdas devido aos conectores e aos cabos entre o analisador e o enlace. O *setup* para calibração desse método é mostrado na Figura 3.17.

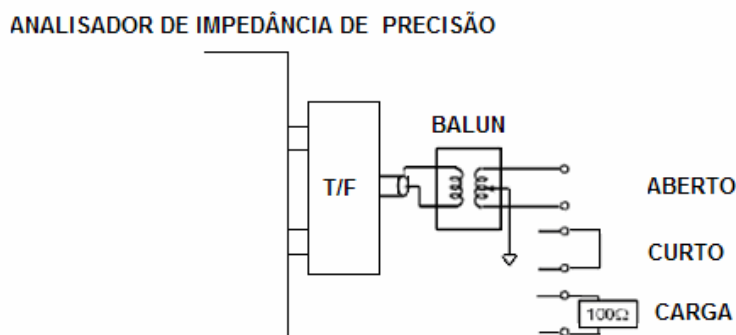


Figure 3.17: Configuração Compensação Fixa [36].

B. Método de Resposta e Isolação (*Response & Isolation*)

Para fazer medições de função de transferência do enlace do assinante, o método de calibração requerido é resposta e isolamento [36]. A Figura 3.18 mostra o *setup* de calibração para essas medições. Na configuração resposta, as portas balanceadas dos BALUNS 0301BB deverão ser conectadas uma na outra, através de um conector e de um cabo apropriado. Para a configuração isolamento, as portas balanceadas dos BALUNS 0301BB deverão estar com cargas de 100 Ohms [36] conforme mostrado na Figura 3.18. Esses procedimentos são necessários para eliminar os possíveis erros ocasionados pelos conectores e cabos utilizados.

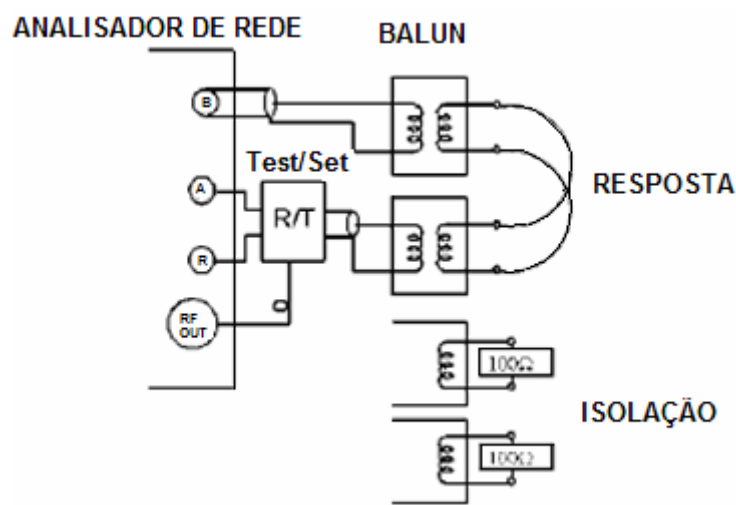


Figure 3.18: Configuração Resposta e Isolação [36].

C. Método de Calibração da Porta 1 S_{11} (*1-Port Calibration*)

Para se fazer as medições do parâmetro de espalhamento S_{11} , o método de calibração requerido é o de Calibração da Porta 1 S_{11} [36]. Neste método, são necessárias também três cargas padrões de calibração como: aberta, curto e carga, sendo que tais cargas podem ser fornecidas pelo fabricante. Este método é utilizado para remover a resposta em frequência e a diretividade que são os maiores causadores de erros nessa medição [36]. A calibração da Porta 1 S_{11} deve ser executada na porta balanceada do BALUN 0301B. A Figura 3.19 mostra o *setup* utilizado para essa calibração antes das medidas.

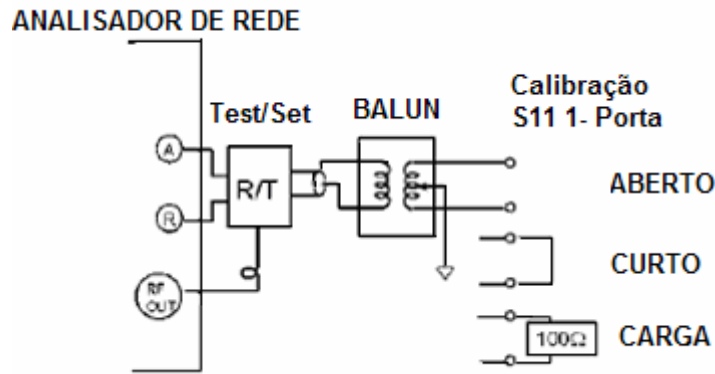


Figure 3.19: Calibração da Porta 1 S₁₁ [36].

Outro fator importante a ser considerado é que tanto o analisador de rede quanto o de impedância devem ser calibrados com o teste fixo 16047E, conjunto de teste 87512A e os BALUNS para compensar os possíveis erros nas medições devido às conexões e cabos utilizados.

3.3.13 Medições

Após a escolha do *setup* a ser utilizado e do método apropriado de calibração, é descrito nesta seção a realização das medições dos parâmetros anteriormente citados. Cada medição realizada requer um método e um procedimento.

3.3.13.1 Impedância de Entrada

As medições de impedância de entrada utilizam o *setup* descrito na seção 3.3.11.1. Os testes de impedância de entrada consistem de três situações, os quais são dependentes da terminação utilizada no lado do usuário. A terminação em aberto é a situação quando não existe nem um dispositivo (*modem*). Na situação em curto, o *modem* está desligado. Para a situação em carga, um dispositivo (*modem*) está ligado.

Com as medidas de impedância de entrada, é possível se obter a impedância característica de um enlace, utilizando o método *single ended testing*, também conhecido como método *open/short* [38]. Uma outra maneira de se obter a impedância característica é utilizar o método conhecido como A1 definido em IEC (*International Electrotechnical Commission*). Esse método utiliza um BALUN, mas exclui o seu desempenho [38]. A

referência bibliográfica [34] descreve uma metodologia baseada em medições, que utiliza este método para obtenção da impedância característica.

3.3.13.2 Função de Transferência

O teste utilizado para medições de função de transferência do enlace DSL consiste no método *single ended line testing*. Este método utiliza a medida do parâmetro de espalhamento de transmissão direta S_{21} , como mostrado no *setup* da Figura 3.15. Um sinal é aplicado na porta de referência (R) do analisador de rede e o mesmo é analisado na sua porta de saída (B) de acordo com a Figura 3.15. A relação entre variáveis medidas nessas portas (B/R) fornece a medida da função de transferência.

3.3.13.3 Parâmetro de Espalhamento S_{11}

O teste utilizado para medições do parâmetro espalhamento S_{11} do enlace DSL consiste no método *single ended double line testing*, conforme descrito na seção 3.3.11.3. Este método utiliza a medida do parâmetro S_{11} , também conhecido como coeficiente de reflexão na entrada. Nesse teste, o parâmetro de espalhamento S_{11} , é a razão entre um sinal refletido e um sinal incidente é medido pela relação da porta de referência (R) e a porta de entrada (A) do analisador de rede diretamente no domínio da frequência.

3.4 Considerações Finais

Este capítulo teve como objetivo apresentar a metodologia definida para medições em sistemas DSL, cujas etapas do desenvolvimento da metodologia foram apresentadas. Foram descritos os equipamentos utilizados, os *setups* para medições dos parâmetros e os métodos de calibração.

O próximo capítulo descrever os conceitos fundamentais sobre medições em DSL, focando-se nos possíveis erros e tratamentos estatísticos, após obtenção dos resultados das medidas e da incerteza na medição.