



Universidade Federal do Pará

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação

Curso de Engenharia da Computação

**Desempenho de Sistemas DSL: Uma Análise
Considerando Parâmetros Técnicos de QoS e Subjetivos
do Usuário (QoE)**

IGOR DE MOURA NEGRÃO

Orientador:

PROF. AGOSTINHO LUIZ DA SILVA CASTRO

Belém

2007.

Desempenho de Sistemas DSL: Uma Análise Considerando Parâmetros Técnicos de QoS e Subjetivos do Usuário (QoE)

IGOR DE MOURA NEGRÃO

Orientador:

PROF. AGOSTINHO LUIZ DA SILVA CASTRO

Trabalho submetido ao Colegiado do Curso de Engenharia da Computação para obtenção do grau de Engenheiro da Computação.

Universidade Federal do Pará

**Belém
2007**

Desempenho de Sistemas DSL: Uma Análise Considerando Parâmetros Técnicos de QoS e Subjetivos do Usuário (QoE)

Igor de Moura Negrão

Banca examinadora

.....
Prof. Dr. Agostinho Luiz da Silva Castro - Orientador

.....
Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A. Costa - Membro

.....
Prof. Dr. Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Júnior - Membro

.....
Prof. Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante - Membro

.....
Prof. Dr. Ronaldo de Freitas Zampolo - Membro

Visto:

.....
Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho

Coordenador do Curso de Engenharia da Computação

Dedicatória

À minha família,
que sempre me apoiou
e confiou no meu potencial.

Agradecimentos

A Deus por ser fonte de luz em minha vida, iluminando-me nos momentos decisivos e reerguendo-me nos momentos de fraqueza.

A minha mãe Lourdes pelo amor e confiança que me dedicou desde o nascimento, por diversas vezes sofrer com as minhas dificuldades e principalmente por acreditar em mim, incentivando-me em todos os momentos, enfim por ser a grande mulher da minha vida.

Ao meu pai Osvaldo pelo amor e apoio que sempre me dedicou.

Aos meus irmãos Thalita e Matheus pela união e fraternidade.

Aos professores que tornaram possível minha formação acadêmica, em que muitas vezes além de mestres foram também amigos, destacando o Aldebaro com suas cobranças infinitas.

Ao professor Agostinho pela orientação e amizade.

Ao *Lq Group* pelo incentivo e compreensão.

Aos amigos da eterna Bp-11 que, com seu companheirismo, tornaram essa jornada mais suave, em especial: Drika, Livika, Cynthia, Lilian, Éder, Pantoja, Guerra e Néilton.

A minha amiga Gabi (MaLuKa) que, quando não sumia, sempre me incentivou e apoiou com sua amizade e companheirismo.

A Cleide pelos fins de semana de estudo, pela amizade, compreensão, carinho, enfim, por ser uma XaTa especial em minha vida.

A ERICSSON AB (ASP LAB.) e ao LEA / UFPA pelo suporte fornecido durante as pesquisas bibliográficas e medições.

“O vento vai dizer lento o que virá e se chover demais
a gente vai saber, claro de um trovão
se alguém depois sorrir em paz.”

Resumo

Com o crescimento da Internet, nos últimos anos vem aumentando cada vez mais o interesse pelo acesso à rede de banda larga. A cada dia cresce a tendência de que conexões à Internet em alta velocidade são o futuro dos negócios, justamente pela sua facilidade e comodidade obtida com este recurso. Porém, para atrair o mercado, não basta apenas oferecer um serviço de qualidade, deve-se oferecer também uma boa reação custo-benefício. Tendo isso em mente foi que surgiu a tecnologia DSL, que oferece um bom serviço de acesso e com custos relativamente baixos, haja vista que se utiliza da infra-estrutura telefônica existente para a transmissão dos dados. A coexistência entre o serviço telefônico e DSL é possível, pois DSL utiliza uma faixa de frequências superior à destinada aos serviços telefônicos, sendo possível assim o uso de ambos os serviços concomitantemente.

Pelo fato da infra-estrutura existente ser destinada ao serviço telefônico, a mesma necessita de diversas adaptações para otimizar esta aplicação, entretanto, algumas destas adaptações são prejudiciais para DSL. Alguns destes problemas podem até mesmo impossibilitar a transmissão DSL, sendo assim necessária uma adaptação da rede para a implantação do serviço. Como forma de se verificar a qualidade do serviço pode ser feita uma avaliação do desempenho (QoS) para através da análise de parâmetros técnicos, chegar-se a uma conclusão sobre a qualidade da transmissão. Entretanto, os parâmetros técnicos de QoS são de difícil entendimento por parte do usuário, desta forma, com o intuito de avaliar a percepção que o usuário tem do sistema, existe uma técnica conhecida como QoE.

Dentro deste contexto, o presente trabalho objetiva desenvolver uma análise de desempenho de sistemas DSL considerando parâmetros técnicos de QoS do sistema, juntamente com uma análise abordando parâmetros subjetivos do usuário (QoE). Tal análise será realizada considerando a influência do *splitter* e do ruído impulsivo na transmissão, buscando evidenciar os parâmetros de QoS que mais afetam a experiência do usuário (QoE). Desta forma, pode-se pensar no desenvolvimento de métricas para melhorias do sistema, visando sempre uma maior satisfação do usuário.

Sumário

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	vi
Glossário	vii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos do Trabalho	3
1.2 Contribuições Relevantes	3
1.3 Estrutura do Trabalho	4
2 A Tecnologia DSL e suas Características	5
2.1 Introdução	5
2.2 Definição	6
2.3 Características Espectrais	6
2.4 O Acesso ADSL	8
2.5 Qualificação do Enlace e os Problemas do DSL	10
2.5.1 Qualificação do Enlace	10
2.5.2 Os Problemas do DSL	12
2.6 Qualidade da Experiência (QoE) e Qualidade do Serviço (QoS)	17
2.7 Formalização do Problema	19
2.8 Conclusões	20
3 Planejamento de Testes	21
3.1 Introdução	21
3.2 Cenários de Medição	21
3.2.1 Configuração de Testes para Análise da Influência do <i>Splitter</i> em Ca- mada Física	22

3.2.2	Configuração de Testes para Análise da Influência do <i>Splitter</i> e do Ruído Impulsivo na Transmissão ADSL	25
3.3	Enlaces Utilizados	27
3.4	Variáveis Medidas	29
3.5	Metodologia para Análise de Desempenho	30
3.5.1	Procedimento de Medição	30
3.5.2	Teste de Dixon e Intervalo de Confiança	30
3.5.3	Análise de QoS na Transmissão ADSL para os Cenários Típicos Brasileiros	34
3.5.4	Mapeamento das Condições Técnicas de Transmissão para a Visão Analítica do Usuário - QoE	36
3.6	Conclusões	38
4	Apresentação e Análise dos Resultados	39
4.1	Introdução	39
4.2	Análise do Impacto do <i>Splitter</i> na Camada Física	40
4.2.1	Impedância de Entrada e TDR	40
4.2.2	Função de Transferência	46
4.2.3	Análise dos Resultados	49
4.3	Análise do Impacto do <i>Splitter</i> na Transmissão ADSL	49
4.3.1	Impacto do <i>Splitter</i> no <i>Upstream</i>	50
4.3.2	Impacto do <i>Splitter</i> no <i>Downstream</i>	60
4.4	Análise do Impacto do Ruído Impulsivo na Transmissão ADSL Considerando Parâmetros Técnicos de QoS	70
4.4.1	Impacto do Ruído Impulsivo no <i>Upstream</i>	71
4.4.2	Impacto do Ruído Impulsivo no <i>Downstream</i>	75
4.5	Análise do Impacto do Ruído Impulsivo na Transmissão ADSL Considerando Parâmetros Subjetivos do Usuário (QoE)	81
4.5.1	Experimentos de Acesso a Sites com <i>Buffer</i> (YouTube) e de Vídeo sob Demanda (CNN)	82
4.5.2	Experimentos com Chamadas de Vídeo-conferência (Skype)	83
4.5.3	Experimentos com Jogos em Rede (<i>Wolfenstein Enemy Territory</i>)	84
4.6	Conclusões	88
	Conclusões Finais	89
	Referências	91

Lista de Figuras

1.1	Estrutura geral de um sistema DSL.	3
2.1	Disposição do espectro para sistemas POTS e DSL.	7
2.2	Esquema FDM.	8
2.3	Esquema ECH.	8
2.4	Diagrama de blocos de um sistema ADSL.	9
2.5	Enlace local entre a CO e um assinante.	10
2.6	Esquema de testes para sistemas DSL SELT e DELT.	12
2.7	Utilização de bobinas de pupinização no enlace telefônico.	14
2.8	Efeitos de uma derivação no sinal.	15
2.9	Esquema de NEXT e FEXT.	16
2.10	Relação entre QoE e QoS.	18
2.11	Esquema de criação de alvos de QoE para mapeamento de parâmetros de QoS [15].	19
3.1	ADSL sobre um cenário POTS. <i>Splitters</i> estão presentes em ambos os lados do enlace do usuário.	22
3.2	ATU-R adjacente ao TE com <i>splitter</i> separado.	23
3.3	(a)Configuração de testes para análise de função de transferência; (b)Configuração de testes para análise de impedância e TDR.	24
3.4	Amostra de ruído impulsivo [7].	25
3.5	Configuração de testes para análise de QoS do serviço ADSL, considerando o impacto do <i>splitter</i> e do ruído.	27
3.6	Enlaces padronizados pela Telebrás.	28
3.7	Área de distribuição normal cercada por valores de desvio-padrão.	33
3.8	Configuração de testes para análise de QoS do serviço ADSL sem o <i>splitter</i> . . .	35
3.9	Configuração de testes para análise de QoS do serviço ADSL, considerando o impacto do <i>splitter</i>	36

4.1	Impedância de entrada para 500 metros e bitola 0.40 mm.	40
4.2	TDR para 500 metros e bitola 0.40 mm.	41
4.3	Impedância de entrada para 1000 metros e bitola 0.40 mm.	42
4.4	TDR para 1000 metros e bitola 0.40 mm.	43
4.5	Impedância de entrada para 1500 metros e bitola 0.40 mm.	44
4.6	TDR para 1500 metros e bitola 0.40 mm.	45
4.7	Função de transferência para 500 metros e bitola 0.40 mm.	46
4.8	Função de transferência para 1000 metros e bitola 0.40 mm.	47
4.9	Função de transferência para 1500 metros e bitola 0.40 mm.	48
4.10	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 1 sem <i>splitter</i>	50
4.11	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 1 com <i>splitter</i>	51
4.12	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 sem <i>splitter</i>	52
4.13	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 com <i>splitter</i>	53
4.14	Latência para o enlace Telebrás 2 sem <i>splitter</i>	54
4.15	Latência para o enlace Telebrás 2 com <i>splitter</i>	55
4.16	Latência para o enlace Telebrás 4 sem <i>splitter</i>	56
4.17	Latência para o enlace Telebrás 4 com <i>splitter</i>	57
4.18	Latência para o enlace Telebrás 5 sem <i>splitter</i>	58
4.19	Latência para o enlace Telebrás 5 com <i>splitter</i>	59
4.20	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 sem <i>splitter</i>	60
4.21	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 com <i>splitter</i>	61
4.22	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 4 sem <i>splitter</i>	62
4.23	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 4 com <i>splitter</i>	63
4.24	Latência para o enlace Telebrás 2 sem <i>splitter</i>	64
4.25	Latência para o enlace Telebrás 2 com <i>splitter</i>	65
4.26	Latência para o enlace Telebrás 3 sem <i>splitter</i>	66
4.27	Latência para o enlace Telebrás 3 com <i>splitter</i>	67
4.28	Latência para o enlace Telebrás 5 sem <i>splitter</i>	68
4.29	Latência para o enlace Telebrás 5 com <i>splitter</i>	69
4.30	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo. . .	71
4.31	Pacotes perdidos para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo. . .	72
4.32	Latência para o enlace Telebrás 2 na presença de Ruído Impulsivo.	73
4.33	Latência para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.	74
4.34	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 na presença de Ruído Impulsivo. . .	75
4.35	Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo. . .	76
4.36	Pacotes perdidos para o enlace Telebrás 3 na presença de Ruído Impulsivo. . .	77

4.37	Pacotes perdidos para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo. . .	78
4.38	Latência para o enlace Telebrás 2 na presença de Ruído Impulsivo.	79
4.39	Latência para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.	80
4.40	Visualização do <i>ping</i> no jogo Enemy Territory.	85
4.41	Tela do jogo Enemy Territory, usuário jogando normalmente.	86
4.42	Usuário sem conexão devido à influência do ruído, ambiente inaceitável para o jogo.	87

Lista de Tabelas

3.1	Configuração do gerador/analizador de tráfego	29
3.2	Fórmulas para o cálculo de τ	31
4.1	Avaliação da experiência do usuário.	82
4.2	Avaliação da experiência do usuário para jogos em rede.	85

Glossário

ADSL	-	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
ANSI	-	<i>American National Standard Institute</i>
ATM	-	<i>Asynchronous Transmission Mode</i>
ATU/-C/-R	-	<i>ADSL Terminal Unit/at the Central Office End/at the CPE End</i>
CO	-	<i>Central Office</i>
CPE	-	<i>Customer Premises Equipment</i>
DELT	-	<i>Double Ended Line Test</i>
DMT	-	<i>Discrete Multi Tone</i>
DSL	-	<i>Digital Subscriber Line</i>
DSLAM	-	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>
DUT	-	<i>Device Under Test</i>
ECH	-	<i>Echo Canceled Hybrid</i>
ETSI	-	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FDM	-	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
FDR	-	<i>Frequency Domain Reflectometry</i>
FPA	-	Filtro Passa-Altas
FPB	-	Filtro Passa-Baixas
FEXT	-	<i>Far End Crosstalk</i>
HDSL	-	<i>High bit-rate Digital Subscriber Line</i>
IIF	-	<i>ATIS IPTV Interoperability Forum</i>
ISDN	-	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ITU-T	-	<i>International Telecommunication Institute - Telecommunications</i>
MOS	-	<i>Mean Opinion Score</i>
NEXT	-	<i>Near End Crosstalk</i>
NID	-	<i>Network Interface Device</i>

PC	-	<i>Personal Computer</i>
PDN	-	Premissas de Distribuição da Rede
POTS	-	<i>Plain Old Telephone System</i>
PSNR	-	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
PSTN	-	<i>Public Switched Telephone Network</i>
QoE	-	<i>Quality of Experience</i>
QoS	-	<i>Quality of Service</i>
RADSL	-	<i>Rate Adaptative Digital Subscriber Line</i>
SELT	-	<i>Single Ended Line Test</i>
SM	-	<i>Service Module</i>
SHDSL	-	<i>Symmetric High bit-rate Digital Subscriber Line</i>
SOHO	-	<i>Small Office and Home</i>
TDR	-	<i>Time Domain Reflectometry</i>
TE	-	<i>Terminal Equipment</i>
UTP	-	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
VDSL	-	<i>Very High bit-rate Digital Subscriber Line</i>
VoIP	-	<i>Voice over IP</i>

Capítulo 1

Introdução

Com o crescimento da Internet, nos últimos anos vem aumentando cada vez mais o interesse pelo acesso à rede de banda larga. A cada dia cresce a tendência de que conexões à Internet em alta velocidade são o futuro dos negócios em todo o mundo, justamente pela sua facilidade e comodidade obtida com este recurso. Cada vez mais pessoas sem conhecimento técnico, impulsionadas pelas facilidades da tecnologia atual têm acesso à rede e estas, por sua vez, desejam um serviço rápido, confiável e seguro. Com o advento deste novo público, que surgiu com a difusão dos computadores pessoais (*Personal Computer* - PC), surgem também novos serviços como videoconferências, transmissão de vídeos em tempo real, voz sobre IP (VoIP), transmissão de dados em banda larga, uma nova gama de serviços que, por sua vez, devem estar aliados a um bom desempenho e principalmente a um baixo custo. Porém, a grande questão é: como prover um serviço com tais características e com um baixo custo?

Redes baseadas em cabos coaxiais foram originalmente instaladas para sistemas unidirecionais de *broadcast* de vídeo, contudo estão sendo melhoradas e usadas para serviços interativos, como voz e dados. Provedores a cabo têm algum sucesso empacotando serviços de *broadcast*, voz e dados. Uma desvantagem desses tipos de rede é que elas alcançam principalmente consumidores residenciais, porém atingem comparativamente um número menor de usuários empresariais, o que torna a base de consumidores de cabos coaxiais restrita [1].

Visando uma melhor qualidade do serviço (QoS), a utilização de fibra óptica geraria um serviço com um alto desempenho, mas, por outro lado, acarretaria em um alto custo para sua implementação, isso sem falar nas pessoas que vivem em áreas rurais, as quais dificilmente seriam contempladas com tal serviço ou, no mínimo, teriam gastos maiores do que os usuários que vivem aos arredores da central. Este tipo de rede está mais difundido em ambientes empresariais.

O acesso *Wireless* oferece uma alta flexibilidade de localização em relação a uma estrutura cabeada. *Wireless* pode ser preferível em locais onde a implementação de uma estrutura cabeada seja muito custosa, como em áreas remotas, por exemplo. Entretanto, o acesso *Wireless* é restrito a largura de banda do espectro de rádio. Enlaces que utilizam esta tecnologia estão sujeitos a uma interferência significativa. Além disso, conexões com satélites de baixas e médias órbitas podem causar atrasos excessivos na transmissão [1].

Por outro lado, primando por uma solução que combinasse qualidade com baixo custo foi que surgiu a idéia de se aproveitar uma estrutura já existente, o que pouparia um investimento pesado na implantação de uma nova tecnologia de acesso. Dentro deste contexto foi que se decidiu utilizar a estrutura telefônica existente, que até então transmitia apenas sinais de voz, para transmitir dados em banda larga, oferecendo ao assinante um acesso à rede com alta velocidade e acessível financeiramente, haja vista que não haveria gastos com infra-estrutura, uma vez que a mesma já existe. Vale ressaltar que foram feitos muitos investimentos na infra-estrutura telefônica existente no decorrer de várias décadas, o que propiciou que esta rede atingisse uma imensa gama de usuários, fato esse que se tornou o grande atrativo para implantação de uma nova tecnologia de acesso que utilizaria todo este aparato estrutural.

Os serviços providos pela rede telefônica são conhecidos como *Plain Old Telephone Network* (POTS). No geral uma linha telefônica consiste em um par trançado, que é composto por dois condutores, neste caso fios de cobre, que são trançados entre si com o intuito de minimizar a interferência entre eles. A idéia é que os dados trafeguem em alta velocidade no mesmo fio de cobre que os sinais analógicos de voz. Prima-se por utilizar esses cabos na última milha, ou seja, no segmento entre a central (*Central Office* - CO) e o usuário, desse modo as ligações mais distantes, entre COs, seriam feitas por fibra óptica.

A estrutura telefônica, baseada em circuitos chaveados, conhecida como *Public Switched Telephony Network* (PSTN), foi originalmente concebida para transportar sinais de voz (300 Hz a 3,4 kHz), mas como tal transmissão ocupa apenas as baixas frequências nada impede que se utilizem as altas frequências para outro tipo de transmissão. Foi com este intuito que surgiu a tecnologia conhecida como linha digital de assinante (*Digital Subscriber Line* - DSL). Como DSL faz uso das altas frequências (25 kHz até 1.1 MHz para *Asymmetric Digital Subscriber Line* - ADSL) é possível que a mesma coexista com o POTS. De posse disso, chega-se a conclusão que é viável a transmissão de voz e dados em banda larga simultaneamente em um mesmo par trançado de cobre.

Em sistemas DSL, a CO é responsável por prover o acesso à rede e isto é feito por meio de um equipamento chamado DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). O DSLAM tem a função de transportar o sinal recebido da rede em que está ligado através do

par trançado de cobre, que por sua vez interliga a CO ao assinante [2]. A Figura 1.1 mostra a estrutura geral de um sistema DSL.

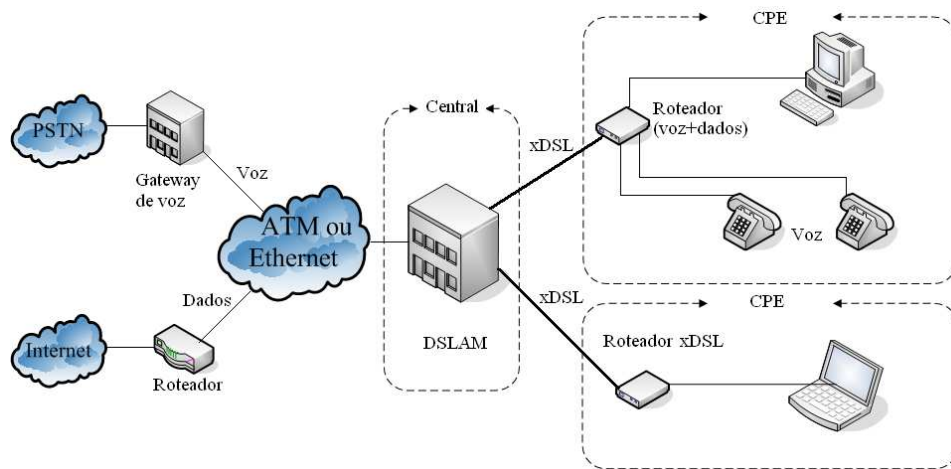


Figura 1.1: Estrutura geral de um sistema DSL.

1.1 Objetivos do Trabalho

Este trabalho visa contribuir com uma análise de QoS (*Quality of Service*) em sistemas DSL (mais precisamente na versão assimétrica da tecnologia, o ADSL) tendo por base os enlaces característicos brasileiros, obtidos em padrões da Telebrás [3]. Objetiva-se ainda avaliar o impacto causado pelo ruído impulsivo em tais transmissões, bem como o impacto provocado por um dispositivo comum em sistemas DSL, o *splitter*. Visa-se também mapear o desempenho de cada enlace, bem como almeja-se alcançar um mapeamento de tal desempenho de acordo com a visão do usuário final (chamada de QoE - *Quality of Experience*), uma vez que a análise de QoS é baseada em parâmetros técnicos, que são rebuscados demais para um usuário comum interpretar.

1.2 Contribuições Relevantes

Este trabalho possui contribuições no que diz respeito à análise da influência do *splitter* e do ruído impulsivo em transmissões DSL, evidenciando de que forma estes dispositivos impactam no sistema como um todo. Além disso, este trabalho também destaca a percepção do usuário quanto à presença de ruído impulsivo no sistema, buscando assim fazer um paralelo entre a análise técnica de QoS e a análise subjetiva do usuário. Tais análises são feitas através

de medições realizadas em laboratório, cujos “*set ups*” também constituem uma contribuição relevante na forma de medição dos parâmetros envolvidos.

1.3 Estrutura do Trabalho

O texto restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira:

- Capítulo 2 - trata da tecnologia DSL e suas características, destacando os problemas enfrentados pela tecnologia, introduzindo ainda o conceito de QoS e QoE que serão aprofundados no decorrer do trabalho;
- Capítulo 3 - trata do planejamento de testes, evidenciando detalhes sobre as configurações de medição utilizadas;
- Capítulo 4 - trata dos resultados obtidos no estudo realizado;
- Capítulo 5 - as conclusões e propostas para prosseguimento do trabalho são apresentadas.

Capítulo 2

A Tecnologia DSL e suas Características

2.1 Introdução

Com a finalidade de suprir os anseios dos usuários por conexões com a Internet em alta velocidade a um custo viável foi que surgiu a tecnologia DSL (*Digital Subscriber Line*) que faz uso da estrutura telefônica existente para transportar dados em banda larga, poupando-se um enorme investimento para implantação de nova estrutura, o que possibilita que se forneça um serviço de qualidade a um custo baixo quando comparado com tecnologias concorrentes. Neste capítulo a tecnologia DSL será definida, bem como serão discutidas suas características espectrais, será abordado a variação assimétrica da tecnologia, ADSL, a qual é o foco da metodologia e resultados deste trabalho. Serão Abordados ainda, alguns problemas existentes para a tecnologia ADSL. Também serão introduzidos os conceitos de QoE e QoS, bem como a relação entre essas duas vertentes de estudo. Em seguida, será feita a formalização do problema em questão, que trata do mapeamento de parâmetros de QoS em sistemas DSL para os cenários típicos brasileiros. Pretende-se ainda fazer uma análise do impacto do ruído impulsivo na transmissão, bem como o impacto causado pelo *splitter* em tais sistemas. Além disso, vislumbra-se um possível mapeamento de tais parâmetros técnicos que são obtidos através do QoS para a visão do usuário final, a fim que o mesmo possa qualificar o serviço oferecido sem uso de conhecimento técnico, com uma possível colaboração no que se chama de QoE (*Quality of Experience*). Por fim, será descrita a proposta de resolução do problema em questão.

2.2 Definição

DSL, que significa linha digital de assinante, é uma tecnologia de transmissão de informação em banda larga que utiliza o enlace local da rede telefônica para realizar a transmissão. DSL possui diversas variações, logo, por conveniência costuma-se utilizar o termo xDSL para fazer referência a todas de uma forma geral, sejam elas variações simétricas ou assimétricas da tecnologia. Neste trabalho será dado um enfoque maior para uma variação assimétrica dessa tecnologia, comumente conhecida como ADSL.

Uma das principais diferenças entre modems xDSL e os antigos modems que utilizam a banda de voz é que estes últimos operam sobre a conexão PSTN (*Public Switched Telephone Network*) [4], fato esse que impossibilita que o usuário utilize o telefone enquanto está conectado à rede e vice-versa. Por outro lado, DSL permite que o usuário tenha acesso ininterrupto à rede concomitantemente com o serviço telefônico, fato que lhe garante um potencial mercado consumidor. Vale ressaltar que DSL provê um serviço voltado para usuários domésticos e de pequenos escritórios, mercado esse também conhecido como SOHO (*Small Office and Home*), em que os mesmos estão procurando por conexão à Internet com altas velocidades a um preço acessível [5]. Existem diversas famílias da tecnologia DSL, tais como: ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), VDSL (*Very High bit-rate Digital Subscriber Line*), RADSL (*Rate Adaptative Digital Subscriber Line*), HDSL (*High bit-rate Digital Subscriber Line*), SHDSL (*Symmetric High bit-rate Digital Subscriber Line*), etc. O enfoque deste trabalho será sobre a versão assimétrica da tecnologia, ADSL.

2.3 Características Espectrais

A conexão discada, além de ocupar a faixa de frequência do sinal de voz, o que impossibilita o usuário conectar-se à rede e utilizar o telefone ao mesmo tempo, também possui um espectro restrito, fato que influencia diretamente na velocidade de transmissão dos dados. A tecnologia ISDN (*Integrated Services Digital Network*) utiliza uma faixa de frequências diferente da usada para voz, porém ela não possui boas estratégias de codificação e decodificação do canal, o que limita essa tecnologia, pois desta forma não explora de maneira adequada a largura de banda que possui [6].

DSL, diferentemente da ISDN, utiliza a faixa de frequência superior a da voz de forma mais elaborada. Transmissões em *downstream* (transmissão no sentido da CO para o assinante, que é representado pelo modem, conhecido também como CPE - *Customer Promises Equipment*) e *upstream* (transmissão no sentido do CPE para a CO) dividem a banda de frequência

entre si. Levando em conta esta divisão de banda, existem sistemas simétricos e assimétricos, em que, no primeiro, a largura de banda é equivalente para upstream e downstream, já no segundo caso a banda para *downstream* é maior que a destinada ao *upstream*.

Vale ressaltar a existência de uma banda de guarda entre as faixas de transmissão do POTS e do DSL, de modo a evitar interferência de um sistema no outro, haja vista que estas faixas são separadas por filtros que não são ideais.

A Figura 2.1 ilustra a disposição do espectro de frequências para sistemas POTS e ADSL.

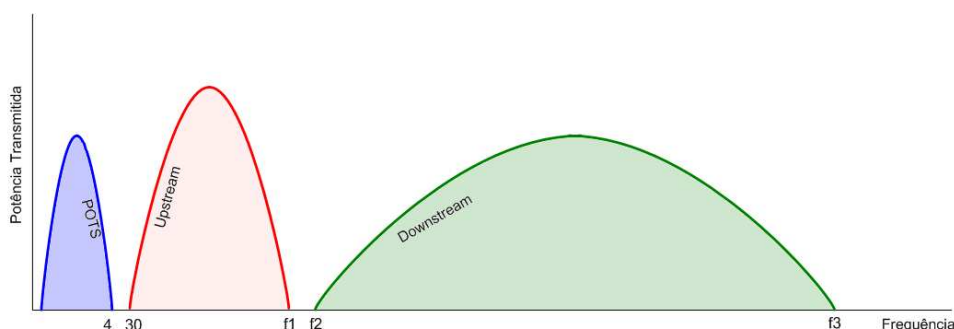


Figura 2.1: Disposição do espectro para sistemas POTS e DSL.

No início, em sistemas DSL, os espectros de *upstream* e *downstream* eram sobrepostos e era necessária a utilização de um sistema cancelador de eco com a finalidade de evitar que sinais provenientes de uma fonte tivessem como destino a própria fonte. Com o tempo chegou-se a conclusão de que seria melhor separar tais bandas de frequências, uma vez que com isso se conseguiria diminuir os efeitos de *crosstalk* na transmissão e, adicionalmente, não seria mais necessário se ter um sistema cancelador de eco com uma grande largura de banda.

Com a evolução dos processadores digitais torna-se possível a construção de filtros mais precisos, o que permite a diminuição da banda de guarda entre os canais de *upstream* e *downstream*, tornando possível um melhor aproveitamento da largura de banda. Sistemas que separam os canais de *upstream* e *downstream* em frequência são conhecidos como FDM (*Frequency Division Multiplexing*), enquanto que sistemas que sobrepõem essas bandas de frequências são conhecidos como ECH (*Echo Canceled Hybrid*) [6].

As Figuras 2.2 e 2.3 ilustram os esquemas FDM e ECH, respectivamente.

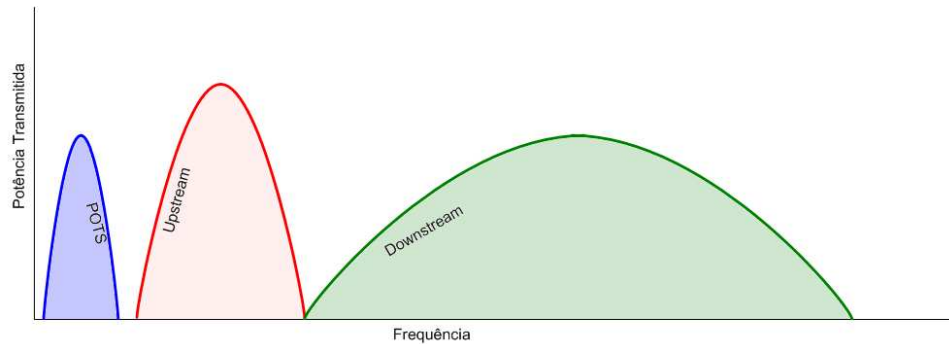


Figura 2.2: Esquema FDM.

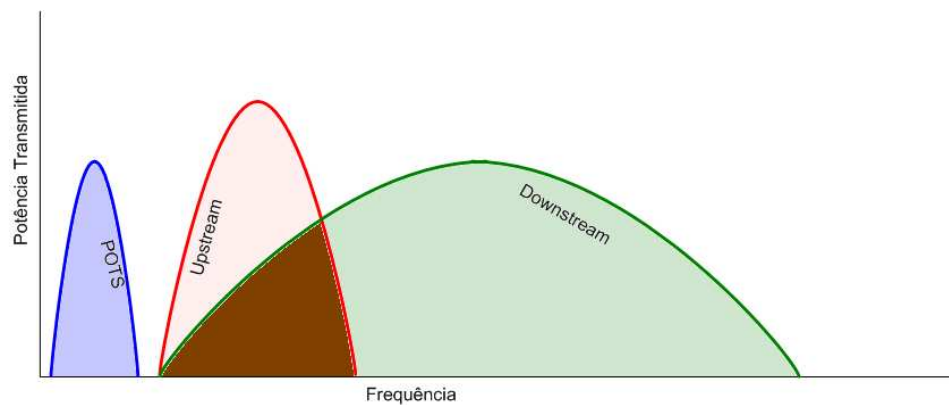


Figura 2.3: Esquema ECH.

2.4 O Acesso ADSL

ADSL é uma versão assimétrica da tecnologia DSL, em que a banda de frequência destinada ao *downstream* é maior que a do *upstream*, isto é porque esta variação é, principalmente, destinada a usuários domésticos e pequenas empresas, onde se tem um interesse maior pelo *download* de dados da rede. Com isso, a fim de aperfeiçoar o serviço para este perfil de usuário foi que se destinou uma taxa de dados maior para o *downstream*.

ADSL transporta dados em banda larga até o assinante fazendo uso do par trançado de cobre e pode levar sinal até uma distância de aproximadamente 5,5 km entre o usuário e a companhia telefônica, porém para distâncias dessa grandeza há uma queda na qualidade do serviço, o que implica em uma diminuição na taxa de bits. Tipicamente, ADSL assume taxas de bits da ordem de 256 kbps até 8 Mbps, para *downstream*, e de 16 kbps a 896 kbps,

para *upstream*. ADSL teve como motivação original de seu desenvolvimento a transmissão de vídeo sobre demanda, entretanto a motivação comercial rapidamente mudou para o acesso à Internet em alta velocidade no meio dos anos 90 [7].

O ADSL permite que o usuário esteja conectado à rede e, ao mesmo tempo utilizar a linha telefônica normalmente sem perdas na transferência de dados, uma vez que esses dois serviços estão dispostos em faixas de frequências diferentes. Usualmente a faixa de frequências da tecnologia ADSL varia de 25 kHz até 1.104 MHz [2], enquanto que o POTS utiliza a faixa entre 300 Hz até 3,4 kHz. Com a finalidade de evitar interferência entre POTS e ADSL é instalado, no lado do assinante, um equipamento conhecido como *splitter*, que tem a função de separar o sinal de voz do sinal de dados para que ambos os sistemas, POTS e ADSL, trabalhem concomitantemente, para mais detalhes vide [2], [8]. Para que o sistema funcione de forma satisfatória é necessário que o *splitter* esteja bem instalado e funcionando corretamente de modo que ele seja o mais transparente possível na transmissão do sinal, pois sua função é de apenas separar os sinais, atuando como dois filtros: um passa baixa para o POTS e um passa alta para ADSL. Dessa forma, é imprescindível que se dedique uma atenção especial a este dispositivo para que ele não prejudique o desempenho do sistema, evitando assim que o *splitter* atue como um gargalo para o mesmo. A Figura 2.4 ilustra um diagrama de blocos para ADSL e a utilização do *splitter* tanto no lado da CO quanto do lado do assinante.

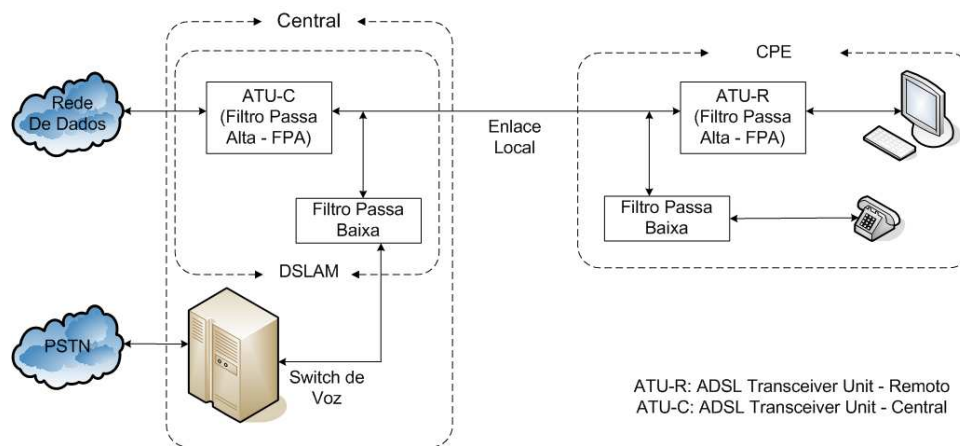


Figura 2.4: Diagrama de blocos de um sistema ADSL.

Assim como a versão simétrica do DSL, ADSL é padronizada por vários órgãos de padronização regionais e globais. Quanto à modulação, originalmente foram propostas duas tecnologias, DMT (*Discrete Multi Tone*) e portadora única, entretanto atualmente os padrões são baseados na modulação DMT. A recomendação norte americana desenvolvida pela ANSI (*American National Standard Institute*) pode ser encontrada em [9], e a recomendação europeia desenvolvida pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) pode ser

conferida em [10]. Além disso, o ITU-T (*International Telecommunication Institute - Telecommunications*) também criou a recomendação G.992.1 [11], que incorporou muitas configurações dos padrões regionais.

Assim como as mais avançadas variações simétricas do DSL, o ADSL faz uso de técnicas de técnicas corretoras de erros, bem como várias técnicas para escolher a taxa de bits ótima conforme as condições da linha. Por exemplo, o ADSL utiliza tamanhos de constelação variáveis e sofisticados algoritmos de alocação de bits para determinar em que tons se devem alocar mais energia na faixa de espectro utilizada, uma dessas técnicas é conhecida como *Bit Loading*, em que se alocam mais bits em tons onde se tem menos ruído.

2.5 Qualificação do Enlace e os Problemas do DSL

No ato da implantação de serviços DSL muitos obstáculos técnicos devem ser levados em consideração. Alguns desses obstáculos são facilmente vencidos, alguns são transpassados com alguma perda de desempenho no sistema, já outros impossibilitam completamente a implantação de DSL. Com a finalidade de responder uma série de questões acerca do enlace do assinante é que se fazem alguns testes no mesmo. Para que se possa fazer uma boa qualificação do enlace para os serviços DSL é necessário que se conheça o máximo possível do mesmo, assegurando assim a qualidade do serviço (QoS) oferecida.

A Figura 2.5 ilustra um enlace local interligando a CO a um assinante.

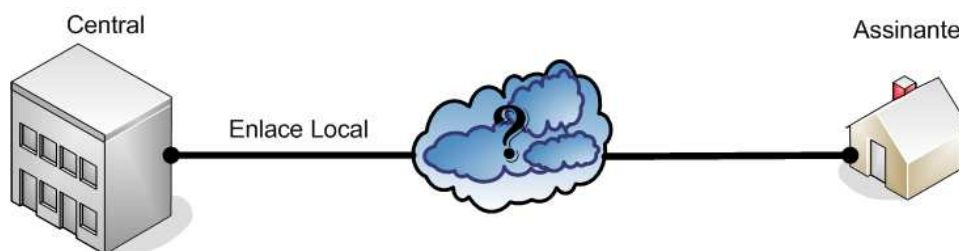


Figura 2.5: Enlace local entre a CO e um assinante.

2.5.1 Qualificação do Enlace

Para oferecer serviço DSL para um determinado assinante é necessário conhecer a capacidade de transmissão do enlace local [12]. É de grande importância que uma estimação precisa da taxa de bits atingível pelo enlace seja feita. Assim torna-se necessário descobrir se uma linha possui ou não empecilhos para implantação de DSL, bem como se a mesma pode

ou não suportar tais serviços. Com este intuito faz-se necessário o desenvolvimento de uma qualificação do enlace. Por meio deste processo visa-se identificar se o enlace possui ou não problemas para a implantação da tecnologia em questão, bem como corrigi-los na medida do possível e por fim, concluir se o enlace pode suportar o serviço ou não, e em caso positivo qual a máxima taxa de transmissão que o mesmo pode atingir.

Como se sabe, a linha telefônica foi projetada para dar suporte aos serviços relacionados ao POTS [2], sendo assim possui toda uma estrutura para tal, estrutura essa composta por alguns componentes que ajudam a maximizar o desempenho da rede telefônica, mas que por outro lado não são compatíveis com o serviço DSL. Dentre esses componentes destacam-se as bobinas de pupinização (*load coil*), derivações (*bridge tap*), mudanças de bitolas de cabos no decorrer do enlace, entre outros. Dessa forma, para se ter um status da linha para a implementação de um serviço baseado em tecnologia DSL torna-se necessário que se promova a qualificação do enlace do assinante, para que por meio deste se chegue a um diagnóstico da linha, que pode ser favorável ou não para a implementação deste serviço.

A qualificação do enlace telefônico pode ser feita basicamente de duas formas diferentes. Em uma delas o estudo da linha é feito a partir de uma única extremidade da linha, neste caso a CO, método esse conhecido como SELT (*Single Ended Line Test*), neste método prima-se por fazer um diagnóstico do enlace do assinante a partir da análise de reflexões no domínio do tempo, TDR (*Time Domain Reflectometry*), ou no domínio da frequência, FDR (*Frequency Domain Reflectometry*). O segundo método, diferentemente do primeiro é feito a partir das duas extremidades da linha e pode ser feito de duas formas, uma em que um técnico precisa ser enviado até a localidade do assinante para realizar o teste, e outra em que o mesmo pode ser feito utilizando-se um equipamento (geralmente um modem) com suporte a tal teste. Este segundo tipo de teste de qualificação de enlace, em que a qualificação é feita a partir das duas extremidades da linha, é conhecido como DELT (*Double Ended Line Test*) [4], [6]. A Figura 2.6 mostra o esquema de testes para SELT e DELT.

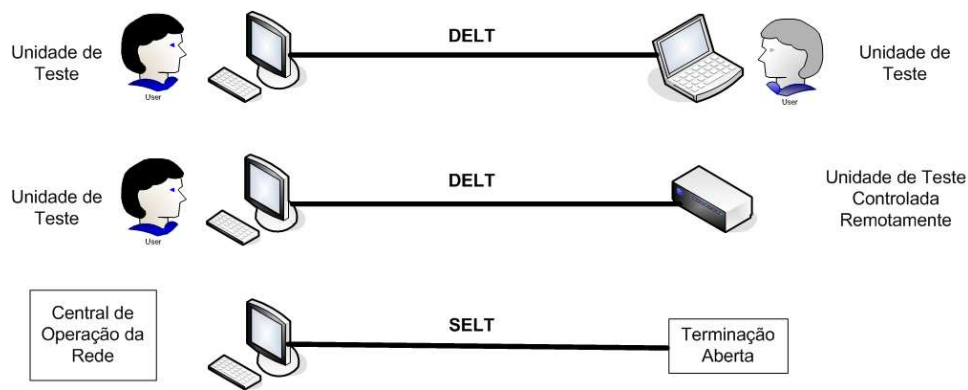


Figura 2.6: Esquema de testes para sistemas DSL SELT e DELT.

2.5.2 Os Problemas do DSL

Como explanado anteriormente, a rede telefônica foi, particularmente, adequada para os serviços de transmissão de voz e com tal finalidade foram utilizados alguns componentes na planta telefônica para melhorar seu desempenho. Entretanto isso provoca alguns prejuízos ao serviço DSL.

Além de alguns componentes da rede telefônica, outros fatores também prejudicam os serviços DSL, sendo assim, torna-se necessário conhecer tais fatores de modo que se possa prover um serviço tão bom quanto o possível para o assinante, que por sua vez deseja um serviço de qualidade. É com o propósito de evidenciar tais problemas que esta seção abordará alguns fatores que dificultam ou até mesmo impossibilitam o funcionamento de serviços DSL.

Em meio a esses fatores que dificultam a implementação de serviços DSL estão as bobinas de pupinização e as derivações que são artefatos utilizados para melhorar o serviço do POTS, mas que são nocivos a DSL. Além desses dois citados, tem-se ainda outros empecilhos para DSL tais como: o comprimento do enlace, mudança de bitola dos cabos, o efeito de *crosstalk*, ruído impulsivo e ainda a má instalação de *splitters* ou seu mau funcionamento que implica em um problema expressivo e que deve ser estudado com propriedade, pois tais dispositivos devem ser utilizados para melhorar o serviço DSL e não prejudicá-lo. Além disso, existe o ruído impulsivo que se faz presente nesse sistema e que também pode provocar perdas para o serviço DSL, pois, como possui natureza aleatória, torna-se importante saber como lidar com o mesmo, haja vista que não se sabe quando ele poderá surgir em uma transmissão. Sendo assim, com a finalidade de se conhecer um pouco mais sobre cada um desses problemas citados é que será feita uma pequena descrição destes a seguir.

Comprimento do Enlace e Perda por Inserção

É de conhecimento que à medida que se aumenta o comprimento do enlace no qual um sinal é transmitido tem-se que esse sinal também sofre um aumento na sua atenuação, que é uma perda de potência do sinal transmitido devido à presença do enlace, tal perda é conhecida como perda por inserção (*Insertion Loss*) [13]. Um problema prático é o da estimação da perda por inserção e é feito pela central telefônica a fim de saber qual o nível de potência que chega até o assinante. Para sistemas DSL, a perda devida a presença do enlace se torna muito grande para enlaces a uma distância acima de 5,5 km da central, tornando impraticável a implantação de serviços DSL sob tal condição.

Bobinas de Pupinização (*Load Coil*)

Uma bobina de pupinização é um indutor conectado em série com a linha telefônica para estender o alcance para o POTS. Colocando cargas com indutância $L = 88mH$ a distâncias que fazem a capacitância do par trançado ser de aproximadamente $C = 99nF$ (para muitos cabos aproximadamente 1.8 km). Um circuito de ressonância com frequência de ressonância $f_r = 1,8 \text{ kHz}$ (valor encontrado com base na equação 2.1) e um baixo valor de Q (como resultado da parte resistiva do cabo) é assim criado e impulsiona a faixa de frequência do POTS [6].

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{88 * 10^{-3} * 94 * 10^{-9}}} Hz \approx 1,8kHz \quad (2.1)$$

Por outro lado, as bobinas de pupinização trabalham como um filtro passa baixas, o que é altamente prejudicial para serviços de banda larga que são dependentes das frequências altas que este filtro atenua drasticamente. Bobinas de pupinização devem ser removidas para que um serviço ADSL possa trabalhar. Bobinas de pupinização, bem como as derivações, são raramente usadas na Europa, mas são bastante comuns nos E.U.A. e outros lugares do mundo. A Figura 2.7 ilustra a utilização de bobinas de pupinização em enlaces telefônicos.

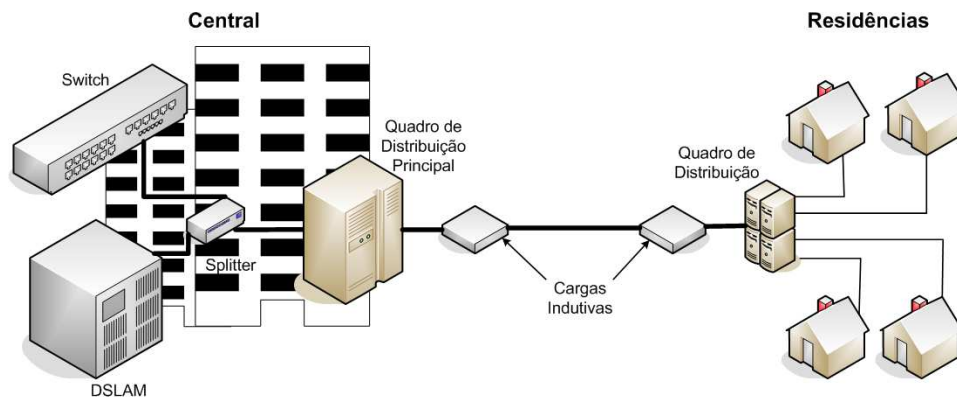


Figura 2.7: Utilização de bobinas de pupinização no enlace telefônico.

Derivações (*Bridge Tap*)

Quando um assinante desiste do serviço da operadora telefônica o mesmo tem apenas seu sinal cortado, porém não ocorre a desconexão física de sua linha, permanecendo o mesmo conectado fisicamente à central para efeitos de futuras instalações [6]. Dessa forma surge uma derivação que nada mais é que um par trançado em circuito aberto que está conectado em paralelo com um enlace telefônico de par trançado ativo. Derivações também são comumente referenciadas pelo seu termo em inglês, *Bridge Taps*.

O problema é que parte do sinal transmitido passa pela derivação e é refletido por sua terminação em aberto, voltando atrasado para a linha principal. Possivelmente, este fato, causará interferência com o sinal não atrasado. Contanto que a linha seja usada estritamente para POTS esta reflexão é aceitável desde que o tempo de atraso seja bastante curto para que o ouvido possa perceber e o comprimento da derivação esteja longe do tamanho do comprimento de onda dos sinais de baixa frequência. Por outro lado, para serviços de banda larga isto causa problemas, como perdas e distorções no sinal que percorre o enlace.

A Figura 2.8 ilustra o efeito de uma derivação nos sinais transmitidos.

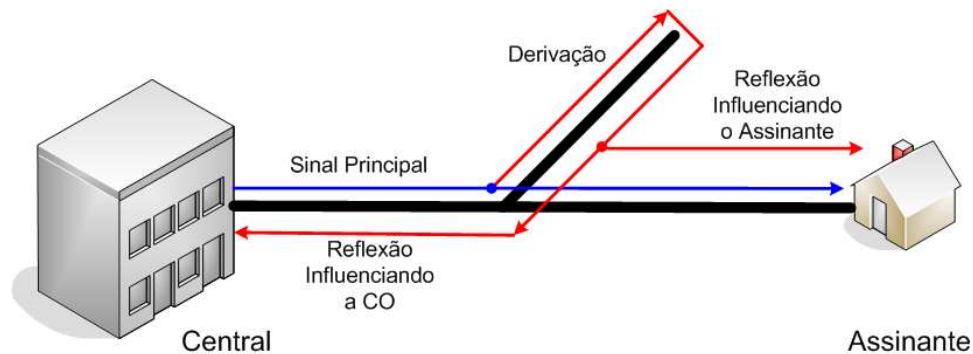


Figura 2.8: Efeitos de uma derivação no sinal.

Mudança de Bitola de Cabo

Costumeiramente, para enlaces longos é usado um mecanismo de aumento de bitola do fio para reduzir a atenuação do sinal de voz, porém as impedâncias dessas discontinuidades provenientes das mudanças de bitolas causam reflexões dos sinais de dados com altas velocidades, fato esse que é prejudicial para transmissões DSL, pois tais reflexões podem interferir com o sinal transmitido propriamente dito.

Crosstalk

A energia eletromagnética transmitida pelo par trançado de cobre irradia energia sobre os pares adjacentes que estão localizados no mesmo cabo. Esse fenômeno é conhecido como *crosstalk*.

Na rede telefônica, vários pares trançados de cobre são colocados juntos em um mesmo cabo chamado de *binder*. Pares adjacentes dentro do *binder* podem transmitir ou receber informação na mesma faixa de frequências, fato esse que pode gerar uma interferência por *crosstalk* significativa. Isso ocorre pelo fato de que os sinais induzidos pelo efeito de *crosstalk* se combinam com os sinais originalmente transmitidos pelo enlace. O resultado é uma forma de onda diferente da originalmente transmitida.

O efeito de *crosstalk* pode ser dividido em duas categorias. O *crosstalk* causado por extremidades próximas, conhecido como NEXT (*Near End Crosstalk*), é o mais significativo justamente pelo fato de que a alta energia de um sistema adjacente induz um *crosstalk* mais elevado no sinal primário. A outra forma é o *crosstalk* causado por extremidades mais afastadas, conhecido com FEXT (*Far End Crosstalk*), que é tipicamente menor, pois a interferência da

extremidade mais afastada é atenuada no decorrer do enlace. A Figura 2.9 ilustra o esquema do NEXT e do FEXT [14].

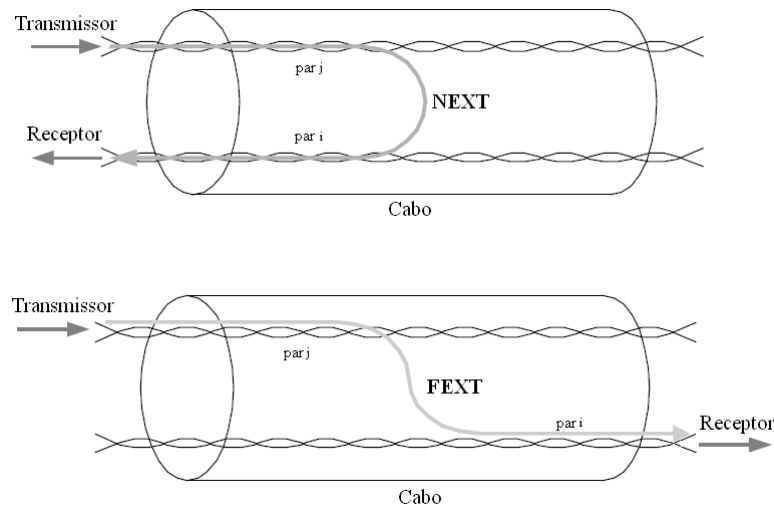


Figura 2.9: Esquema de NEXT e FEXT.

Ruído Impulsivo

O ruído impulsivo é uma interferência eletromagnética estocástica e não-estacionária que consiste em ocorrências aleatórias de picos de energia com amplitudes e conteúdo espectrais também aleatórios. As causas do ruído impulsivo em linhas telefônicas são diversas e variam de eventos de telefone no gancho ou fora dele, acionamento de motores de eletrodomésticos, operação de máquinas elétricas industriais, veículos de transporte, ou ainda mesmo ruído atmosférico de descargas elétricas. A interferência resultante no par trançado é um dos maiores prejuízos para sistemas DSL. Dessa forma, é essencial conhecer a natureza estatística do ruído impulsivo a fim de poder avaliar seu impacto nas tecnologias de transmissão [1], para assim poder avaliar o nível de impacto que o ruído impulsivo causa na qualidade do serviço prestado e de que forma o usuário final percebe tais malefícios ou ainda se o impacto causado está em um nível que não é percebido pelo usuário, não afetando assim a usabilidade do sistema pelo mesmo.

Influência do *Splitter* na Transmissão

Sistemas ADSL requerem um equipamento chamado POTS *splitter* que é usado para separar a banda de voz (sinal analógico) da banda destinada ao ADSL (sinal digital). Este equipamento consiste de três portas, incluindo um filtro passa-baixas (FPB) conectado entre a

interface de linha e o equipamento POTS. Completando o *splitter*, um filtro passa-altas (FPA) integra a entrada da unidade terminal ADSL (ATU - ADSL *Terminal Unit*). Um equipamento similar (PSTN *splitter*) se faz presente do lado da CO, com a finalidade de combinar os sinais digitais e analógicos para que os mesmos possam trafegar pelo enlace até o usuário, e no sentido oposto (do usuário até a central) tem a finalidade de separar esses sinais de naturezas diferentes.

Para minimizar o impacto deste dispositivo no serviço POTS, o *splitter* deve ser tão transparente quanto possível no que diz respeito aos sinais da banda de voz. Para assegurar isso, um número de requisitos sobre as características elétricas do *splitter* foi incluído em documentos de padronização de operação para sistemas ADSL, tal como o desenvolvido pela ANSI [9]. É com a finalidade de se assegurar o QoS que se precisa detectar a influência do *splitter* na transmissão. A fim de se avaliar o funcionamento de um *splitter* pode-se fazer a medição do atraso de distorção que o mesmo proporciona na transmissão e então verificar se o mesmo se encontra dentro dos padrões estabelecidos. Outra maneira seria fazer um estudo de algumas variáveis de qualidade de serviço na presença e na ausência de *splitter* para avaliar a influência do mesmo.

2.6 Qualidade da Experiência (QoE) e Qualidade do Serviço (QoS)

As terminologias QoE (*Quality of Experience*) e QoS (*Quality of Service*) são geralmente usadas de forma conjunta, entretanto são dois conceitos diferentes. QoE é o desempenho global de um sistema do ponto de vista do usuário. QoE é uma medida de desempenho fim-a-fim em níveis de serviços perceptíveis pelo usuário e também é uma indicação de quão bem o sistema conhece as necessidades do usuário [15]. Algumas métricas têm sido propostas para se avaliar a QoE, sendo uma delas conhecida como MOS (*Mean Opinion Score*).

A MOS é tipicamente usada como uma medida subjetiva para quantificar o percentual de impacto (qualidade da experiência do usuário) de várias formas de degradação de serviço [15]. Outras métricas objetivas de qualidade do serviço, tais como a duração de períodos de serviço degradado, fornecem menos informação, porém podem ser facilmente medidas. A QoE é também estudada e formalmente definida pelo grupo de estudos do ITU-T [16], especificamente na questão 13/12 [17] e no Fórum de Interoperabilidade ATIS IPTV (IIF - ATIS IPTV Interoperability Forum), QoSM (QoS Metrics Task Force) [18].

QoS é uma medida de desempenho em nível de pacotes sobre a perspectiva da rede [15]. QoS também se refere a um conjunto de tecnologias (mecanismos de QoS) que habilitam o administrador da rede a gerenciar os efeitos de congestionamento no desempenho da aplicação. Adicionalmente, ela promove um serviço diferenciado para fluxos de tráfegos de rede selecionados ou para usuários selecionados. Métricas de QoS podem incluir medidas na camada de rede tais como perda de pacotes, atraso de transferência ou *jitter*. A Figura 2.10 ilustra a relação entre QoE e QoS.

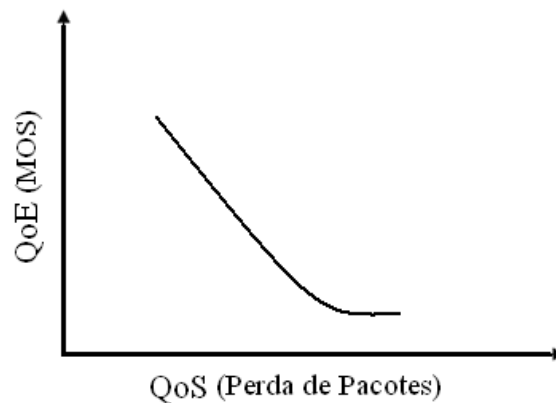


Figura 2.10: Relação entre QoE e QoS.

Tipicamente, existem métricas de QoS que impactam no QoE global do sistema. A relação entre métricas de QoE e desempenho do serviço (QoS) é geralmente derivada empiricamente. Uma vez identificada a relação entre QoE e QoS, pode-se trilhar dois caminhos:

- Dada uma medida de QoS, poder-se prever o QoE esperado para o usuário;
- Dado o QoE alvo para o usuário, poder-se deduzir o desempenho de camada de serviço requerido para tal resultado.

Para assegurar a qualidade apropriada ao serviço entregue ao usuário, alvos de QoE deveriam ser estabelecidos para cada serviço e incluídos nos processos de projeto de criação do sistema onde são mapeados em métricas de desempenho em nível de serviço desejadas. QoE será um importante fator para o sucesso de serviços do tipo *triple play* e se espera que seja um diferencial no que diz respeito aos serviços competitivos oferecidos [15]. Assinantes desejam uma rede de boa qualidade, não importando como a mesma é alcançada. O que importa, para o assinante, é até que ponto o serviço oferecido conhece suas expectativas quanto à operabilidade, disponibilidade, facilidade de uso e custo. A Figura 2.11 ilustra o esquema de criação de alvos de QoE para posterior mapeamento dos parâmetros de QoS.

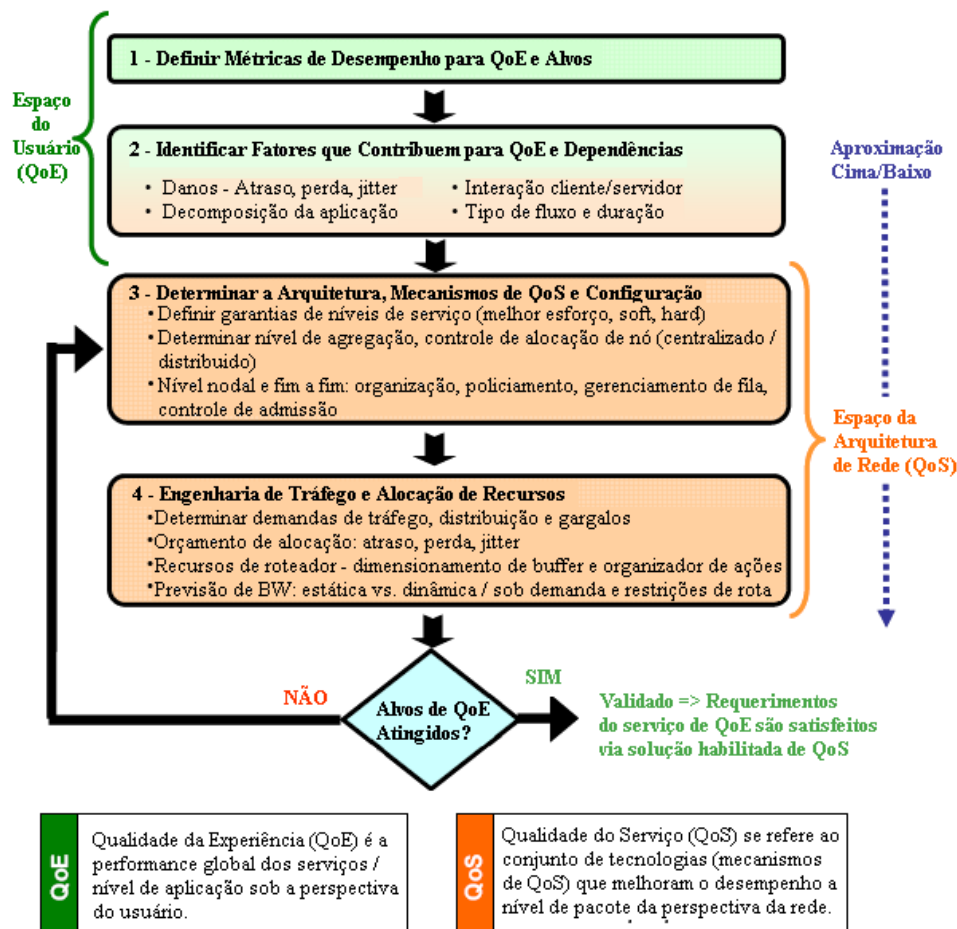


Figura 2.11: Esquema de criação de alvos de QoE para mapeamento de parâmetros de QoS [15].

2.7 Formalização do Problema

Com o avanço da tecnologia, cada vez mais os consumidores primam por serviços de boa qualidade e foi pensando nisso que se decidiu estudar a qualidade da transmissão ADSL em enlaces típicos brasileiros. A idéia é avaliar o desempenho de tal tecnologia para os cenários mais comuns propostos pela Telebrás [3], e isso seria feito através da análise de algumas variáveis do sistema que auxiliam no estudo do QoS do mesmo. Além disso, deseja-se avaliar o impacto causado pelo ruído impulsivo neste ambiente, determinando assim em que nível sua presença pode afetar ou não o serviço prestado pela operadora. De forma semelhante, pretende-se avaliar a influência do *splitter* no sistema, uma vez que o mesmo deve ser tão transparente quanto o possível, assim é importante verificar se o *splitter* está funcionando como deveria de fato estar.

Adicionalmente, sabe-se que o usuário final não possui conhecimento para analisar parâmetros técnicos como são os obtidos com uma análise de QoS do sistema. Dessa forma, com o intuito de deixar o sistema no mais alto nível possível para o usuário final é que se pretende fazer um mapeamento da análise de QoS do impacto causado pelo ruído impulsivo e pela presença do *splitter* para a visão do usuário final, esta análise chama-se de QoE, que seria nada mais que a percepção que o usuário tem do sistema.

2.8 Conclusões

Neste capítulo primou-se por fornecer uma base teórica sobre a tecnologia DSL, haja vista que tais conceitos serão de extrema importância no decorrer do trabalho. Com esse conhecimento torna-se possível ter uma visão geral do sistema DSL para que se tenha um entendimento adequado dos capítulos subsequentes.

Foram mostradas as principais características da tecnologia, bem como o que diz respeito à distribuição do espectro, esquemas de modulação, coexistência com o POTS que se torna possível com o uso de *splitters*. Além disso, procurou-se explorar a importância de se fazer a qualificação do enlace para implantação de serviços DSL, haja vista que utilizando este processo é possível detectar a presença de imperfeições na linha telefônica que são nocivas ao sistema DSL. Também foram abordadas alguns dos principais problemas que envolvem o sistema em questão.

Em meio aos problemas que envolvem a tecnologia DSL deve-se dar uma boa atenção a influência causada pelo *splitter* na transmissão, uma vez que, diferentemente dos outros empecilhos, este é um dispositivo colocado no sistema para melhorar o funcionamento do mesmo sendo assim é essencial que ele trabalhe de forma adequada. Merece também destaque o problema ocasionado pela presença do ruído impulsivo, uma vez que o mesmo é aleatório e não-estacionário, podendo causar danos consideráveis na transmissão.

Após a apresentação do foco de estudo, cabe agora definir a metodologia empregada para analisar o impacto causado no serviço por ocorrência da inserção do *splitter* no sistema. Deve-se ainda definir a metodologia de testes para analisar os impactos causados pela presença de ruído impulsivo na transmissão.

Capítulo 3

Planejamento de Testes

3.1 Introdução

Com o intuito de estabelecer quais atividades estão relacionadas com os experimentos que serão realizados é que se monta um planejamento de testes. Neste planejamento constam os passos a serem seguidos antes e depois das medições. Nesta seção serão definidos os cenários de medição para a análise da influência do *splitter* na camada física, bem como para a análise do impacto do *splitter* e do ruído impulsivo na transmissão ADSL. Em seguida, serão descritas as variáveis a serem medidas em tais experimentos, evidenciando a importância de suas análises no contexto do trabalho. Por fim, será descrita a metodologia de testes, que inclui o procedimento de medição, o teste de Dixon, cálculo do intervalo de confiança, análise de QoS na transmissão ADSL para os cenários típicos brasileiros e por fim o mapeamento das condições técnicas de transmissão para a visão subjetiva do usuário, objetivando assim chegar a uma abordagem de QoE do sistema.

3.2 Cenários de Medição

Nesta seção, serão descritos os cenários utilizados nas medições com a finalidade de deixar claro como as mesmas serão realizadas, evidenciando como estarão dispostos, fisicamente, os equipamentos utilizados nos experimentos, bem como a função que cada um desempenha no processo de medição.

3.2.1 Configuração de Testes para Análise da Influência do *Splitter* em Camada Física

Como visto no Capítulo 2, o *splitter* do POTS é usado para separar o sinal analógico do sinal digital na extremidade do enlace referente ao assinante. Tal equipamento consiste de três interfaces de rede, incluindo uma seção passa baixas conectada entre a interface de linha e o equipamento referente ao POTS (no geral um telefone). Complementando o *splitter*, uma seção passa altas é geralmente integrada na entrada da unidade terminal ADSL (no geral um modem). Um equipamento semelhante, o *splitter* do PSTN, está também presente na extremidade do enlace referente à central com a finalidade de combinar os sinais analógico e digital em uma extremidade e separar os mesmos na direção oposta, desta forma tais sinais tornam-se habilitados para trafegarem pelo mesmo enlace sem que um interfira no outro, haja vista que trabalham em faixas de frequência diferentes [19]. A Figura 3.1 ilustra a utilização do *splitter* no enlace do usuário.

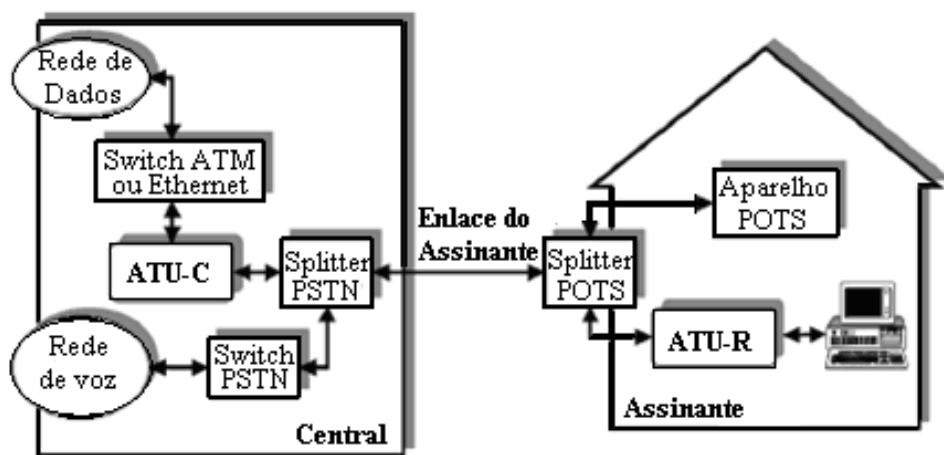


Figura 3.1: ADSL sobre um cenário POTS. *Splitters* estão presentes em ambos os lados do enlace do usuário.

Para minimizar o impacto causado pela tecnologia DSL para o serviço POTS, o *splitter* deve ser o mais transparente possível para os sinais da banda de voz. Com a finalidade de assegurar esta exigência, um número de requerimentos sobre as características elétricas do *splitter* foi incluído em documentos de padronização de operação ADSL, tais como o ANSI T1.413 Issue 2 [9].

A fim de estudar a influência do *splitter* em sistemas ADSL e as conseqüências de seu mau funcionamento para o referido sistema, bem como para o POTS será definido um cenário de medição para auxiliar no referido estudo.

Configuração do *Splitter*

Na TR-007 do ADSL Forum [20] estão descritas diversas configurações de *splitter* que são utilizadas como referência pelo mundo, levando em consideração as vantagens e desvantagens de cada configuração de acordo com as necessidades de cada cenário. Neste projeto foi escolhida a configuração na qual o ATU-R está adjacente ao TE com *splitter* separado, como mostrado na Figura 3.2. Para mais detalhes a respeito da escolha desta configuração vide [20].

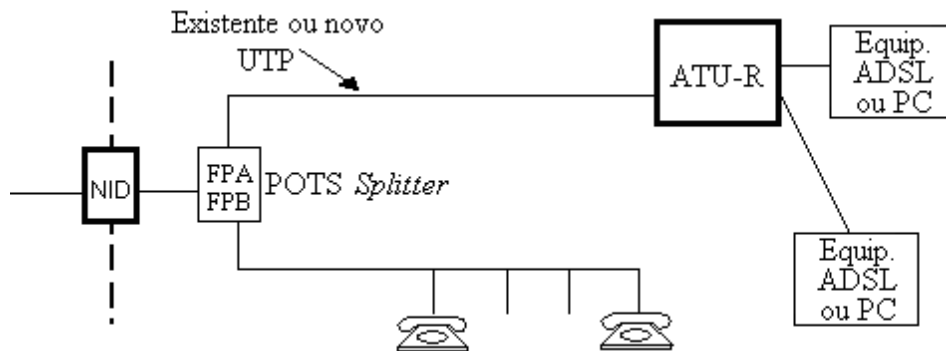


Figura 3.2: ATU-R adjacente ao TE com *splitter* separado.

Equipamentos Utilizados

Para realizar as medições serão utilizados os seguintes equipamentos:

- Analisador de Rede;
- Analisador de Impedância;
- Qualificador de Linha;
- Cabos de 500 metros e dimensões de 2x16x0.40mm (26AWG). Foi escolhida esta bitola de cabo, pois a mesma é predominante nos enlaces brasileiros;
- *Splitter*;
- Aparelho Telefônico;
- Modem ADSL.

Configuração dos Equipamentos

Com a finalidade de executar medições de função de transferência, impedância de entrada e TDR, referentes ao *splitter*, elaborou-se uma configuração de medição ilustrada na Figura 3.3. Como pode ser observado, para executar medições de função de transferência usa-se a configuração mostrada na Figura 3.3 (a), em tal configuração será realizada a comparação entre as curvas com e sem o *splitter*. Por outro lado, na Figura 3.3 (b) é ilustrada a configuração para medições de impedância de entrada e TDR para enlace terminado com *splitter* e ainda um aparelho telefônico e um modem ADSL. É importante mencionar que durante os testes o modem ADSL estará desligado, pois caso contrário o mesmo enviaria sinais de sincronização que impossibilitariam que as medições fossem realizadas de forma coerente.

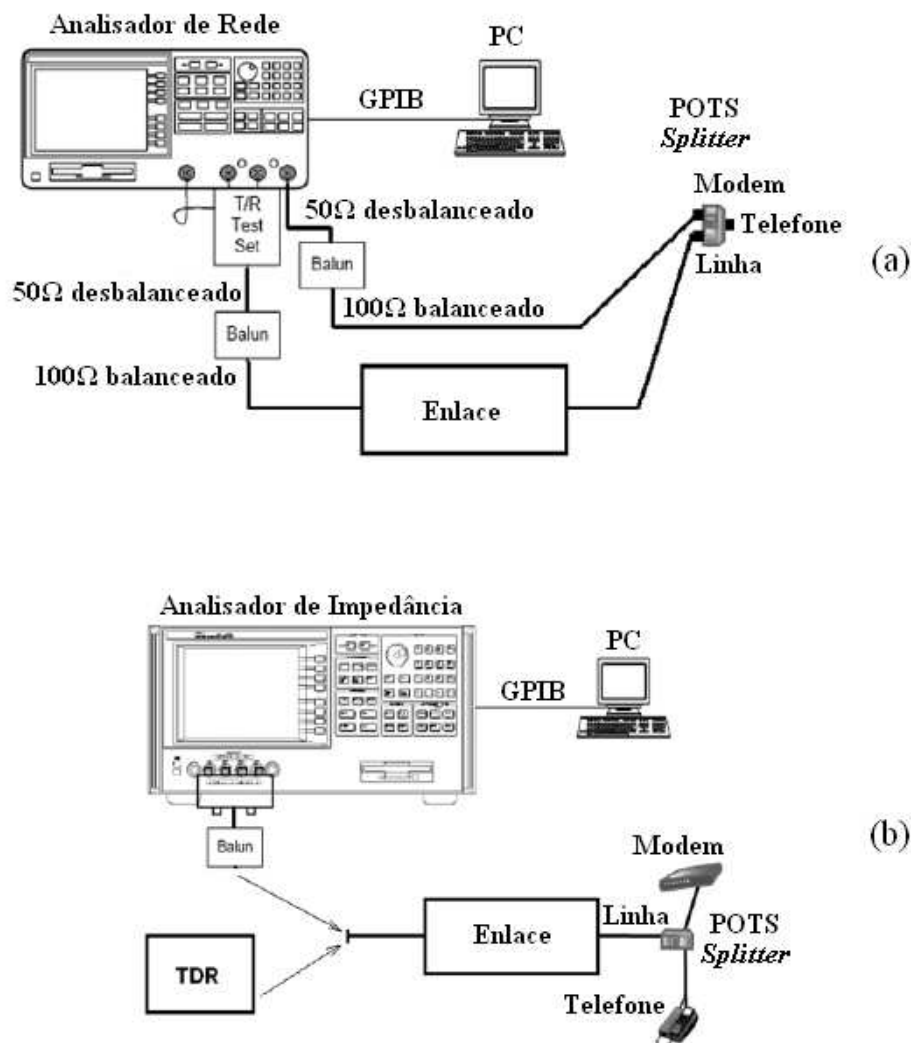


Figura 3.3: (a) Configuração de testes para análise de função de transferência; (b) Configuração de testes para análise de impedância e TDR.

3.2.2 Configuração de Testes para Análise da Influência do *Splitter* e do Ruído Impulsivo na Transmissão ADSL

Como visto no Capítulo 2, o ruído impulsivo é um ruído caracterizado por pequenos pulsos com energia significativa. Sua ocorrência está fortemente relacionada com a atividade humana e é tipicamente provocada por transientes. A figura 3.4 mostra um exemplo de impulso capturado durante uma pesquisa, para mais detalhes vide [7]. Os pulsos variam amplamente na forma, duração, amplitude, espaçamento e, além disso, não possui um formato típico. Não existem limites na duração ou energia do ruído impulsivo, embora pulsos maiores e com mais energia sejam raros.

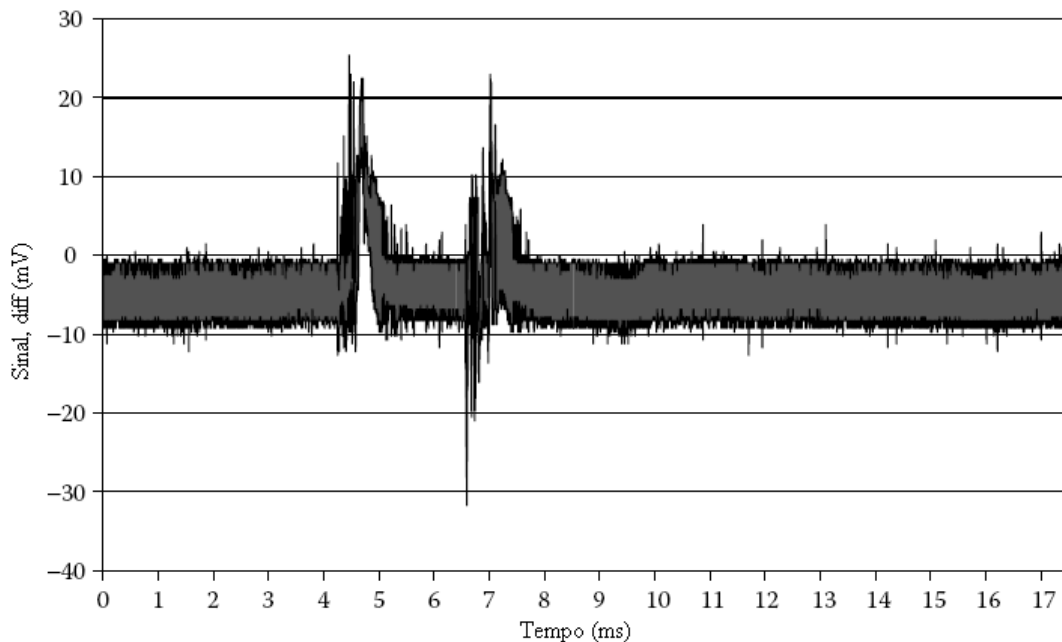


Figura 3.4: Amostra de ruído impulsivo [7].

Modelo de Ruído

Como já mencionado anteriormente, faz parte do escopo deste trabalho o estudo da influência do ruído impulsivo na transmissão ADSL. Como se sabe, o ruído impulsivo pode ocorrer por diversas razões. Neste trabalho, será estudada a influência de um tipo específico de ruído impulsivo, o chamado Ruído Impulsivo Elétrico Repetitivo (REIN - *Repetitive Electrical Impulse Noise*). Este é um ruído causado por elementos elétricos, tais como baterias, e pode afetar uma conexão ADSL. De fato, não se pode ouvir tal modalidade de ruído ao telefone, haja vista que este ruído não causa danos ao serviço telefônico, entretanto, obviamente o sinal

ADSL é muito mais sensível a essa condição.

Ocorrendo em rajadas de banda larga, com natureza aleatória, cobrindo uma faixa extensiva de frequências, REIN é gerado por diversos aparelhos domésticos, tais como TVs, decodificadores de TV por assinatura, geladeiras, luzes de árvores de natal, etc. Termostatos, temporais, e cercas elétricas podem gerar rajadas de ruído impulsivo. É uma falha comum em fontes de potência de modo chaveado. Uma única fonte pode afetar diversos usuários de ADSL, e pode ser dispendioso descobrir uma fonte de interferência [21].

Como se deseja estudar a influência do ruído impulsivo na transmissão ADSL, serão feitos experimentos incluindo ruído impulsivo no meio do enlace local, em que uma fonte de ruído impulsivo do tipo REIN não está próxima da CO e nem do assinante. Inserir o ruído no meio do enlace será possível pois serão usados dois simuladores de linha cascadeados.

Equipamentos Utilizados

Para realizar as medições serão utilizados os seguintes equipamentos:

- Gerador/Analisador de Tráfego;
- DSLAM;
- Simulador de Linha;
- Gerador/Injetor de Ruído;
- *Splitter*;
- Modem ADSL;
- Cabos de Rede;
- PC.

Configuração dos Equipamentos

Com a finalidade de especificar o cenário de medições foi reproduzida a configuração especificada em [22], [23] e [24]. A Figura 3.5 ilustra a configuração de medição reproduzida no laboratório.

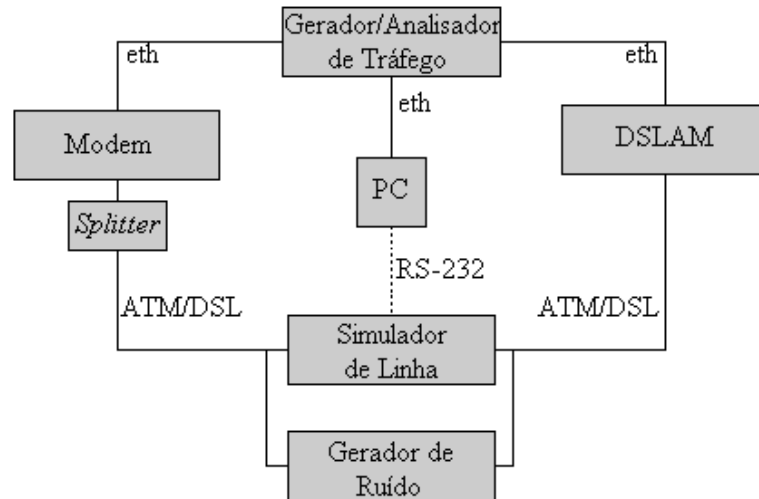


Figura 3.5: Configuração de testes para análise de QoS do serviço ADSL, considerando o impacto do *splitter* e do ruído.

Na Figura 3.5, o gerador/analísador de tráfego é responsável por gerar e analisar os tráfegos de *downstream*, no sentido da CO para o assinante, e de *upstream*, no sentido do assinante para a CO. O simulador de linha ADSL [25] simula um enlace local para ser utilizado nos experimentos. O gerador de ruído é responsável por gerar e injetar ruído na linha. O DSLAM é responsável por transmitir sinais ADSL/ATM (*Asynchronous Transmission Mode*) pelo enlace de par trançado (neste caso representado pelo simulador de linha). O modem tem a função de modular e demodular o sinal no lado do assinante. Por fim, o PC é utilizado para gerenciar os experimentos via software.

3.3 Enlaces Utilizados

A fim de obter os enlaces para a realização dos experimentos, levou-se em consideração o padrão Telebrás para enlaces brasileiros [3]. Assim, cinco enlaces diferentes serão utilizados nos experimentos. Os enlaces em questão estão ilustrados na Figura 3.6. É importante ressaltar que o comprimento das seções, bitolas dos cabos e presença ou não de derivações são importantes diferenças entre os enlaces, e que por sua vez promovem diferenças de desempenho

entre os enlaces adotados. Desta forma, pode-se realizar testes em enlaces com características físicas e elétricas diferentes.

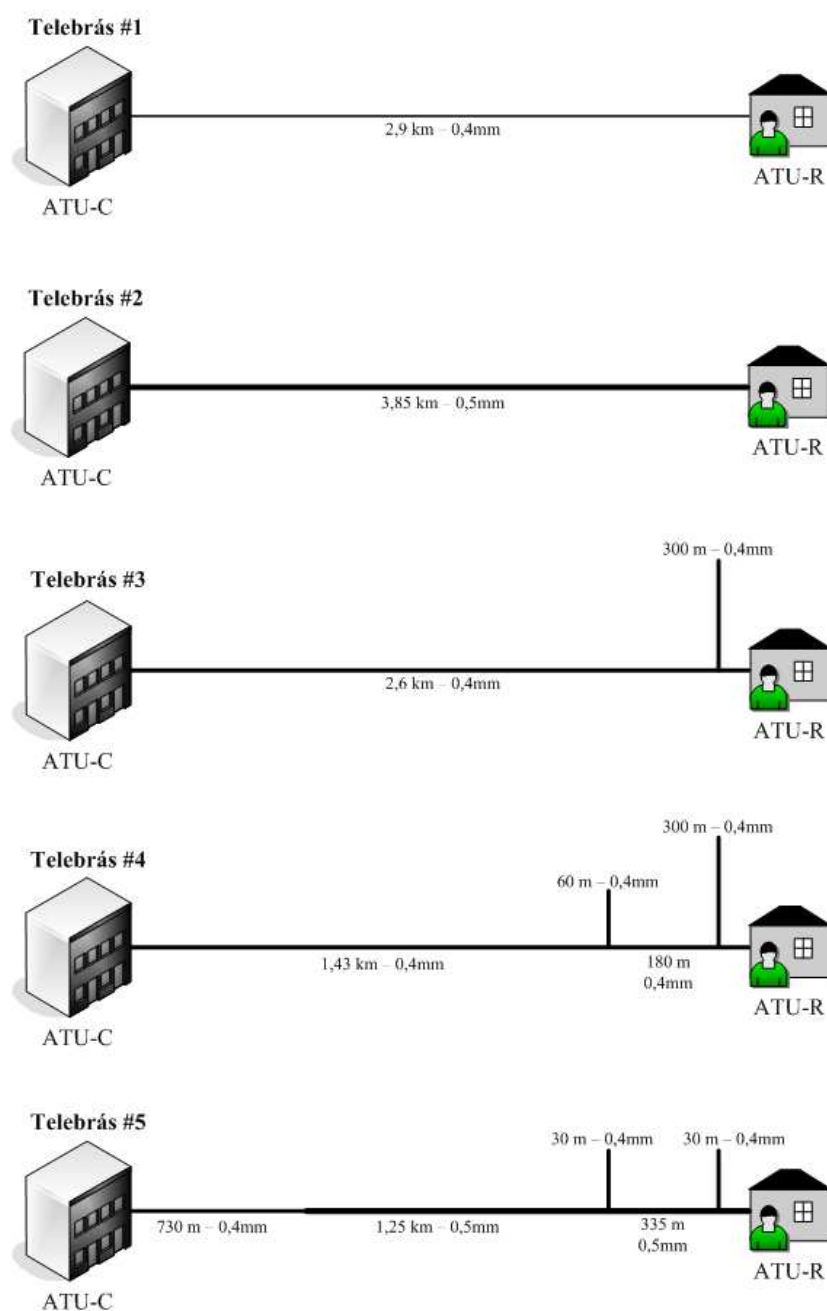


Figura 3.6: Enlaces padronizados pela Telebrás.

3.4 Variáveis Medidas

Para investigar a influência do *splitter* no enlace telefônico, considerando a camada física, serão feitas medições de função de transferência, impedância de entrada e reflectometria no domínio do tempo (TDR).

Para promover a avaliação do desempenho do sistema ADSL, considerando a presença do ruído impulsivo e do *splitter*, foram escolhidas algumas variáveis as quais serão analisadas e comparadas para se chegar a uma conclusão da qualidade do serviço em questão. Neste trabalho serão consideradas quatro variáveis: taxa de pacotes (taxa de pacotes IP transmitida pelo DSLAM), taxa de bits (obtida pelo CPE), número de pacotes perdidos e o máximo atraso de transferência. Além de gerar o tráfego, o gerador de tráfego também é responsável por analisar os resultados. A Tabela 3.1 mostra a configuração de transmissão do gerador de tráfego para os experimentos em questão. Diante disso, está claro que a taxa de dados e o atraso de dados obtidos pelo CPE será inferior a transmitida pelo fato dos cenários introduzirem perdas no sistema, a chamada perda por inserção.

Tabela 3.1: Configuração do gerador/analizador de tráfego

Variáveis Fixas	<i>Upstream</i>	<i>Downstream</i>
Taxa de Pacotes	18,84 p/s	74,68 p/s
% Max. Largura de Banda	1,50	6,00
% Carga Máxima	1,53	6,12
Taxa de Bits por Datagrama	147,44 kb/s	586,72 kb/s
Taxa de Bit na Linha	150,15 kb/s	599,86 kb/s
Comprimento do Pacote	1000 bytes	1000 bytes

3.5 Metodologia para Análise de Desempenho

Nesta seção, serão descritos os procedimentos de medição, tratamento dos dados a serem realizados, incluindo a descrição do teste de Dixon e método de cálculo de intervalo de confiança com a finalidade de fornecer a devida confiabilidade aos dados medidos para sua posterior análise. Em seguida serão descritos os mecanismos de análise de QoS que serão utilizados e por fim, será exposto de forma as análises de QoS serão mapeadas para a visão do usuário final.

3.5.1 Procedimento de Medição

Ao se trabalhar com medidas deve-se ter em mente a importância de um levantamento estatístico a fim de se ter um resultado mais aproximado da realidade. Desta forma, é aconselhável que se efetue um conjunto de medições ao invés de uma única, para assim poder analisar o conjunto de medidas obtido e verificar a coerência das mesmas. Neste trabalho serão feitos conjuntos de dez medições para cada modificação feita na configuração de testes proposta. Este número de medições ainda está longe de ser um bom levantamento estatístico, pois seriam necessárias centenas de medições para tal, porém é o suficiente para se ter um conjunto relativamente confiável de dados para serem analisados, pois com tal número de medições é possível a realização de testes para análise da confiabilidade dos resultados, tais como o teste de Dixon e cálculo de intervalo de confiança que serão vistos na seção 3.5.2.

3.5.2 Teste de Dixon e Intervalo de Confiança

Em um conjunto de medições pode-se obter alguns valores que estejam fora do limite de proximidade das demais amostras medidas, é o que comumente chama-se de *outlier*. Existem alguns métodos para identificar tais valores discrepantes em um conjunto de medições. Neste trabalho será abordado o método conhecido como teste de Dixon. Além do teste de Dixon, será feito também o cálculo do intervalo de confiança das amostras medidas, com a finalidade de assegurar que os valores medidos estão em um intervalo aceitável em relação ao valor real. A seguir, será descrito o método do teste de Dixon e do cálculo do intervalo de confiança.

• Teste de Dixon

O teste de Dixon é geralmente utilizado para detectar um pequeno número de *outliers* [27]. Este teste pode ser usado quando o tamanho da amostra está entre 3 e 25 observações, logo é aconselhável no caso deste trabalho que contém 10 amostras por observação. Sendo assim, os dados são ordenados em ordem crescente. Feito isso, baseado no tamanho da amostra, a estatística o valor mais alto ou para o valor mais baixo é computada. A Tabela 3.2 ilustra as fórmulas utilizadas no cálculo de de acordo com o número de observações.

Tabela 3.2: Fórmulas para o cálculo de τ .

Observações	Maior Valor Suspeito	Menor Valor Suspeito
3 a 7	$\tau = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$	$\tau = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$
8 a 10	$\tau = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2}$	$\tau = \frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1}$
11 a 13	$\tau = \frac{X_n - X_{n-2}}{X_n - X_3}$	$\tau = \frac{X_3 - X_1}{X_{n-1} - X_1}$
14 a 20-30	$\tau = \frac{X_n - X_{n-2}}{X_n - X_3}$	$\tau = \frac{X_3 - X_1}{X_{n-2} - X_1}$

A estatística τ é comparada com um valor crítico para um valor escolhido de alfa [27]. Se a estatística é menor que o valor crítico, a hipótese nula não é rejeitada, e a conclusão é que não existem *outliers* presentes nas observações analisadas. Caso a estatística seja maior que o valor crítico, a hipótese nula é rejeitada, e a conclusão é que o valor mais extremo é um *outlier*. Para checar a existência de outros *outliers*, o teste de Dixon pode ser repetido, entretanto, a eficiência deste teste diminui com o aumento do número de repetições.

• Cálculo do Intervalo de Confiança

Basicamente, dois critérios são usados para analisar um conjunto de dados considerando sua distribuição de probabilidade, são eles: a tendência central e o nível de dispersão dos dados em torno da tendência central.

A tendência central de um conjunto de dados, em geral, é dada pelo valor médio de n observações independentes estatisticamente ($n > 1$), chamada de média aritmética ou média, \bar{x} . A média é expressa como descrito na Equação 3.1.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

Um parâmetro estatístico amplamente utilizado para quantificar o nível de dispersão é o desvio padrão experimental de x_i valores, $s(x)$, expresso pela Equação 3.2.

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.2)$$

Um conjunto de dados medidos é chamado de uma amostra de um número teoricamente infinito de medidas. Tal conjunto, de todos os valores medidos possíveis, é comumente chamado de população. Se não existem erros sistemáticos, o valor médio de cada população, μ , é o verdadeiro valor da quantidade de interesse. A média da amostra, \bar{x} , provê uma estimativa de μ . À população também está associado o desvio padrão σ . Da mesma forma, o desvio padrão experimental, $s(x)$, provê uma estimativa de σ .

Desde que as medidas individuais estejam dispersas em torno do valor real da quantidade de interesse dentro de uma faixa que depende da precisão da medição, é improvável que a média da amostra seja exatamente igual à média da população. Sendo assim, o significado aritmético derivado de conjuntos distintos de dados apresentará a variância entre seus respectivos valores. Em outras palavras, a média da amostra é também uma quantidade aleatória. O desvio padrão da média da amostra é chamado de erro padrão da média (*s.e.m.*). A relação matemática entre o desvio padrão da população σ e a *s.e.m.* é dada pela Equação 3.3

$$s.e.m. = \sigma / \sqrt{n} \quad (3.3)$$

Por este motivo, é proveitoso o cálculo de um intervalo numérico no qual se esteja certo, com uma dada probabilidade, que o valor real da quantidade de interesse estará dentro dos limites propostos. Este intervalo é chamado de intervalo de confiança.

Assumindo que a quantidade de interesse é descrita por uma distribuição normal com valor esperado μ e desvio padrão σ - como descrito na Figura 3.7 -, e certo número de conjunto de dados, 95% das médias das amostras estarão dentro de um intervalo expresso pela Equação 3.4.

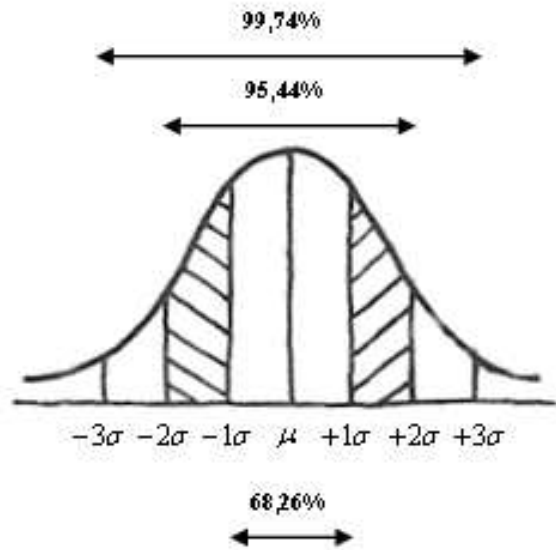


Figura 3.7: Área de distribuição normal cercada por valores de desvio-padrão.

$$\mu - 1,96(\sigma/\sqrt{n}) < \bar{x} < \mu + 1,96(\sigma/\sqrt{n}) \quad (3.4)$$

onde o valor 1,96 é o valor da quantidade da distribuição normal normalizada, correspondente a probabilidade de confiança selecionada (95%).

Na prática, entretanto, μ e σ são parâmetros desconhecidos e apenas um tem em mãos \bar{x} e $s(x)$, estimados de medições de amostras finitas. Então, a Equação 3.4 pode ser reescrita como descrito na Equação 3.5.

$$\bar{x} - 1,96[s(x)/\sqrt{n}] < \mu < \bar{x} + 1,96[s(x)/\sqrt{n}] \quad (3.5)$$

Para grandes conjuntos de amostras (com 30 amostras ou mais), $s(x)$ provê uma estimação suficientemente precisa de σ e, sendo assim, pode-se substituir σ nas primeiras equações. Porém, conforme o conjunto de amostras começa a diminuir, $s(x)$ passa a não fornecer uma boa estimação de σ . Levando em conta este fato, a Equação 3.5 pode ser adaptada para o descrito na Equação 3.6.

$$\bar{x} - t_{(n-1),(1-\alpha/2)}(s(x)/\sqrt{n}) < \mu < \bar{x} + t_{(n-1),(1-\alpha/2)}(s(x)/\sqrt{n}) \quad (3.6)$$

onde t é o valor da distribuição de t Student's para $(n - 1)$ grau de liberdade e probabilidade $(1 - \alpha/2)$. O termo $t_{(n-1),(1-\alpha/2)}(s(x)/\sqrt{n})$ é chamado de largura média h , e α é o erro permitido ao afirmar que o valor real da quantidade está contido no intervalo calculado.

Como pode-se perceber, três variáveis influenciam na largura do intervalo de confiança [28]:

1. O número de medições n ;
2. A probabilidade de confiança $(1 - \alpha)$, pré-definido pelo analista;
3. A variação $s(x)^2$ relacionada com o valor da quantidade medida.

A relação entre estas três variáveis é a seguinte [28]:

1. O maior número de medidas, o intervalo de confiança mais fechado (mantendo constantes as outras variáveis);
2. A maior probabilidade de confiança, a maior largura de intervalo de confiança (mantendo constantes as outras variáveis);
3. A maior variação, o mais largo intervalo de confiança (mantendo constantes as outras variáveis).

A variação relacionada com o valor medido é dependente de um conjunto de fatores imprevisíveis e incontrolláveis. Então, o analista está limitado a controlar somente alterações no número de medidas e na probabilidade de confiança desejada. Sendo assim, três situações definem a relação entre o número de medidas e a probabilidade de confiança [28]:

1. Se a probabilidade de confiança é constante, um maior número de medidas resultará em um intervalo de confiança mais fechado;
2. Se a largura do intervalo de confiança é constante, um maior número de medidas resultará em uma maior probabilidade de confiança;
3. Se o número de medidas é constante, uma maior probabilidade de confiança resultará em um intervalo de confiança mais largo.

3.5.3 Análise de QoS na Transmissão ADSL para os Cenários Típicos Brasileiros

Esta seção tem por objetivo explicitar a forma com que será feita a análise de QoS na transmissão ADSL sobre os cenários propostos pela Telebrás [3], descrevendo de que forma pretende-se estudar a influência do *splitter* na transmissão, bem como a influência do ruído impulsivo na tecnologia em questão.

- **Desempenho dos Cenários Telebrás sem *Splitter***

Com o intuito de estudar e comparar o desempenho do serviço ADSL, levando em consideração os enlaces típicos brasileiros propostos pela Telebrás, serão feitos experimentos considerando a configuração da Figura 3.5 com uma pequena modificação, pois nesse caso, não serão utilizados o *splitter* nem será gerado ruído no sistema, uma vez que deseja-se analisar os resultados obtidos de forma mais simplificada, considerando apenas o efeito do enlace local, que é o alvo do estudo em questão. Considerando as peculiaridades desta etapa do trabalho, chega-se à configuração de testes que se encontra ilustrada na Figura 3.8. Os resultados que serão obtidos nesta etapa do trabalho serão utilizados na fase de estudo do impacto do *splitter* no sistema em questão.

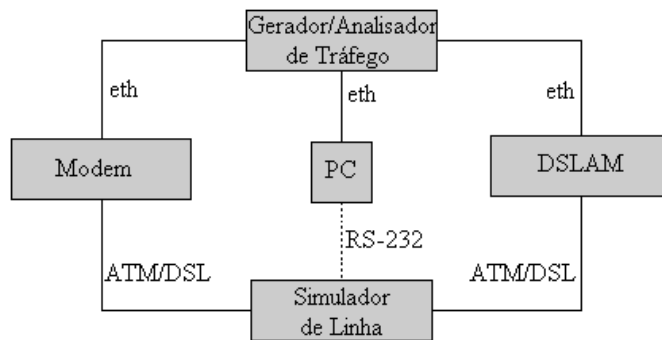


Figura 3.8: Configuração de testes para análise de QoS do serviço ADSL sem o *splitter*.

A partir de testes considerando a configuração apresentada na Figura 3.8, levando em conta as variáveis relacionadas na Seção 3.4, serão feitas análises e comparações entre os resultados obtidos de cada um dos cinco enlaces descritos na Seção 3.3.

- **Análise da Influência do *Splitter***

Visando evidenciar a influência do *splitter* na transmissão ADSL serão promovidos experimentos levando em conta a Figura 3.5 com uma modificação, haja vista que neste caso não será utilizado o gerador de ruído para assim facilitar a visualização de uma possível influência do *splitter*, pois neste caso serão considerados apenas os efeitos do enlace e os possíveis efeitos do *splitter*. A Figura 3.9 ilustra a configuração modificada de testes para o caso da análise do comportamento do *splitter*.

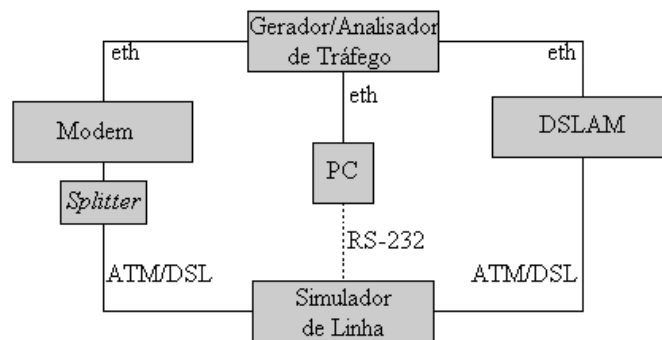


Figura 3.9: Configuração de testes para análise de QoS do serviço ADSL, considerando o impacto do *splitter*.

Como nesta etapa já será conhecido o resultado do estudo dos enlaces da Telebrás, será possível então fazer uma comparação entre esses resultados com os obtidos com a configuração incluindo o *splitter*, para então poder afirmar se existe ou não alguma influência do *splitter* sobre o sistema. Lembrando que, por definição, o *splitter* deve ser o mais transparente quanto possível para o sistema, uma vez que seu papel é de apenas separar os sinais de voz dos sinais de dados, respectivamente, POTS e ADSL.

• Análise da Influência do Ruído Impulsivo

Primando por investigar a influência do ruído impulsivo na transmissão ADSL serão promovidos experimentos levando em consideração, na íntegra, a configuração ilustrada na Figura 3.5, pois uma vez que já se terá investigado a influência do enlace e do splitter na referida transmissão, será possível então, a partir da análise das variáveis propostas na Seção 3.4 evidenciar os efeitos do ruído impulsivo para os sistemas ADSL. Assim, a idéia é que a partir da análise e comparação dos resultados obtidos, considerando todas as configurações de testes propostas até este momento, se possa caracterizar o impacto causado pelo ruído impulsivo para os diferentes cenários do padrão Telebrás.

3.5.4 Mapeamento das Condições Técnicas de Transmissão para a Visão Analítica do Usuário - QoE

As estimativas de mercado indicam que QoE será um importante fator para o sucesso de serviços do tipo *triple play* e se espera que seja um diferencial no que diz respeito aos serviços competitivos oferecidos. Tendo isso em mente foi que se decidiu fazer o estudo do impacto do ruído impulsivo para o usuário final, objetivando assim fazer um paralelo entre os impactos

causados em nível de pacotes (QoS) e o que é perceptível para o usuário (QoE). Pensando nisso, decidiu-se por se fazer alguns testes envolvendo a qualidade do vídeo na presença de ruído.

Como sabe-se, o árbitro final da qualidade de um vídeo é o espectador humano. O alvo final de qualquer serviço de entrega de vídeo é que o consumidor receba um vídeo com imagens de alta qualidade. Cada vez mais, os consumidores estão se tornando juízes mais severos no que diz respeito a qualidade de vídeos, com serviços de DVDs como referência juntamente com a alta taxa de migração para TVs de alta resolução. Assim, a avaliação subjetiva usando espectadores humanos para medir a qualidade de vídeo pode promover a avaliação mais precisada qualidade de vídeo sob a perspectiva dos consumidores dos serviços de um provedor.

O QoE da qualidade de um vídeo pode ser medido de três formas:

- Subjetivamente, usando um experimento de visão controlada e com participantes que classificarão a qualidade do serviço de acordo com as escalas de MOS;
- Objetivamente na camada de serviço - usando equipamentos de testes eletrônicos para medir vários aspectos da qualidade global do sinal de vídeo (PSNR, por exemplo);
- Indiretamente - usando medidas de faltas na rede (perda, atraso, *jitter*, duração de um defeito) para estimar o impacto na qualidade do vídeo, em que existe uma relação estabelecida entre QoE e QoS.

Neste trabalho, será estudado o impacto do ruído impulsivo para o usuário final, após uma análise de desempenho do sistema na presença deste tipo de ruído, objetivando assim observar a relação entre esses dois mecanismos de análise da qualidade do serviço prestado. Serão realizados basicamente três testes envolvendo tráfego de vídeo em uma rede ADSL experimental montada em laboratório, sendo assim um ambiente controlado o suficiente para se observar os possíveis impactos causados pelo ruído. Assim, os testes a serem realizados são:

- Utilização de um serviço de video conferência, por meio do software *Skype* [29], que além de video também utiliza o serviço de VoIP;
- Acesso a sites de video, com uso de *buffer* no carregamento dos videos (será usada a página do YouTube neste caso) [30], bem como um de transmissão sobre demanda (será usada página da CNN neste caso) [31];
- Análise do impacto de jogos em rede (neste caso será usado o jogo *Wolfeinstein: Enemy Territory*).

O objetivo é classificar o serviço via MOS para diferentes perfis de ruído do tipo REIN, fazendo uso do conhecimento da análise de QoS a ser realizada, objetivando um mapeamento de algumas variáveis de QoS que afetem diretamente a experiência do usuário final.

3.6 Conclusões

Este capítulo buscou esclarecer os métodos utilizados nos experimentos considerando o impacto causado pelo *splitter* tanto a nível físico, através da medição de grandezas como função de transferência, impedância de entrada e TDR, quanto a nível de desempenho do serviço prestado. Após se evidenciar as configurações de testes utilizadas, variáveis a serem medidas, cenários utilizados e modelo de ruído utilizado nos experimentos, procurou-se estabelecer uma metodologia para realização dos experimentos, principalmente no que diz respeito aos testes de desempenho do sistema (que é o foco principal deste trabalho), passando pelo tratamento dos dados medidos, em que se utilizou métodos como o teste de Dixon, para testar a coerência das medições, e o cálculo do intervalo de confiança, para validar as medições realizadas. Por fim, mostrou-se de que forma pretende-se chegar a uma análise do impacto do *splitter* e do ruído impulsivo via parâmetros técnicos (QoS), bem como por meio da percepção que o usuário tem do sistema (QoE). Assim, o próximo passo é a análise dos resultados obtidos a partir dos experimentos realizados.

Capítulo 4

Apresentação e Análise dos Resultados

4.1 Introdução

Este capítulo tem o intuito de destacar a análise e os resultados obtidos referentes aos impactos causados pelo *splitter* e pelo ruído impulsivo no sistema ADSL. Com respeito à influência do *splitter*, serão analisados resultados referentes a:

- Grandezas medidas na camada física, tais como função de transferência, impedância de entrada e TDR;
- Variáveis em nível de pacotes, tais como taxa de pacotes, perda de pacotes, latência e taxa de bits, proporcionando assim uma análise de QoS do sistema.

Após a fase de análise da influência do *splitter* será feita a análise do impacto do ruído impulsivo para transmissões ADSL. Esta fase de análise levará em conta dois métodos de análises que estão relacionados entre si, sendo eles:

- A análise de QoS do sistema, que considera medições de variáveis em nível de pacotes, tais como taxa de pacotes, perda de pacotes, latência e taxa de bits;
- Análise do impacto do ruído impulsivo a partir da perspectiva do usuário, fazendo uso de parâmetros subjetivos (QoE).

4.2 Análise do Impacto do *Splitter* na Camada Física

Nesta seção serão mostrados os resultados obtidos a partir das medições da função de transferência, TDR e impedância de entrada, que foram realizadas com o *splitter*. Após mostrar os resultados obtidos na campanha de medições serão mostradas as conclusões obtidas a partir da análise dos mesmos.

4.2.1 Impedância de Entrada e TDR

- 500 Metros

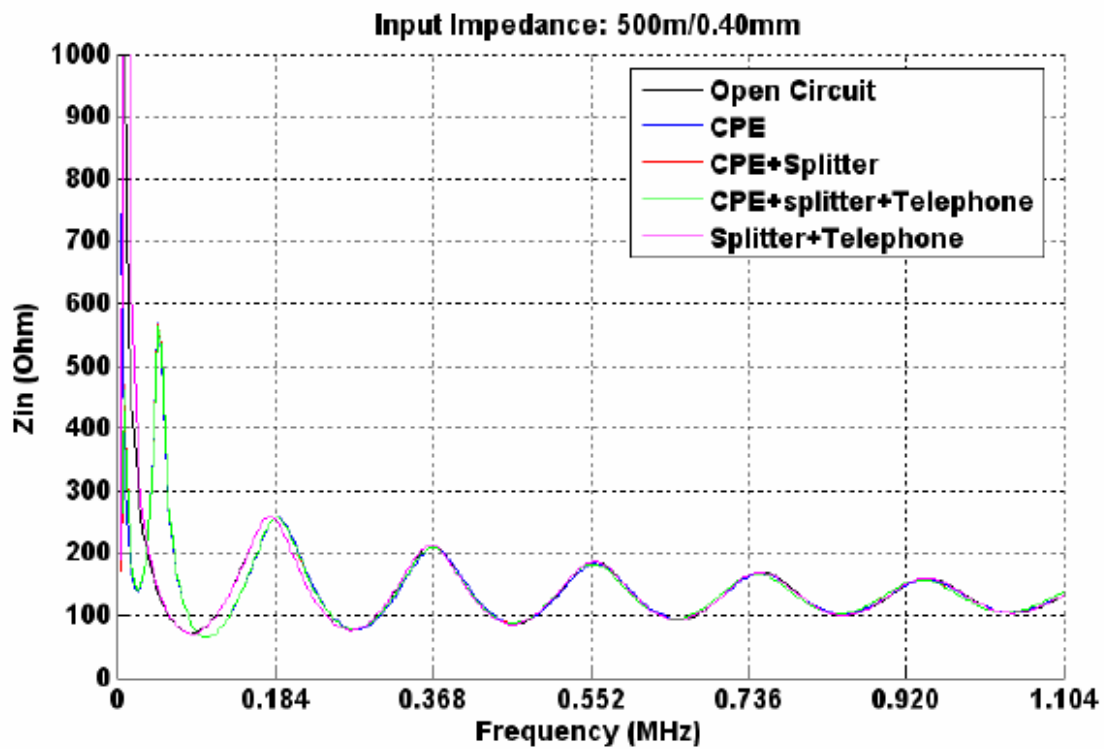


Figura 4.1: Impedância de entrada para 500 metros e bitola 0.40 mm.

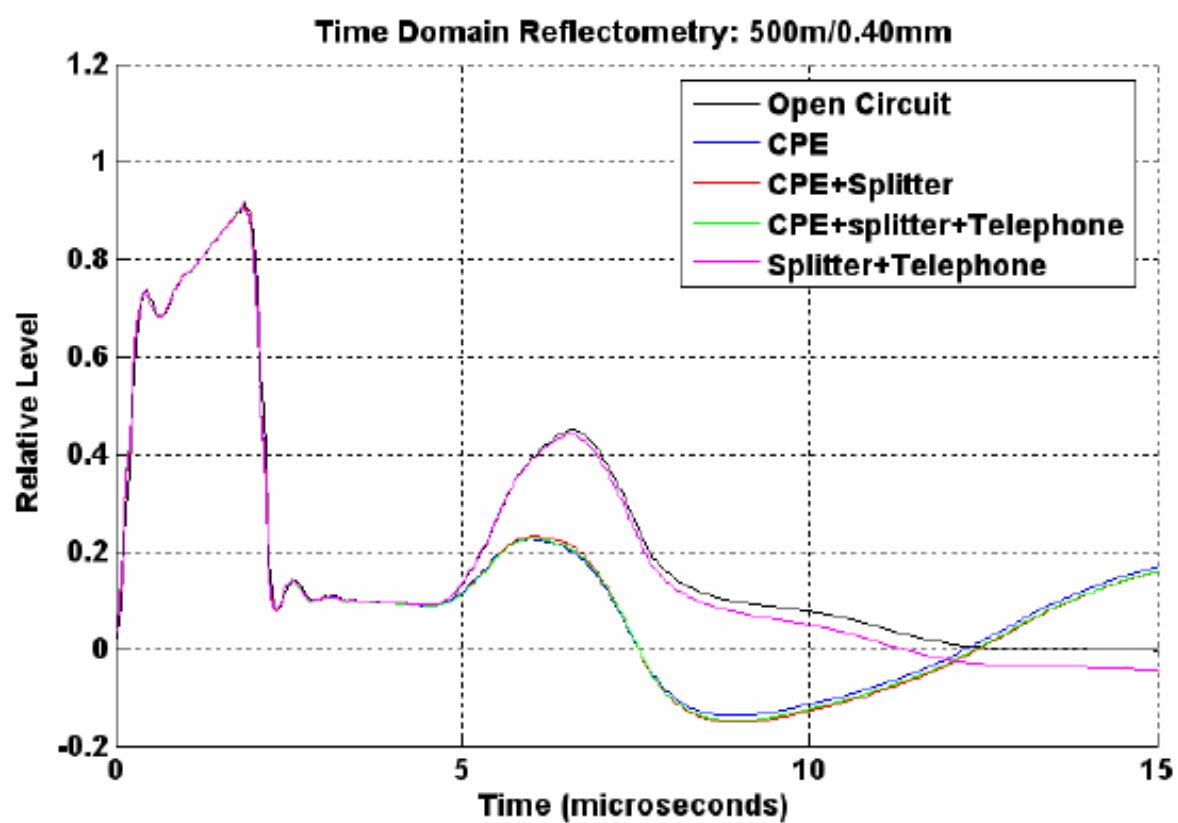


Figura 4.2: TDR para 500 metros e bitola 0.40 mm.

- 1000 Metros

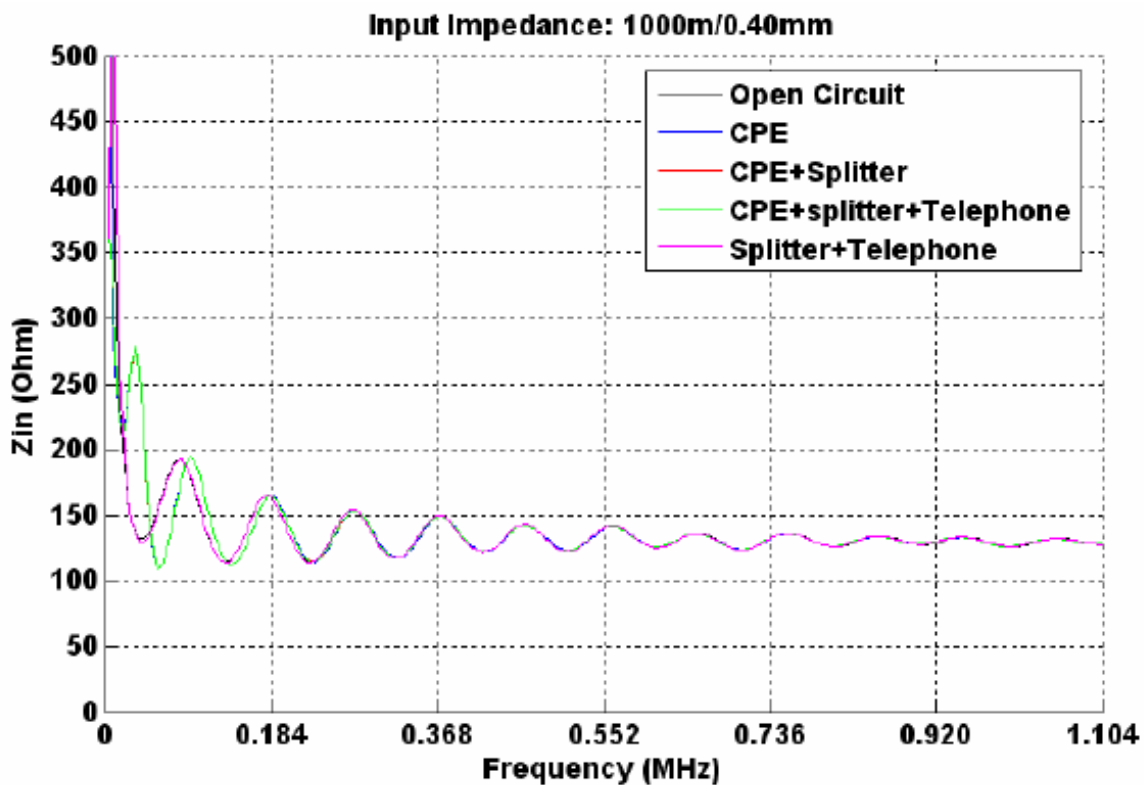


Figura 4.3: Impedância de entrada para 1000 metros e bitola 0.40 mm.

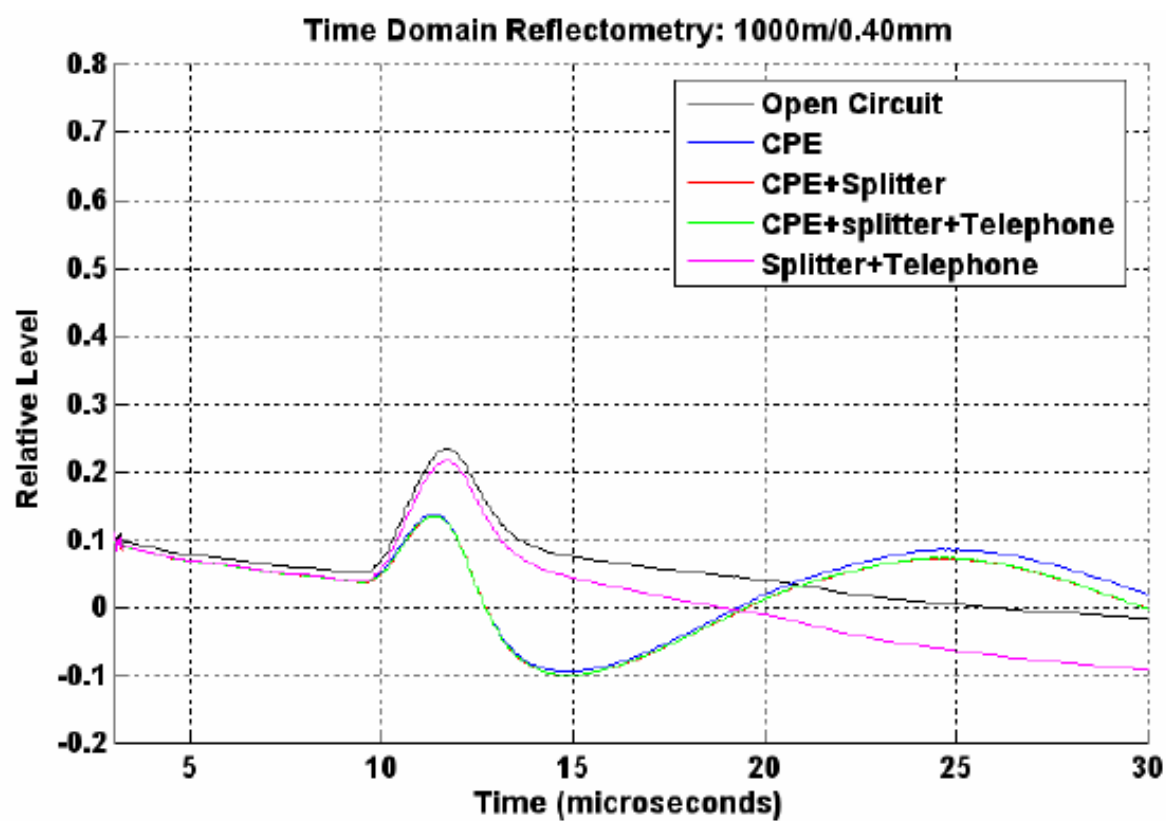


Figura 4.4: TDR para 1000 metros e bitola 0.40 mm.

- 1500 Metros

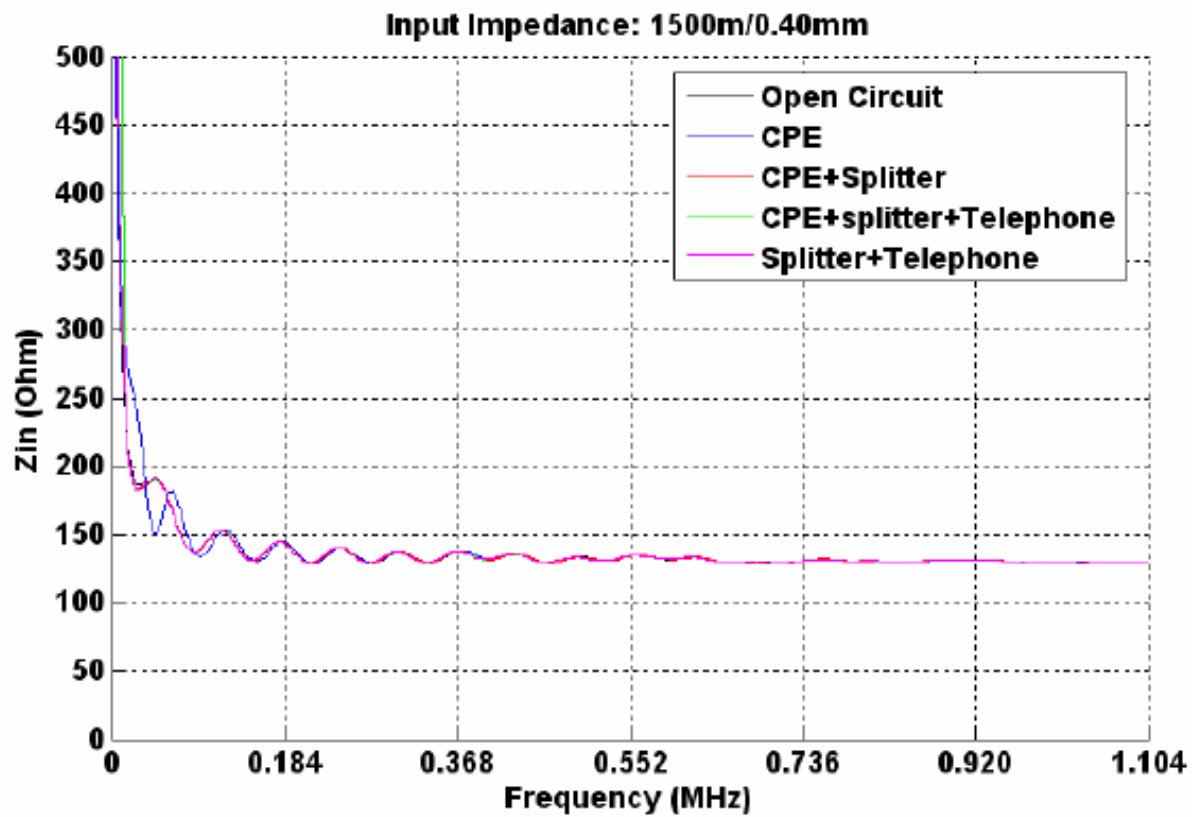


Figura 4.5: Impedância de entrada para 1500 metros e bitola 0.40 mm.

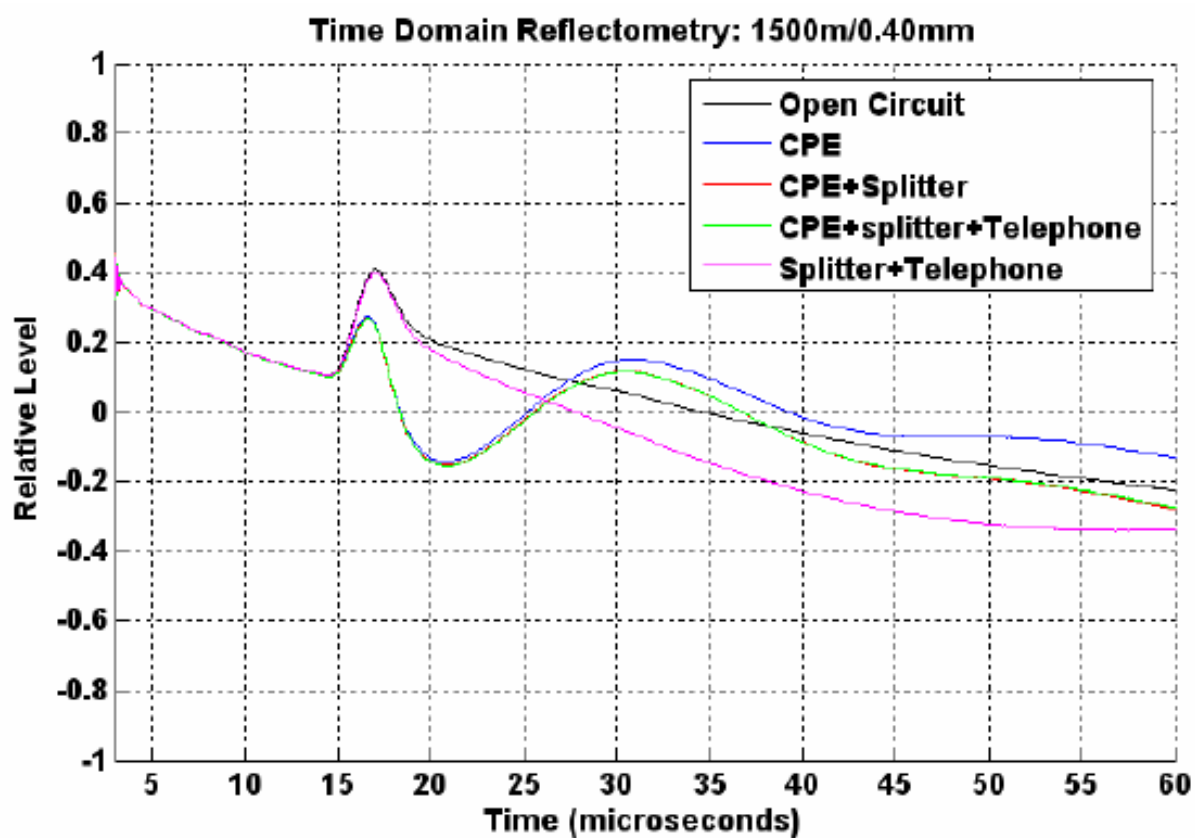


Figura 4.6: TDR para 1500 metros e bitola 0.40 mm.

4.2.2 Função de Transferência

- 500 Metros

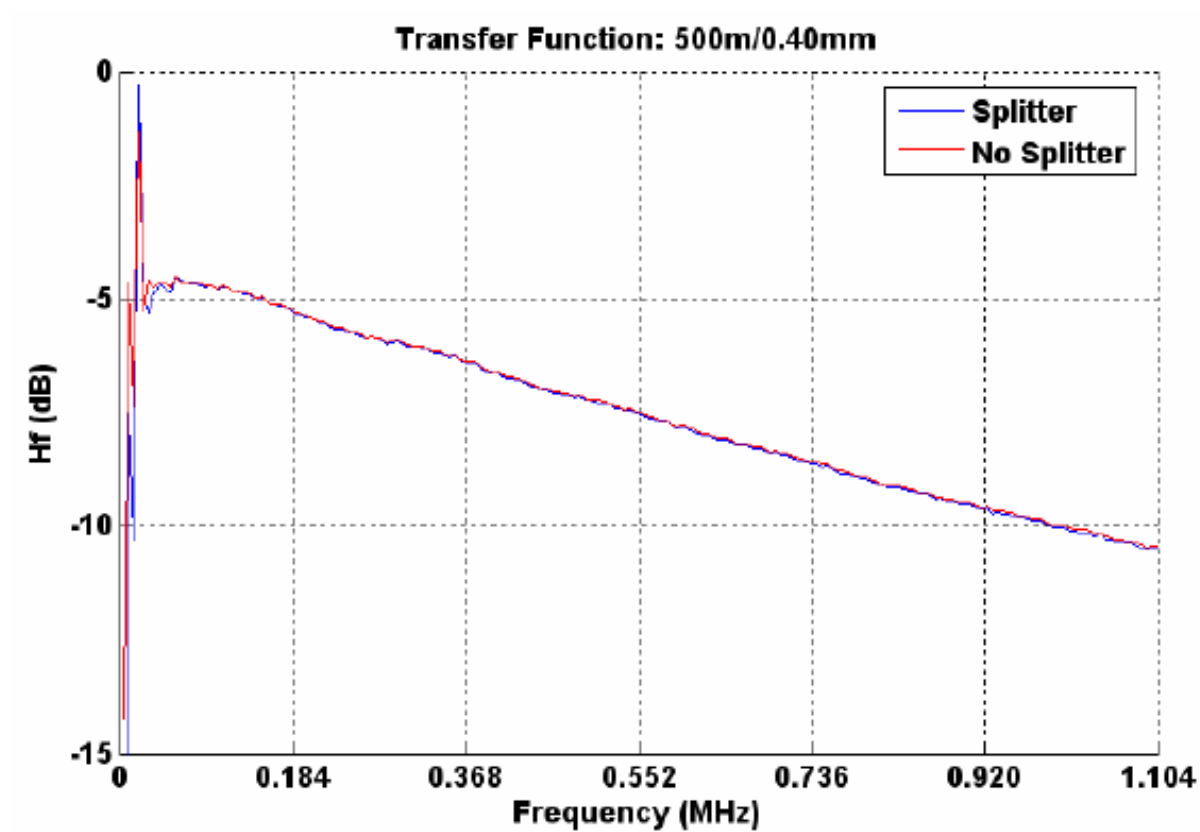


Figura 4.7: Função de transferência para 500 metros e bitola 0.40 mm.

- 1000 Metros

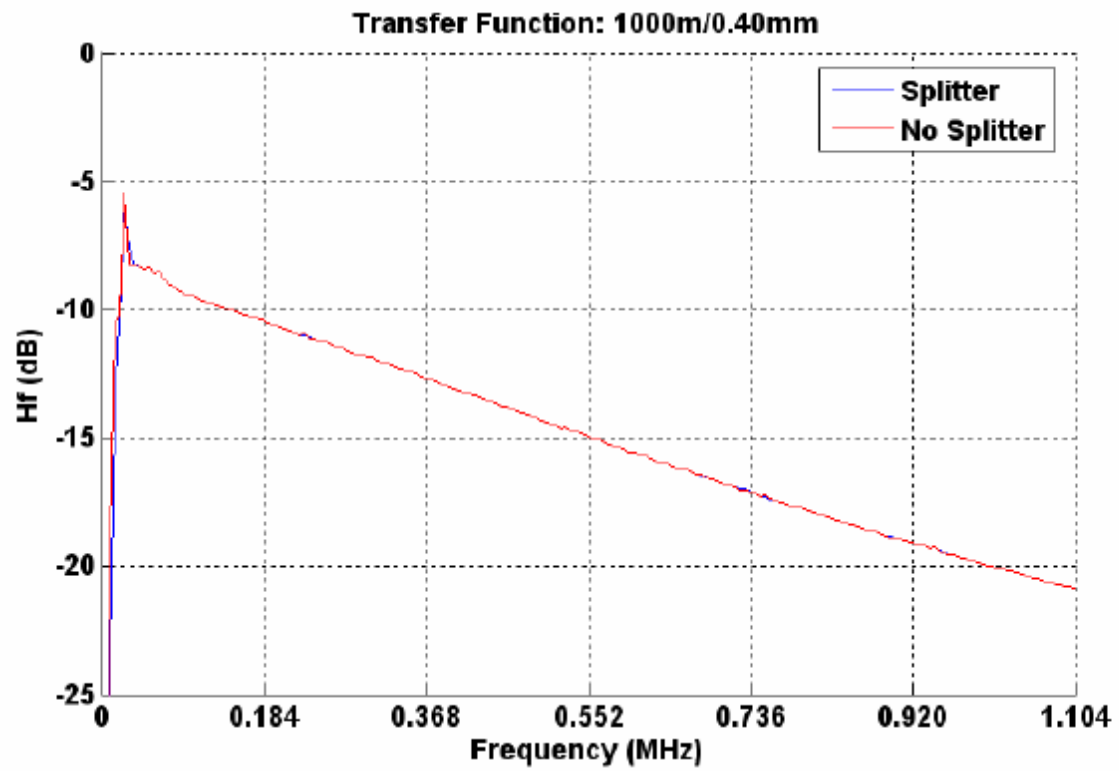


Figura 4.8: Função de transferência para 1000 metros e bitola 0.40 mm.

- 1500 Metros

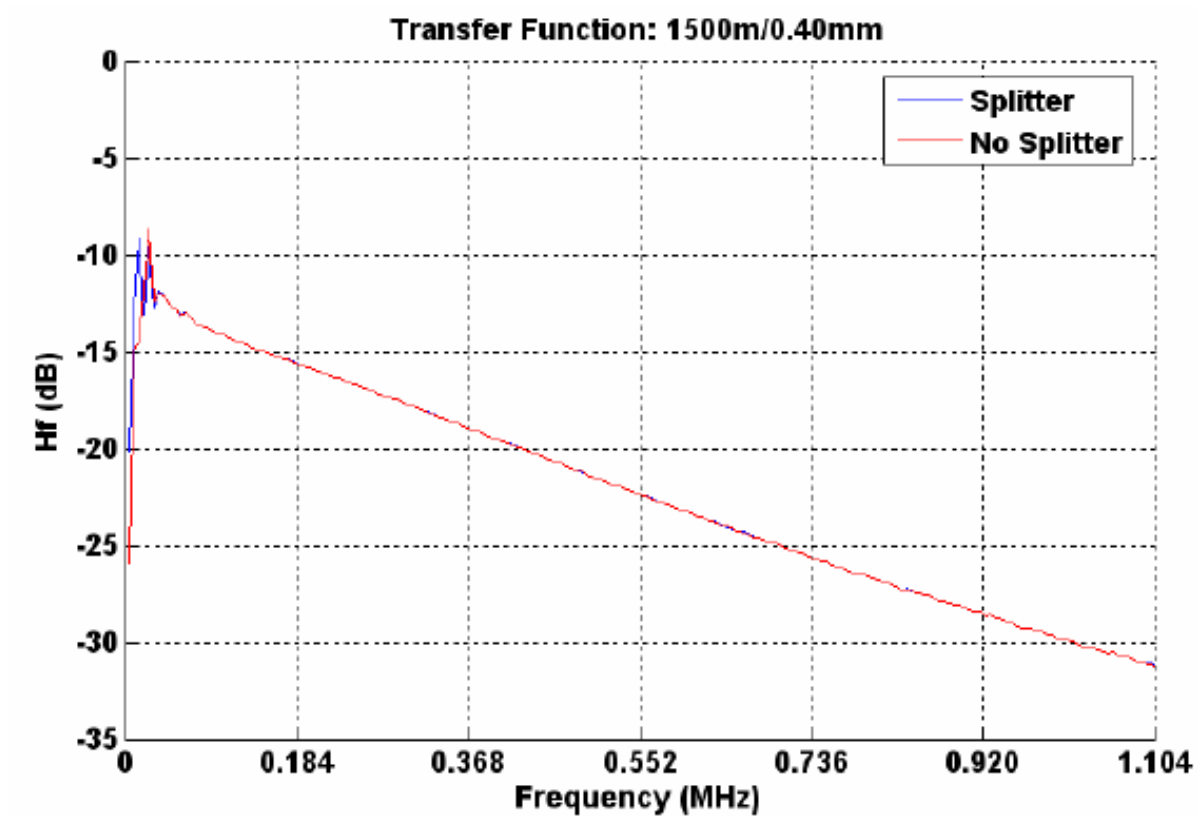


Figura 4.9: Função de transferência para 1500 metros e bitola 0.40 mm.

4.2.3 Análise dos Resultados

De acordo com os resultados obtidos a partir das medições realizadas, tendo o *splitter* como o equipamento em teste (DUT - *Device Under Test*), torna-se claro que a influência mais perceptível nas características do enlace foi evidenciada nos testes de impedância de entrada e TDR para a banda referente ao ADSL. Via análise dos gráficos obtidos, percebe-se que ocorreu um descasamento de impedância bastante evidente causado pelo CPE. Tal conclusão pode ser obtida, pois as curvas que apresentaram tal descasamento foram as que estavam com o CPE em sua configuração. Tal afirmação pode ser considerada coerente porque analisando-se as curvas com a configuração *splitter* + telefone pode-se perceber que as mesmas tendem a acompanhar a curva com terminação em circuito aberto, fato que também é coerente com a literatura, haja vista que os testes foram feitos com o fone no gancho, o que deixa o comportamento da terminação similar ao da terminação em aberto, como pode ser visto em [32]. Sendo assim, pode-se concluir que o DUT, neste caso o *splitter*, está trabalhando de forma correta, pois o mesmo pode ser considerado transparente à linha, uma vez que não causa mudanças significativas nas características da mesma. A análise feita sobre os resultados dos testes de TDR e impedância de entrada pode então ser considerada coerente com os resultados obtidos para função de transferência, pois como foi visto, as configurações com *splitter* tenderam a acompanhar os resultados com a terminação em circuito aberto, o que confirma que neste caso o *splitter* pode ser considerado imperceptível para o enlace a nível de camada física. Uma análise completa do estudo realizado aqui pode ser vista em [33].

4.3 Análise do Impacto do *Splitter* na Transmissão ADSL

Esta seção tem por objetivo destacar os resultados dos experimentos realizados para avaliação do impacto causado pelo *splitter* na transmissão ADSL. Os testes efetuados levaram em consideração variáveis a nível de pacotes sendo elas: taxa de pacotes, perda de pacotes, taxa de bits e latência. Foram gerados diversos resultados considerando os cinco enlaces tipicamente brasileiros, nas configurações *com* e *sem splitter*. Porém, neste trabalho serão mostrados apenas os resultados mais relevantes para as conclusões dos experimentos.

Nesta análise não são considerados os resultados referentes a pacotes perdidos, pois para a largura de banda configurada (600 kbps para *downstream* e 150 kbps para *upstream*) não houve nenhuma ocorrência de pacotes perdidos ou as mesmas foram irrisórias, a ponto de poderem ser desconsideradas nesta análise. Nesta análise também não serão apresentados

resultados referentes a taxa de bits, uma vez que tais resultados apresentam comportamento semelhante aos resultados obtidos referentes a taxa de pacotes, o que é coerente, uma vez que os pacotes possuem tamanho fixo de 1000 bytes para os experimentos realizados. Sendo assim, serão analisados resultados referentes a taxa de pacotes e latência para *upstream* e *downstream*, com e sem *splitter*.

4.3.1 Impacto do *Splitter* no *Upstream*

- Taxa de Pacotes

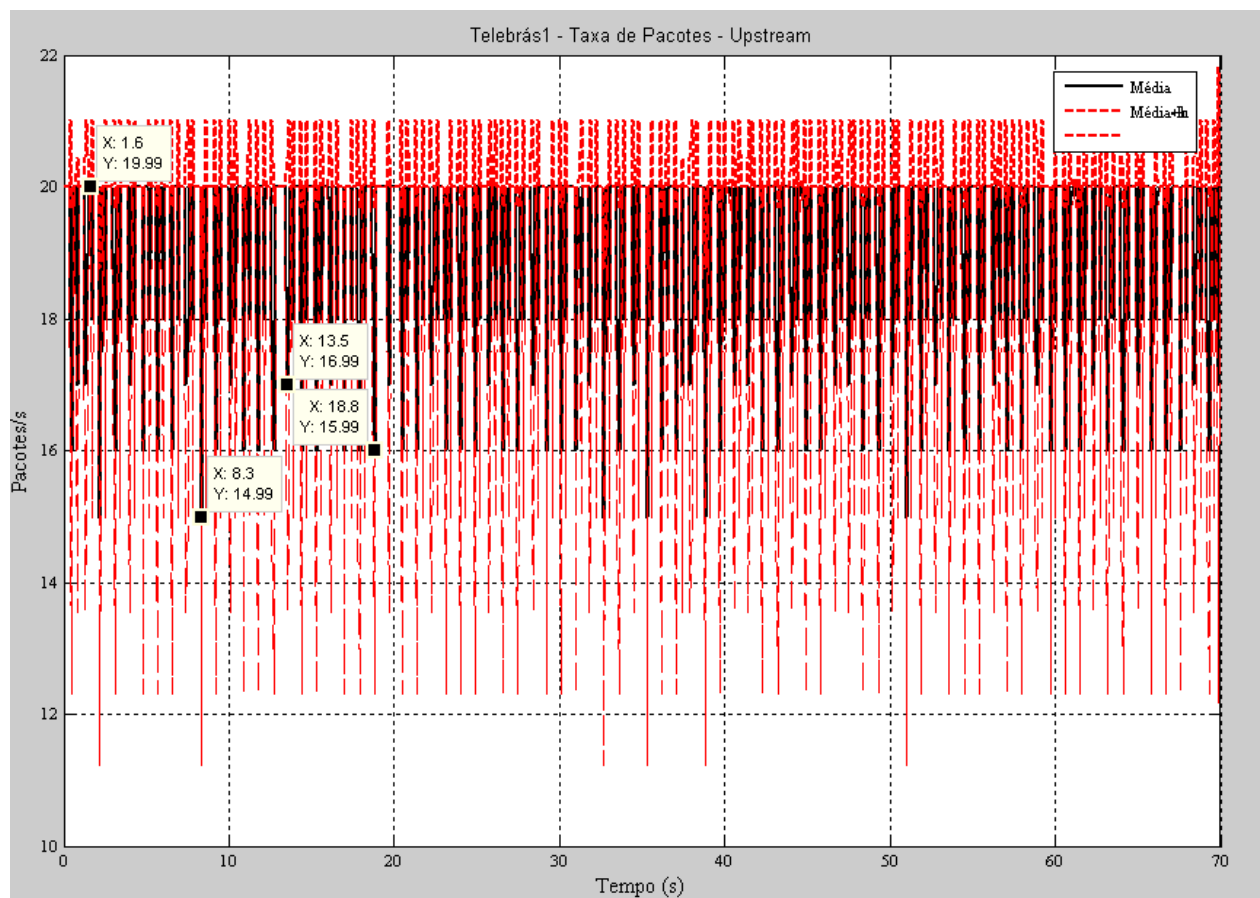


Figura 4.10: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 1 sem *splitter*.

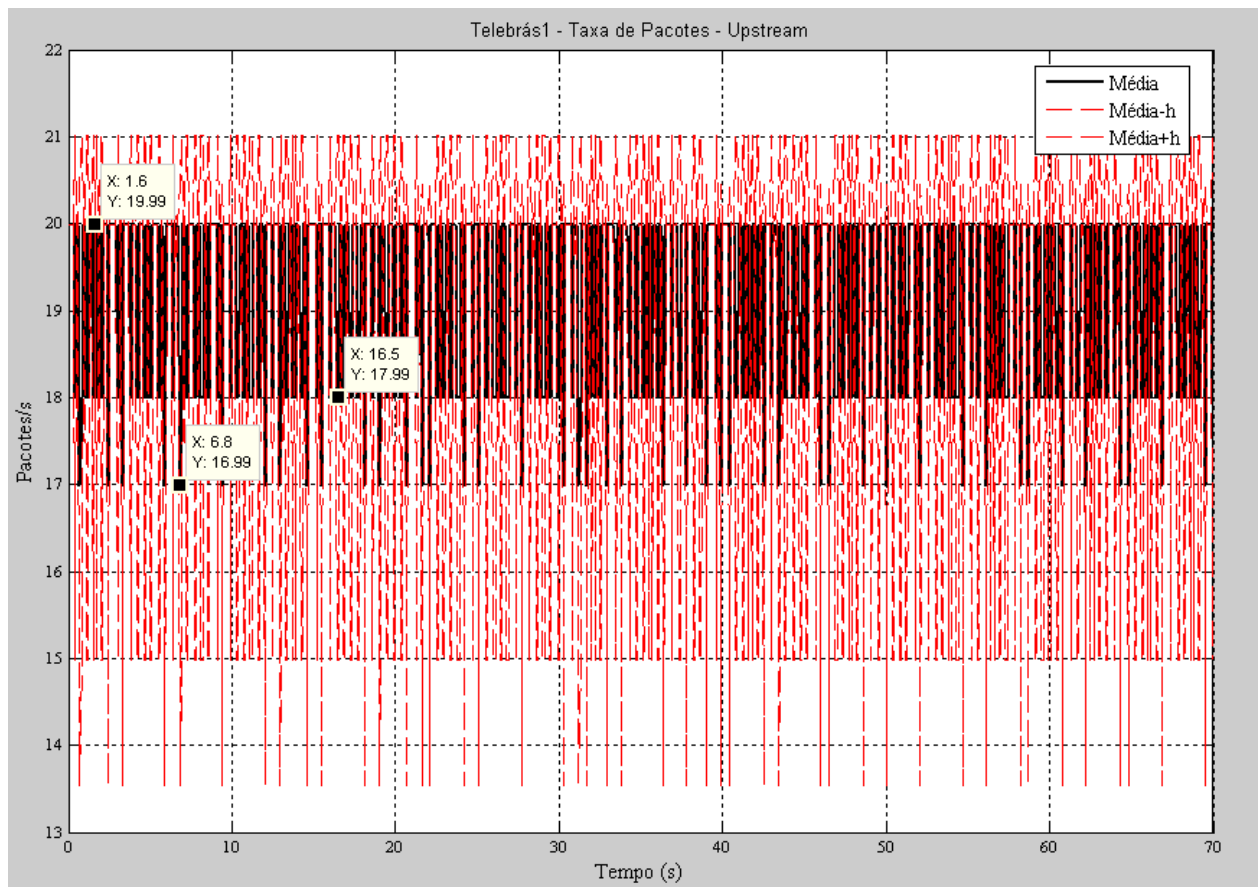


Figura 4.11: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 1 com *splitter*.

Analisando as Figuras 4.10 e 4.11 referentes ao enlace *Telebrás 1*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, nota-se que os valores máximos alcançados tendem a se manter em relação à transmissão realizada sem o *splitter*. Por outro lado, os valores mínimos da taxa de pacotes alcançados tendem a ser levemente superiores com a presença do *splitter*, caracterizando assim uma leve melhoria na qualidade do serviço. Também nota-se que a presença do *splitter* proporcionou uma leve suavização na variação da taxa de pacotes.

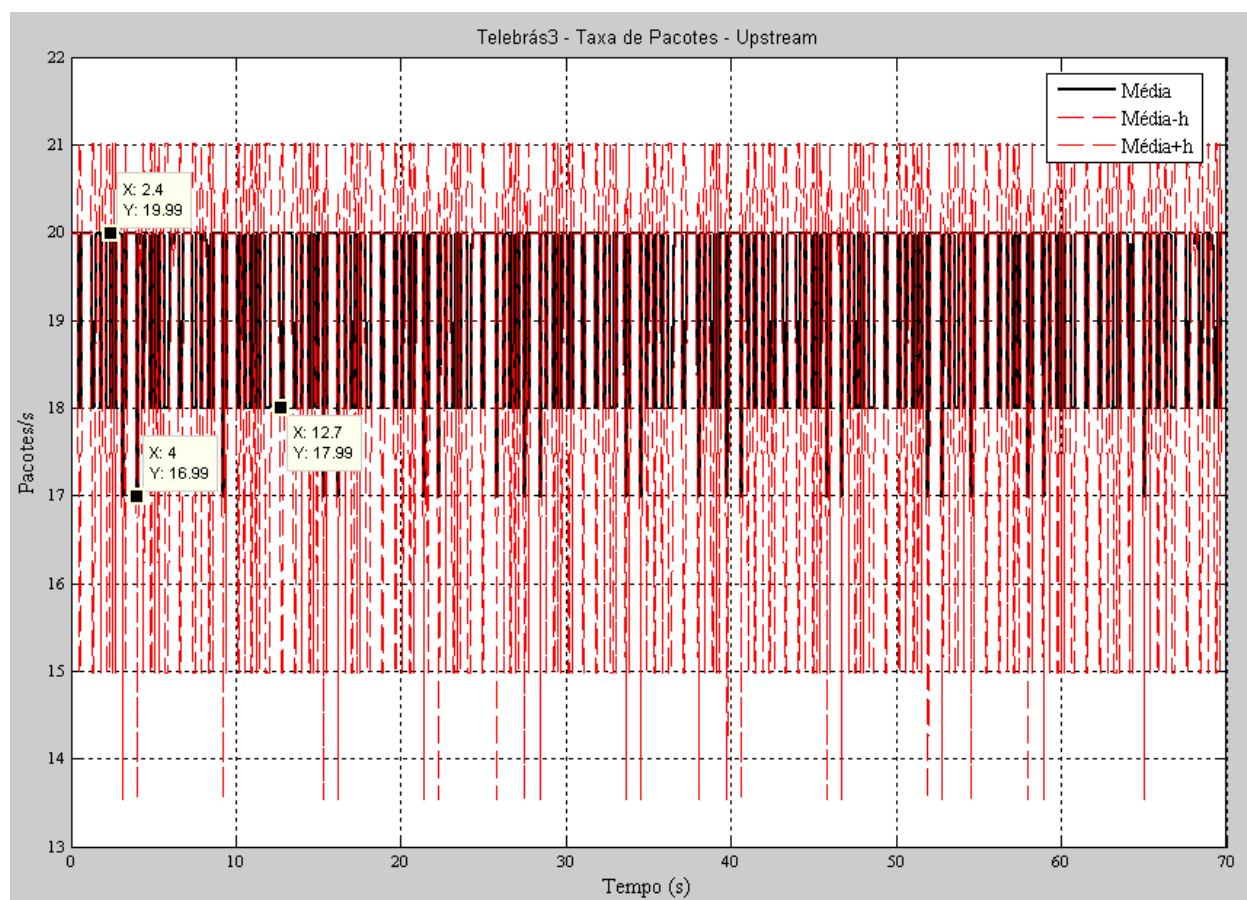


Figura 4.12: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 sem *splitter*.

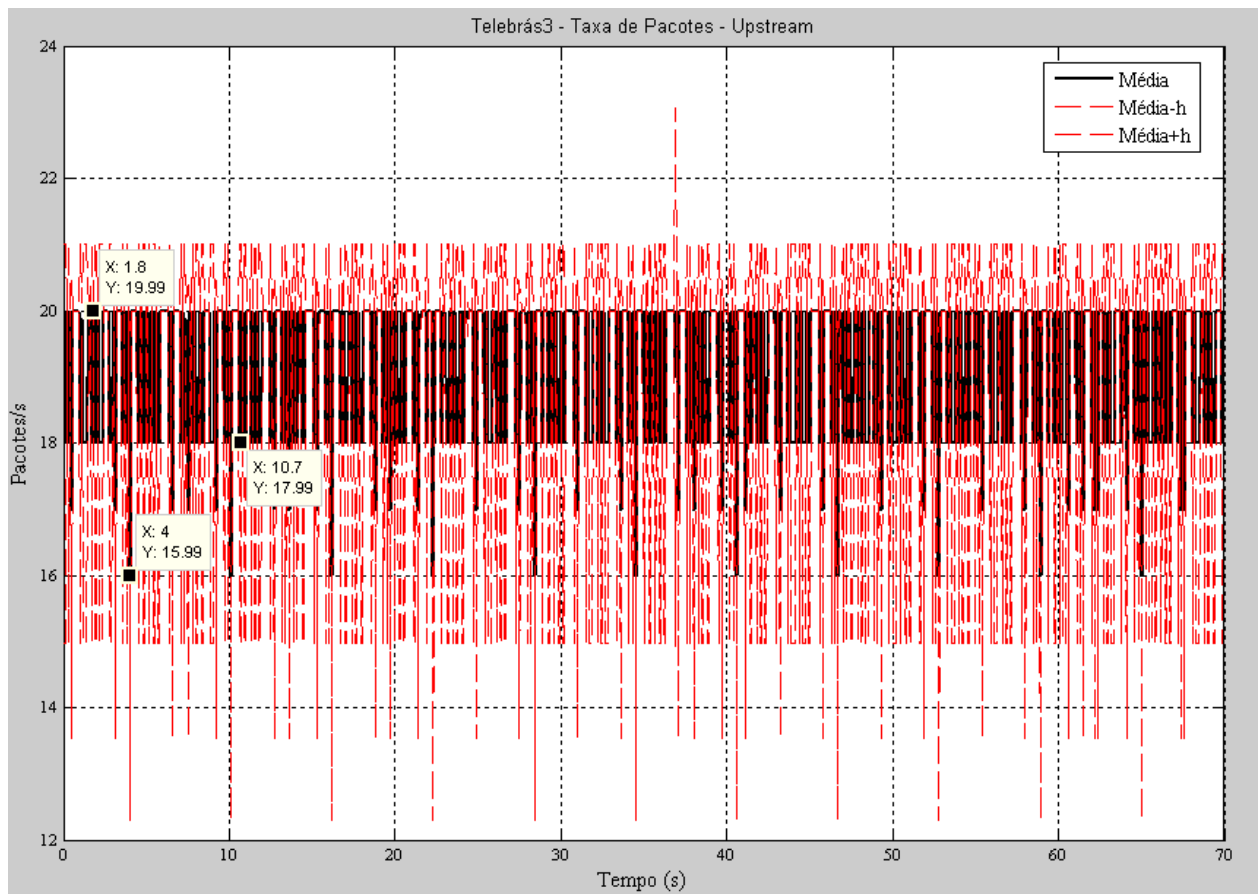


Figura 4.13: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 com *splitter*.

Analisando as Figuras 4.12 e 4.13 referentes ao enlace *Telebrás 3*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, verifica-se que os valores máximos alcançados tendem a se manter em relação à transmissão realizada sem o *splitter*. Por outro lado, os valores mínimos da taxa de pacotes alcançados tendem a ser levemente inferiores com a presença do *splitter*, caracterizando assim uma leve deterioração na qualidade do serviço. Também verifica-se que a presença do *splitter* proporcionou uma leve perturbação na variação da taxa de pacotes.

- Latência

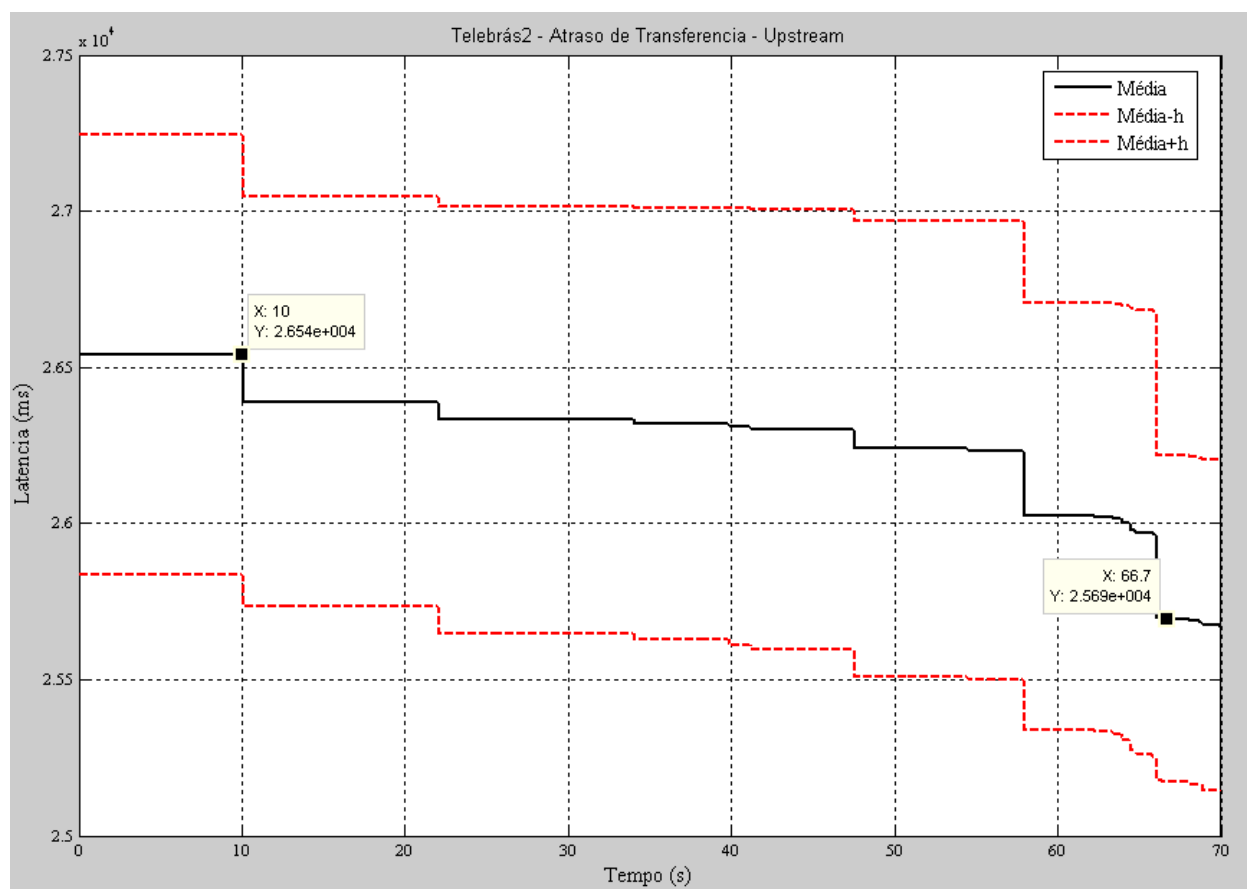


Figura 4.14: Latência para o enlace Telebrás 2 sem *splitter*.

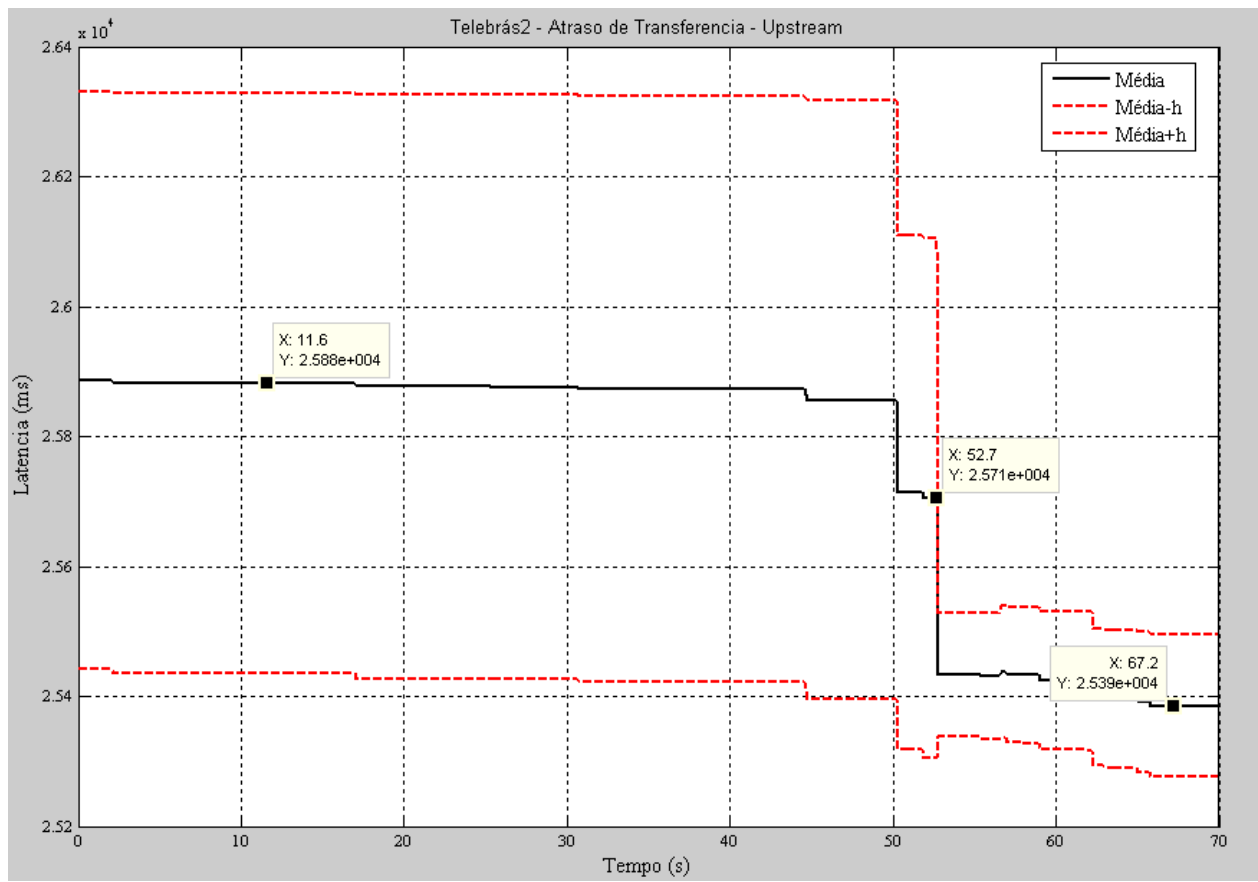


Figura 4.15: Latência para o enlace Telebrás 2 com *splitter*.

Analisando as Figuras 4.14 e 4.15 referentes ao enlace *Telebrás 2*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, nota-se que a latência tende a ser inferior quando comparada à latência sem a presença do *splitter*. Vale ressaltar, que este enlace é composto por uma única seção de cabo com bitola de 0,5 mm, quando a maioria dos enlaces Telebrás são formados por cabos de bitola 0,4 mm na totalidade das seções ou em sua grande maioria, e tais enlaces tendem a apresentar uma maior latência com inserção do *splitter*.

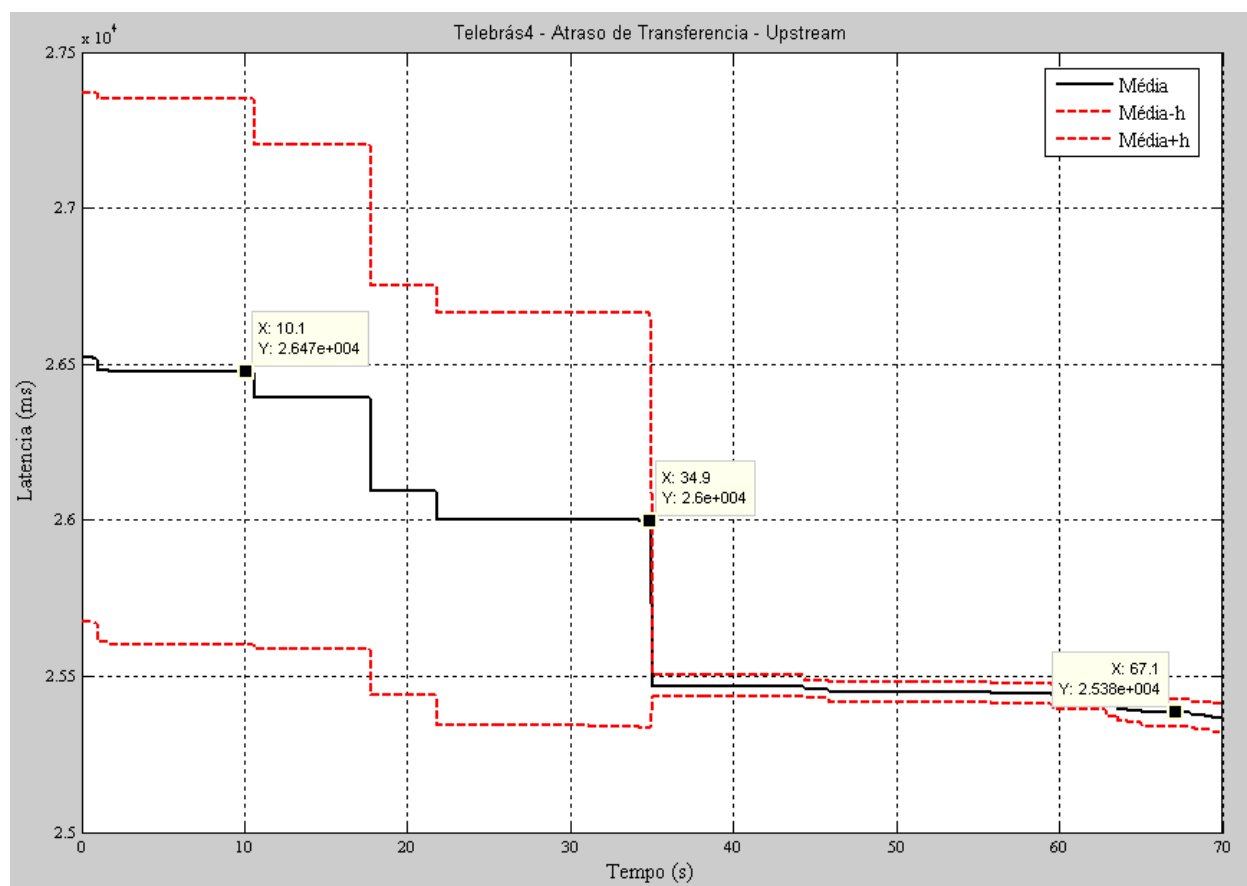


Figura 4.16: Latência para o enlace Telebrás 4 sem *splitter*.

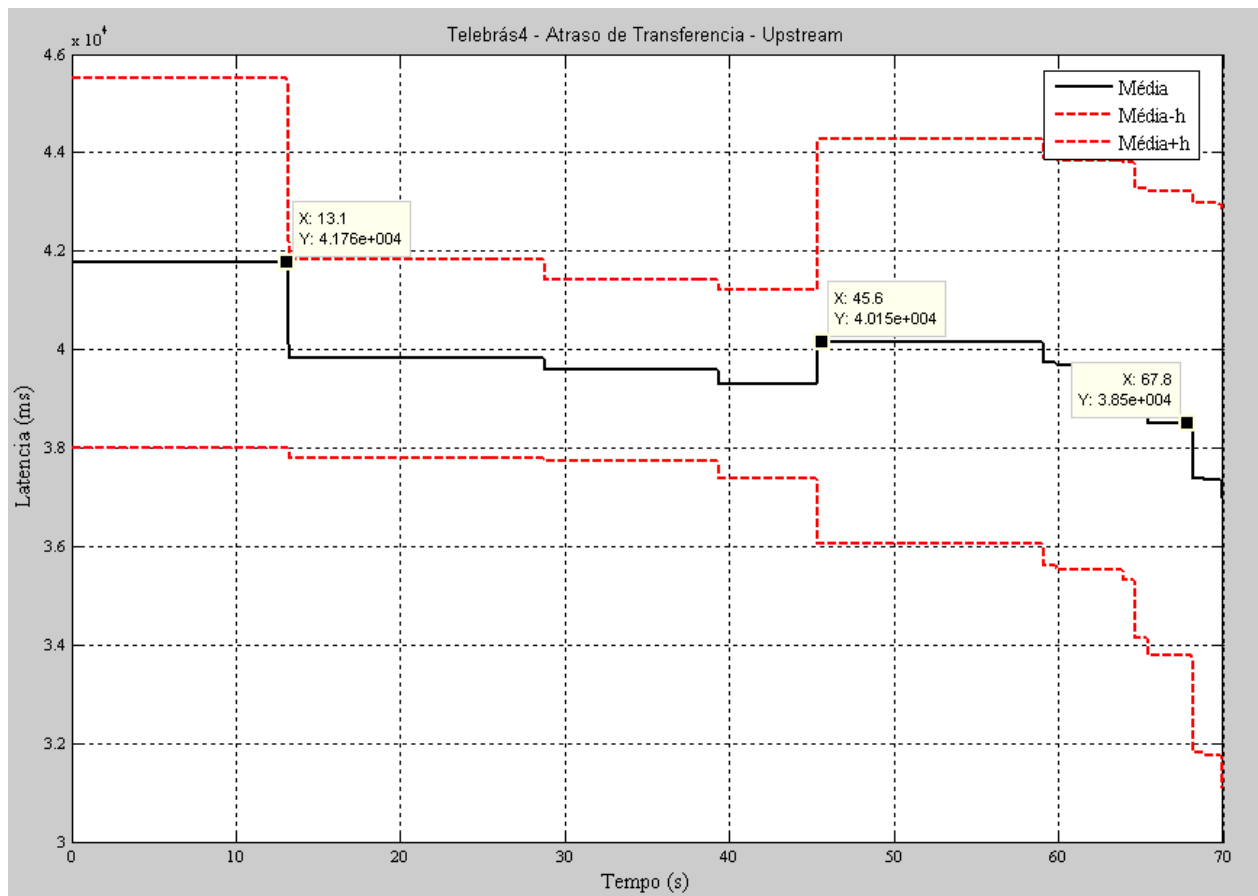


Figura 4.17: Latência para o enlace Telebrás 4 com *splitter*.

Analisando as Figuras 4.16 e 4.17 referentes ao enlace *Telebrás 4*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, nota-se que a latência tende a ser maior quando comparada aos valores obtidos sem a presença do *splitter*.

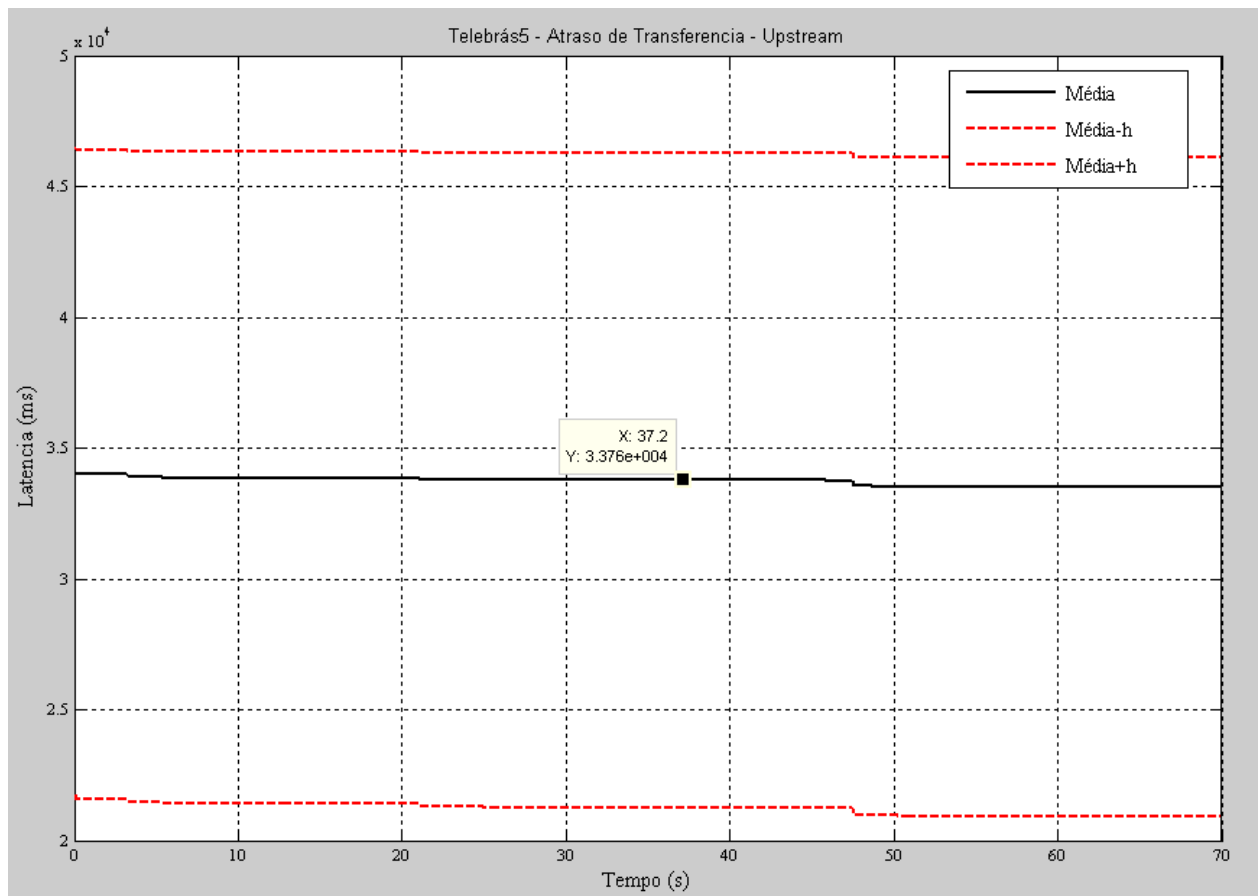


Figura 4.18: Latência para o enlace Telebrás 5 sem *splitter*.

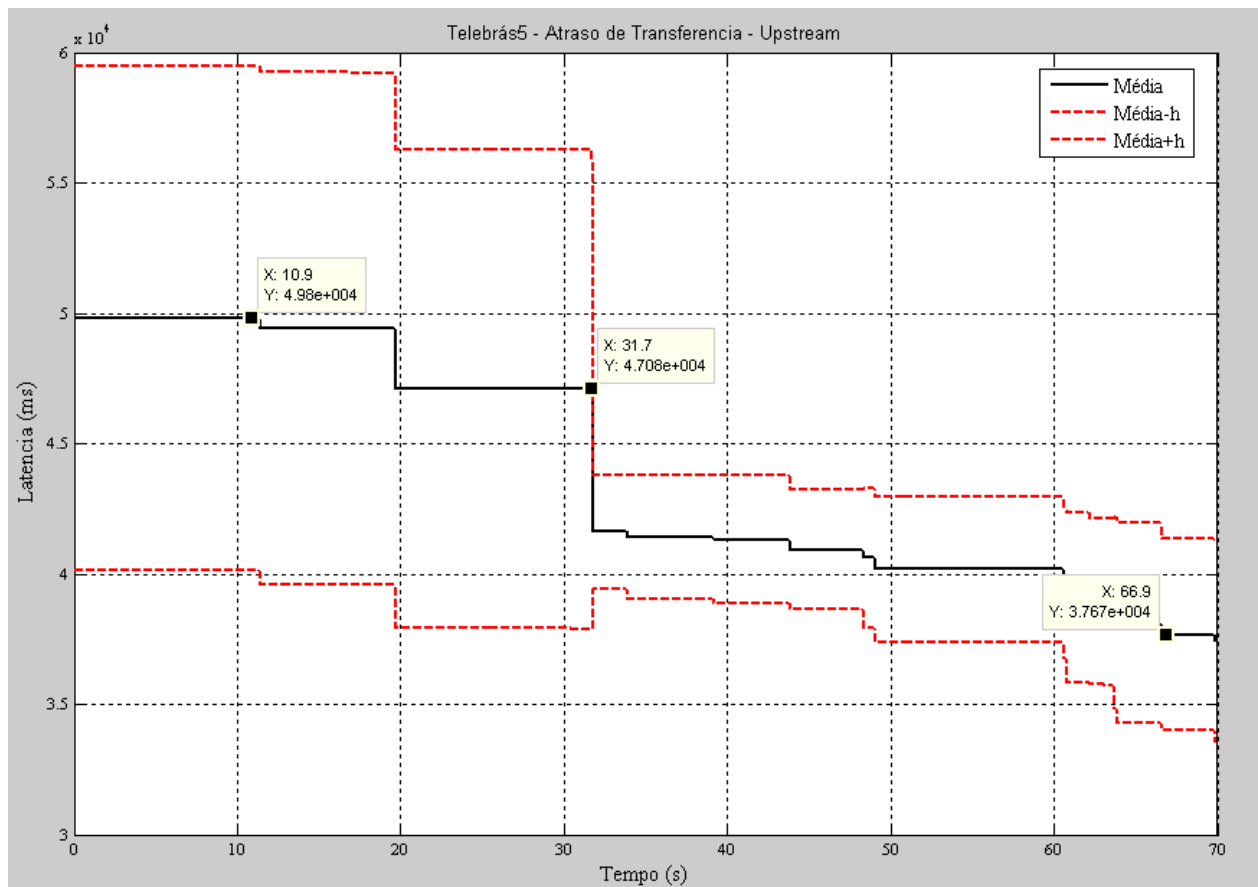


Figura 4.19: Latência para o enlace Telebrás 5 com *splitter*.

Analisando as Figuras 4.18 e 4.19 referentes ao enlace *Telebrás 5*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, verifica-se que a latência tende a ser bem maior quando comparada aos valores obtidos sem a presença do *splitter*, valor esse que vai caindo com passar do tempo até que se estabiliza.

4.3.2 Impacto do *Splitter* no *Downstream*

- Taxa de Pacotes

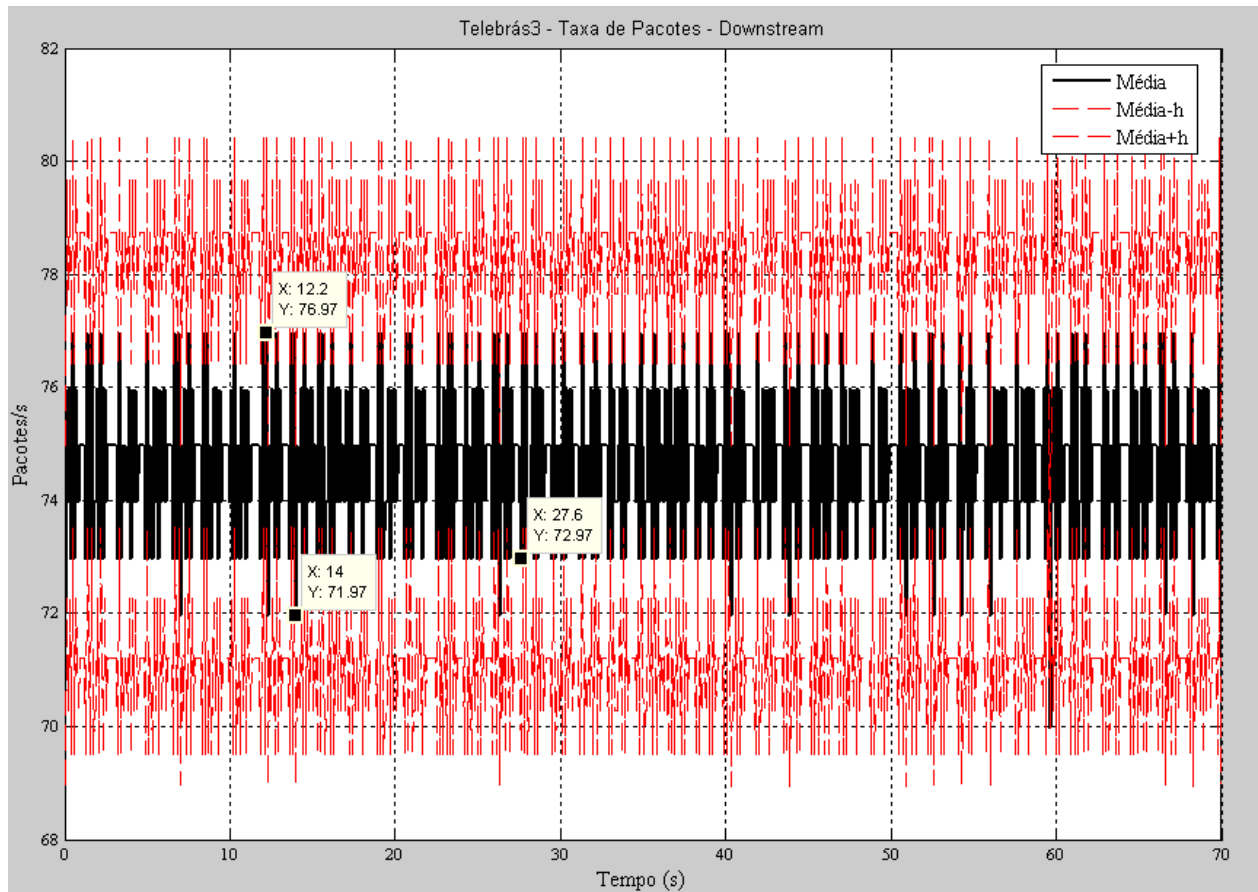


Figura 4.20: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 sem *splitter*.

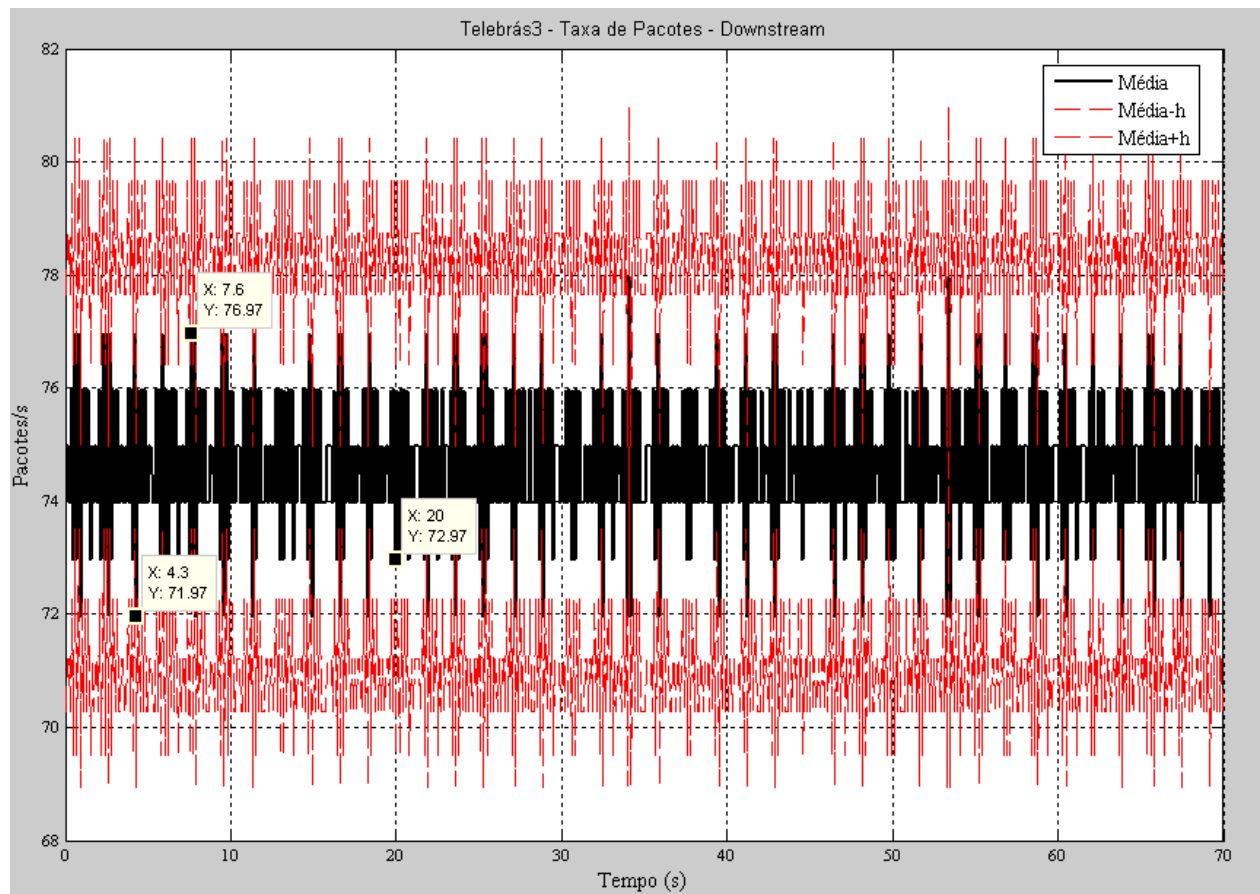


Figura 4.21: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 com *splitter*.

Observando as Figuras 4.20 e 4.21 referentes ao enlace *Telebrás 3*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, nota-se que os valores máximos alcançados tendem a se manter em relação à transmissão realizada sem o *splitter*, bem como os valores mínimos que também se mativeram, não influenciando assim na média geral da taxa de pacotes.

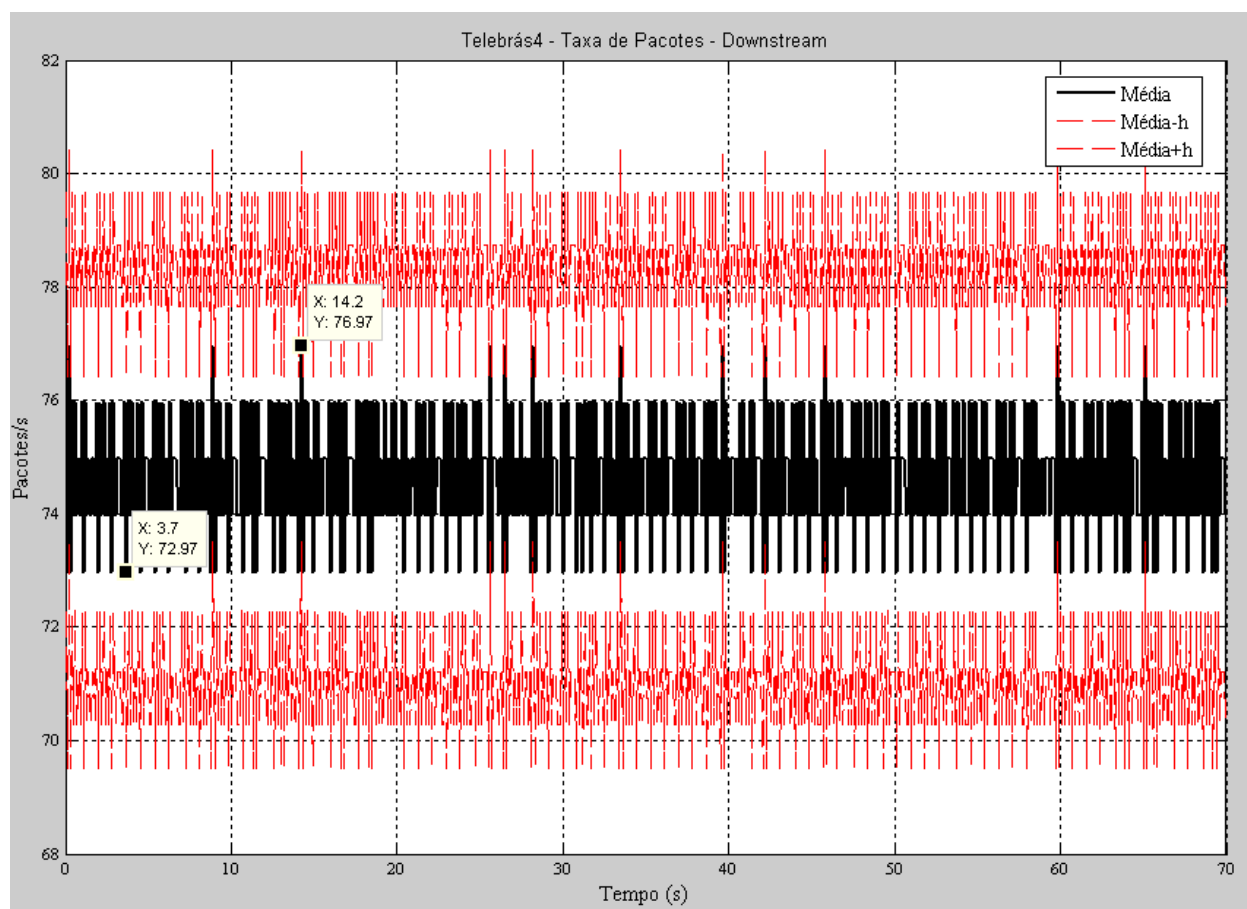


Figura 4.22: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 4 sem *splitter*.

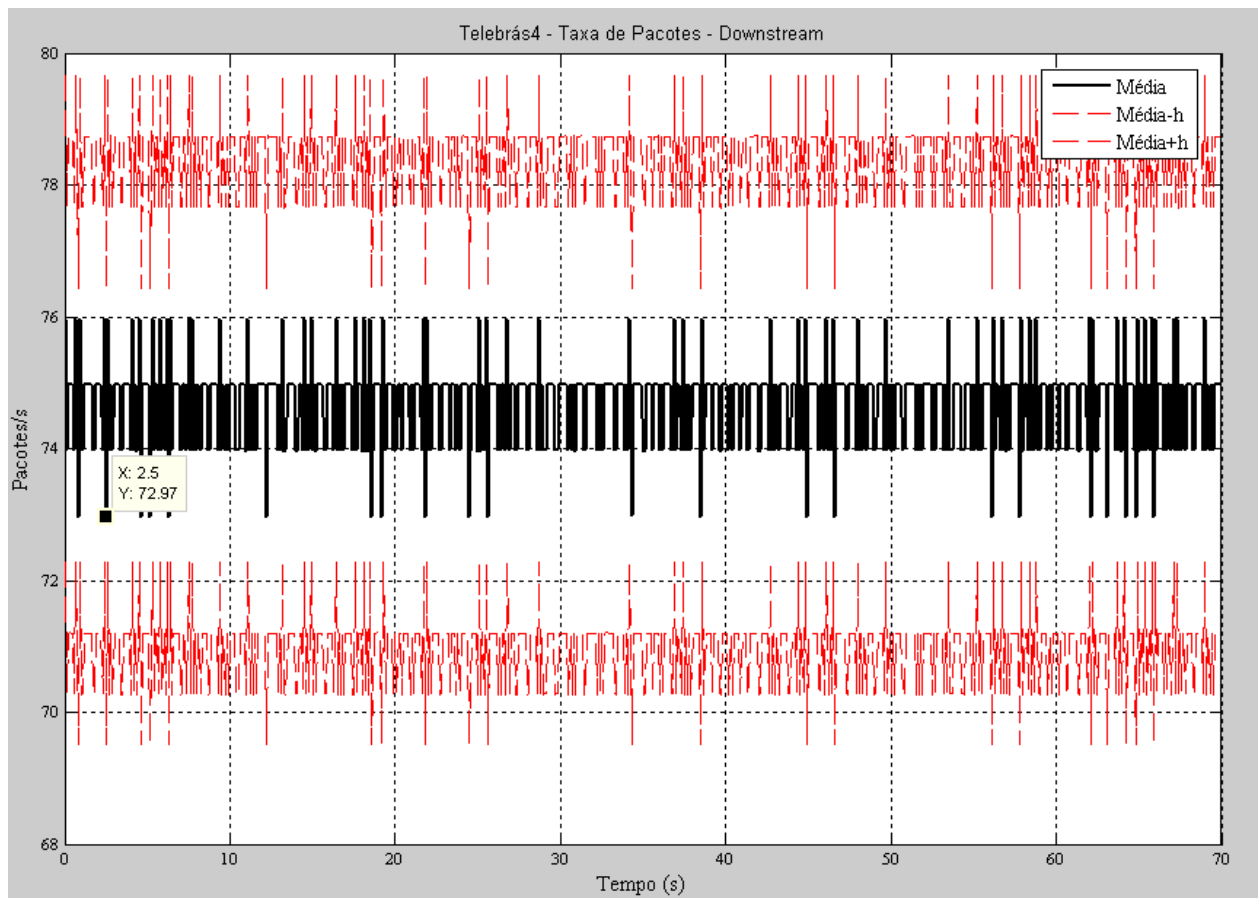


Figura 4.23: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 4 com *splitter*.

Observando as Figuras 4.22 e 4.23 referentes ao enlace *Telebrás 4*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, nota-se que os valores máximos alcançados tendem a se manter em relação à transmissão realizada sem o *splitter*. Por outro lado, os valores mínimos sofreram uma leve melhoria, contribuindo assim para uma melhoria, ainda que sensível, no desempenho do sistema.

- Latência

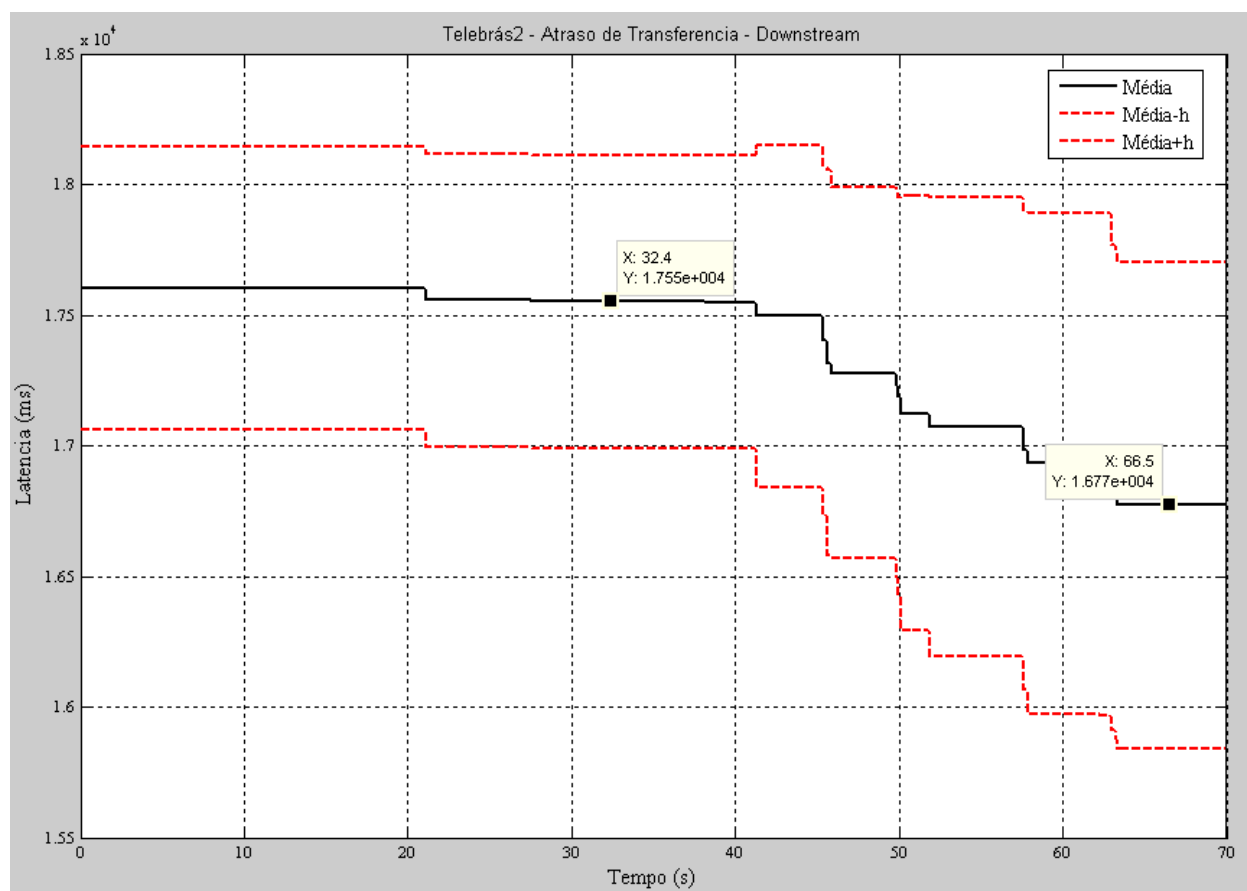


Figura 4.24: Latência para o enlace Telebrás 2 sem *splitter*.

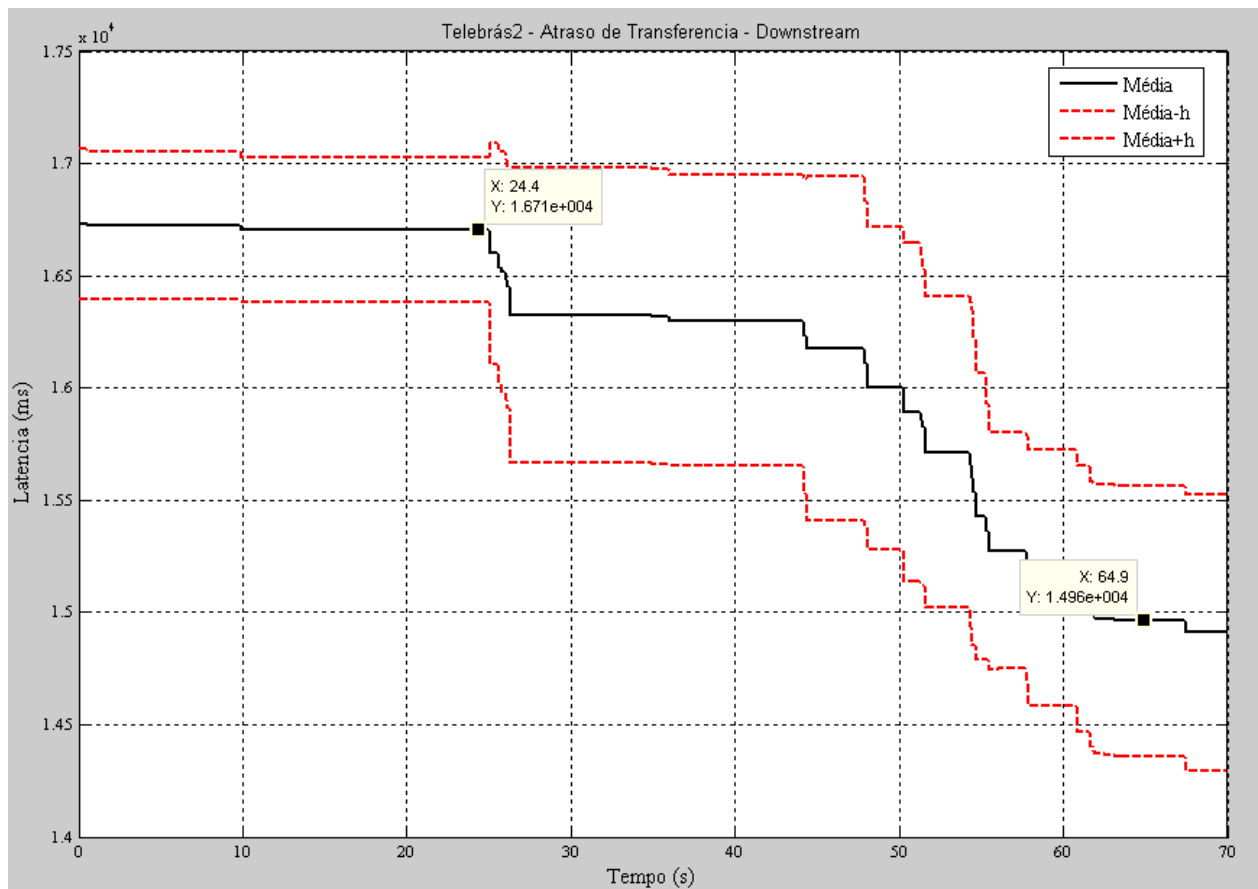


Figura 4.25: Latência para o enlace Telebrás 2 com *splitter*.

Observando as Figuras 4.24 e 4.25 referentes ao enlace *Telebrás 2*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, assim como para o *upstream*, nota-se que a latência tende a ser inferior quando comparada à latência sem a presença do *splitter*. Novamente vale ressaltar que este enlace possui uma única seção de bitola 0,5 mm, o que não é comum nos outros enlaces Telebrás, que são compostos na sua maior parte por bitola 0,4 mm. Fato esse que aponta para a crença de que a bitola de 0,5 mm promove um melhor balanceamento entre o *splitter* e o enlace local, o que poderia ocasionar na redução da latência.

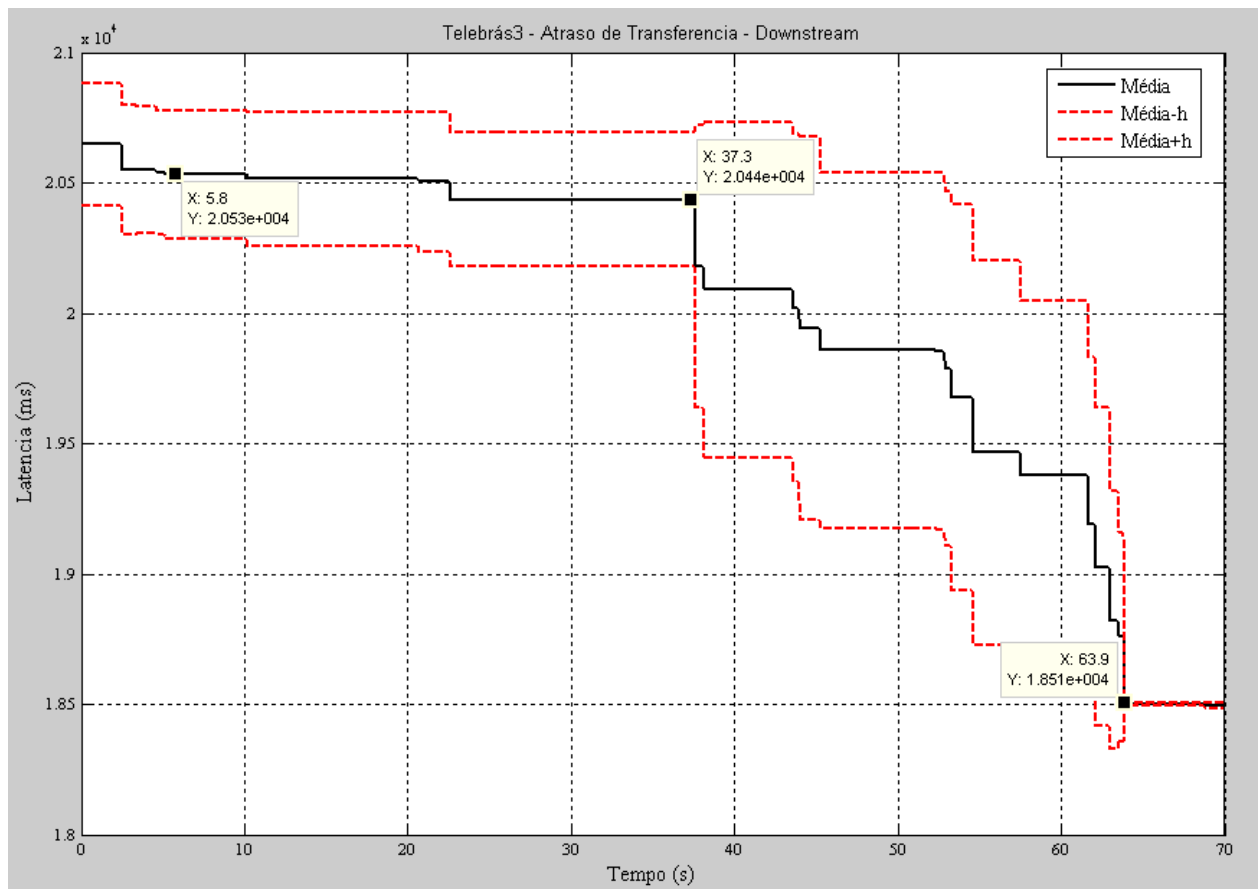


Figura 4.26: Latência para o enlace Telebrás 3 sem *splitter*.

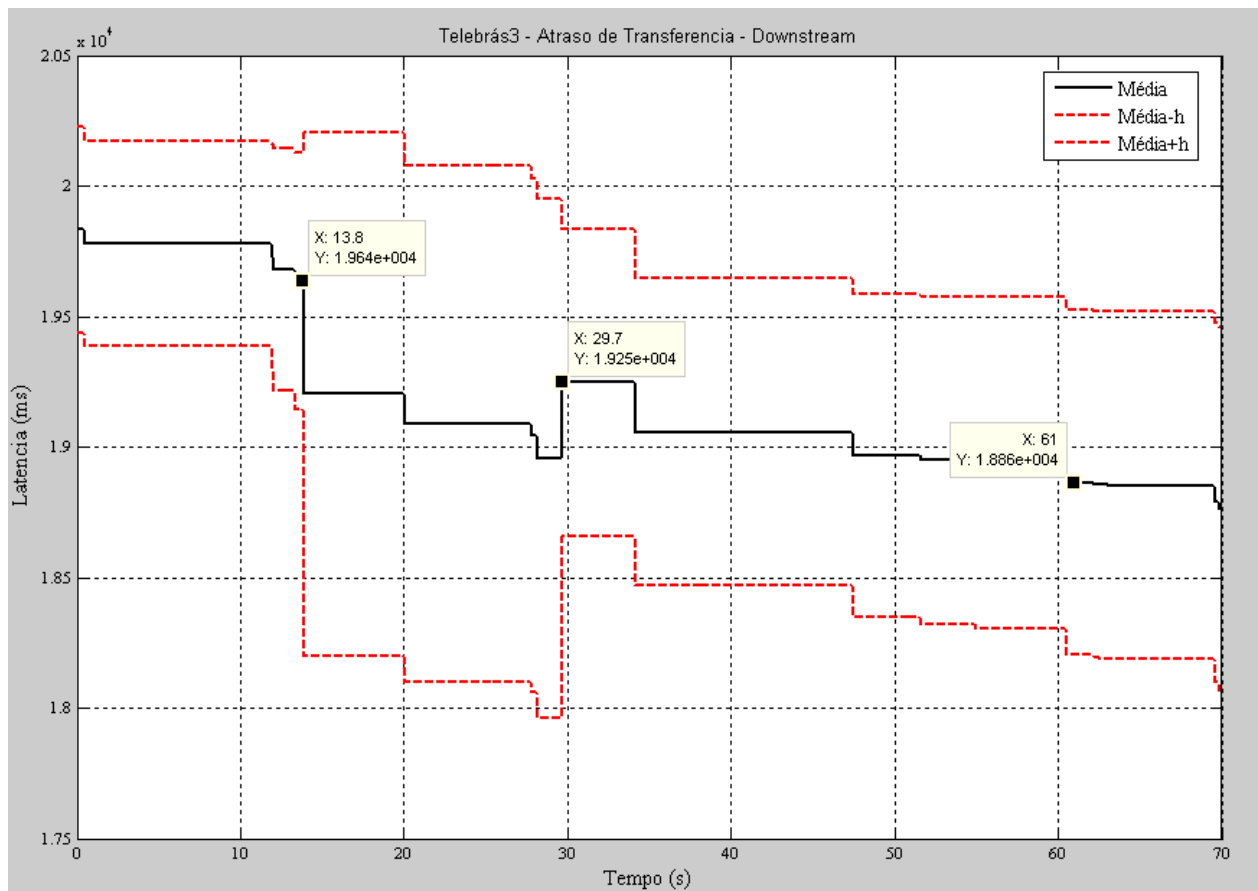


Figura 4.27: Latência para o enlace Telebrás 3 com *splitter*.

Analisando as Figuras 4.26 e 4.27 referentes ao enlace *Telebrás 3*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, nota-se que a latência com o *splitter* é levemente maior que a latência sem o *splitter*, porém, com o passar do tempo ambas tendem para valores próximos.

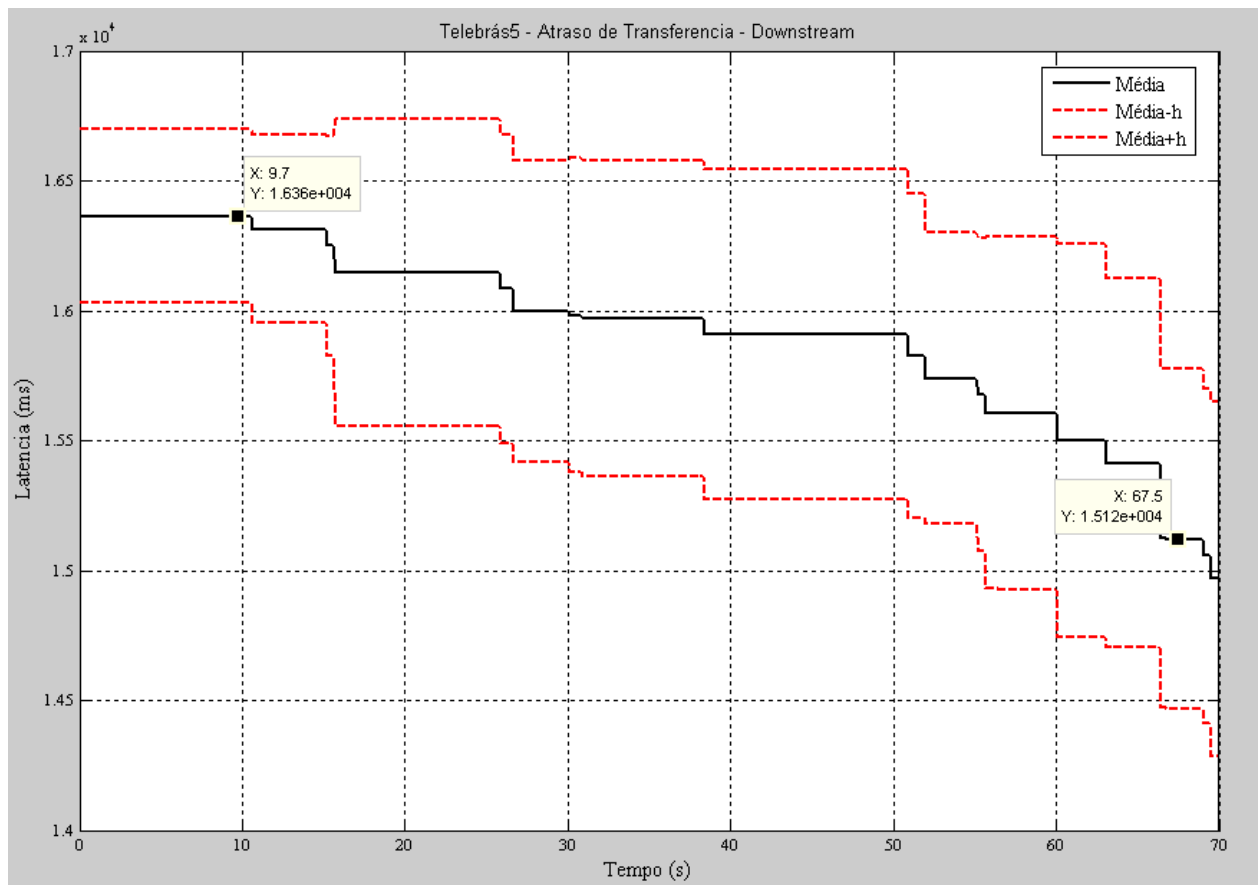


Figura 4.28: Latência para o enlace Telebrás 5 sem *splitter*.

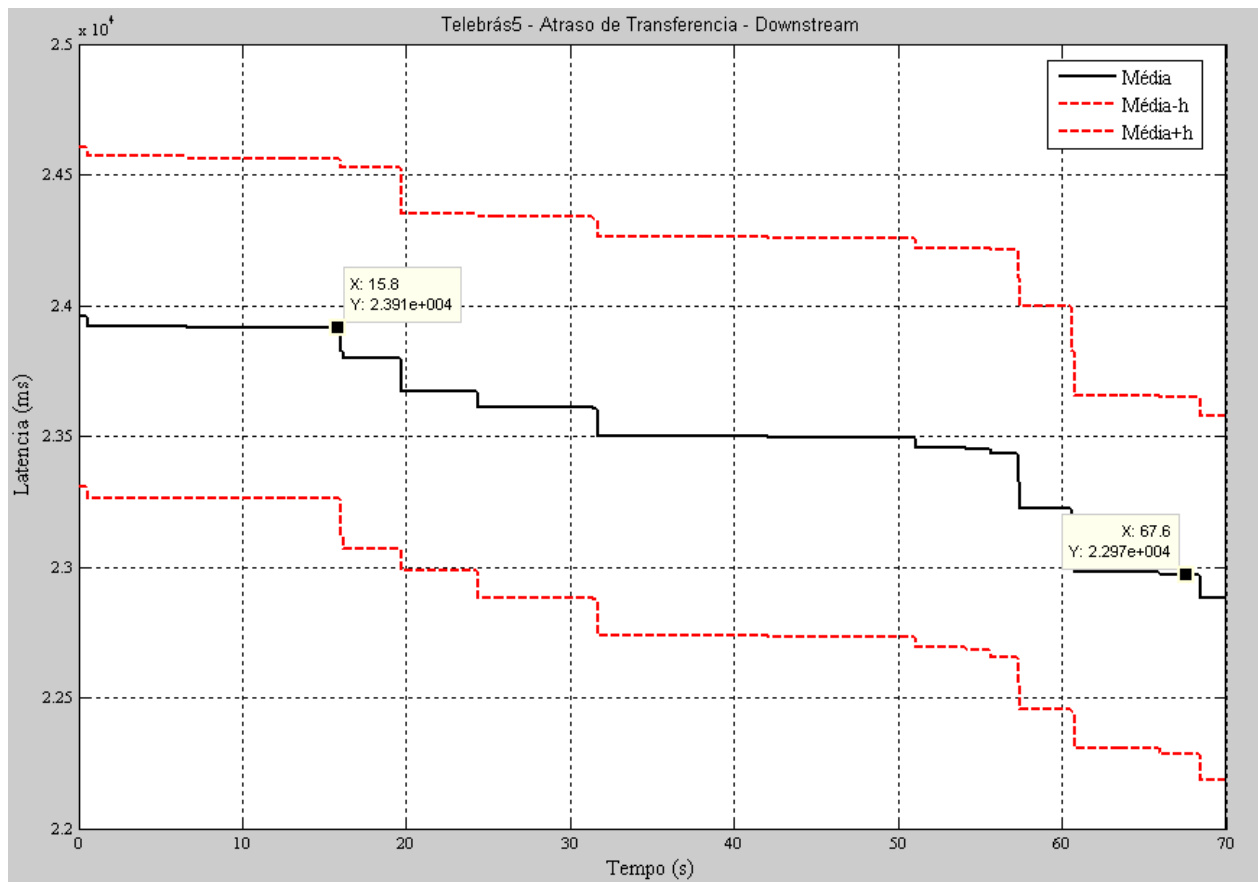


Figura 4.29: Latência para o enlace Telebrás 5 com *splitter*.

Analisando as Figuras 4.28 e 4.29 referentes ao enlace *Telebrás 5*, ao adicionar o *splitter* à transmissão, assim como para o *upstream* nota-se que a latência tende a ser bem maior quando comparada aos valores obtidos sem a presença do *splitter*, valor esse que vai decrescendo com passar do tempo até que se estabiliza. Assim percebe-se que este enlace é o mais afetado pela inserção do *splitter*, aumentando consideravelmente a latência do sistema.

De forma geral, não ocorreram grandes impactos tanto na taxa de pacotes de *upstream* quanto na de *downstream* com a inserção do *splitter*, uma vez que na maioria dos enlaces não foi perceptível qualquer variação na taxa de pacotes e quando houve, tal variação aconteceu de forma sutil, não afetando de forma expressiva a taxa de pacotes média do sistema.

Como se pode perceber, a latência foi a variável mais afetada com a presença do *splitter* na transmissão, o que se torna coerente, pois ao se adicionar componentes físicos na rede acaba-se promovendo um atraso adicional na entrega da informação, entretanto este atraso não chegou a afetar o sistema de forma abrupta, pois não houve perda de informação com tal modificação, promovendo assim uma transmissão sem distorção.

4.4 Análise do Impacto do Ruído Impulsivo na Transmissão ADSL Considerando Parâmetros Técnicos de QoS

Esta seção tem por objetivo destacar os resultados dos experimentos realizados para avaliação do impacto causado pelo ruído impulsivo (lembrando que está sendo utilizado ruído do tipo REIN neste estudo) na transmissão ADSL. Os testes efetuados levaram em consideração variáveis em nível de pacotes sendo elas: taxa de pacotes, perda de pacotes, taxa de bits e latência. Foram gerados diversos resultados considerando os cinco enlaces tipicamente brasileiros, e tais resultados serão comparados com os resultados obtidos na análise do impacto do *splitter*, visto na seção 4.3. Assim como na seção 4.3, nesta seção serão mostrados apenas os resultados mais relevantes para as conclusões dos experimentos.

Nesta análise, assim como na seção 4.3, também não serão apresentados resultados referentes a taxa de bits, uma vez que tais resultados apresentam comportamento semelhante aos resultados obtidos referentes a taxa de pacotes, o que é coerente, uma vez que os pacotes possuem tamanho fixo de 1000 bytes para os experimentos realizados. Sendo assim, serão analisados resultados referentes a taxa de pacotes, perda de pacotes e latência para *upstream* e *downstream*, primando assim por evidenciar o impacto causado pelo ruído impulsivo elétrico repetitivo (REIN).

Os resultados ilustrados nesta seção consideram um ruído do tipo REIN com duração de 1 milissegundo, potência de $-85dBm/Hz$ e com ocorrências a cada 1 segundo. Neste caso será analisado o pior caso, considerando a influência do ruído durante toda a transmissão.

4.4.1 Impacto do Ruído Impulsivo no *Upstream*

- Taxa de Pacotes

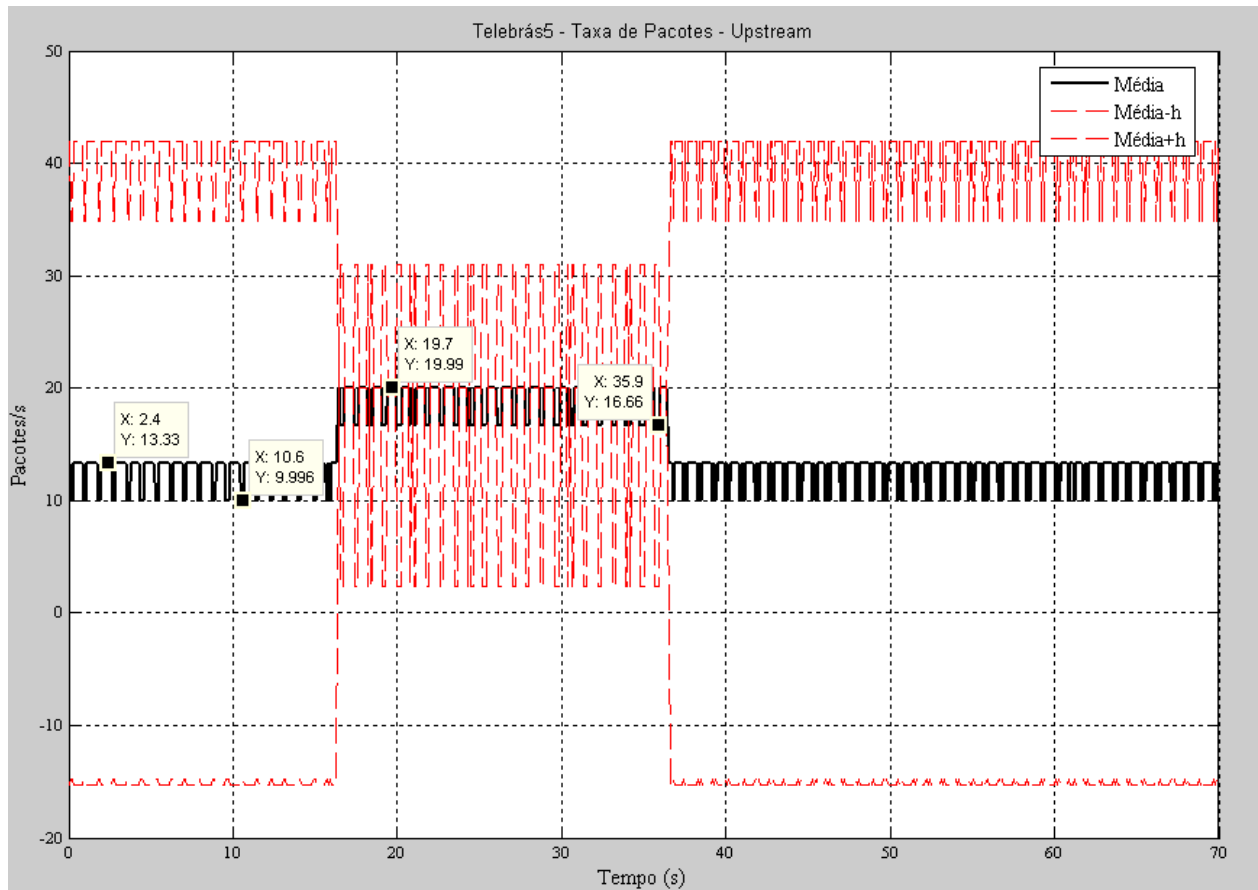


Figura 4.30: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.

No geral, as taxas de pacotes não apresentaram mudanças significativas, mantendo os valores máximos e decrescendo sensivelmente os valores mínimos da referida taxa. O único enlace que apresentou um impacto significativo foi o Telebrás 5, resultado esse evidenciado pela Figura 4.30, no o qual visualiza-se claramente quedas abruptas na taxa de pacotes. Analisando o gráfico da Figura 4.30 chega-se a conclusão que o modem começa a medição em fase de sincronização, passando então a transmitir dados e volta para fase de sincronização, aproximadamente, após 36 segundos, devido a perda de conexão por conta do impacto causado pelo RI.

- Pacotes Perdidos

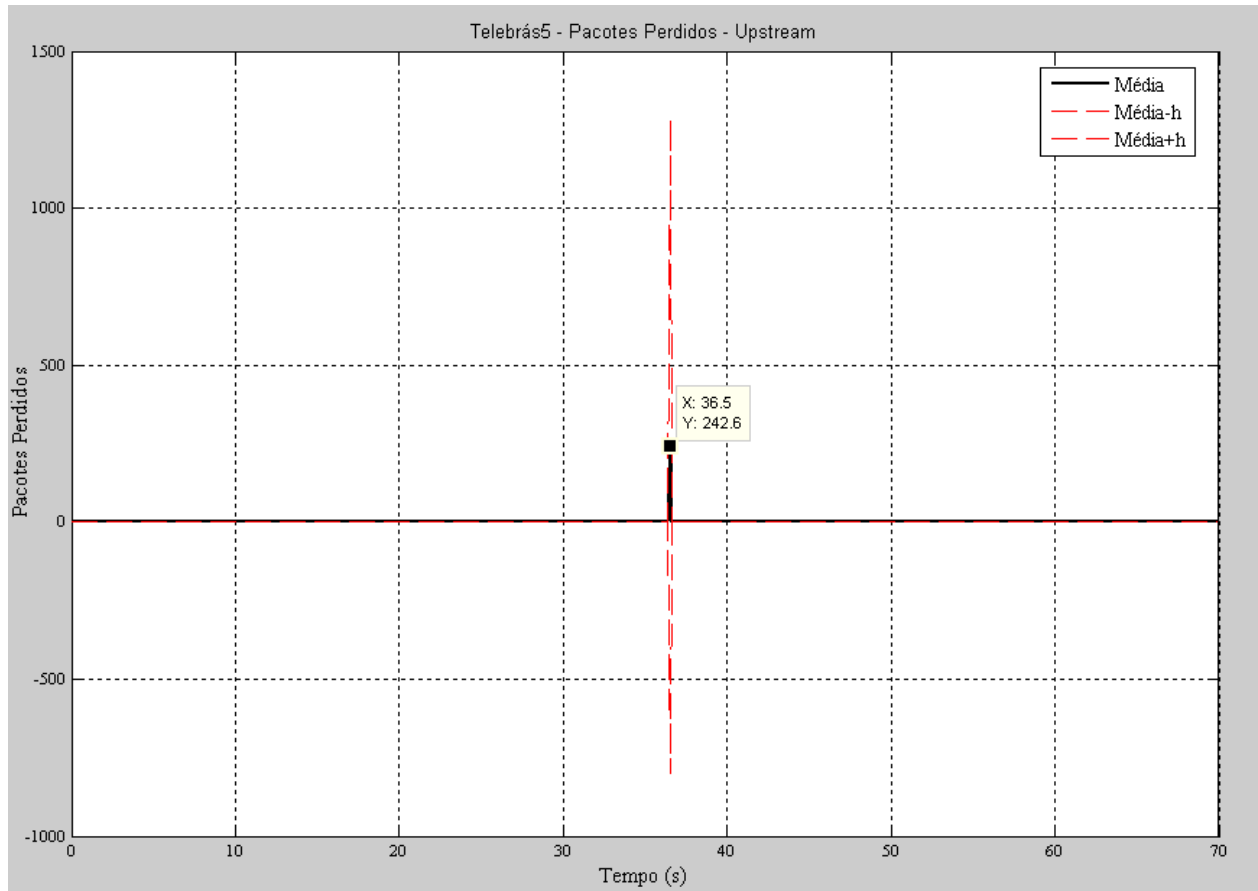


Figura 4.31: Pacotes perdidos para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.

No geral, não houve perdas de pacotes significativas com a inserção de ruído. Nos enlaces 1, 2 e 3 a quantidade de pacotes perdidos foi irrisória, sendo assim imperceptível a perda para o sistema. O enlace 4 não apresentou perda alguma de pacotes, não tomando conhecimento do ruído no *upstream*. Porém, o enlace 5 apresentou uma perda de pacotes bastante expressiva em torno de 36 segundos. Baseado no resultado da Figura 4.30 chega-se a conclusão que a perda de pacotes evidenciada na Figura 4.31 resultou na perda de conexão por parte do modem. Dessa forma, o ruído impulsivo impactou da pior forma possível no sistema, provocando a queda da conexão.

- Latência

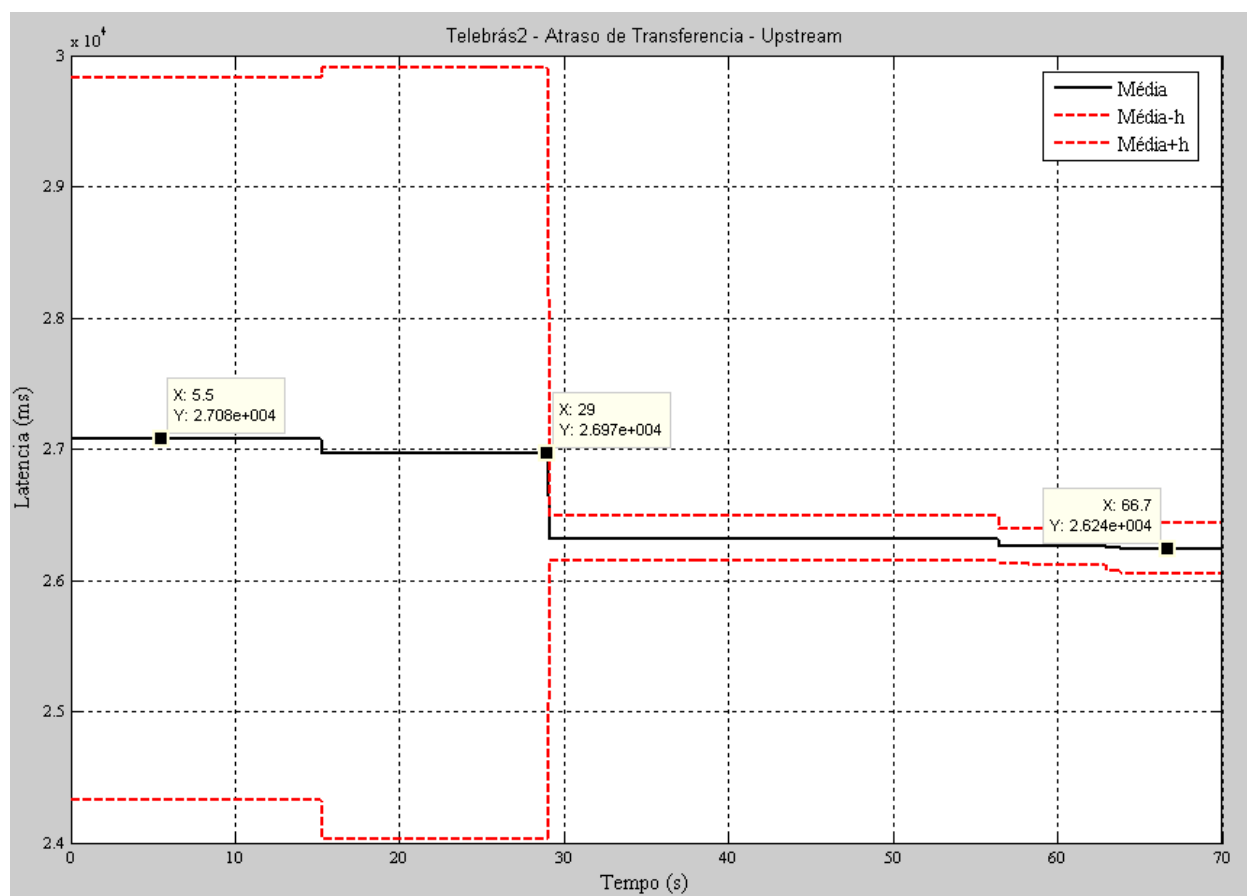


Figura 4.32: Latência para o enlace Telebrás 2 na presença de Ruído Impulsivo.

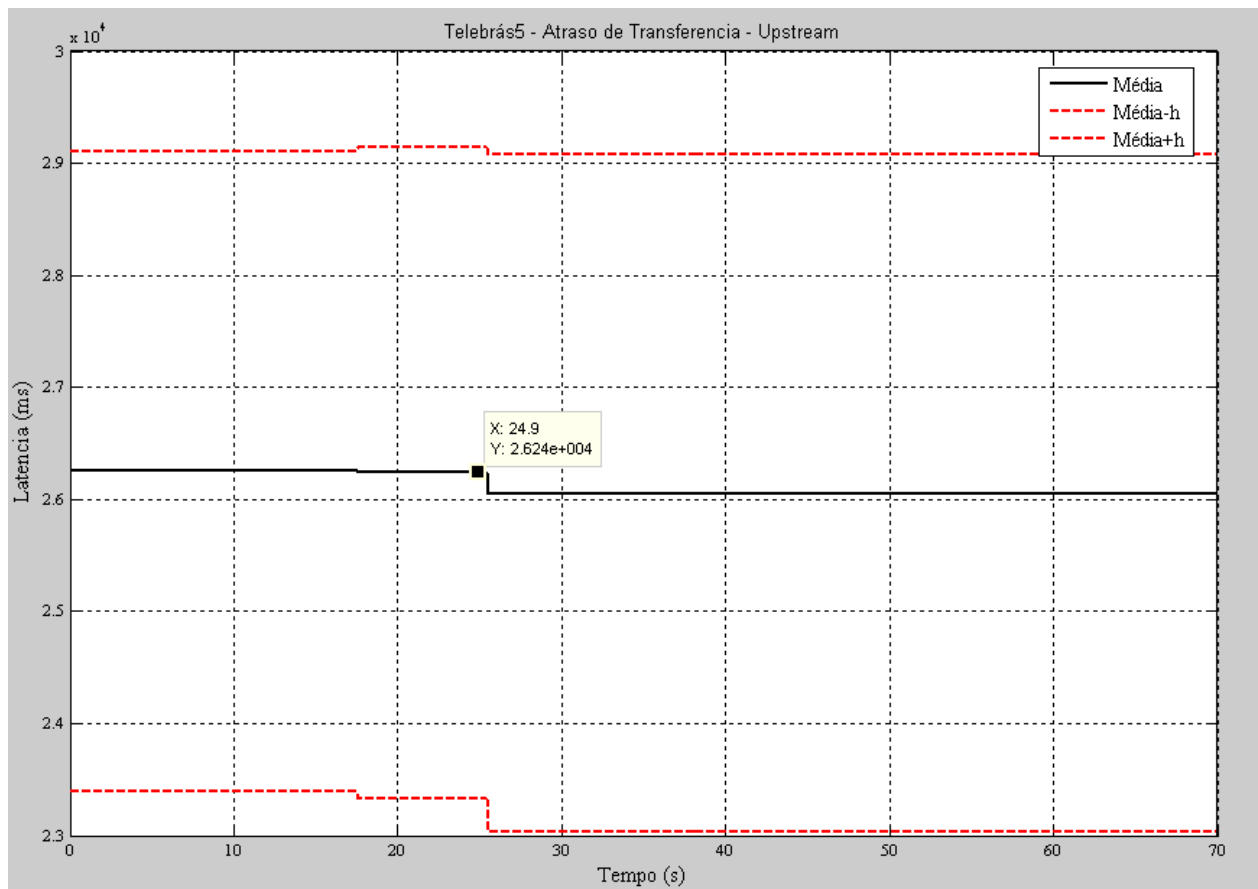


Figura 4.33: Latência para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.

O enlace 2, com sua latência ilustrada na Figura 4.32, apresentou um atraso maior que o da Figura 4.15, que não apresentava ruído na transmissão. Já o enlace 5, representado por sua latência na Figura 4.33 apresentou um atraso consideravelmente menor que o da Figura 4.19, que não apresentava ruído na transmissão. Vale ressaltar que os enlaces 3 e 4 se comportaram de maneira similar a do enlace 5 na presença de ruído, lembrando que estes três enlaces possuem derivações em suas composições.

4.4.2 Impacto do Ruído Impulsivo no *Downstream*

- Taxa de Pacotes

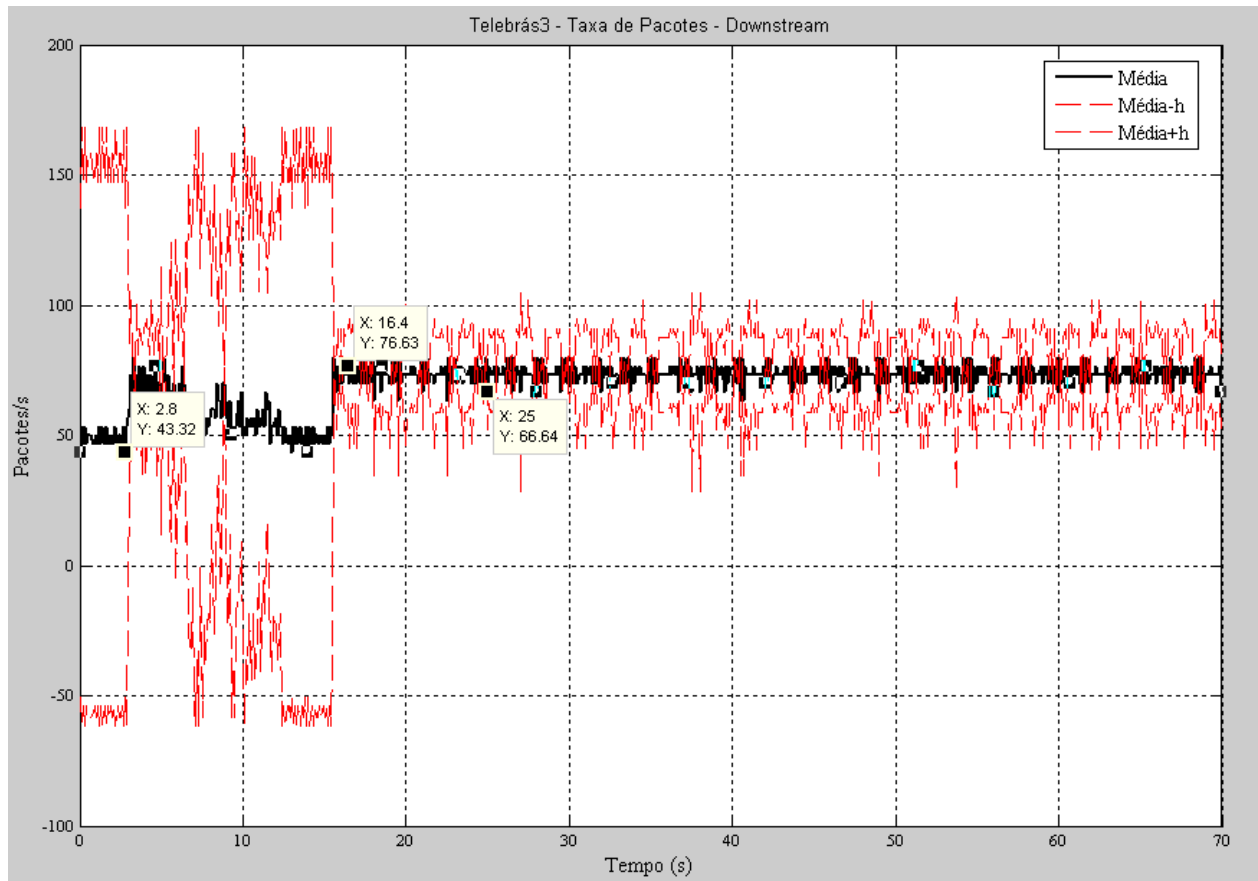


Figura 4.34: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 3 na presença de Ruído Impulsivo.

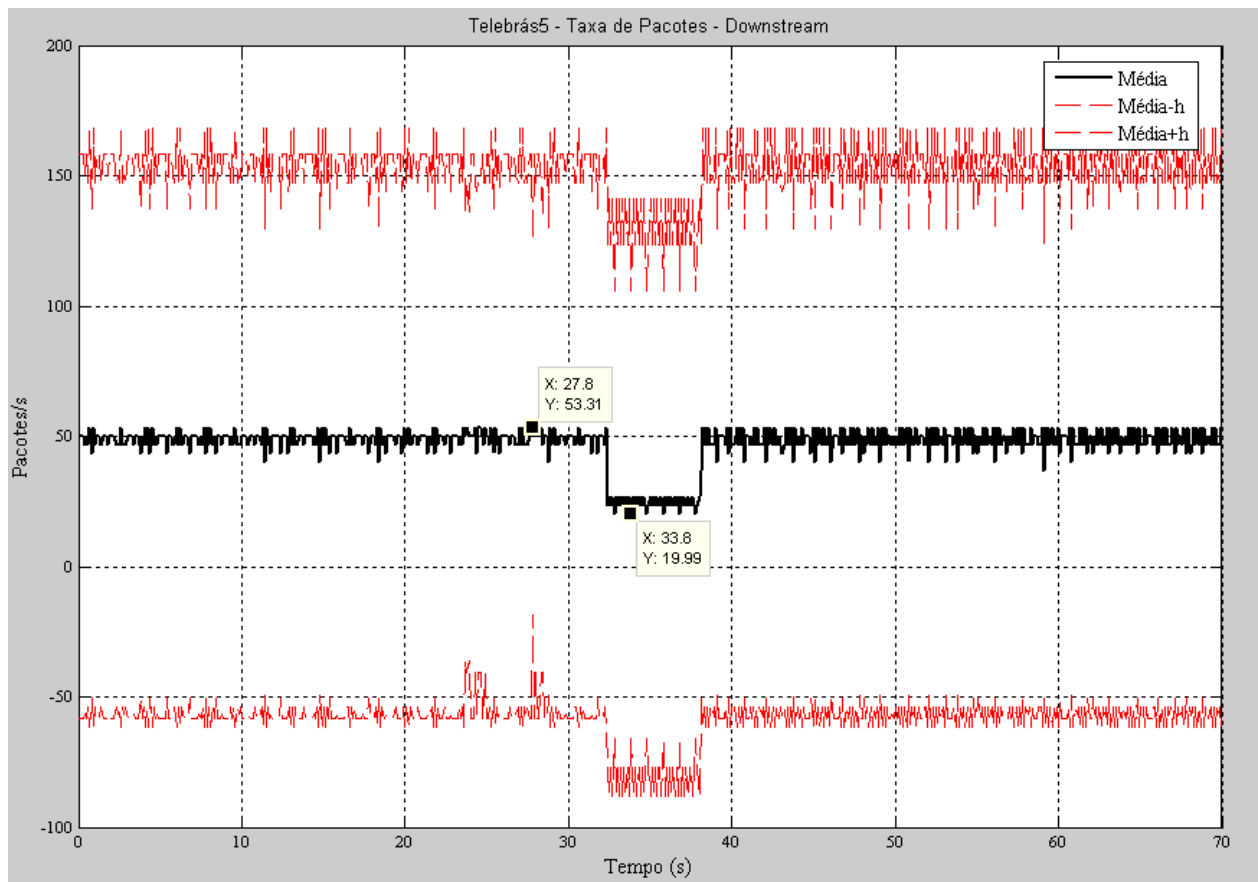


Figura 4.35: Taxa de pacotes para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.

Os enlaces 1, 2 e 4 apresentaram variações consideráveis e de certa forma constantes na taxa de pacotes. A taxa de pacotes do enlace 3, ilustrada na Figura 4.34, teve um nítido momento de instabilidade que durou do início da medição até, aproximadamente, 16 segundos, momento em que o modem conseguiu estabilizar a conexão, mantendo após isso um nível semelhante ao dos enlaces 1, 2 e 4. Por fim, a taxa de pacotes do enlace 5, ilustrada na Figura 4.35, foi a que sofreu maior impacto do ruído, uma vez que sua taxa está bem abaixo da alcançada pelos outros enlaces e além disso, pode-se evidenciar uma queda ainda mais brusca por volta de 33 segundos de medição, fato esse que combinado com as análises realizadas para *upstream* indicam que neste momento o modem estava perdendo a conexão.

- Pacotes Perdidos

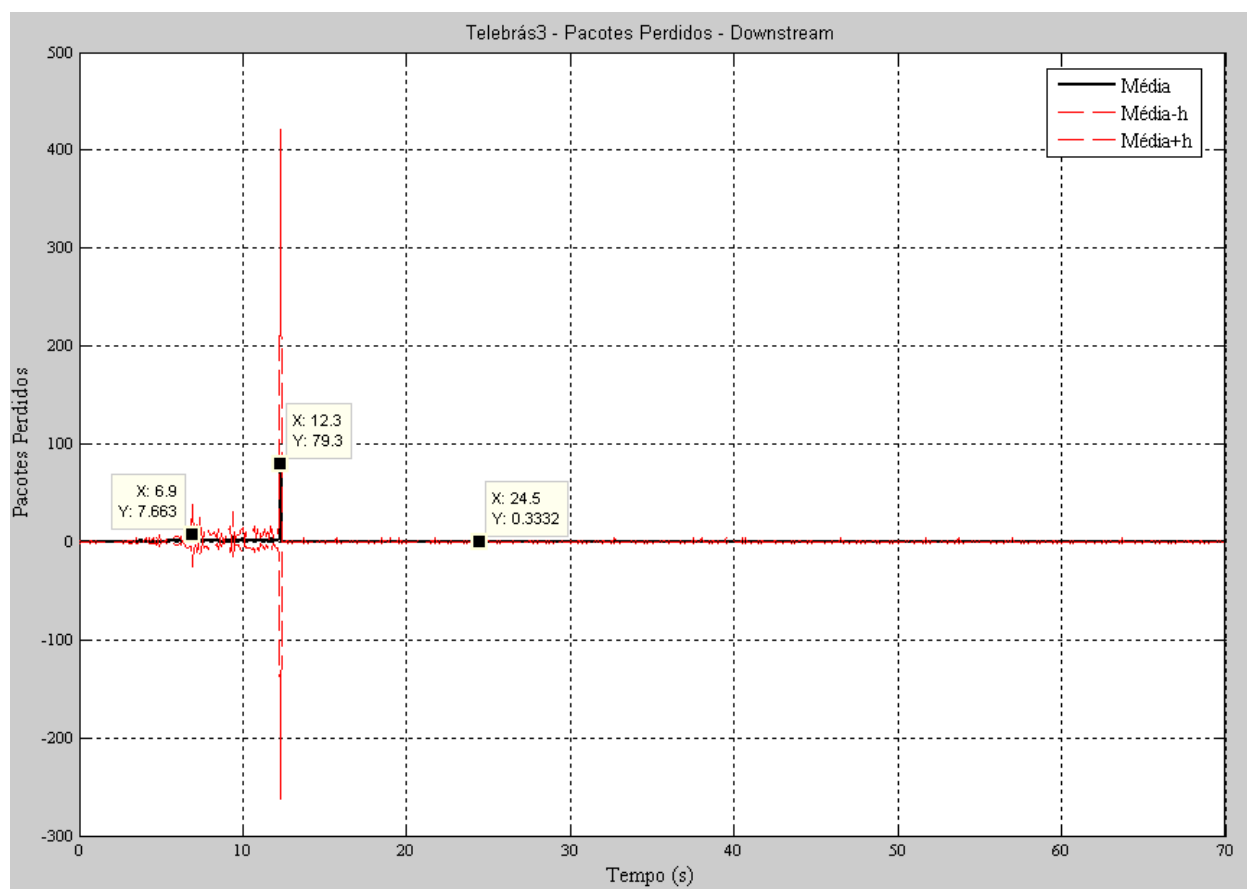


Figura 4.36: Pacotes perdidos para o enlace Telebrás 3 na presença de Ruído Impulsivo.

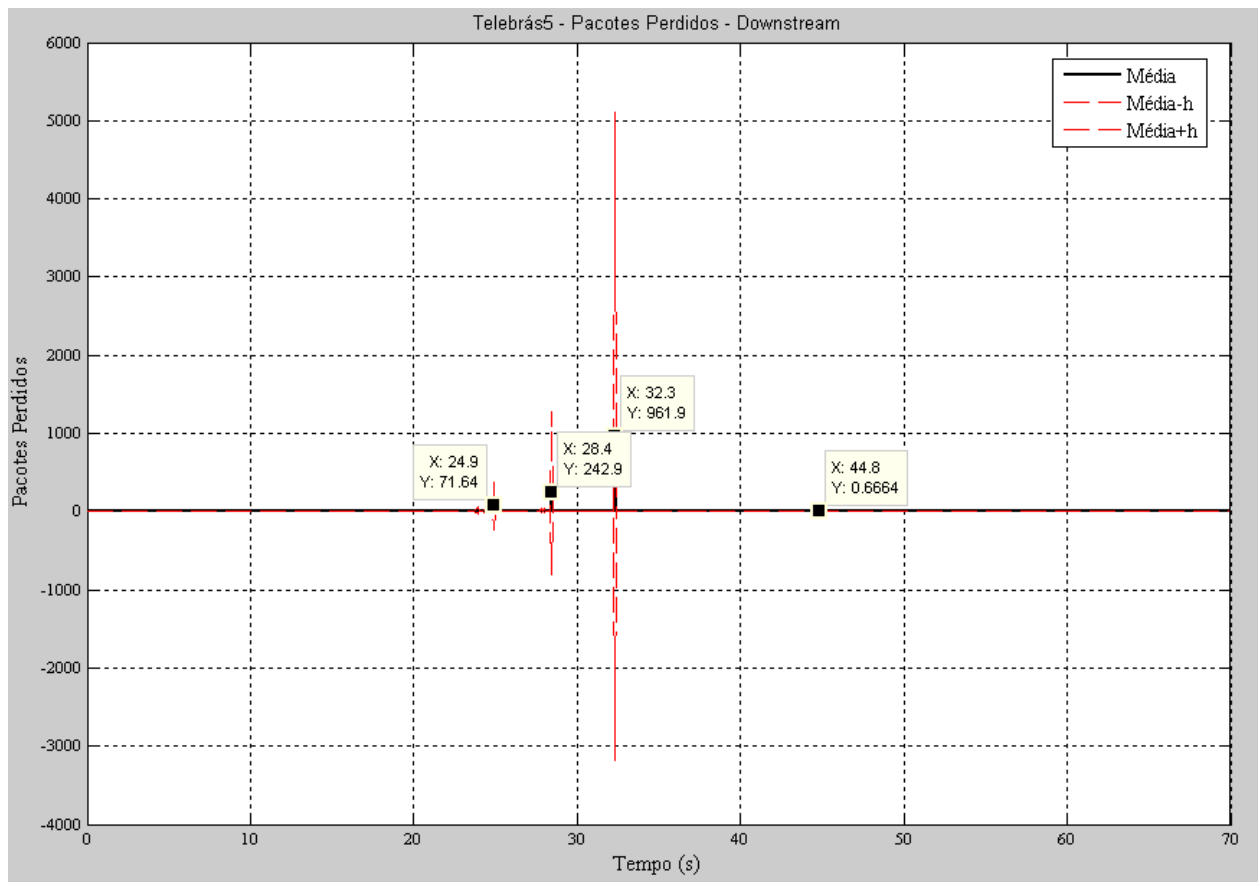


Figura 4.37: Pacotes perdidos para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.

No geral, todos os enlaces apresentaram níveis constantes de perdas em um nível considerado baixo. Os enlaces 1, 2, 3 e 4 além dos níveis constantes de perda apresentaram em momentos diferentes, um instante de maior perda, como ilustrado na Figura 4.36. O enlace 5, além das perdas constantes de menor nível apresentou três momentos de perdas muito grandes e crescentes entre os instantes 25 e 35 segundos, perdas essas que analisadas em conjunto com resultados anteriores provocaram a perda de conexão por parte do modem.

- Latência

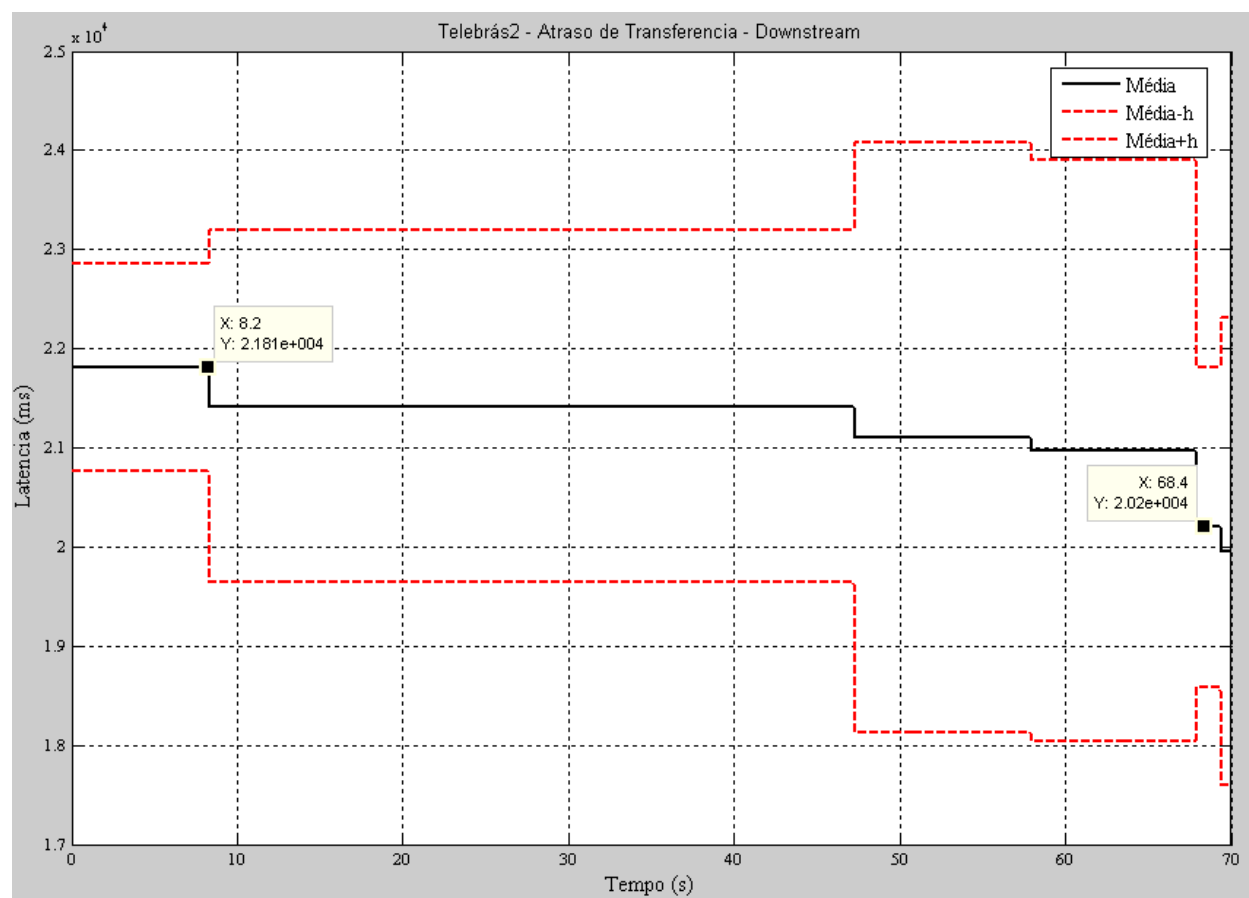


Figura 4.38: Latência para o enlace Telebrás 2 na presença de Ruído Impulsivo.

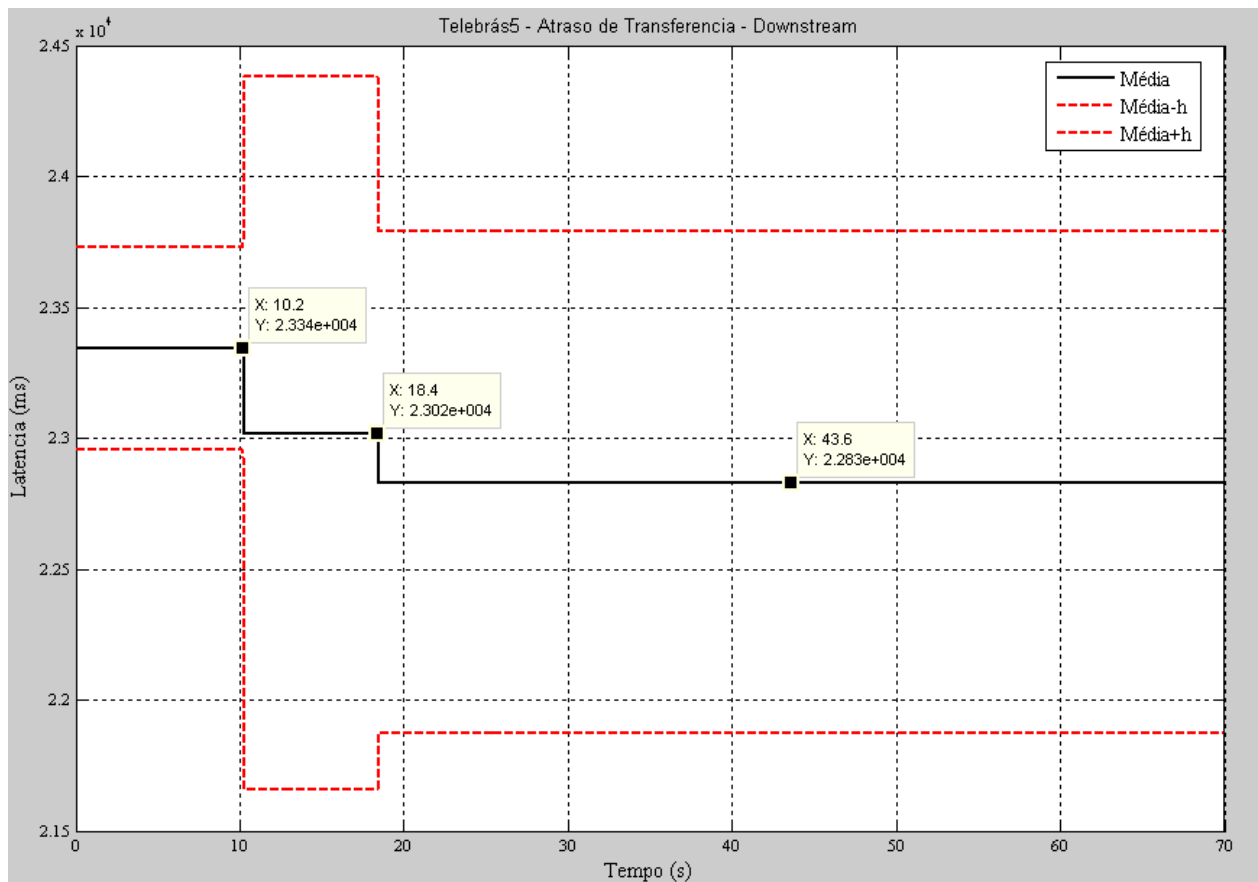


Figura 4.39: Latência para o enlace Telebrás 5 na presença de Ruído Impulsivo.

Os enlaces 1 e 2 apresentaram uma latência mais constante, porém em um maior nível quando comparados aos resultados obtidos sem a presença de ruído. A latência para o enlace 2 está ilustrada na Figura 4.38 e pode ser comparada com a Figura 4.25 a fim de se visualizar as conclusões relatadas a pouco. O enlace 3 apresentou uma latência consideravelmente menor e mais constante em comparação com os testes realizados sem ruído. Enquanto que o enlace 4 apresentou uma latência razoavelmente semelhante, porém mais constante que na ausência de ruído. Por fim, o enlace 5 apresentou uma latência ligeiramente menor nos primeiros segundos, porém depois as latências com e sem ruído tenderam a ficar próximas, como pode-se comprovar a partir da análise das Figuras 4.39 e 4.29.

A partir da análise dos resultados, observa-se observar que a taxa de pacotes e a perda de pacotes foram as variáveis que mais sofreram com a influência do ruído impulsivo na transmissão ADSL. Por outro lado, percebe-se que a latência se comportou de maneira curiosa no *upstream* para enlaces com derivações, baixando bruscamente o atraso do sistema nesses casos, e no *downstream* para os referidos enlaces com derivações pode-se notar que com o passar do tempo os atrasos *com* e *sem* ruído tendem para valores próximos um do outro.

Adicionalmente, observando os resultados referentes ao *upstream* e ao *downstream* para taxa de pacotes e perda de pacotes, pode-se perceber que o *downstream* é mais sensível a presença de ruído que o *upstream*, haja vista que em diversas situações o *upstream* não sofreu influência do ruído ou ainda sofreu uma influência irrisória, enquanto que no *downstream* para tais situações, observa-se degradações consideráveis.

4.5 Análise do Impacto do Ruído Impulsivo na Transmissão ADSL Considerando Parâmetros Subjetivos do Usuário (QoE)

Esta seção tem por objetivo destacar os resultados dos experimentos realizados para avaliação do impacto causado pelo ruído impulsivo na transmissão ADSL sob a perspectiva do usuário. A idéia é avaliar de forma subjetiva o impacto causado pelo ruído impulsivo em transmissões de vídeo, em que analisa-se o impacto do ruído em chamadas de vídeo conferência, transferência de vídeo *online* e em um jogo na rede (do tipo cliente servidor).

Os resultados obtidos nesta análise são referentes a experimentos realizados considerando o enlace Telebrás 1. Foi utilizado *splitter* no lado do assinante e, por fim, adicionou-se ruído ao sistema. Os resultados ilustrados nesta seção consideram um ruído do tipo REIN com duas configurações diferentes:

- Duração de $1ms$, potência de $-85dBm/Hz$ e com uma ocorrência a cada 1 segundo.
- Duração de $100\mu s$, potência de $-95dBm/Hz$ e com 100 ocorrências a cada 1 segundo.

A idéia é rotular os serviços de vídeo em concordância com a Tabela 4.1, proposta pelo conceito de MOS, lembrando porém, que as conclusões foram alcançadas de forma indireta, fazendo uso do conhecimento técnico de QoS. É importante frisar que não houve uma média de opiniões como a métrica MOS sugere, uma vez que a classificação foi obtida de forma indireta.

Tabela 4.1: Avaliação da experiência do usuário.

MOS	Descrição
5	Não perceptível
4	Perceptível, mas não incomodo
3	Perceptível e ligeiramente incomodo
2	Perceptível e bastante incomodo
1	Perceptível e extremamente incomodo

4.5.1 Experimentos de Acesso a Sites com *Buffer* (YouTube) e de Vídeo sob Demanda (CNN)

O site YouTube é um repositório de vídeos *online* [30], em que qualquer pessoa pode carregar seus vídeos, bem como assistir os vídeos que carregou no site ou ainda assistir os vídeos postados por outros usuários. É importante citar que o referido site primeiramente armazena o vídeo em *buffer* para somente então reproduzir o mesmo.

O site da CNN é um repositório de vídeo noticiários *online* [31], em que qualquer pessoa munida de um PC com acesso à Internet pode acessar os vídeos. Vale ressaltar que o site de vídeos da CNN transmite os mesmos sob demanda, não armazenando assim o vídeo em *buffer* antes de reproduzi-lo.

- **Testes com Ruído de Maior Potência, Maior Duração e Menor Frequência**

Nestes testes, primeiramente foram acessados os referidos sites sem a presença de ruído no enlace, para assim verificar o comportamento do sistema sem a presença de ruído. Uma vez verificado o comportamento do sistema sem ruído, adicionou-se ruído ao mesmo para então avaliar o impacto causado para o usuário com a presença de ruído na transmissão.

1. *Testes com Acesso ao Site YouTube*

Ao acessar o referido site na presença de ruído, nota-se uma perceptível degradação do serviço prestado, em que por diversas vezes não foi possível o armazenamento do vídeo em sua totalidade no *buffer*, sendo possível assim assistir apenas parte do vídeo, o que para o usuário torna-se incomodo, pois nem sempre conseguirá assistir seus vídeos preferidos em sua totalidade. Vale lembrar que quanto maior for o vídeo em questão

maior será a chance de o usuário não conseguir assistir o mesmo em sua totalidade. Com base nisso, pode-se classificar o serviço de acordo com os conceitos expostos na Tabela 4.1 como de nível 3, em que a degradação é perceptível e ligeiramente incomoda para o usuário.

2. *Testes com Acesso ao Site da CNN*

Ao acessar o referido site na presença de ruído, nota-se que o acesso à página tornou-se um pouco mais lento que o de costume, porém, não foram perceptíveis falhas na transmissão do vídeo em si, uma vez que foi possível assistir diversos vídeos sem a percepção de qualquer degradação por parte do usuário. Com base nisso, pode-se classificar o serviço de acordo com os conceitos expostos na Tabela 4.1 como de nível 5, em que a degradação não é perceptível para o usuário.

- **Testes com Ruído de Menor Potência, Menor Duração e Maior Frequência**

Ao expor o sistema ao ruído de menor potência, com menor duração, porém com uma maior frequência, observa-se um impacto extremamente maior tanto no acesso ao site YouTube quanto no acesso ao site da CNN, em que se evidenciou a queda da conexão por parte do modem. Sendo assim, o modem entrou em fase de sincronização para tentar estabelecer comunicação novamente, porém, quando isso acontecia, rapidamente o modem tornava a perder sincronização, tornando impossível a visualização do vídeo em sua totalidade. Vale ressaltar, que se notou que o áudio sofre degradação primeiro que o vídeo para vídeos do site da CNN, e após a sincronização do modem se observou que o áudio se reestabelece primeiro que o vídeo. Com base nas observações realizadas, pode-se classificar o serviço de acordo com os conceitos expostos na Tabela 4.1 como de nível 1, em que a degradação é perceptível e extremamente incomoda para o usuário, uma vez que ocorre a perda de conexão.

4.5.2 Experimentos com Chamadas de Vídeo-conferência (Skype)

O Skype é um programa que realiza ligações telefônicas e vídeo-conferências pela Internet, sem custo algum para ligações entre usuários do programa, com a função chamada Voz sobre IP (VoIP) [29]. Nos experimentos a seguir, foram utilizadas chamadas de vídeo-conferência.

- **Testes com Ruído de Maior Potência, Maior Duração e Menor Frequência**

Ao expor o sistema ao ruído de maior potência, com maior duração, porém com uma menor frequência, não se conseguiu notar qualquer alteração no serviço, concluindo assim

que o sistema não apresentou degradações perceptíveis para o usuário. Desta forma, pode-se classificar o serviço de acordo com os conceitos expostos na Tabela 4.1 como de nível 5, em que a degradação não é perceptível para o usuário.

- **Testes com Ruído de Menor Potência, Menor Duração e Maior Frequência**

Ao expor o sistema ao ruído de menor potência, com menor duração, porém com uma maior frequência, observa-se um impacto extremamente maior na chamada de vídeo-conferência, em que se evidenciou a queda da conexão por parte do modem. Sendo assim, o modem entrou em fase de sincronização para tentar estabelecer comunicação novamente, porém, quando isso ocorria, rapidamente o modem tornava a perder sincronização, tornando impossível a visualização do vídeo em sua totalidade. Com base nas observações realizadas, pode-se classificar o serviço de acordo com os conceitos expostos na Tabela 4.1 como de nível 1, em que a degradação é perceptível e extremamente incomoda para o usuário, uma vez que ocorre a perda de conexão.

4.5.3 Experimentos com Jogos em Rede (*Wolfeinstein Enemy Territory*)

Aplicações com jogos interativos são usadas amplamente para testes de desempenho de rede, uma vez que no caso deste tipo de jogo, a ação do usuário (atirando, guiando um veículo, movendo-se em um espaço virtual, etc.) gera uma resposta (tiro, movimentação do veículo, movimentação de personagens) que é, ou pelo menos deve ser, percebida de imediato. O tempo de resposta do sistema fim a fim (SRT - *System Response Time*) é o parâmetro de QoE chave e consiste no tempo que o sistema precisa para detectar e processar um evento iniciado pelo usuário (por exemplo, ato de pressionar um botão de controle do jogo), transportá-lo pela rede até o servidor do jogo, para processá-lo, até enviar de volta a atualização do estado atual do jogo para a máquina cliente [15].

Wolfeinstein Enemy Territory é um jogo do tipo cliente servidor, ambientado na segunda guerra mundial em que aliados e eixo se enfrentam em algumas das mais famosas batalhas desta guerra. Baseado no conceito de SRT, esse jogo possui uma variável chamada *ping* que pode ser visualizada a qualquer momento no jogo. Quando o *ping* assume valores muito altos, começa-se a perceber perda de quadros e dificuldades para jogar, isso pode acontecer quando o sistema sofre algum tipo de degradação ou ainda ao se acessar um servidor que está muito distante, na Europa por exemplo. A Figura 4.40 mostra a visualização do *ping* no jogo.



Figura 4.40: Visualização do *ping* no jogo Enemy Territory.

A idéia é rotular o desempenho do jogo em concordância com a Tabela 4.2, proposta pelo conceito de MOS, lembrando porém, que as conclusões foram alcançadas de forma subjetiva, sem fazer uso do conhecimento técnico de QoS.

Tabela 4.2: Avaliação da experiência do usuário para jogos em rede.

MOS	Descrição
5	Degradação não perceptível, ambiente excelente
4	Pequena degradação perceptível, ambiente muito bom
3	Degradação claramente perceptível, porém ainda aceitável
2	Ambiente muito incomodo, necessária a troca do servidor
1	Ambiente inaceitável, impossível de jogar

- **Testes com Ruído de Maior Potência, Maior Duração e Menor Frequência**

Ao expor o sistema ao ruído de maior potência, com maior duração, porém com uma menor frequência, não se conseguiu notar qualquer alteração na jogabilidade para o jogo *Enemy Territory*, permanecendo o *ping* em níveis aceitáveis e excelentes para o jogo, concluindo assim que o sistema não apresentou degradações perceptíveis para o usuário. Desta forma, pode-se classificar o serviço de acordo com os conceitos expostos na Tabela 4.2 como de nível 5, em que a degradação não é perceptível para o usuário, mantendo-se assim um ambiente excelente para o jogo. A Figura 4.41 ilustra uma tela do jogo.



Figura 4.41: Tela do jogo *Enemy Territory*, usuário jogando normalmente.

- **Testes com Ruído de Menor Potência, Menor Duração e Maior Frequência**

Ao expor o sistema ao ruído de menor potência, com menor duração, porém com uma maior frequência, observa-se um impacto extremamente perceptível no decorrer do jogo, em que se evidenciou a queda da conexão por parte do modem. Sendo assim, o modem entrou

em fase de sincronização para tentar estabelecer comunicação novamente, porém, quando isso ocorria, rapidamente o modem tornava a perder sincronização, tornando impossível a jogabilidade nessas condições. Nos poucos momento em que se é possível jogar nessas condições não se conseguiu visualizar grandes impactos no *ping* do sistema, porém quando tal variação ocorre é de forma quase instantânea, derrubando a conexão com o modem. Com base nas observações realizadas, pode-se classificar o serviço de acordo com os conceitos expostos na Tabela 4.2 como de nível 1, em que a degradação é perceptível e extremamente incomoda para o usuário, tornando o ambiente inaceitável, sendo assim impossível de se jogar. A Figura 4.42 ilustra o momento em que o modem perde conexão com o servidor.



Figura 4.42: Usuário sem conexão devido à influência do ruído, ambiente inaceitável para o jogo.

4.6 Conclusões

Este capítulo primou por destacar a análise e os resultados obtidos referentes aos impactos causados pelo *splitter* e pelo ruído impulsivo no sistema ADSL.

Com respeito ao *splitter*, foram analisados resultados referentes a medições de grandezas da camada física. Além disso, foram realizados experimentos de QoS, também para avaliar a influência do *splitter*, em que se observou medições de variáveis a nível de pacotes. Após a análise dos resultados, chegou-se a conclusão que o *splitter* não apresenta impacto perceptível na camada física do sistema. No que diz respeito ao desempenho do *splitter*, também não foram perceptíveis perdas expressivas para taxa de pacotes, perda de pacotes e taxa de bits, porém pode-se observar que a latência foi a variável que mais sofreu alterações com a presença do *splitter* no enlace.

Do ponto de vista da influência do ruído impulsivo, considerando a análise de QoS do sistema, pode-se constatar pela observação dos resultados que o mesmo proporcionou variações principalmente no que diz respeito à taxa de pacotes, perda de pacotes e taxa de bits, inclusive chegando a provocar perda de conexão para o enlace 5. Este fato fez com que se concluísse que o sistema é mais sensível a variação da perda de pacotes, haja vista que uma elevação brusca dessa variável pode ocasionar degradações consideráveis ao sistema, inclusive tornando o mesmo inoperante. Em nível de QoE, observou-se que para o enlace 1 o perfil de ruído utilizado não provocou degradações perceptíveis nos testes realizados com chamadas de vídeo-conferência, jogos em rede e acesso a sites de vídeos *online* sem armazenamento em *buffer*, entretanto evidenciou-se degradações ao acessar sites de vídeos *online* com armazenamento em *buffer*, em que, por algumas vezes, não se conseguiu visualizar os vídeos em sua totalidade. Com isso, percebeu-se que as variações constantes provocadas pela presença de ruído impulsivo nas variáveis de QoS, tais como taxa de pacotes e perda de pacotes, não ocasionaram impactos profundos na experiência do usuário. Assim, acredita-se que, para variações constantes das variáveis de QoS, o modem tende a se adequar à situação atual do sistema, desde que os níveis de interferência não sejam elevados demais, mantendo uma experiência satisfatória ao usuário.

A fim de visualizar um impacto mais evidente do ruído no sistema se utilizou um outro perfil de ruído, desta vez com um aumento considerável no número de ocorrências (100 por segundo ao invés de uma), porém com potência e duração inferior as utilizadas anteriormente. O resultado obtido foi que o modem acabava perdendo conexão, tornando impossível a execução de qualquer serviço. Assim, constatou-se que a experiência do usuário é afetada mais negativamente pela frequência com que o ruído ocorre do que pela duração ou potência do mesmo. Pode-se observar também que para aplicações de vídeo a variável de QoS que mais afeta o QoE do sistema é a perda de pacotes.

Conclusões Finais

Este trabalho primou por desenvolver uma análise de desempenho de sistemas DSL considerando os parâmetros técnicos de QoS do sistema juntamente com uma análise abordando os parâmetros subjetivos do usuário (QoE), buscando assim evidenciar os parâmetros de QoS que mais afetam a experiência do usuário, pois assim pode-se pensar no desenvolvimento de métricas para melhorias do sistema, visando sempre uma maior satisfação do usuário.

Tendo esta visão em mente, foram desenvolvidas medições para análise da influência do *splitter* e do ruído impulsivo em transmissões DSL. No que diz respeito à influência do *splitter*, após a análise das medições de alguns parâmetros de camada física e de parâmetros de QoS, constatou-se que este dispositivo não causa impactos perceptíveis ao sistema, pois não provocou mudanças consideráveis no comportamento do mesmo, pois não notou-se variações perceptíveis no comportamento das variáveis de camada física, tais como função de transferência, impedância de entrada e TDR. De forma similar, o *splitter* também não provocou mudanças significativas nos parâmetros de QoS do sistema, com exceção do atraso que sofreu variações distintas para enlaces diferentes, cabendo assim um estudo mais aprofundado sobre o comportamento desta variável na presença do *splitter*.

No que se refere ao impacto causado pelo ruído impulsivo, observou-se um impacto considerável em alguns parâmetros de QoS, tais como taxa de pacotes, perda de pacotes e taxa de bits, provocando, inclusive, perda de conexão para o enlace 5. Este fato fez com que se concluísse que o sistema é mais sensível a variação da taxa de pacotes, uma vez que uma elevação brusca dessa variável pode ocasionar degradações consideráveis ao sistema, inclusive tornando o mesmo inoperante. Com relação aos testes de QoE, para o enlace 1, não se observou impacto algum nos testes realizados com vídeo-conferência, jogos em rede e acesso a sites de vídeos sem uso de *buffer*, porém foi perceptível um impacto no acesso a sites de vídeos que utilizam *buffer* na reprodução do vídeo, em que nem sempre se conseguiu carregar e, por consequência, assistir o vídeo em sua totalidade. Com isso, percebeu-se que as variações constantes provocadas pela presença de ruído impulsivo nas variáveis de QoS, tais como taxa de pacotes e perda de pacotes, não ocasionaram impactos profundos na experiência do usuário. Assim, acredita-se que, para variações constantes das variáveis de QoS, o modem tende a se

adequar a situação atual do sistema, desde que os níveis de interferência não sejam elevados demais, garantindo assim uma experiência satisfatória para o usuário.

Desta forma, com a finalidade de evidenciar melhor o impacto do ruído foi aumentada a frequência de ocorrências do ruído, que passou de uma para cem a cada segundo, e assim foi possível observar, mesmo com potência e duração menores, um aumento bastante elevado no impacto causado pelo ruído, pois nesta situação observou-se a perda de conexão por parte do modem, fato que permitiu se classificar o sistema, acordo com o critério de MOS, como de nível 1, em que a degradação do sistema é extremamente perceptível, tornando impossível a utilização do mesmo. Desta forma, pode-se concluir que a frequência de ocorrência do ruído influencia muito mais no sistema que a potência ou a duração do sinal.

Como passos futuros indica-se a realização do estudo do limiar de impacto do ruído para o sistema DSL, possibilitando assim a observação do crescimento do nível de degradação do serviço. Além disso, a verificação do impacto do ruído, considerando a subjetividade do usuário, nos demais enlaces padronizados pela Telebrás é apontada como extensão para este trabalho. Como dito anteriormente, um estudo mais aprofundado da variação no atraso da transmissão provocada pelo *splitter* também é sugestão de estudos futuros.

Referências Bibliográficas

- [1] N. Nedev, “*Analysis of the Impact of Impulse Noise in Digital Subscriber Line Systems*”. Doctor’s degree project, Edinburgh, 2003
- [2] J. Reis, “Caracterização de Enlaces Telefônicos para o Transporte de Serviços DSL (*Digital Subscriber Line*)”. TCC, Belém-PA, 2006
- [3] Sistema de Documentação da Telebrás - Série Engenharia, Especificações Gerais de Modem Operando com Técnica de Transmissão Assimétrica (ADSL), nas Velocidades de 2048, 4096 e 6144 kbits/s - 2 Fios, Abril, 1997
- [4] A. Wia, “Loop Qualification for xDSL”, Master of Science Thesis in Digital Signal Processing, Ericsson Telecom AB, Stockholm, February 2001
- [5] B. Paes, J. Silva, “xDSL - Digital Subscriber Line (Linha Digital de Assinantes)”. TCC, Goiás, 2003
- [6] M. Nilsson, “Management of a DSL Copper Network Using Built-in Loop Qualification Tools”. Master’s degree project, Stockholm, 2005
- [7] P. Golden, H. Dedieu, K. Jacobsen, ”Fundamentals of DSL Technology”. New York: Auerbach Publications, 2006
- [8] International Telecommunication Union - Telecommunication G.996.1, Test Procedures for Digital Subscriber Line (DSL) Transceivers, 2001
- [9] American National Standard Institute T1.413 For Telecommunications - Network and Customer Installation Interfaces - Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface, 1998
- [10] “Transmission and multiplexing (TM) - access transmission systems on metallic access cables; asymmetric digital subscriber line (ADSL) - european specific requirements,” ETSI TS 101 388-v.1.3.1, 2002

-
- [11] International Telecommunication Union - Telecommunication G.992.1, Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) Transceivers, 1999
 - [12] R. Fits, and C. Dunfords, "Local Loop and DSL Testing Techniques". Second Edition, Consultronics
 - [13] K. Wong, T. Aboulnasr, "Single Ended Loop Characterization". IEEE, 1995
 - [14] Paradyne Corporation - The DSL Sourcebook, The Comprehensive Resource On Digital Subscriber Line Technology. Version 3.1, 2000
 - [15] DSL Forum, Technical Report TR-126, Triple-Play Services: Quality of Experience (QoE) Requirements, Dezembro, 2006
 - [16] ITU-T Study Group 12 - Performance and quality of service. Question 12 Study Period 2005-2008: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/index.asp>. Último acesso em 25 de Fevereiro de 2007
 - [17] ITU-T Study Group 12, Question 13/12 - Multimedia QoE/QoS performance requirements and assessment methods: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/sg12-q13.html>. Último acesso em 25 de Fevereiro de 2007
 - [18] IPTV Interoperability Forum (IIF), Alliance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS) workgroup: <http://www.atis.org/iif/index.asp>. Último acesso em 25 de Fevereiro de 2007
 - [19] S. Gori, D. Hay, and C. Narduzzi, "Measurement of the Increase in Delay Distortion for ADSL Splitters", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 54, No 6, December 2005
 - [20] DSL Forum, Technical Report TR-007, Interfaces and System Configurations for ADSL: Customer Premises, March 1998
 - [21] http://kb.lumison.net/?action=view_topic&id=715. Último acesso em 25 de Fevereiro de 2007
 - [22] J. Dias, I. Negrão, et al, "Improving the Performance Evaluation of ADSL systems by using a Modem Diagnosis Methodology", MOMAG 2006, Belo Horizonte-MG, Setembro 2005
 - [23] DSL Consortium - Network Access Verification Interoperability Test Suite (NAV), Version 1.3.1

- [24] DSL Forum, “ADSL Interoperability Test Plan”, Technical Report TR-067, 2004
- [25] DLS Test Works, “Operating Manual DLS 400E ADSL Wireline Simulator,” Rev. 7, 2000
- [26] S. Rabinovich, Measurement errors and uncertainties: theory and practice, 2nd ed., Springer-Verlang New York, 1999
- [27] Gibbons, R. D.: 1994, Statistical Methods for Groundwater Monitoring, John Wiley & Sons, New York
- [28] Expression of the Uncertainty of Measurement Calibration, EA-4/02 Recommendation, December, 1999
- [29] <http://www.skype.com>. Último acesso em 25 de fevereiro de 2007
- [30] <http://www.youtube.com>. Último acesso em 25 de fevereiro de 2007
- [31] <http://www.cnn.com/video>. Último acesso em 25 de fevereiro de 2007
- [32] S. Galli, “Loop Makeup Identification Via Single Ended Testing: Beyond Mere Loop Qualification”, IEEE Journal On Selected Areas in Communications, vol. 20, No 5, June 2002.
- [33] UFA03 LQ Project, Technical Report.