

Capítulo 5

Validação da Metodologia de Medições Proposta: Estudos de Casos

5.1 Considerações Iniciais

Este capítulo tem como principal objetivo validar a metodologia de medição proposta neste trabalho. Alguns estudos de casos são realizados considerando situações onde: a aplicação dos procedimentos de medições é realizada de acordo com a metodologia e quando as medições não seguem os procedimentos propostos. Faz-se também uma análise desses resultados.

5.2 Campanha de Medições

Para a validação da metodologia proposta, uma campanha de medições foi realizada no período 2006 a 2007 no Laboratório de Inovação Tecnológica em Telecomunicações da Universidade Federal do Pará. Esse laboratório possui os equipamentos adequados para montagem dos *setups* das medições, conforme mostrado no capítulo 3.

Para realização dessa campanha, foram utilizados os enlaces padrões ETSI (#1, #2, #3, #4, #5, #6, #7 e #8) como descritos na Tabela 5.1. A escolha desses enlaces foi devido à disponibilidade do uso de simuladores de linha ADSL 400E3, que permitem simular enlaces de padrões europeus de 50 m a 3.700 m com impedância característica da linha de 100 ohms. Além dos simuladores utilizados para os enlaces padrões, também se utilizou um cabo balanceado de par trançado com dez pares de 0,4mm e 500m e com impedância característica de 120 ohms.

A campanha de medições foi realizada em duas etapas. Para a primeira, foram feitas medidas de função de transferência, parâmetro de espalhamento S_{11} e de impedância de entrada, utilizando inicialmente os simuladores de linha. Na segunda etapa da campanha de medições, foram realizadas medições dos parâmetros citados anteriormente, utilizando-se um

enlace real, composto de uma seção de cabo telefônico como descrito na Tabela 5.1. O objetivo desta etapa é comprovar que a metodologia pode se aplicada aos enlaces reais encontrados nas atuais redes telefônicas.

Nessas duas etapas, todos os procedimentos de medições, como seleção adequada do equipamento, seleção do BALUN, seleção dos conectores e o tipo de calibração apropriado, foram cuidadosamente realizados. No entanto, devido à sensibilidade dos procedimentos adotados, algumas situações adversas podem influenciar os resultados das medições; diante disso, alguns resultados foram selecionados para serem mostrados e analisados.

Tabela 5.1: Descrição dos Cenários Utilizados na Implementação da Metodologia.

Enlace	Número de Seções	Tipo de Seção	Comprimento por Seção (m)	Diâmetro da Bitola por Seção (mm)
ETSI#1	1	Serial	2.550	0,4
ETSI#2	1	Serial	3.400	0,5
ETSI#3	2	Serial/Serial	1.400/1.500	0,4/0,5
ETSI#4	4	Serial/Serial/Serial/Serial	200/900/1.500/500	0,32/0,4/0,5/0,63
ETSI#5	4	Serial/Serial/Serial/Serial	1.450/750/500/500	0,4/0,5/0,63/0,9
ETSI#6	3	Serial/Serial/Serial	1.300/1.250/500	0,4/0,5/0,63
ETSI#7	3	Serial/Serial/Serial	200/600/4.000	0,32/0,4/0,9
ETSI#8	4	Serial/B.Tap/Serial/B. Tap	750/500/1.100/500	0,4/0,4/0,4/0,4
Cabo Real	1	Serial	500	0,4

B.Tap = *Bridged Tap*

5.3 Resultados das Medições

Nesta seção, serão mostrados os resultados das medições obtidos tanto para os simuladores de linha, quanto para o cabo real, como descrita na seção 5.2. No entanto, antes de mostrar os resultados obtidos é importante destacar-se alguns pontos:

- Todos os enlaces descritos acima foram utilizados durante a campanha de medições, porém, devido a grande quantidade de medidas obtidas, apenas alguns resultados foram escolhidos para serem mostrados e analisados.

- Todas as medições foram para SELT, devido a grande demanda de medições realizadas durante a fase de execução da metodologia.
- Todas as medições foram realizadas para a faixa de frequência ADSL.
- Durante a campanha de medições optou-se por fazer três vezes a mesma medida para cada parâmetro, ou seja, a quantidade mínima requerida para a análise dos resultados, embora fosse possível uma quantidade maior de medições.
- Os modelos de linha utilizados como referências para análises das medições foram os modelos BT#1 e VUB0, descritos no capítulo dois.

5.3.1 Função de Transferência

Nesta seção, são mostrados os resultados das medições da função de transferência $H(f)$ através da aplicação da metodologia definida neste trabalho. As Figuras 5.1 a 5.6 mostram os resultados obtidos.

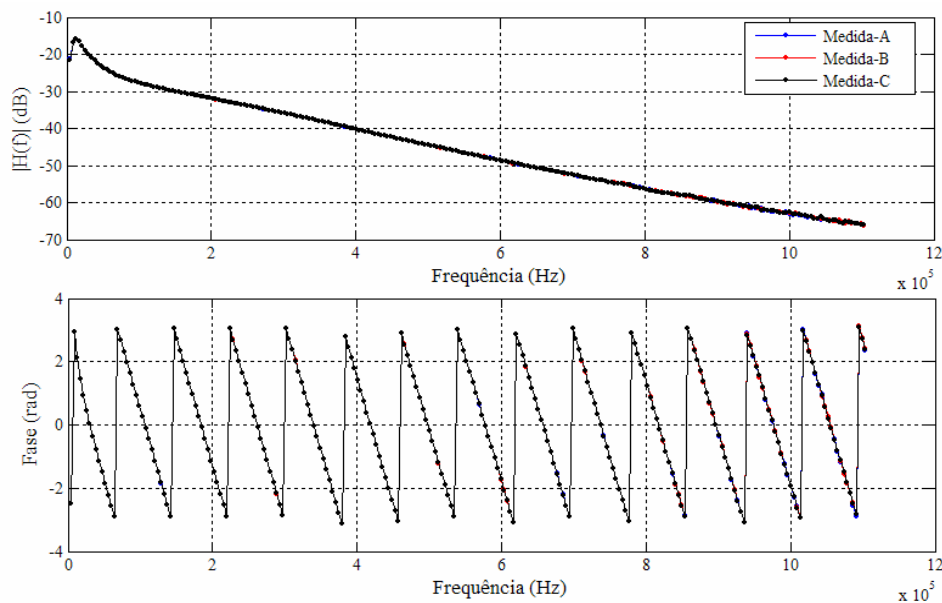


Figura 5.1: ETSI#1 – Magnitude e Fase para $H(f)$.

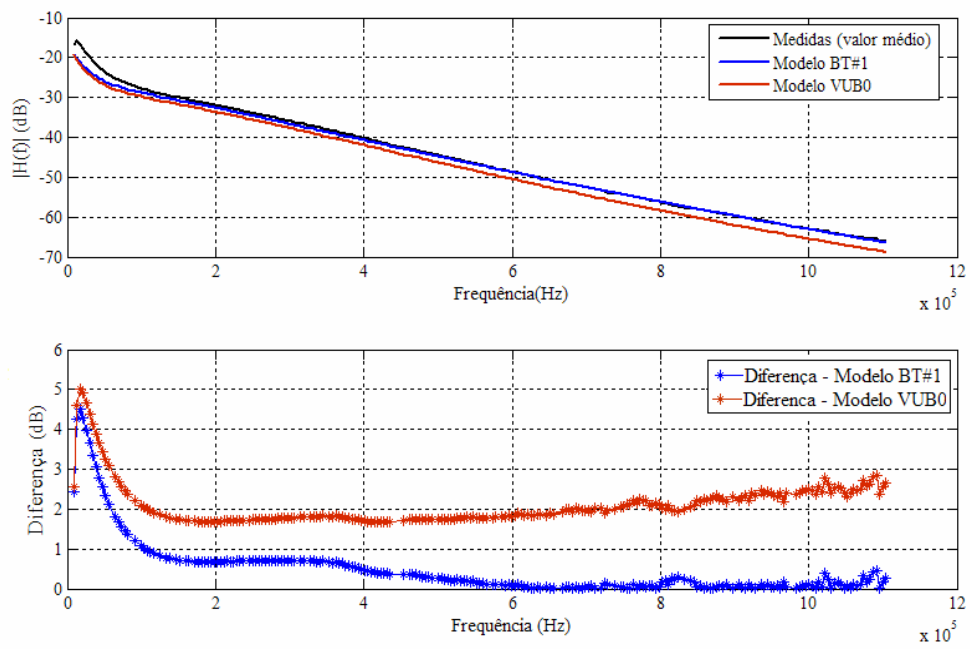


Figura 5.2: ETSI#1 - Curva média das medidas $H(f)$ versus os modelos BT#1 e VUB0.

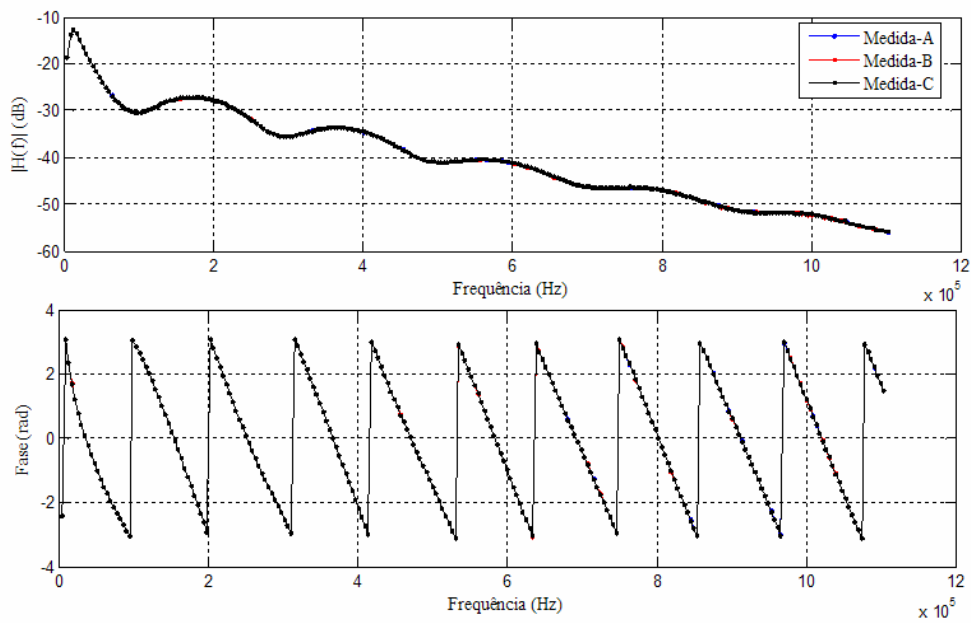


Figura 5.3: ETSI#8 - Magnitude e Fase para $H(f)$.

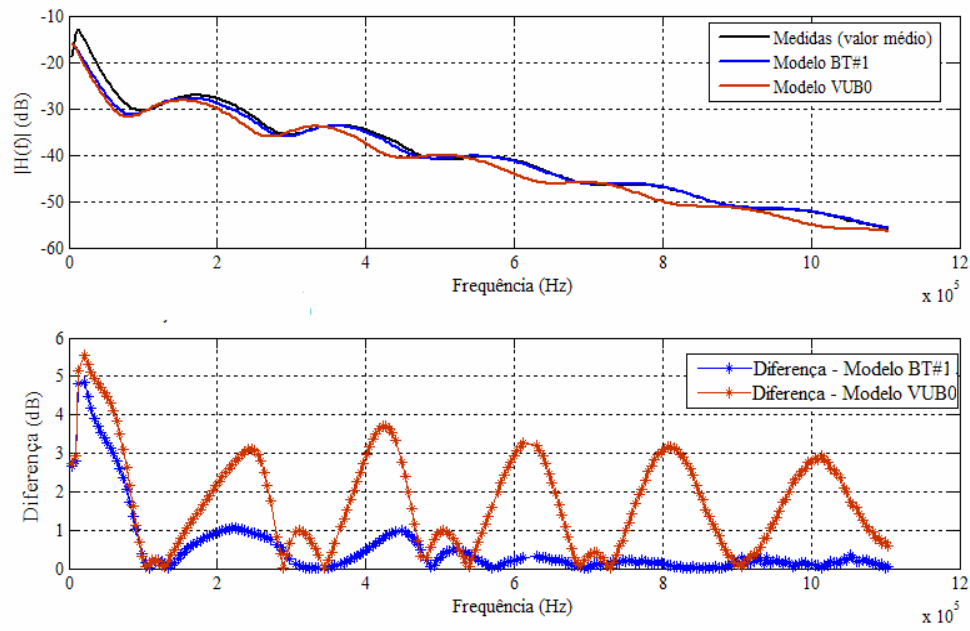


Figura 5.4: ETSI#8 - Curva média das medidas $H(f)$ versus os modelos BT#1 e VUB0.

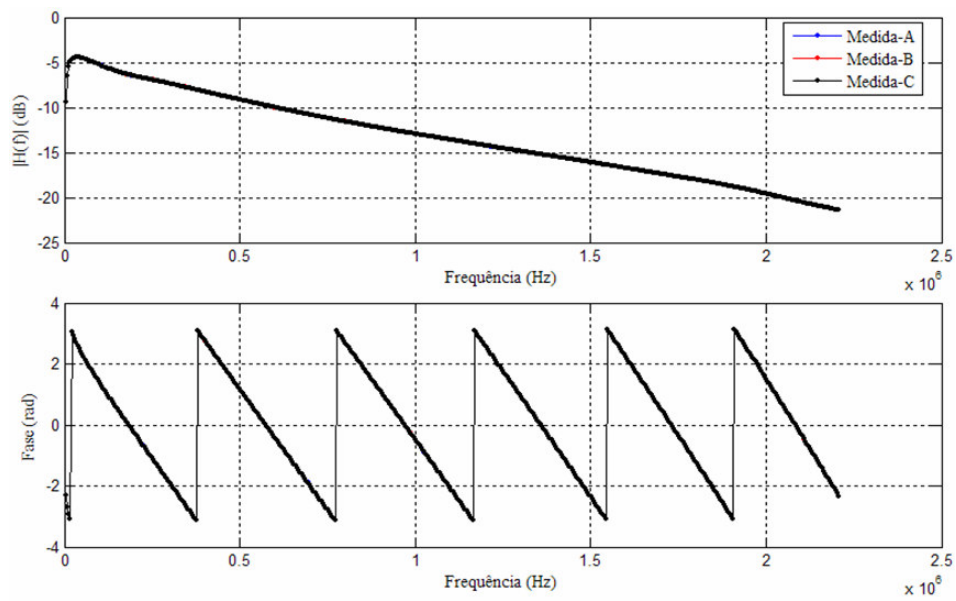


Figura 5.5: Cabo Real - Magnitude e Fase para $H(f)$.

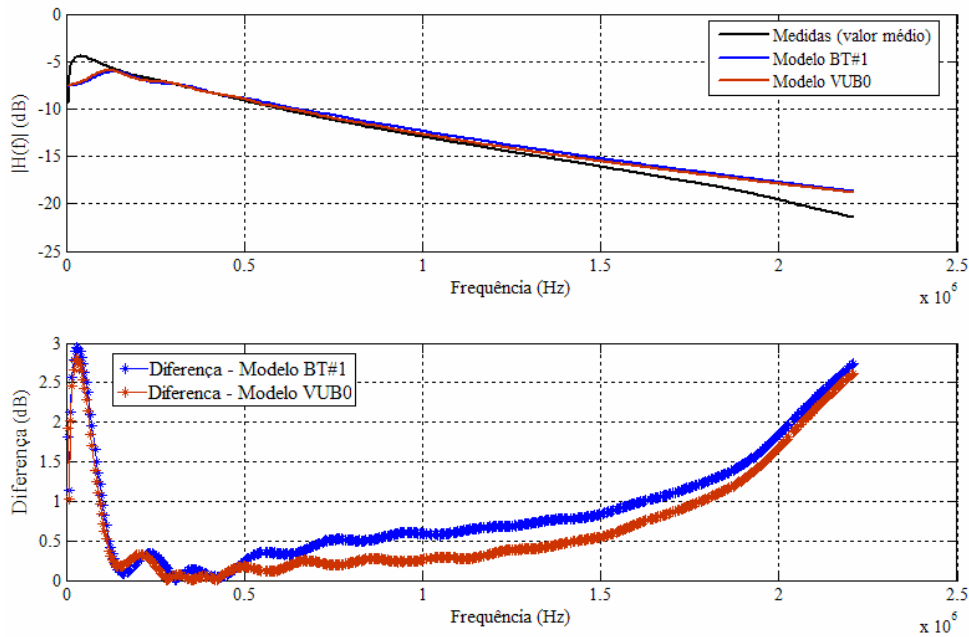


Figura 5.6: Cabo Real - Curva média das medidas $H(f)$ versus os modelos BT#1 e VUB0.

Os gráficos das Figuras 5.1 e 5.3 mostram os resultados das medições da função de transferência para o enlace padrão ETSI#1 e ETSI#8, usando simulador de linha. O gráfico da Figura 5.5 mostra o resultado para o enlace arbitrário usando um cabo real. Como podem ser observadas, as curvas das três medidas A, B e C apresentam o mesmo comportamento tanto para a magnitude quanto para a fase. São os resultados esperados, visto que se utilizaram os mesmos procedimentos para as três medições. Para ratificar que o procedimento de medição sugerido foi coerente, os resultados foram submetidos a análise estatística (descrita nas Seções 4.5.1 a 4.5.2). Por essa análise, pode observar a baixa quantidade de *outliers*, o baixo desvio padrão e o valor da incerteza associada, nas três medições, como mostrado na Tabela 5.2. Conclui-se então, a coerência dos dados obtidos através da aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

Tabela 5.2: Análise Estatística das Medições de H(f).

Enlace	Percentual de Outliers (%)	Desvio Padrão (dB)	Incerteza (dB)
ETSI#1	6,5	0,0503	0,1340
ETSI#8	3,9	0,0189	0,0554
Arbitrário	3,6	0,0170	0,0509

Adicionalmente, para comprovar mais uma vez a aplicabilidade da metodologia de medições, estas foram comparadas com um padrão de referência. O padrão de referência utilizado foram os modelos teóricos de linhas BT#1 e VUB0. As Figuras 5.2, 5.4 e 5.6 mostram os gráficos da curva média das três medições versus as curvas geradas pelos modelos. As diferenças entre os modelos e curva das medições são dadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Diferença entre as medições e os modelos BT#1 e VUB0.

Enlace	Modelo BT#1 Diferença Média (dB)	Modelo VUB0 Diferença Média (dB)
ETSI#1	0	2
ETSI#8	1	2
Arbitrário	1	1

Os resultados mostrados na Tabela 5.3 mostram que as diferenças através do modelo BT#1 apresentam valores menores para os enlaces padrões ETSI#1 e ETSI#8. A consequência é por causa do uso do modelo BT#1 pelo simulador de linha. Já para o enlace arbitrário, observa-se um desvio na curva média das medidas em relação às curvas dos modelos. A consequência desse resultado pode ser atribuída aos parâmetros primários do cabo, que apresentam valores diferentes dos modelos.

5.3.2 Parâmetro de Espalhamento

Outro parâmetro medido através da metodologia definida neste trabalho foi o parâmetro de espalhamento S_{11} . As Figuras 5.7 a 5.12 mostram os resultados obtidos

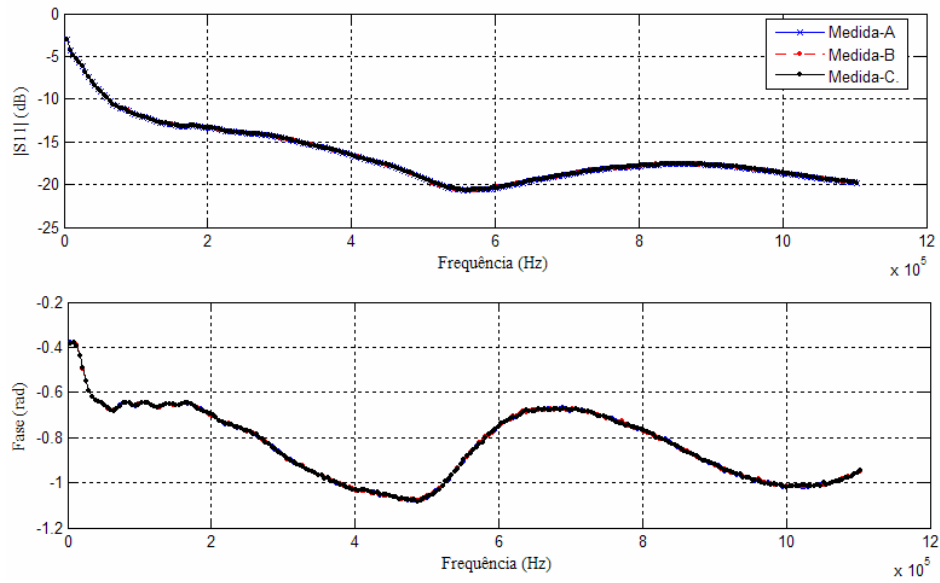


Figura 5.7: ETSI#4 - Magnitude e Fase para S_{11} .

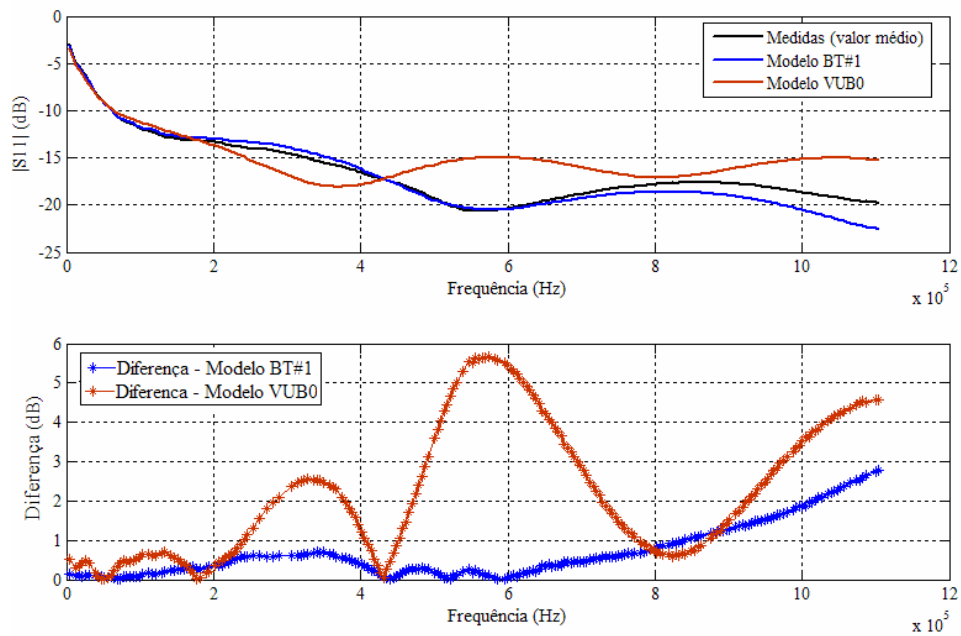


Figura 5.8: ETSI#4 - Curva média das medidas S_{11} versus os modelos BT#1 e VUB0.

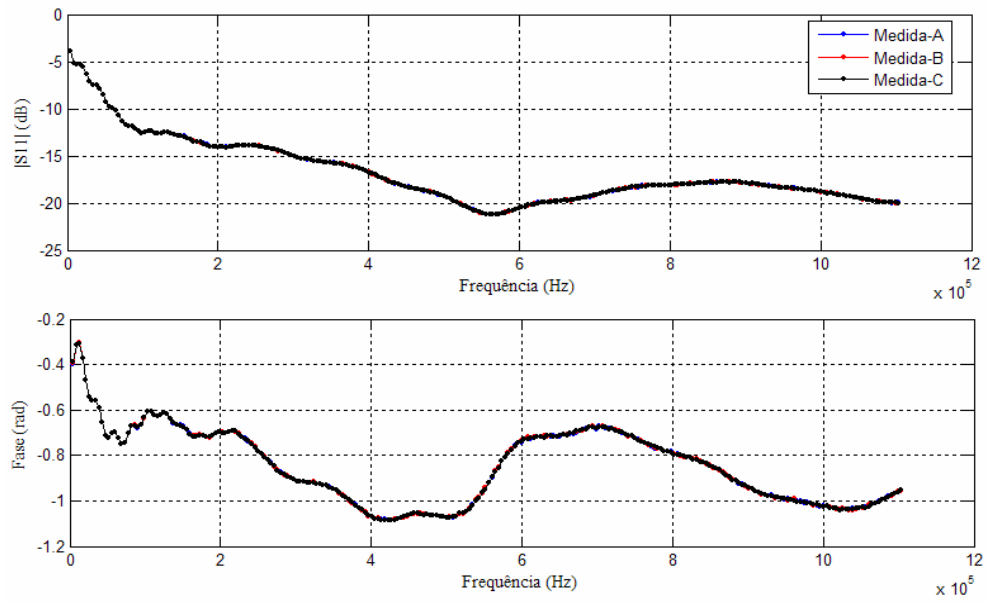


Figura 5.9: ETSI#7 – Magnitude e Fase para S_{11} .

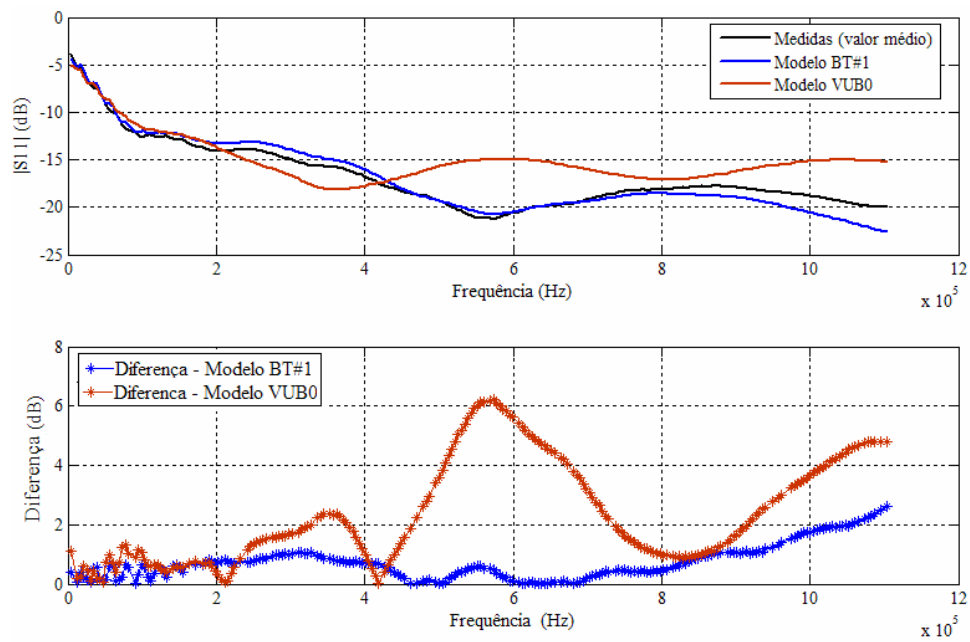


Figura 5.10: ETSI#7 - Curva média das medidas S_{11} versus os modelos de linha BT#1 e VUB0.

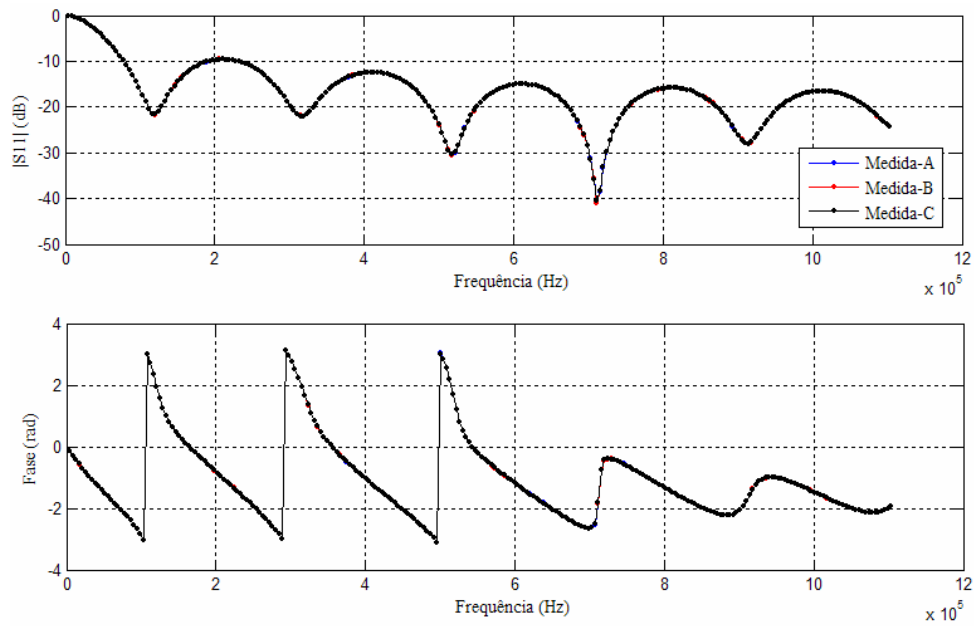


Figura 5.11: Cabo Real – Magnitude e Fase para S_{11} .

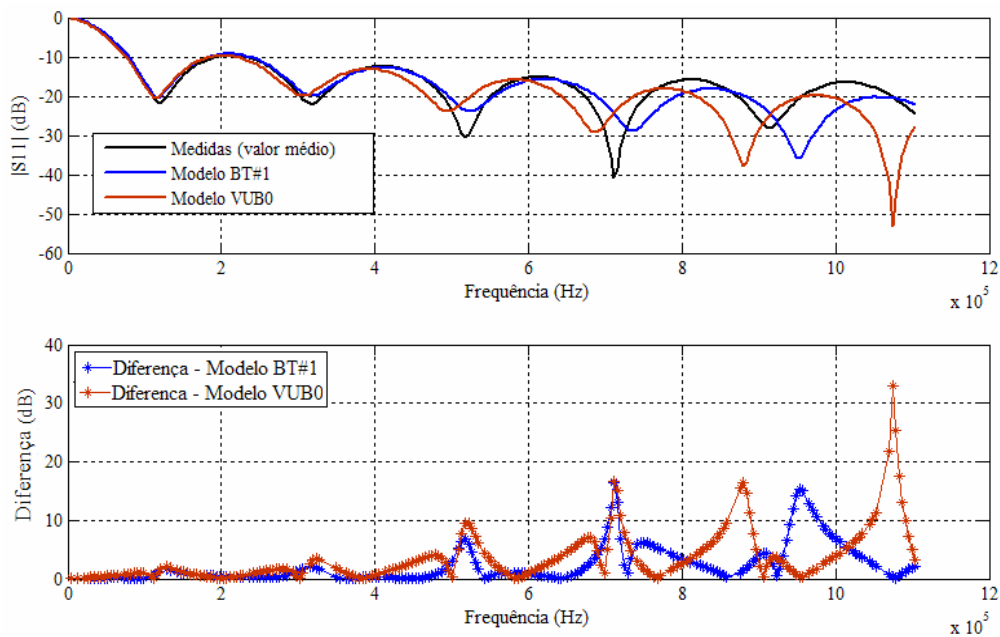


Figura 5.12: Cabo Real - Curva média das medidas S_{11} versus os modelos de linha BT#1 e VUB0.

Os gráficos das Figuras 5.7 e 5.9 mostram os resultados das medições do parâmetro de espalhamento S_{11} para os enlaces padrões ETSI#4 e ETSI#7, usando simulador de linha. O gráfico da Figura 5.11 mostra o resultado para o enlace arbitrário usando um cabo real. Assim, como foi observado nas medições da função de transferência, as curvas das três medidas A, B e C apresentam o mesmo comportamento tanto na magnitude como na fase.

Estes resultados podem ser comprovados pela baixa quantidade de *outliers*, pelo desvio padrão e pelo o valor da incerteza associada, nas três medições, como mostrado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Análise Estatística das Medições de S_{11} .

Enlace	Percentual de <i>Outliers</i> (%)	Desvio Padrão (dB)	Incerteza (dB)
ETSI#4	7,7	0,0140	0,0442
ETSI#7	7,3	0,0144	0,0453
Arbitrário	8,2	0,0168	0,0505

As Figuras 5.8, 5.10 e 5.12 mostram os gráficos da curva média das três medições versus curvas geradas pelos modelos. As diferenças obtidas entre os modelos e a curvas das medições são dadas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Diferença entre as medições e os modelos BT#1 e VUB0.

Enlace	Modelo BT#1 Diferença Média (dB)	Modelo VUB0 Diferença Média (dB)
ETSI#4	1	2
ETSI#7	1	2
Arbitrário	2	4

Os resultados mostrados na Tabela 5.5 demonstram que as diferenças através do modelo BT#1 apresentam valores menores para os enlaces padrões ETSI#4 e ETSI#7. A consequência, como citado anteriormente, é devido ao simulador de linha utilizar o modelo BT#1. Porém, para o enlace arbitrário, as diferenças médias obtidas em relação aos dois modelos foram duas vezes maiores que as diferenças dos enlaces ESTI#4 e ETSI#7; essa consequência tem a mesma explicação do caso da função de transferência, ou seja, se dá aos parâmetros primários dos cabos quem não possuem os mesmos valores utilizados pelos modelos.

5.3.3 Impedância de Entrada

Os resultados para a impedância de entrada Z_{in} determinados com a aplicação da metodologia são mostrados nas figuras que seguem.

Os gráficos das Figuras 5.13 e 5.15 mostram os resultados das medições da impedância de entrada Z_{in} para os enlaces padrões ETSI#1 e ETSI#8, usando simulador de linha. O gráfico da Figura 5.17 mostra o resultado para o enlace arbitrário usando um cabo real.

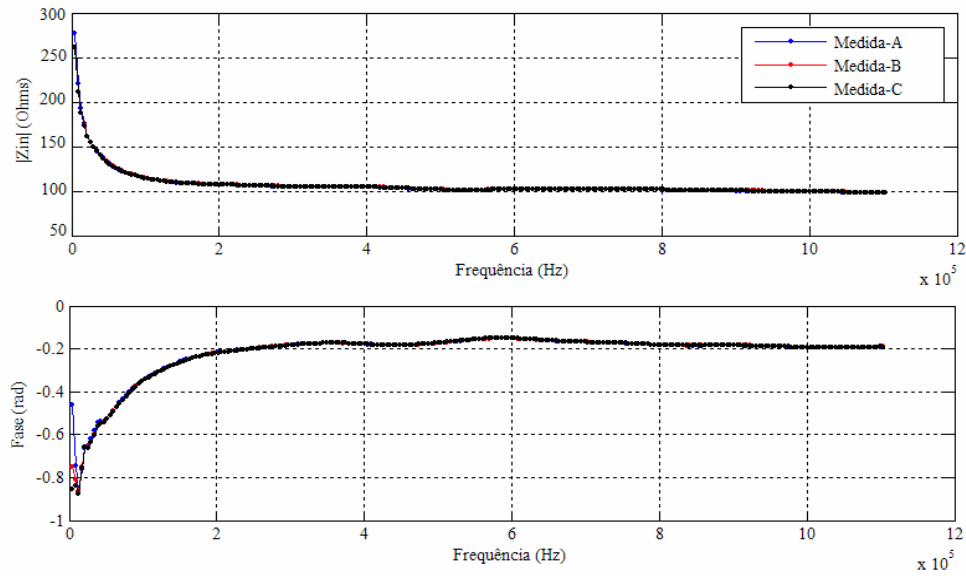


Figura 5.13: ETSI#1 – Magnitude e Fase para Z_{in} .

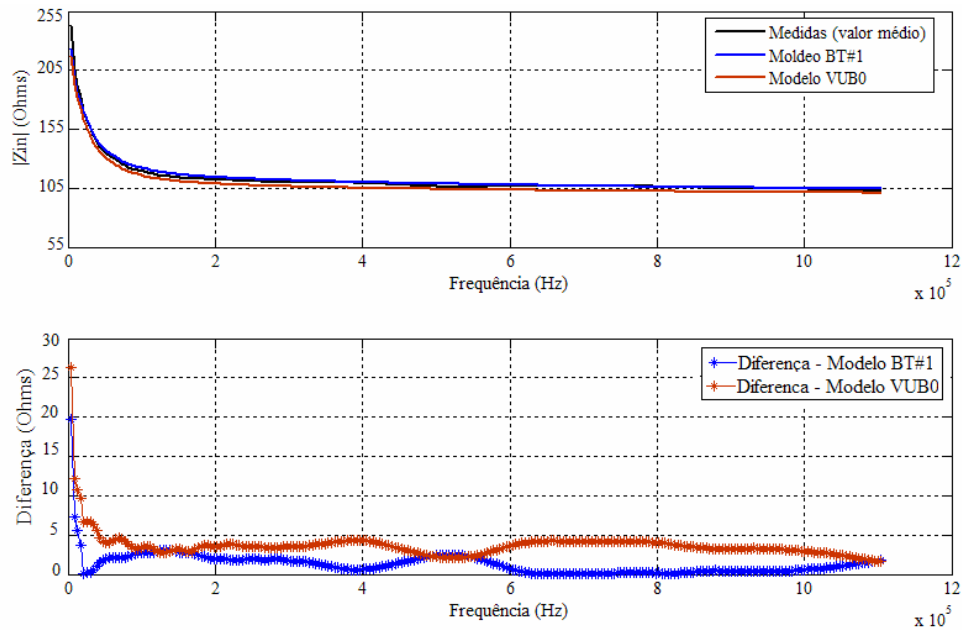


Figura 5.14: ETSI#1 - Curva média das medidas Z_{in} versus os modelos de linha BT#1 e VUB0.

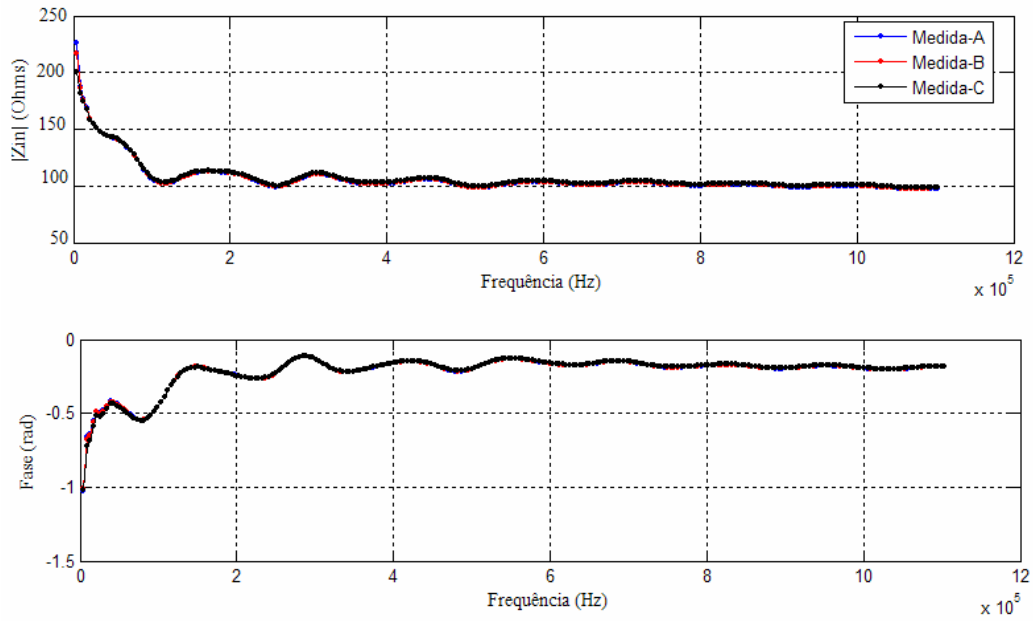


Figura 5.15: ETSI#8 – Magnitude e Fase para Z_{in} .

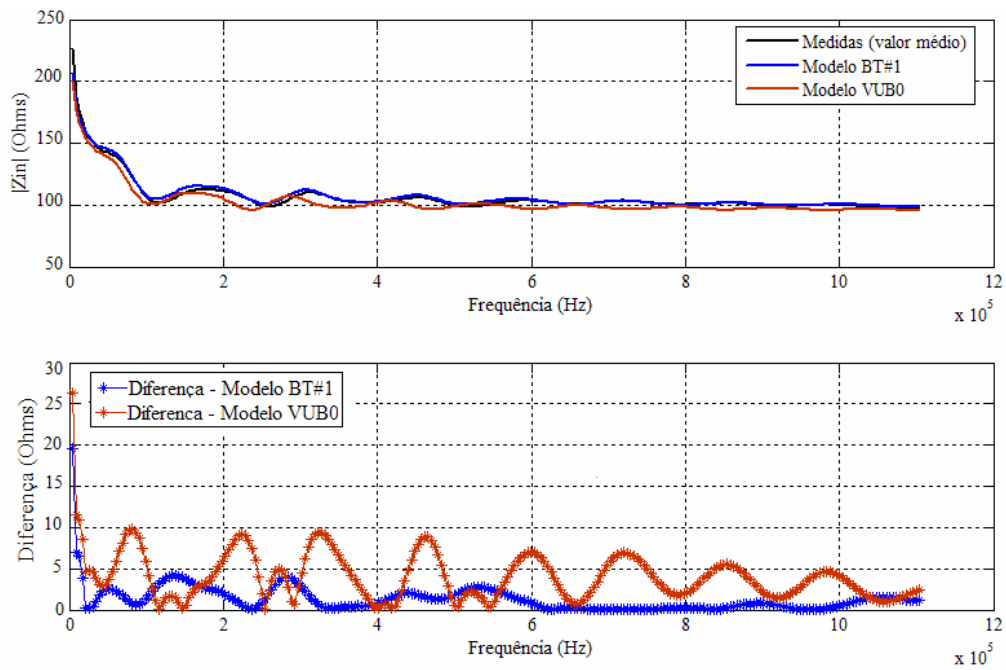


Figura 5.16: ETSI#8 - Curva média das medidas Z_{in} versus os modelos de linha BT#1 e VUB0.

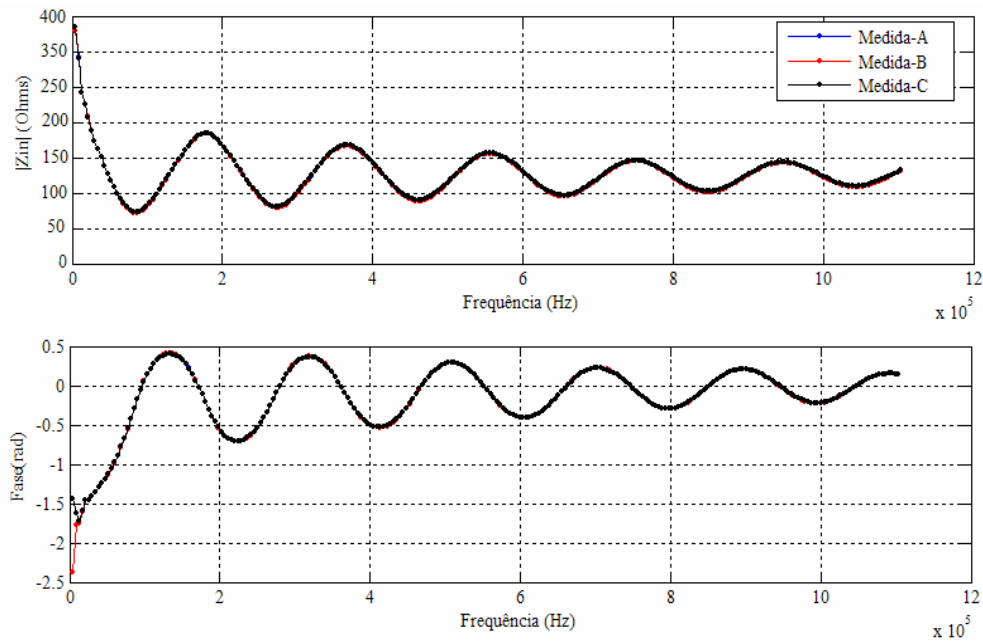


Figura 5.17: Cabo Real – Magnitude e Fase para Z_{in} .

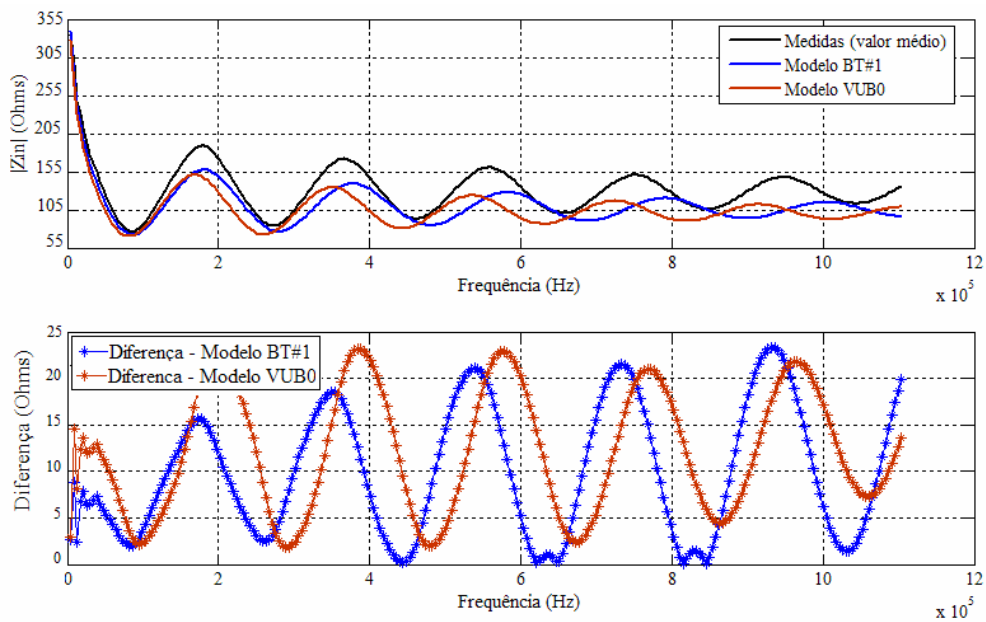


Figura 5.18: Cabo Real - Curva média das medidas Z_{in} versus os modelos de linha BT#1 e VUB0.

Como pode ser visto nas curvas acima das três medidas A, B e C apresentam o mesmo comportamento tanto na magnitude e como na fase. Estes resultados podem ser comprovados pela baixa quantidade de *outliers*, pelo desvio padrão e pelo valor da incerteza associada nas três medições como mostrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Análise Estatística das Medições de Z_{in} .

Enlace	Percentual de <i>Outliers</i> (%)	Desvio Padrão (Ohms)	Incerteza (Ohms)
ETSI#1	8,1	0,7337	1,9191
ETSI#8	9,5	0,8955	2,3423
Arbitrário	8,7	0,7965	2,0835

As Figuras 5.14, 5.16 e 5.18 mostram os gráficos da curva média das três medições versus as curvas geradas pelos modelos e as diferenças médias obtidas entre os modelos e a curva média das medidas são dadas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Diferença entre as medições e os modelos BT#1 e VUB0.

Enlace	Modelo BT#1 Diferença Média (Ohms)	Modelo VUB0 Diferença Média (Ohms)
ETSI#1	1	4
ETSI#8	3	6
Arbitrário	10	15

Os resultados mostrados na Tabela 5.7 mostram que as diferenças através do modelo BT#1 apresentam valores menores para os enlaces padrões ETSI#1 e ETSI#8. No entanto, para o enlace arbitrário, observa-se um desvio na curva média das medidas em relação às curvas dos modelos. Da mesma forma, como nos casos anteriores, esse resultado pode ser atribuído aos parâmetros primários do cabo que apresentam valores diferentes dos modelos.

5.3.4 Sensibilidade das Medições: Situações Adversas

Como descrito na seção 5.2, algumas situações adversas podem ocasionar erros nos resultados das medidas, devido à sensibilidade que estão sujeitas. Essas situações afetam de forma direta o resultado de uma ou mais medições. Os erros mais comuns encontrados muitas vezes provêm do uso incorreto de algum ou mais procedimentos realizados durante a medição. Dentre essas situações, três foram escolhidas para mostrar o impacto que eles causam nos resultados das medições. Essas três situações são mostradas a seguir.

5.3.4.1 Situação 1: Medições realizadas sem o tipo de calibração adequada.

Nesta situação, foram realizadas calibrações não adequadas ao teste. Sendo assim, utilizaram-se três medições da função de transferência para o enlace padrão ETSI#8. A escolha desse enlace foi somente uma forma de mostrar o resultado, que tal situação causa nessas medições. No entanto, a mesma situação pode ser evidenciada em qualquer enlace do assinante. Na figura 5.20 é mostrada a curva média das três medições incorretas, quando não se utiliza o tipo de calibração adequado, versus curva média das mesmas medições, quando se usa a correta calibração. A evidência do impacto dessa situação é mostrada na Figura 5.21, onde é mostrada curva média das medições incorretas com as curvas dos modelos BT#1 e VUB0. A diferença entre tais curvas é muito alta, evidenciando a incoerência das medições. A Tabela 5.9 no final deste capítulo mostra os valores do erro médio encontrado.

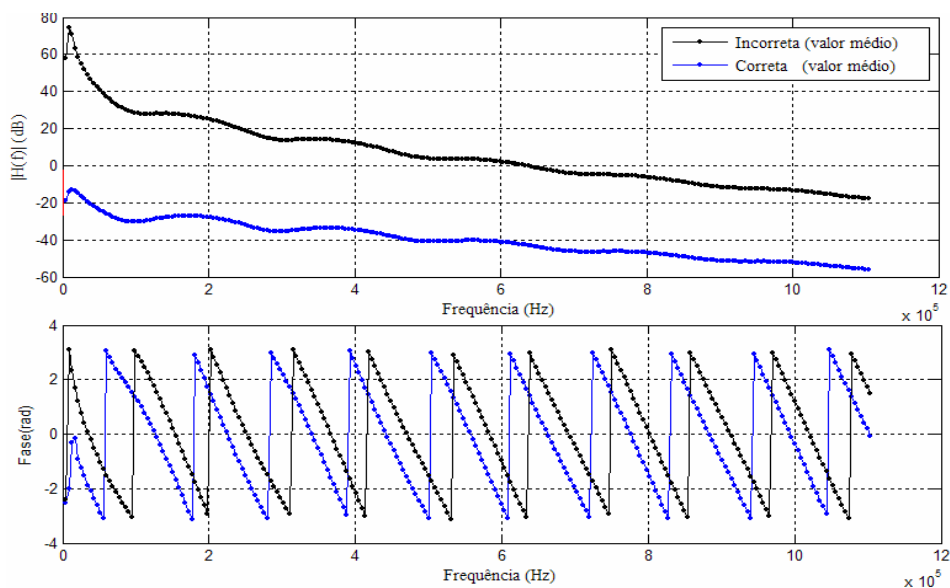


Figura 5.20: ETSI#8 - Módulo e Fase para $H(f)$.

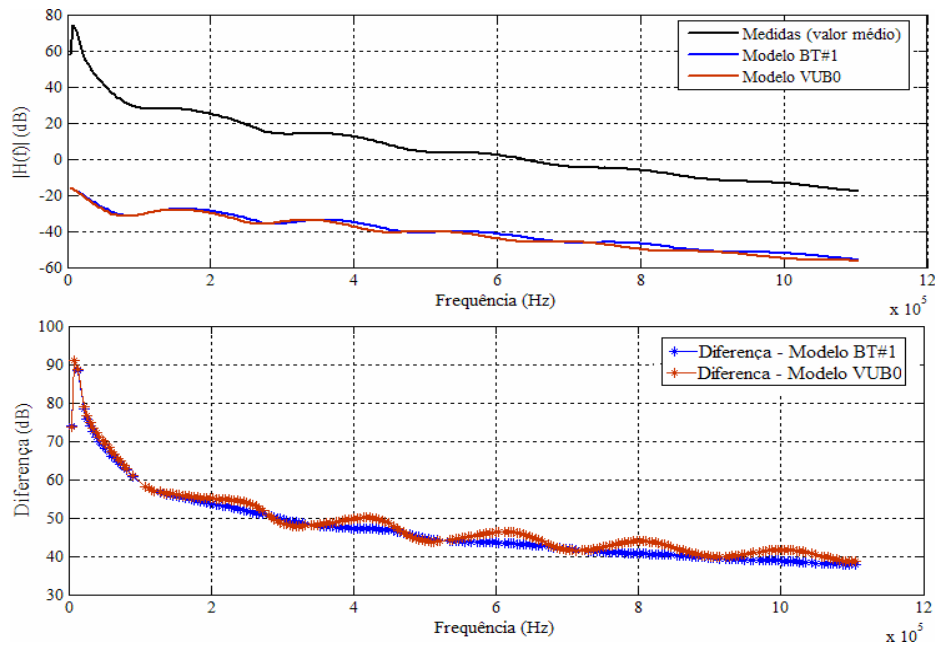


Figura 5.21: ETSI#8 - Curva média da magnitude $H(f)$ e dos modelos de linha BT#1 e VUB0.

5.3.4.2 Situação 2: Medições realizadas sem calibração.

Nesta situação, utilizaram-se também três medições da função de transferência para o enlace padrão ETSI#8. A Figura 5.22 mostra a curva média das três medições incorretas quando não se utiliza nem procedimento de calibração versus curva média das mesmas medições quando se utilizou o procedimento de calibração correto/adequado. A evidência do impacto dessa situação é mostrada na Figura 5.23. Onde é mostrada curva média das medições incorretas com as curvas dos modelos BT#1 e VUB0. A diferença entre tais curvas é mostrada na Tabela 5.9.

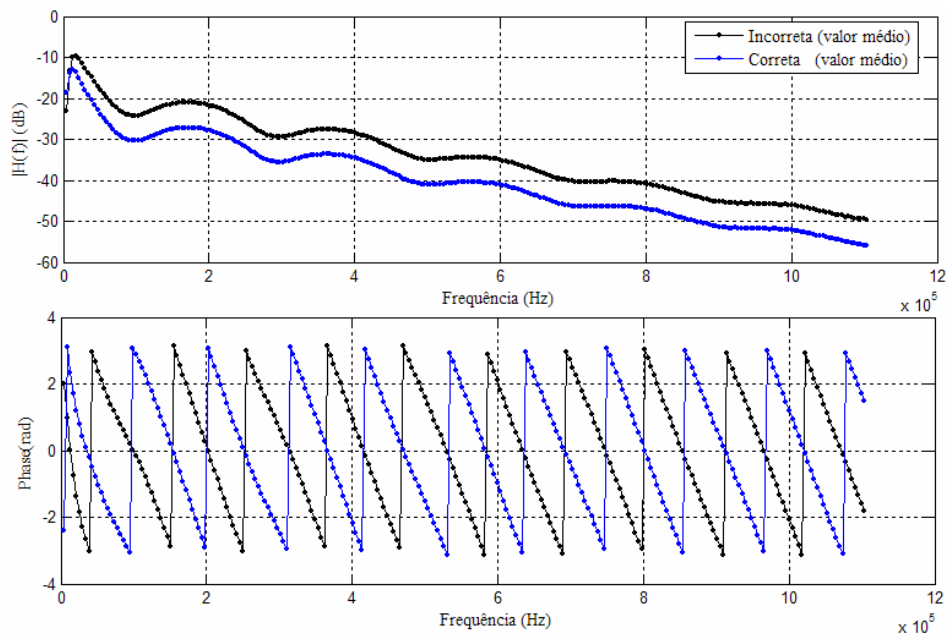


Figura 5.22: ETSI#8 - Módulo e Fase para $H(f)$.

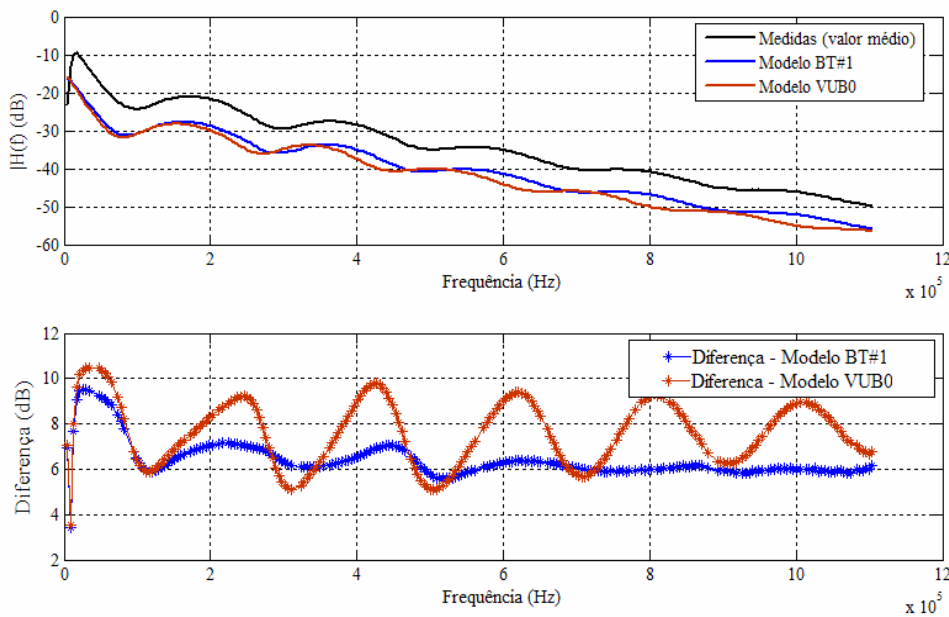


Figura 5.23: ETSI#8 - Curva média da magnitude $H(f)$ e dos modelos de linha BT#1 e VUB0.

5.3.4.3 Situação 3: Erro nas medições causado por uma imperfeita conexão dos instrumentos.

Nesta situação, fica evidenciado claramente o erro que uma imperfeita conexão pode causar nos resultados de uma ou mais medições. Também se utilizaram três medições da função de transferência para o enlace padrão ETSI#8. A Figura 5.24 mostra a curva média das três medições incorretas versus a curva média das mesmas medições, quando todos os instrumentos de medições possuem conexões perfeitas. A evidência do impacto dessa situação é mostrada na Figura 5.25, onde é apresentada a curva média das medições incorretas com as curvas dos modelos BT#1 e VUB0. A diferença entre tais curvas é mostrada na Tabela 5.9.

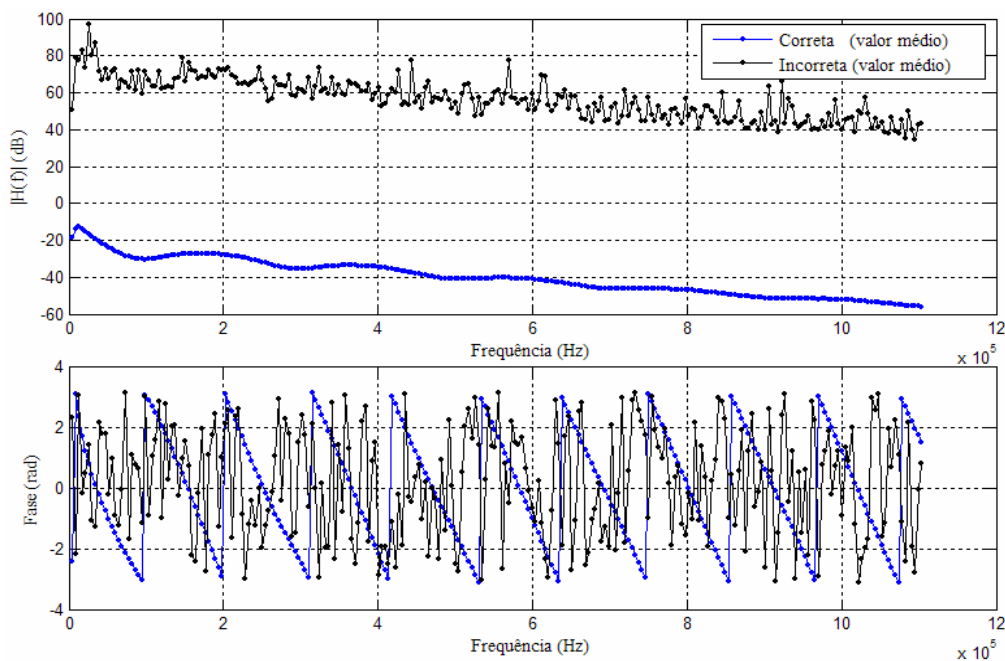


Figura 5.24: ETSI#8 - Módulo e Fase para $H(f)$.

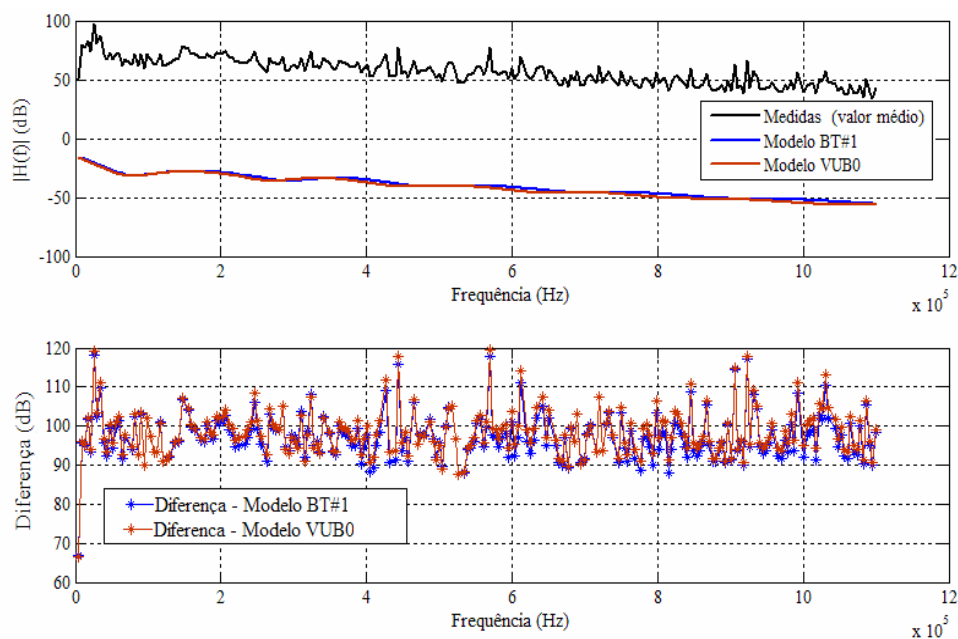


Figura 5.25: ETSI#8 - Curva média da magnitude $H(f)$ e dos modelos de linha BT#1 e VUB0.

A Tabela 5.8 mostra os resultados da análise estatística das três situações descritas acima e a Tabela 5.9 sumariza a diferença obtida nas situações citadas.

Tabela 5.8: Análise Estatística das Medições de $H(f)$ para o enlace ETSI#8.

Situação	Percentual de <i>Outliers</i> (%)	Desvio Padrão (dB)	Incerteza (dB)
1	7,7	0,0184	0,0544
2	10,2	0,0206	0,0593
3	8,6	0,0192	0,0560

Tabela 5.9: Diferença entre as medições e os modelos BT#1 e VUB0.

Situação	Modelo BT#1	Modelo VUB0
	Diferença Média (dB)	Diferença Média (dB)
1	47	48
2	6	8
3	97	98

5.4 Considerações Finais

Neste capítulo foram mostrados alguns resultados das medições de parâmetros físicos do enlace do assinante. Para esses resultados, alguns estudos de casos relacionados com a implementação da metodologia proposta foram mostrados. Primeiramente, mostraram-se alguns resultados quando todos os procedimentos de medições foram realizados corretamente, isto é, quando os passos sugeridos na metodologia foram rigorosamente seguidos, ou seja, quando:

- a escolha dos dispositivos que compuseram o *setup* de medição foram feitas de maneira adequada, observando-se as características técnicas, bem como a influência destes no processo de medição;
- usa-se um processo de calibração adequado ao procedimento de medição;
- usa-se o tratamento estatístico para a observação de coerência dos resultados.

Adicionalmente, para comprovar a aplicabilidade da metodologia, foram realizadas comparações entre os dados medidos e os modelos teóricos, sendo estes últimos referências para as comparações. Nessas comparações, observou-se que as diferenças entre as curvas médias das medições e as curvas dos modelos utilizados apresentam na, maioria dos casos, valores de ordem aceitável na prática.

Nos casos em que os procedimentos, de alguma forma, não foram realizados adequadamente pode-se observar o aparecimento de erros nos resultados devido à sensibilidade das medições, comprovados por comparação entre os modelos e através da análise estatística, o que novamente mostra que a metodologia é eficaz e coerente.