

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TESE DE DOUTORADO

Mauro Margalho Coutinho



**Canal de Retorno com Interatividade Condicionada por
Mecanismo de Sinalização Contínua e Provisionamento de
Banda Orientado a QoS**

BELÉM
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TESE DE DOUTORADO

Mauro Margalho Coutinho



Canal de Retorno com Interatividade Condicionada por Mecanismo de Sinalização Contínua e Provisionamento de Banda Orientado a QoS

Tese apresentada para a obtenção
do título de Doutor em Engenharia
Elétrica à comissão julgadora da
Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa
Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês

BELÉM
2006

Mauro Margalho Coutinho

CARIMBÓ

Canal de Retorno com Interatividade Condicionada por Mecanismo de
Sinalização Contínua e Provisionamento de Banda Orientado a QoS

Tese apresentada para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia Elétrica à comissão
julgadora da Universidade Federal do Pará.

Aprovada em 15 / 12 / 2006

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Antônio Jorge Gomes Abelém
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Júnior
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Guido Lemos de Souza Filho
Universidade Federal da Paraíba

Profa. Dra. Judith Kelner
Universidade Federal de Pernambuco

Ao meu filho Thomas e
à minha esposa Lia,
muito amados.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Federal do Pará.

À Universidade da Amazônia.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Crisóstomo Weyl A. Costa, pelo apoio, incentivo e por ter me fornecido todos os recursos de infra-estrutura necessários ao desenvolvimento desta tese de doutorado.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês, pelo apoio, incentivo e, em especial, pelo auxílio no processo de avaliação de desempenho.

A minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

A minha amiga Sue Anne Colares pelo auxílio na edição e produção do vídeo utilizado na aplicação piloto.

Aos meus amigos Marília Paulo Teles e Mario Ribeiro Júnior pelo auxílio no desenvolvimento da aplicação piloto.

A minha esposa Lia Coutinho, pelo auxílio na construção dos gráficos.

Aos meus amigos Edvar, Ádamo e Diego pelo companheirismo nas horas difíceis.

A todos os integrantes dos laboratórios LPRAD, LEA e LAPS.

Aos Professores:

Prof. Dr. Antônio Jorge Gomes Abelém

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

Prof. Dr. Aldebaro B. da Rocha Klautau Júnior

Profa. Dra. Juduth Kelner

Prof. Dr. Guido Lemos

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

A descoberta consiste em ver o
que todos viram e em pensar no
que ninguém pensou.

Szent-Gyorgyi A.

RESUMO

Esta tese de doutorado propõe um *framework* para controle e gerenciamento da rede de retorno da Televisão Digital a partir de quatro componentes: o Provedor de Televisão Digital, o Terminal Interativo, o Provedor de Canal de Retorno e o Provedor de Conteúdo. Juntos, interagem com base em um mecanismo de sinalização que propaga restrições de QoS associadas à programação interativa corrente pelo sistema de carrossel de dados. O conjunto também provê um sistema de admissão que investiga, periodicamente, a condição do canal de retorno autorizando ou restringindo acesso em função das necessidades das aplicações interativas. Também é flexível a ponto de viabilizar aplicações tanto em larga escala, quanto localmente uma vez que permite mobilidade ao gestor do serviço. Uma aplicação de *e-gov/e-health* foi desenvolvida em Java *XleTView* para consolidar o desempenho do sistema. Realizou-se a avaliação utilizando técnicas de aferição e modelagem de acordo com a escala. Na última milha, avaliaram-se tecnologias de baixo custo e que não requerem tarifação periódica como é o caso de redes locais sem fio. Em escala maior, o sistema foi modelado e seu desempenho avaliado em diferentes cenários com auxílio do simulador de redes *Network Simulator*.

PALAVRAS-CHAVE: Televisão Digital, Canal de Interatividade, Avaliação de Desempenho, QoS, Simulação.

ABSTRACT

This doctoral thesis proposes a *framework* has controlling and management the return network in Digital Television from four components: Digital Television Provider, Interactivity Terminal, Return Channel Provider, and Content Provider. Together, they interact based on a signaling mechanism that propagates QoS restrictions associated to the current interactive programming through the data carousel system. The set of them also provide an admission control that investigates, periodically, the return channel status allowing or restricting the access according to the necessities of the interactive applications. Moreover, the system is so flexible that admit applications as in large scale as in small scale (local), thanks to the mobility of the service provider. An e-gov/e-health application was development in Xlet Java to evaluate the performance of the system. The performance analysis was proceeded using measurement and modeling techniques according to the system scale. In the last mille, some technologies of low cost and without periodically billing were tested such as wireless local area network. In large scale, the system was evaluated in different scenarios by means of simulation using the Network Simulator.

KEYWORDS: Digital Television, Interactivity Channel, Performance Evaluation, QoS, Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo genérico de TVD (5 camadas)	26
Figura 2: Componentes das camadas de tecnologia dos principais padrões de TVD	28
Figura 3: Rede interativa proposta por Barbosa (2005)	35
Figura 4: Rede interativa proposta por Amodei (2005).....	36
Figura 5: Rede interativa proposta por Carvalho (2005).....	37
Figura 6: Sistema WDS.	43
Figura 7: Arquitetura DVB para canal de retorno via GSM.....	48
Figura 8: Modelo de referência genérico de TVD.....	49
Figura 9: Arquitetura da Pilha de protocolo GPRS.	49
Figura 10: Utilização do modem e estação base PLC.	51
Figura 11: Divisão da rede em segmentos através do uso de diferentes frequências.....	53
Figura 12: Utilização do <i>gateway</i> para divisão do ambiente <i>indoor</i> do <i>outdoor</i>	54
Figura 13: Divisão da rede em sub-redes através do uso de <i>gateways</i>	54
Figura 14: <i>Framework</i> CARIMBÓ	58
Figura 15: Armazenamento persistente em redes DTN.....	65
Figura 16: Camada de empacotamento em redes DTN.....	66
Figura 17: Projeto WLACA	70
Figura 18: Interferência causada por forno de microondas	72
Figura 19: Interferência causada por transmissão via <i>bluetooth</i>	72
Figura 20: Cenário de aferição das taxas do sistema piloto de E-Gov	73
Figura 21: Antenas do projeto WLACA	75
Figura 22: Pontos de Medição de sinal da rede WLACA	76
Figura 23: Vazão média frente ao aumento do expoente de perdas	79

Figura 24: Atraso médio frente ao aumento do expoente de perdas	80
Figura 25: Jitter médio frente ao aumento do expoente de perdas	80
Figura 26: Vazão média frente ao aumento do número de terminais interativos	81
Figura 27: Atraso médio frente ao aumento do número de terminais interativos	82
Figura 28: <i>Jitter</i> médio frente ao aumento do número de terminais interativos.....	83
Figura 29: Vazão média frente a variações de distância e número de terminais interativos....	84
Figura 30: Atraso médio frente a variações de distância e número de terminais interativos ...	84
Figura 31: Cenário 4 – Rede Interativa com QoS	87
Figura 32: Vazão média na rede interativa.....	88
Figura 33: Atraso médio na rede interativa	88
Figura 34: <i>Jitter</i> médio na rede interativa	89
Figura 35: Probabilidade de bloqueio na rede interativa.....	89
Figura 36: Levantamento de custos/número de usuários por estação base	91
Figura 37: Levantamento de custos/número de usuários por cliente.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	<i>Aplication Program Interface</i>
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Businesses</i>
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee</i>
CA	<i>Conditional Access</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CARIMBÓ	Canal de Retorno com Interatividade Condicionada por Mecanismo de Sinalização Contínua e Provisonamento de Banda Orientado a QoS
CBR	<i>Constraint Bit Rate</i>
CDI	Comitê para Democratização da Informática
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>
DASE	<i>Digital Television Application Software Environment</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DTN	<i>Delay-Tolerant Networks</i>
DVB	<i>Digital Vídeo Broadcasting</i>
DVB-C	<i>Digital Vídeo Broadcasting Cable</i>
DVB-HTML	<i>Digital Vídeo Broadcasting Hiper Text Markup Language</i>
DVB-J	<i>Digital Vídeo Broadcasting Java</i>
DVB-S	<i>Digital Vídeo Broadcasting Satellite</i>
DVB-T	<i>Digital Vídeo Broadcasting Terrestrial</i>
EAD	Educação a Distância
EDTV	<i>Enhanced Definition Television</i>
EPG	<i>Electronic Program Guide</i>
ERB	Estação rádio base
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FTP	Protocolo de Transferência de Arquivo
G2B	<i>Government to Business</i>
G2C	<i>Government to Consumer</i>
G2G	<i>Government to Government</i>

GEM	<i>Globally Executable MHP</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
HDTV	<i>High Definition Television</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDB	<i>Integrated Service Digital Broadcasting</i>
ISDB-T	<i>Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
ITU-T	<i>International Telecommunications Union – Telecommunications</i>
LPRAD	Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho
MHP	<i>Multimedia Home Platform</i>
MPEG-2 TS	<i>Motion Picture Expert Group Transport Streams</i>
NS	<i>Network Simulator</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PC	Provedor de Conteúdo
PCR	Provedor de Canal de Retorno
PHB	<i>Per Hop Behavior</i>
PLC	<i>Power Line Communications</i>
PTVD	Provedor de TVD
QoS	Qualidade de Serviço
RFP	Requisições Formais de Propostas
SBTVD	Sistema Brasileiro de Televisão Digital
SCM	Serviço de Comunicação Multimídia
SDSL	<i>Single Line Digital Subscriber Line</i>
SDTV	<i>Standard Definition Television</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIM	Seletor de Infraestrutura de Mídia
SMTP	Servidores de Email
SQL	Structured Query Language
STVD	Sistema de Televisão Digital
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

TI	Terminal Interativo
TVD	Televisão Digital
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
VDSL	<i>Very High Data Rate Digital Subscriber Line</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
WDM	<i>WaveLength-Division Multiplexing</i>
WDS	<i>Wireless Distribution System</i>
WECA	<i>Wireless Ethernet Compatibility Alliance</i>
WLACA	Wireless Laboratório de Computação Aplicada
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 MOTIVAÇÃO.....	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.3 CONTRIBUIÇÕES	20
1.4 DESENVOLVIMENTO DA TESE	21
1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE	22
2 TELEVISÃO DIGITAL INTERATIVA	23
2.1 COMPONENTES DA TVD.....	23
2.1.1 A Difusão dos Dados.....	23
2.1.2 A Recepção de Dados.....	25
2.2 SISTEMAS DE TVD	26
2.3 SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL (SBTVD)	28
2.4 INTERATIVIDADE EM TVD	31
2.4.1 Interatividade Local.....	33
2.4.2 Interatividade <i>One-Way</i>	33
2.4.3 Interatividade <i>Two-Way</i>	34
2.5 TRABALHOS RELACIONADOS	34
2.6 ANÁLISE COMPARATIVA.....	38
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
3 TECNOLOGIAS DE ACESSO PARA CANAL DE INTERATIVIDADE	40
3.1 REDES LOCAIS SEM FIO	40
3.1.1 Aspectos de Legislação	41
3.1.2 Segurança	42
3.1.3 Sistema de Distribuição sem Fio	42

3.2 LINHAS TELEFÔNICAS DISCADAS.....	43
3.3 LINHA DIGITAL ASSIMÉTRICA PARA O ASSINANTE	45
3.3.1 Legislação.....	46
3.4 SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICAÇÃO MÓVEL.....	47
3.5 POWER LINE COMMUNICATION	50
3.5.1 Elementos Básicos da Rede.....	50
3.5.2 Repetidor	52
3.5.3 <i>Gateway</i>	53
3.6 LINHAS TELEFÔNICAS DISCADAS.....	55
3.7 LINHAS DE SATÉLITE.....	55
3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
4 DESCRIÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i> PROPOSTO	57
4.1 COMPONENTES DO FRAMEWORK.....	57
4.1.1 Provedor de TVD (PTVD)	59
4.1.2 Terminal Interativo (TI).....	61
4.1.3 Provedor de Canal de Retorno (PCR).....	62
4.1.4 Provedor de Conteúdo (PC).....	63
4.1.5 Provisionamento de Recursos (QoS).....	64
4.2 TOLERÂNCIA A FALHAS	64
4.3 INTERATIVIDADE NÃO CONTÍNUA SUPORTADA POR REDES DTN	65
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
5 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA.....	67
5.1 APLICAÇÃO E-GOV	67
5.1.1 Interatividade	69
5.1.2 Armazenamento.....	69

5.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO DA PROPOSTA CARIMBÓ.....	70
5.2.1 Aferição	70
5.2.1.1 Aferição do nível de Interferência	71
5.2.1.2 Aferição da Vazão do Sistema	72
5.2.2 Simulação	77
5.2.2.1 Parametrização da Simulação	77
5.2.2.2 Cenário 1	79
5.2.2.3 Cenário 2	81
5.2.2.4 Cenário 3	83
5.2.2.5 Cenário 4	84
5.3 ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO	90
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
6 CONCLUSÕES.....	94
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	94
6.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	95
6.2.1 Trabalhos Aceitos	96
6.3 TRABALHOS FUTUROS	98
6.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS	98
6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS	100
APÊNDICE A - Sistema de controle de vacinação infantil	104
A.1 CÓDIGOS-FONTE DO SISTEMA	104
A.2 TELAS DO SISTEMA	105
APÊNDICE B – Procedimentos e códigos utilizados no processo de simulação	107
B.1 O SIMULADOR NETWORK SIMULATOR	107

B.1.1 Ajustes para suporte à topologia infra-estruturada	107
B.2 CÓDIGO-FONTE DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS	109
APÊNDICE C – Principais publicações indexadas no sistema Qualis da CAPES.....	110
C.1 REVISTA IEEE LATINO-AMERICANA	110
C.2 REVISTA INFOCOMP	125
ANEXO A – Referências de Apoio Requeridas no Desenvolvimento da Tese.....	132
A1 SERVIÇOS DIFERENCIADOS	132
A1.1 O PHB AF	133
A1.2 O PHB EF	135
A1.3 Provisionamento	137
A2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	138
A2.1 Fases de uma Simulação.....	140
A2.2 Intervalo de Confiança.....	143
ANEXO B – Esclarecimento da ANATEL referente ao SCM	147
ÍNDICE REMISSIVO.....	148

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Diante de um cenário preocupante, onde crescentes desigualdades sociais são cada vez mais presentes, um ponto parece convergir para o consenso no que diz respeito à busca por uma sociedade mais justa: **o acesso à informação**. Dois aspectos estão diretamente ligados a esse processo: a exclusão tecnológica e a inclusão digital. O termo “exclusão tecnológica” ou *digital divide* surgiu em 1990 para descrever o crescimento da lacuna entre aqueles que têm acesso às tecnologias de comunicação e informação e os que, por motivos sócio-econômicos ou razões geográficas, não o tem (WEFORUM, 2006). Já o termo “inclusão digital” se refere ao domínio de habilidades básicas para o uso de computadores e, também, na capacitação para utilização dessas mídias, em favor dos interesses e necessidades individuais e comunitários, com responsabilidade e senso de cidadania (BUZATO, 2003) (SILVA et al, 2005).

Algumas iniciativas na formação do cidadão “alfabetizado digitalmente” têm tido grande repercussão nacional. É o caso do Comitê para Democratização da Informática (CDI), fundado em 1995 e presente em um grande número de cidades brasileiras, inclusive em Belém. A premissa é capacitar agentes propagadores junto aos próprios membros das comunidades envolvidas. Isso faz com que o crescimento do uso dos serviços baseados em tecnologia digital ocorra a partir de um processo colaborativo (CDI, 2005).

Em meio a sérios problemas de exclusão tecnológica, define-se no Brasil o padrão para a Televisão Digital (TVD). Uma alternativa bastante promissora, pois, além de estar presente em mais de 90% dos lares brasileiros (MONTEZ; BECKER, 2005), a televisão é acessível a praticamente todas as classes sociais, em todas as regiões do Brasil, o que já não ocorre com o computador. Além disso, valoriza-se a informação áudio visual, o que

certamente facilita todo o processo de formação das habilidades do usuário para interagir com a tecnologia. Tão grande é a popularidade da televisão que muitos brasileiros da região amazônica, conhecidos como ribeirinhos se deslocam por muitos quilômetros até os centros urbanos apenas para efetuar a recarga de baterias automotivas utilizadas como fonte de energia para esses equipamentos.

A perspectiva de disponibilizar aplicações interativas e amigáveis no aparelho de TV abre um leque de possibilidades e constitui um dos principais agentes motivadores para a realização desta tese de doutorado.

Partindo-se da premissa de que o sistema de TVD pode melhorar a qualidade de vida da população, especificou-se um conjunto de componentes com o intuito de estender esse benefício às classes menos favorecidas. A proposta idealizada previu o uso de um modelo inédito que organizasse a rede interativa a partir de políticas de prioridade ajustáveis. Dimensionar a escala do serviço interativo de modo flexível também foi uma preocupação, pois assim muitas comunidades poderiam ser beneficiadas com programas de treinamento à distância ou aplicações de governo eletrônico. Para isso, concebeu-se um modelo capaz de permitir tanto a interatividade regionalizada¹ quanto a interatividade em larga escala. Outra preocupação foi investigar tecnologias de acesso de baixo custo e sem tarifação periódica para uso no canal de retorno (COMPUTAÇÃO BRASIL, 2005).

1.2 OBJETIVOS

Como principais objetivos desse trabalho, podem-se destacar a investigação de tecnologias alternativas de acesso para canal de retorno da TVD e a elaboração de um modelo flexível que organiza a rede interativa a partir de políticas de priorização.

¹ O termo interatividade regionalizada será utilizado, no contexto desta tese, para refletir o uso de aplicações de TVD destinadas a uma área específica. Por exemplo, uma aplicação de TVD que seja voltada aos moradores da cidade de Belém.

Foram analisados aspectos de viabilidade técnica frente às opções de tecnologias disponíveis na região amazônica, assim como foram traçados diversos comparativos de desempenho baseados tanto em processo de aferição, para escalas menores, quanto em simulação, para escalas de maior abrangência. Para avaliar a funcionalidade da proposta de forma mais consistente, foi desenvolvida uma aplicação piloto de governo eletrônico focando o processo de vacinação infantil através de um sistema de TVD regionalizado. Esse sistema será direcionado à população de baixa renda residente em áreas sem infra-estrutura tecnológica. A partir de cenários envolvendo diferentes tecnologias foram realizadas avaliações de desempenho para investigar a funcionalidade do conjunto de propostas como um todo.

1.3 CONTRIBUIÇÕES

Esta tese de doutorado foi desenvolvida sob a convicção de gerar contribuição para o processo de redução dos altos níveis de exclusão tecnológica, tanto quanto para melhoria das oportunidades de inclusão digital, considerando as diversas classes sociais brasileiras, especialmente na região amazônica. Para tanto, propôs-se um *framework* voltado para a rede de retorno da TVD que viabilizou a interatividade regionalizada. Isso foi possível graças a uma estrutura flexível suportada por políticas de priorização baseadas em técnicas de Qualidade de Serviço (QoS) como a descrita item A1 do anexo A. Também se realizou um estudo de desempenho em diferentes cenários com tecnologias alternativas de acesso para viabilizar a interatividade, mesmo em locais sem infra-estrutura tecnológica. As técnicas utilizadas nesse processo são descritas no item A2 do anexo A .

A estrutura do *framework* cria oportunidades para o desenvolvimento de aplicações de cunho social que se estendem por diversos segmentos, quer do poder público,

quer da iniciativa privada. Dentre outros, destacam-se áreas como saúde, educação, entretenimento e acesso à informação.

1.4 DESENVOLVIMENTO DA TESE

O desenvolvimento desta tese foi dividido basicamente em seis etapas: levantamento de tecnologias de acesso disponíveis na Amazônia, elaboração de um *framework* flexível para a rede de retorno, desenvolvimento de uma aplicação piloto de TVD, instalação de um laboratório de testes para aferição de canal de retorno em pequena escala, análise e transposição de dados para um simulador com o objetivo de avaliação da rede de retorno em larga escala e avaliação de resultados e proposições finais.

Na fase de levantamento de tecnologias de acesso disponíveis na Amazônia, considerou-se a relação capilaridade/custo como fator de seleção, o que pode ser verificado na análise custo-benefício apresentada no item 5.3. A proposta de criação de um *framework* para a rede de retorno partiu da premissa de que, entre a última milha e o *backbone* da rede interativa haveria um nó de entrada capaz de prover suporte a interatividade local. Concebido o *framework*, realizou-se um amplo levantamento bibliográfico para certificar o ineditismo requerido por uma tese de doutorado. O passo seguinte foi especificar e desenvolver uma aplicação piloto de TVD que pudesse ser utilizada no teste de desempenho do *framework* e, para tanto, utilizou-se o emulador XLetView com a aplicação focando em serviços de *e-gov*² e *e-health*³. A instalação do laboratório de testes requereu uma ampla pesquisa sobre redes locais sem fio, equipamentos de diversos fabricantes, soluções de segurança em nível de software e levantamento de preços. A opção adotada foi baseada nos equipamentos da linha AP-2x da *Proxim* por se tratar de um *hardware* extremamente robusto produzido por uma

² Alguns autores utilizam o termo t-gov (governo televisivo) ao invés de e-gov (governo eletrônico) para referenciar os serviços governamentais oferecidos pela TV (MONTEZ; BECKER, 2005).

³ E-health é um termo utilizado para caracterizar medicina na Internet e tudo mais que relaciona computadores e medicina. <<http://www.icml9.org/news.php?lang=pt&id=96>>

empresa com tradição no mercado de redes sem fio e com suporte ao uso de três padrões (IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g), o que gerou mais flexibilidade nos experimentos. Para análise dos resultados da aferição utilizou-se um analisador de protocolos da RADCOM com alto nível de confiabilidade. A partir das medições obtidas foi realizada a simulação em larga escala, em especial para avaliar o comportamento da rede interativa e certificar a eficiência da proposta apresentada.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Além deste capítulo introdutório, esta tese se encontra dividida em mais cinco capítulos e a organização possui a seguinte forma: O capítulo 2 apresenta apanhado geral sobre o estado da arte em TVD Interativa com referência a trabalhos relacionados e uma análise comparativa. Também são apresentados os principais padrões do sistema brasileiro de TVD. O capítulo 3 aborda tecnologias de acesso disponíveis na região amazônica e, assim, candidatas em potencial a proverem parte da rede interativa da TVD. O capítulo 4 descreve proposta do *framework* CARIMBÓ, com a especificação detalhada de seus componentes. O capítulo 5 apresenta um estudo de viabilidade técnica do *framework* proposto nesta tese, através da análise de cenários envolvendo a avaliação de desempenho via aferição e simulação. No capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, relacionando as contribuições, os trabalhos futuros e dificuldades encontradas.

Esta tese se encontra formatada segundo os critérios da Associação Brasileira de Normas Técnicas que tratam de informação e documentação. Destacam-se, especificamente: NBR 6023 (2002), NBR 10550 (2002) e NBR 14724 (2002).

2 TELEVISÃO DIGITAL INTERATIVA

A TVD é uma das tecnologias mais recentes de difusão onde imagens e sons são capturados e transmitidos em formato digital com um melhor aproveitamento do espectro de frequência. O reflexo dessa mudança pode ser observado na melhoria de qualidade, em mais opções de serviços e mais controle sobre a televisão. No que diz respeito a qualidade, três padrões merecem destaque: o *Standard Definition Television* (SDTV) que utiliza uma relação de espectro de 4:3 (largura:altura da imagem), onde os aparelhos receptores possuem 408 linhas com 704 pontos em cada uma; o *Enhanced Definition Television* (EDTV) com 720 linhas e 1.280 pontos por linha e o *High Definition Television* (HDTV) com formato 16:9, onde os aparelhos receptores possuem 1.080 linhas, com 1920 pontos em cada linha. (MONTEZ; BECKER, 2005)

2.1 COMPONENTES DA TVD

Em termos gerais, pode-se decompor um sistema de TVD interativa em quatro partes: um difusor, responsável por prover o conteúdo a ser transmitido e dar suporte às interações dos telespectadores; um receptor, que recebe o conteúdo e oferece a possibilidade de interação com o difusor; um meio de difusão, que habilita a comunicação entre o difusor e o receptor e um canal de retorno, que permite a retroalimentação entre os telespectadores e o provedor de serviços.

2.1.1 A Difusão dos Dados

Além dos fluxos de áudio e vídeo, existe a possibilidade de que um terceiro tipo de fluxo também seja difundido: dados. Esses dados podem ser inclusive de aplicativos. Como exemplo pode-se citar legendas de filmes, dublagens em vários idiomas, informações

adicionais em forma de texto, o Guia de Programação de Canais ou *Electronic Program Guide* (EPG) etc.

Na etapa de difusão de dados também se prevê o controle de Acesso Condicional ou *Conditional Access* (CA) que permite restringir determinados serviços de clientes. Um exemplo citado por Montez e Becker (2005) envolve uma TV comunitária, associada a uma prefeitura, difundindo um serviço que pode ser acessado apenas por postos de saúde credenciados. Nesse tipo de sistema, o serviço é protegido através de criptografia antes de ser multiplexado.

Pode-se gerar o conteúdo televisivo através de duas formas: transmissão ao vivo ou gravação para edição antes da difusão. Em ambas, a aquisição do sinal de vídeo é feito através de câmeras filmadoras digitais ou analógicas. Para poderem ser difundidos na forma digital, os sinais de áudio e vídeo precisam ser codificados. Normalmente isso é feito utilizando-se o formato *Motion Picture Expert Group Transport Streams* (MPEG-2 TS) que é voltado para o transporte de dados multimídia em enlaces de comunicação sujeitos a erros de transmissão. Isso justifica o tamanho pequeno dos pacotes, apenas 188 bytes, facilitando a resincronização de um vídeo no caso de perdas. Há duas formas de codificação do sinal no padrão MPEG-2: através de uma taxa constante de bits ou *Constant Bit Rate* (CBR) ou de uma taxa variável de bits ou *Variable Bit Rate* (VBR). Cada fluxo de áudio, vídeo e dados no MPEG-2 é chamado de fluxo elementar ou *Elementary Stream*. Um conjunto de fluxos elementares pode formar o que costuma ser conhecido como canal ou programa, mas é chamado de serviço no ambiente de TVD.

Pode-se criar uma organização lógica chamada *bouquet*, que é aplicada, por exemplo, quando o provedor possui diferentes planos e cada plano corresponde a um conjunto de serviços.

A TVD viabilizou a transmissão de qualquer tipo de dado, desde que estejam em formato digital. Esse serviço de transmissão, junto com o fluxo de vídeo é conhecido como *datacasting*. Tecnicamente *datacasting* corresponde ao encapsulamento e difusão dos dados dentro de um fluxo de transporte, junto com outros fluxos elementares de dados. O *datacasting* pode ser caracterizado segundo o grau de acoplamento dos dados. Um *datacasting* fortemente acoplado é aquele onde os dados difundidos são temporalmente relacionados ao áudio e ao vídeo. No *datacasting* fracamente acoplado, os dados são relacionados ao áudio e vídeo, mas não são completamente sincronizados. Pode-se, portanto, escolher o melhor momento para acessar os dados sem prejudicar a compressão da informação principal.

A forma padronizada em TVD para *datacasting* é conhecida como carrossel de dados, onde a idéia é permitir a transmissão periódica de dados sobre um fluxo de transporte. Com isso o receptor apenas aguarda o próximo envio quando precisar de uma determinada informação (MONTEZ; BECKER, 2005 apud GAWLINSKI, 2003).

2.1.2 A Recepção de Dados

Após ser captado por uma antena específica para a tecnologia adotada, o sinal é processado por um receptor que pode ou não estar embutido em uma televisão. Quando o receptor é um equipamento à parte, ele é conhecido como *set-top-box*. O primeiro elemento que processa o sinal recebido é o sintonizador digital, que é responsável pela captação do sinal difundido. Depois disso, o sinal passa por um demodulador, responsável pela extração do fluxo de transporte MPEG-2. O fluxo é então carregado através de um demultiplexador, que extrai todos os fluxos elementares e depois encaminha os fluxos de áudio e vídeo para o decodificador, que os converte para o formato apropriado de exibição utilizado pela TV.

2.2 SISTEMAS DE TVD

Uma das grandes vantagens da TVD é a possibilidade de compressão do sinal, o que permite a utilização de uma maior quantidade de canais. Com o mesmo espaço no espectro de frequência requerido para um canal de TV analógica, pode-se ter de quatro a seis canais digitais, com possibilidade de aumento desse número. Na largura de banda ocupada por um sistema analógico, pode-se transmitir de 18 a 24 Mbps, enquanto que a transmissão em um canal padrão de TVD requer a capacidade de aproximadamente 4 Mbps.

As pesquisas envolvendo TVD começaram a ganhar espaço na comunidade científica a partir da década de 1980, época em que o Japão já possuía um sistema de TV de alta definição. O fato de ser analógico, entretanto, impunha certas limitações.

Já em 1993 foram lançados os dois primeiros sistemas de transmissão digital: o *Digital Video Broadcasting* (DVB), europeu e o *Advanced Television Systems Committee* (ATSC), norte-americano. Somente em 1999 o Japão lançou seu sistema, chamado *Integrated Service Digital Broadcasting* (ISDB) (MONTEZ; BECKER, 2005). Uma forma de avaliar as possibilidades de interoperabilidade entre os padrões é retratá-los através de uma arquitetura de cinco camadas: aplicação, middleware, compressão, transporte e modulação, conforme mostrado na Figura 1.

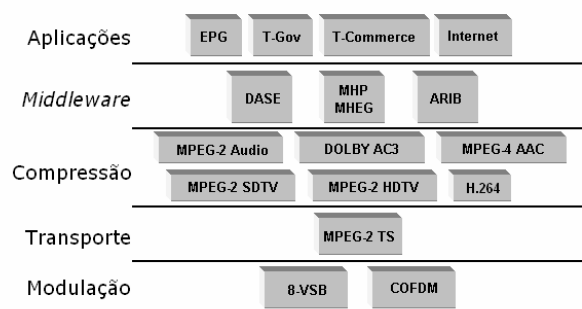


Figura 1: Modelo genérico de TVD (5 camadas)

Fonte: (MONTEZ; BECKER, 2005)

Um dos padrões mais difundidos no mundo é o europeu, o DVB, que possui uma série de subpadrões organizados em função da mídia de difusão: por rádio, *Digital Vídeo Broadcasting Terrestrial* (DVB-T); por cabo, *Digital Vídeo Broadcasting Cable* (DVB-C); por satélite, *Digital Vídeo Broadcasting Satellite* (DVB-S) etc.

O padrão DVB foi iniciado oficialmente a partir de um consórcio criado em 1993 e atualmente possui membros em mais de trinta e cinco países. Além da Europa, foi adotado na Austrália, Malásia, Hong Kong, Índia e África do Sul. O *middleware* desse padrão prima pela interatividade e se consolida em uma plataforma conhecida como *Multimedia Home Platform* (MHP), que busca oferecer um ambiente de TV interativa aberto e interoperável, independente de *hardware* e *software* específicos. Seu ambiente de execução é baseado no uso de uma máquina virtual Java e as aplicações desenvolvidas com base em suas *Application Program Interface* (APIs) são denominadas *Digital Vídeo Broadcasting Java* (DVB-J). Além do uso da API Java, o MHP 1.1 introduziu a possibilidade de usar o *Digital Vídeo Broadcasting Hyper Text Markup Language* (DVB-HTML), uma linguagem de programação semelhante ao HTML, para o desenvolvimento de aplicações.

As aplicações DVB-J e DVB-HTML possuem capacidade de realizar *downloads* através do canal de interatividade, armazenar aplicações em memória persistente, acessar leitores de *smart cards*, além de controlar aplicações de Internet, tais como navegador WEB e leitor de e-mail.

Em janeiro de 2003 foi publicada uma especificação chamada *Globally Executable MHP* (GEM), que buscava uniformizar o padrão de desenvolvimento de aplicações para todos os sistemas de TVD interativa.

Outro padrão em funcionamento nos Estados Unidos desde novembro de 1998 é o ATSC que foi adotado também pelo Canadá, Coreia do Sul e Taiwan, com foco principal na qualidade. Para tanto, chega a ocupar até 8 MHz de largura de banda. Como *middleware*,

utiliza o *Digital Television Application Software Environment* (DASE), que também oferece suporte à execução de aplicações através de uma máquina virtual Java, permitindo o uso de linguagens declarativas como HTML e JavaScript. O ATSC desenvolveu um módulo GEM em setembro de 2004.

Já o padrão japonês, conhecido como ISDB, foi criado em 1999 e possui como grande vantagem o alto potencial em transmissões para dispositivos móveis e portáteis (PROCEEDINGS OF THE IEEE, 2006). O *middleware* adotado pelo ISDB, o *Association of Radio Industries and Businesses* (ARIB), permite o uso de uma linguagem declarativa baseada no padrão *Extensible Markup Language* (XML).

A Figura 2 mostra os componentes das camadas de tecnologia dos três principais padrões de TVD.

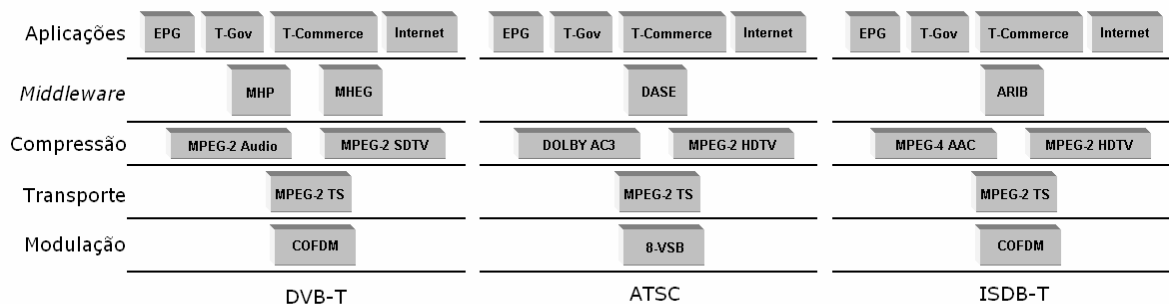


Figura 2: Componentes das camadas de tecnologia dos principais padrões de TVD

Fonte: (MONTEZ; BECKER, 2005)

2.3 SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL (SBTVD)

Com o intuito de estruturar um ambiente de pesquisa que permitisse a investigação de problemas regionais frente aos padrões de TVD já existentes, o governo brasileiro estabeleceu parceria com 79 instituições. Coube a elas avaliar tecnologias, testar padrões e propor diretrizes para o que seria um SBTVD. Uma das metas do governo era

lançar mão dos recursos de interatividade para preencher lacuna de inclusão digital existente no País. Diversos grupos de Educação a Distância (EAD) e usabilidade já se mobilizam, investigando os novos rumos que as aplicações de TVD devem trilhar no Brasil. Discussão de tal magnitude também envolveu participantes de diversos segmentos da sociedade nacional, além, é claro, das emissoras de televisão (MONTEZ; BECKER, 2005).

Em 2004 houve uma distribuição de atribuições entre as instituições habilitadas a participarem do projeto do SBTVD. Isso resultou em redes de pesquisa, definidas por Requisições Formais de Propostas (RFP) e apresentadas resumidamente no Quadro 1.

Quadro 1: Distribuição de tarefas entre as instituições envolvidas no SBTVD

RFP	Foco	Proponente	Executor	Projeto
02	Transmissão e recepção, codificação de Canal e Modulação	Instituto Presbiteriano Mackenzie	Instituto Presbiteriano Mackenzie	DMMBT – <i>Digital Multimedia Multicasting Broadcasting - Terrestrial</i>
03	Codificação de Sinais Fonte	FUNPET – Fundação Padre Urbano Thiesen	UNISINOS	CODECSUL – Codificador e decodificador de Vídeo Escalável Mpeg-2
04	<i>Middleware</i>	FUNCAMP – Fundação de desenvolvimento da Unicamp	FEEC	MRSBTVD - <i>Middleware</i> de Referência do Sistema Brasileiro de Televisão Digital
		FUNAPE-PB – Fundação de apoio à Pesquisa e Extensão	UFPB	FLEXTV – <i>Middleware</i> para o Sistema Brasileiro de Televisão
05	<i>Middleware</i> (Terminal de Acesso)	LSI-TEC – Associação do Laboratório de Sistemas Integráveis tecnológicos	LSI-EPUSP	TAR-SBTVD – Terminal de acesso de referência para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital
06	Serviços, Aplicações e Conteúdo (Aplicações Interativas em Saúde)	IPDE – Instituto de Pesquisa, Desenvolvimento e Educação	UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina	IDSTV – Inclusão Digital Através de Serviços de Saúde na TVD Interativa

07	Serviços e Aplicações de Conteúdo	ASTEC – Associação Técnico Científica Engenheiro Paulo de Frontin	UFC	AIMCOR – Aplicações Interativas para Modelos Comerciais e de Referência do SBTVD
		Brisa Sociedade para o Desenvolvimento da Tecnologia da Informação	Brisa	Rfp7dfprsp – Serviços, Aplicações e Conteúdo para TVD Terrestre
09	Serviços e Aplicações de Conteúdo (Gerenciamento de serviços)	Genius Instituto de Tecnologia	Genius	GSAC – SBTVD – Gerência de Serviços do Sistema Brasileiro de TVD
10	Codificação de Sinais Fonte (Codec de Áudio AAC)	LSI-TEC – Associação do Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológicos	LSI - EPUSP	AAC – SBTVD – Codificador e Decodificador de Áudio AAC
11	Codificação de Sinais Fonte (Codec de vídeo H.264/AVC)	LSI-TEC – Associação do Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológicos	LSI-EPUSP	H264-AVC – Codificador e Decodificador de Vídeo H.264/AVC
		FPLF – Fundação Padre Leonel Franca	PUC-RIO	H264brasil – Codificador e Decodificador de Vídeo H.264/AVC
13	Transmissão e recepção, codificação de Canal e Modulação	UBEA – União Brasileira de Educação e Assistência	PUC-RS	SAINT – Sistema de Antenas Inteligentes
14	Canal de Interatividade	FUNCAMP – Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP	FEEC	CISBTVD – Canal de Interatividade do Sistema Brasileiro de Televisão Digital
		FPLF – Fundação Padre Leonel Franca	PUC-RIOAH	InterTV – Canal de Interatividade de Televisão Digital
15	Transmissão e recepção, codificação de Canal e Modulação	FPLF – Fundação Padre Leonel Franca	PUC-RIO	CRFPUCUFMG – Modelagem do Canal de RF para TVD
16	Serviços, Aplicações e Conteúdo (Usabilidade)	Fundação Certi – Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras	UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina	Padrão de Referência de Usabilidade para o SBTVD

17	<i>Middleware</i> (Sincronismo de Mídias)	FPLF – Fundação Padre Leonel Franca	PUC-RIO	MAESTRO – Autoria, Produção e Formatação de Documentos Hiperímia para TVD Interativa
18	Recepção, Codificação de Canal e Modulação (Modulação Alternativa)	FINATEL – Fundação Instituto Nacional de Telecomunicações	FINATEL	MI-SBTVD – Modulação Inovadora para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital
19	Codificação de Sinais Fonte (Transcodificação de Vídeo)	IECOM – Instituto de Estudos Avançados em Comunicação	IECOM	TV-SBTVD – Transcodificadores de Vídeo para o SBTVD
20	Camada de Transporte	FUNPET – Fundação Padre Urbano Thiesen	UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos	MIDIASUL – Camada de Transporte

Fonte: (MONTEZ; BECKER, 2005)

No Brasil, a definição por um dos sistemas de TVD foi oficializada em junho de 2006. Adotou-se o padrão *Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial* (ISDB-T), incorporando as inovações tecnológicas aprovadas por um Comitê de Desenvolvimento (BRASIL, 2006).

2.4 INTERATIVIDADE EM TVD

A perspectiva de retro-alimentação em programas televisivos muda consideravelmente as características da relação entre o telespectador e as emissoras de TV na forma em que a conhecemos (SOUZA; OLIVEIRA, 2005). O modelo tradicional, caracterizado pelo formato unidirecional, cede lugar a um modelo interativo, capaz de promover a inclusão digital do usuário através de uma gama de novos serviços como, por exemplo, o comércio eletrônico, o governo eletrônico, a educação a distância e os jogos interativos, entre outros (FERNANDES et al, 2004).

Todavia, por uma questão de justiça social, faz-se necessário que as oportunidades sejam garantidas a todos. Toma-se como exemplo as comunidades rural e ribeirinha da Amazônia. Muitas delas não têm energia elétrica, linha telefônica e o saneamento básico, quando existe, é precário. O perfil dessas comunidades não atrai as operadoras de telefonia fixa e nem mesmo da telefonia móvel, em função do alto custo da instalação e manutenção dos equipamentos e da falta de perspectivas na obtenção de retorno do investimento com o serviço oferecido. Sem os serviços de acesso, o fator interatividade fica comprometido. Usar a própria faixa de frequência do espectro de TVD é uma opção para áreas com pouca densidade demográfica. Implica, porém, em acomodar uma grande demanda dentro de um espectro de frequência já congestionado o que pode se tornar inviável em grandes cidades (RAST, 2005).

Tecnicamente a interatividade resulta na presença de um canal de retorno no sistema de comunicação, seguindo do usuário à fonte da informação. O canal de retorno é um veículo para que as escolhas ou reações dos usuários voltem à fonte de entrada. Essa definição classifica os sistemas em dois tipos: difusão e interativos. Sistemas de difusão são aqueles em que há somente um canal que gera informação a partir de uma fonte até o usuário. Sistemas interativos têm um canal de retorno do usuário à fonte de informação.

Há dois fatores fundamentais que determinam o desempenho em termos de um sistema de interatividade: tempo de resposta e largura de banda do canal (PAGANI, 2003). Quanto mais rápido o tempo de resposta para as ações do usuário, melhor será a interatividade do sistema. Os sistemas podem ser classificados em sistemas interativos indiretos, quando o tempo de resposta gera um atraso considerável do ponto de vista do usuário e sistemas interativos diretos, quando o tempo de resposta é muito pequeno (não mais que alguns milésimos de segundos) ou imperceptível (tempo real).

A natureza da interação é definida pela taxa de bits (*bit-rate*) que é avaliada no canal de retorno. Dependendo das características, pode-se permitir desde a transferência de

simples impulsos lógicos (sim ou não), para aplicações como pesquisas de intenção de voto, até informações complexas de multimídia, como é o caso de áudio/vídeo conferência. Nesse contexto, os sistemas podem ser com interatividade assimétrica, quando o fluxo de informações é predominantemente da operadora para o usuário (*downstream*), ou com interatividade simétrica, quando o fluxo de informações é distribuído nas duas direções.

Os serviços de multimídia interativa incluem tanto os chamados serviços numéricos (*pay-per-view*, *near-video-on-demand*), quanto os vídeos interativos assimétricos ou atualizações de vídeos interativos simétricos (PAGANI, 2003). A TVD pode prover apenas as duas primeiras categorias de serviços multimídia: difusão de serviços numéricos e serviços de vídeo interativo assimétrico. Serviços como vídeo conferência, teletrabalho, telemedicina, que requerem vídeo interativo simétrico, por enquanto não fazem parte do rol de aplicações oferecidas pelo Sistema de Televisão Digital (STVD).

2.4.1 Interatividade Local

Uma aplicação que é baseada na interatividade local não requer um canal de retorno ao provedor de serviços. Exemplo disso é a transmissão de um jogo de futebol usando-se várias câmeras, cada uma mostrando o jogo de um ângulo diferente. Esse tipo de transmissão normalmente ocorre em canais adjacentes. Isso permite que o usuário proceda a interação, escolhendo assistir ao jogo pelo ângulo que julgar mais apropriado, sem enviar qualquer informação ao provedor de serviços.

2.4.2 Interatividade *One-Way*

Nessa modalidade de interatividade o usuário interage com as aplicações sem intenção, ou mesmo sem habilidade para invocar uma resposta direta em um dado tempo. Por

exemplo: os usuários podem ser induzidos a pressionar certo botão durante uma pesquisa de intenção de votos, ou jogar em um *TV Game Show*, ou mesmo serem convidados a pressionar um ícone para obter mais informações sobre um determinado produto exibido durante a programação convencional de televisão. As mensagens podem ser enviadas ao provedor, todavia não há continuidade, nem diálogo em tempo real e nenhum usuário recebe respostas personalizadas.

2.4.3 Interatividade *Two-Way*

A interatividade *two-way* é definida como a “verdadeira interatividade”. Os usuários enviam dados ao provedor de serviços, através de um canal de retorno, e o provedor de serviços envia dados de volta, seja através do canal de retorno ou da própria tecnologia de difusão. Esse tipo de interatividade pressupõe a existência de um mecanismo de endereçamento, como acontece na Internet com os endereços IP. Pode-se usar o serviço *Pay-Per-View* para demonstrar essa interatividade. Usando um controle remoto o usuário autoriza, através de um menu na tela, a cobrança por um determinado filme ou evento que seja do seu interesse. O provedor, sabendo a procedência da solicitação, envia uma mensagem de volta ao *set-top-box* do usuário liberando a exibição do filme.

2.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos trabalhos investigam alternativas na rede de interatividade da TVD brasileira. Entretanto, a preocupação básica se dá com a tecnologia de acesso e não com mecanismos que garantam a estabilidade do sistema como um todo. Há de se ressaltar que, pelas características da televisão, grandes incidências de acesso em rajada tendem a ocorrer, podendo desestabilizar o sistema.

Barbosa et al (2005) propõe uma alternativa de canal de interatividade para o SBTVD através de comunicação sem fio, em rádio frequência intrabanda, usando o padrão IEEE 802.16, conhecido pelo codinome de *WiMax*. Pela proposta, o canal de interatividade não consistiria apenas em um canal de retorno, mas sim em um sistema de telecomunicações conectado à Internet e, portanto, a serviços interativos através de outros servidores que não estariam necessariamente localizados no subsistema de difusão de acesso (Figura 3).

Segundo seus autores, a simples consideração da Internet como meio para o canal de interatividade criaria uma transparência de tecnologia. A proposta considera que as provedoras de conteúdo e de canal de interatividade estão separadas fisicamente. A solução cria uma dependência de infra-estrutura de estações base distribuídas de forma a prover cobertura de rádio aos diversos terminais. Para manter as estações e prover o serviço, também é necessária a existência de uma entidade denominada pelos autores de operadora de canal de interatividade. Igualmente é defendida a existência de uma operadora de canal de interatividade pública, que contribuiria para a inclusão digital, voltada para a população de baixa renda. Afirma-se não haver padrões que utilizam as faixas de *Ultra High Frequency* (UHF) destinadas a TV e vantagens como setorização e reuso de frequências são citados como aspectos positivos relativos ao desempenho do sistema e a utilização do espectro.

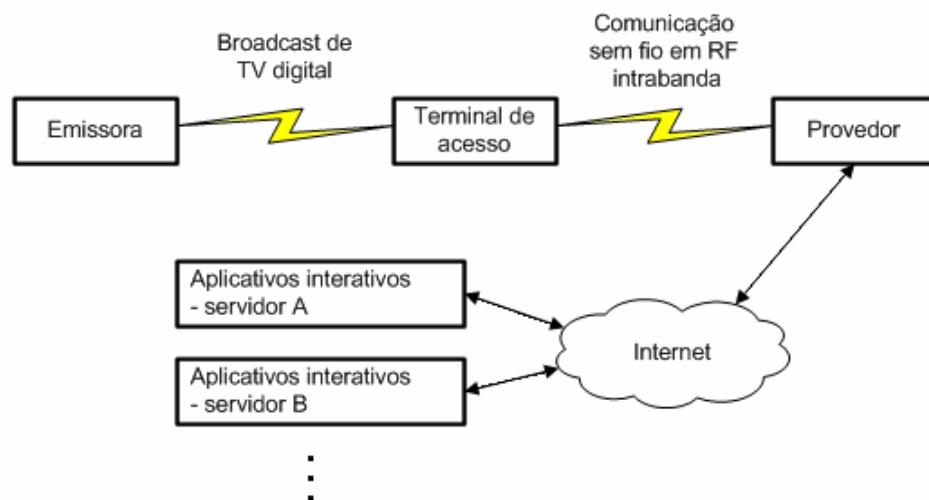


Figura 3: Rede interativa proposta por Barbosa (2005)

Em Amodei et al (2005) a proposta de provimento de interatividade se baseia em um trabalho colaborativo a partir de redes sem fio *ad-hoc* (Figura 4). Uma das justificativas para a proposta considera o fato de que as redes *ad-hoc* não pedem nenhuma infra-estrutura para instalação, ao mesmo tempo em que possuem um custo bastante reduzido quando comparadas a outras tecnologias, por serem auto-organizáveis. Seus autores consideram que, em alguns casos, pode-se prover comunicação ponto a ponto ou ponto multiponto entre usuários, como, por exemplo, com jogos *on-line*. Também se afirma que, no contexto de inclusão digital, as principais aplicações como governo eletrônico, ensino a distância e correio eletrônico, são viáveis nesse tipo de rede. A proposta se baseia no uso do padrão IEEE 802.11. É feita a análise, via simulação, de cinco cenários, compreendendo os bairros/cidades da Rocinha, Ramos, Copacabana, Parque Anchieta e Paty do Alferes. Os resultados mostraram que, em áreas mais densamente povoadas, é possível obter 100% de nós conectados, mesmo com uma pequena fração de nós ativos. Nesses cenários, à medida que o número de nós ativos aumenta, torna-se possível a utilização de taxas de transmissão mais elevadas sem comprometer a conectividade. Segundo seus autores, mesmo em cenários de média densidade, é possível obter conectividade total com cerca de 30% dos nós ativos. Nos cenários de mais baixa densidade, como as regiões rurais, a adoção de dispositivos IEEE 802.11 mostrou-se insuficiente para garantir a conectividade da rede.

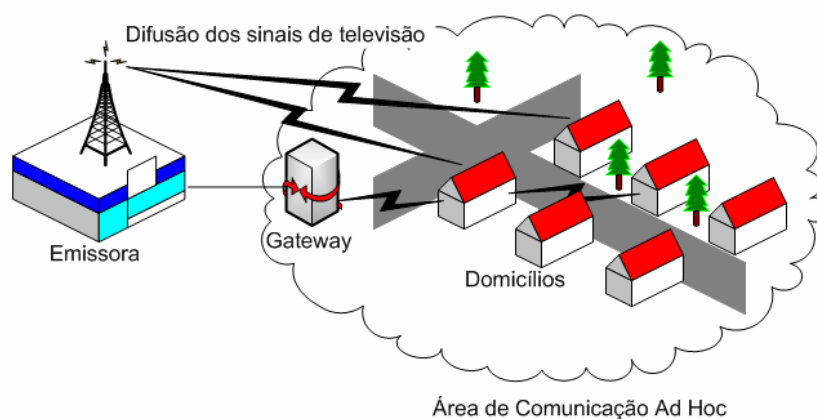


Figura 4: Rede interativa proposta por Amodei (2005)

Já em Carvalho et al (2005) avalia-se o uso da rede elétrica de baixa tensão, via *Power Line Communications* (PLC), como mídia para o canal de retorno na TVD (Figura 5). Foram escolhidos três ambientes para a realização de medidas: uma residência típica, um laboratório da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e um prédio de quinze andares, com sessenta apartamentos. Em todos os cenários de medição utilizou-se a tensão de 220 V. Foram realizados testes de alcance, taxa de transmissão, perda de desempenho e carregamento do sistema e observou-se que, mesmo com a diminuição da taxa de transmissão, os resultados ainda são favoráveis para uso no canal de retorno da TVD, sendo que no ambiente residencial obteve-se uma taxa de 3Mbps; no laboratório, de 10 Mbps e no prédio de apartamentos não foram obtidos resultados satisfatórios. Nesse caso, os autores sugerem uma solução híbrida para resolver o problema compondo diferentes tecnologias.

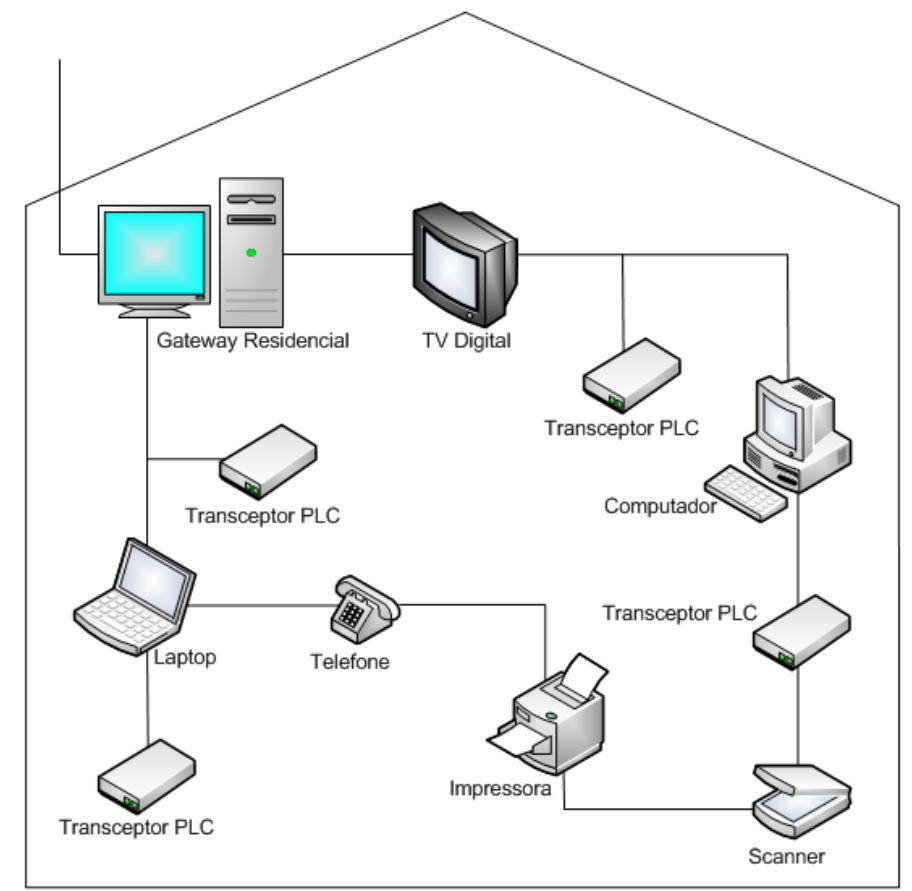


Figura 5: Rede interativa proposta por Carvalho (2005)

Particularizando para o SBTVD, a dificuldade de acesso fica ampliada, dada a deficiência ou inexistência da infra-estrutura de telecomunicação em diversas regiões do Brasil. Assim, um entrave para a plena efetivação do SBTVD está em prover acesso aos cidadãos brasileiros residentes em áreas desassistidas da infra-estrutura de telecomunicação.

2.6 ANÁLISE COMPARATIVA

As duas primeiras propostas descritas no item 2.4 apresentam soluções baseadas em redes sem fio para o canal de retorno da TVD. Em Barbosa et al (2005) propõe-se o uso de uma topologia infra-estruturada operando com o sistema *WiMax* conectado a Internet. Entretanto, deve-se observar que o alto custo dos equipamentos de acesso dessa tecnologia, conforme estudo apresentado no item 5.3, e o uso da infra-estrutura da Internet acaba limitando o serviço a regiões mais desenvolvidas. O uso da Internet na rede interativa também pode trazer sérias implicações de desempenho para a própria Internet quando ocorrer interatividade em larga escala, podendo gerar colapso em uma rede que já apresenta muitos problemas de desempenho. Na proposta apresentada em Amodei et al (2005) o fator desempenho é um dos principais agravantes, pois o sistema conta com uma rede *ad-hoc* colaborativa onde os nós, representados pelos usuários de TVD, empregam um esforço conjunto para fazer fluir os dados de retorno, ou seja, para que o sistema atinja um desempenho aceitável, faz-se necessário que um percentual dos usuários esteja com seus equipamentos ativos, o que pode vir a se tornar uma loteria. Outro problema nessa proposta relaciona-se à questão da segurança. Como os pontos de vários usuários serão utilizados como intermediários na passagem do sinal, o sistema de segurança como um todo fica comprometido. Já em Carvalho et al (2005) a adoção da tecnologia PLC requer o uso de uma série de equipamentos que podem encarecer significativamente o serviço. Como mostrado na Figura 5, além do transceptor PLC faz-se necessário o uso de um *gateway* que tem a função

de ligar a rede residencial do usuário à rede externa. Todas as propostas são omissas no que diz respeito ao uso de políticas de priorização e adotam um modelo fixo, tanto para escalas menores quanto escalas maiores. A desvantagem disso se reflete na ausência de mecanismos de controle de tráfego que possam eventualmente beneficiar grupos de usuários com infraestrutura tecnológica deficiente.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O potencial de inclusão tecnológica que emerge com a padronização do SBTVD ganha novas dimensões graças à enorme variedade de serviços agregados. Em destaque encontram-se as aplicações interativas de governo eletrônico (e-gov) e de saúde eletrônica (e-health). Todavia, a utilização de tais serviços requer o uso de um canal de interatividade, levando as respostas dos usuários até o provedor. Avaliar e propor tecnologias de acesso disponíveis a população de baixa renda tem sido um grande desafio do meio acadêmico.

3 TECNOLOGIAS DE ACESSO PARA CANAL DE INTERATIVIDADE

Apesar de existir uma grande variedade de tecnologias que podem ser usadas no canal de interatividade da TVD brasileira, apenas as que possuem disponibilidade imediata ou perspectiva de disponibilidade em curto prazo, na Amazônia legal⁴, serão objeto de estudo mais detalhado nas seções seguintes.

3.1 REDES LOCAIS SEM FIO

As primeiras redes locais sem fio ou *Wireless Local Area Networks* (WLAN) ofereciam um baixo nível de interoperabilidade devido ao fato de os fabricantes utilizarem padrões proprietários. Essa falta de padronização acabou por atrasar o desenvolvimento da tecnologia que foi regulamentada em 1989 pela *Federal Communications Commission* (FCC), órgão americano responsável pela regulamentação do uso do espectro de frequências. Em 1999 Foram aprovados os padrões IEEE 802.11b e 802.11a, que usam as frequências de 2,4 e 5 GHz e são capazes de atingir taxas nominais de transmissão de 11 e 54 Mbps, respectivamente. O padrão 802.11b, apesar de atingir taxas de transmissão menores, ganhou fatias maiores de mercado do que 802.11a. As razões para isso foram basicamente duas: primeiro, as interfaces 802.11b eram mais baratas do que as 802.11a e, segundo, as implementações 802.11b foram lançadas no mercado antes das implementações 802.11a. Além disso, nesse ano foi criada a *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA), que se organizou com o objetivo de garantir a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes (IEEE 802.11, 2005) (IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS, 2003).

Um fato que contribuiu significativamente para a consolidação do padrão *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.11 foi a inserção da tecnologia na faixa de

⁴ Estados do Acre, Pará, Amazonas, Mato Grosso, Goiás, Maranhão, Amapá, Roraima e Rondônia.

frequência conhecida como banda *Industrial, Scientific and Medical* (ISM), o que permitiu o uso do serviço sem burocracia de registro na agência reguladora – no Brasil a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Esse fator foi de grande importância na popularização dessas redes.

3.1.1 Aspectos de Legislação

Utilizar redes locais sem fio em ambientes externos pode ser uma boa opção para implementação de canal de retorno na região amazônica. Todavia, isso exige atenção para a legislação vigente, além de um estudo do congestionamento do espectro na área a ser coberta com o serviço. Essa recomendação é importante por se tratar de um serviço de caráter secundário, o que traz implicações de responsabilidade sobre possíveis interferências em outros serviços, além de não oferecer nenhum nível de proteção, conforme descrito no artigo 9º da Resolução 397, de 6 de abril de 2005, da ANATEL, que tem a seguinte redação:

“Art. 9º. As estações de radiocomunicação correspondentes a equipamentos utilizando tecnologia de espalhamento espectral ou tecnologia de multiplexação ortogonal por divisão de frequência, operando de acordo com o estabelecido neste Regulamento, operam em caráter secundário, isto é, não têm direito a proteção contra interferências prejudiciais provenientes de qualquer outra estação de radiocomunicação nem podem causar interferência em qualquer sistema operando em caráter primário”.

Conforme documento expedido pelo serviço de atendimento da ANATEL em agosto de 2006 (Anexo A), o uso de redes locais sem fio em ambientes externos requer autorização daquele órgão, a ser obtida através da elaboração de um projeto padrão na categoria Serviço de Comunicação Multimídia (SCM).

3.1.2 Segurança

Em uma rede sem fio não existe a chamada segurança física, ou seja, os dados sempre estarão sujeitos à interceptação por terceiros. Nesse caso, o mecanismo de segurança está centrado no uso de algoritmos de criptografia e métodos de autenticação eficientes. Aplicações de TVD voltadas para o comércio eletrônico ainda carecem de bastante pesquisa na área de segurança, especialmente quando o canal de retorno utiliza tecnologia de transmissão baseada em redes locais sem fio.

3.1.3 Sistema de Distribuição sem Fio

A maioria das redes sem fio requer mais de um ponto de acesso⁵ para prover cobertura adequada a seus usuários. Em ambientes internos essa limitação fica em torno de cem metros. Em ambientes externos varia de acordo com os elementos interferentes locais, tipo de antena, potência do rádio etc. Múltiplos pontos habilitam o deslocamento viabilizando a mobilidade de forma transparente ao usuário. Se nenhum cabo é usado e a conexão entre os pontos de acesso é estabelecida através de um sinal de rádio, um enlace conhecido como *Wireless Distribution System* (WDS) ou Sistema de Distribuição Sem Fio é criado, conforme mostrado na Figura 6.

Os principais benefícios no uso de enlaces WDS são: baixo custo, uma vez que, já existindo um ponto de acesso, a adição de um enlace WDS meramente requer a configuração do novo repetidor; flexibilidade, pois a expansão da área de cobertura se dá sem a necessidade de investimento em infra-estrutura cabeada adicional e a topologia permite ajustes de posicionamento quando requeridos; economia de canais, pois todos os pontos de acesso

⁵ O Ponto de Acesso ou *Access Point* (AC) ou ainda *Base Station*, é um servidor físico que conecta uma rede sem fio a uma rede cabeada.

envolvidos em um WDS trabalham com o mesmo canal; fontes de energia alternativa (solar, eólica etc) podem ser usadas para alimentar as baterias que mantêm os pontos de acesso.

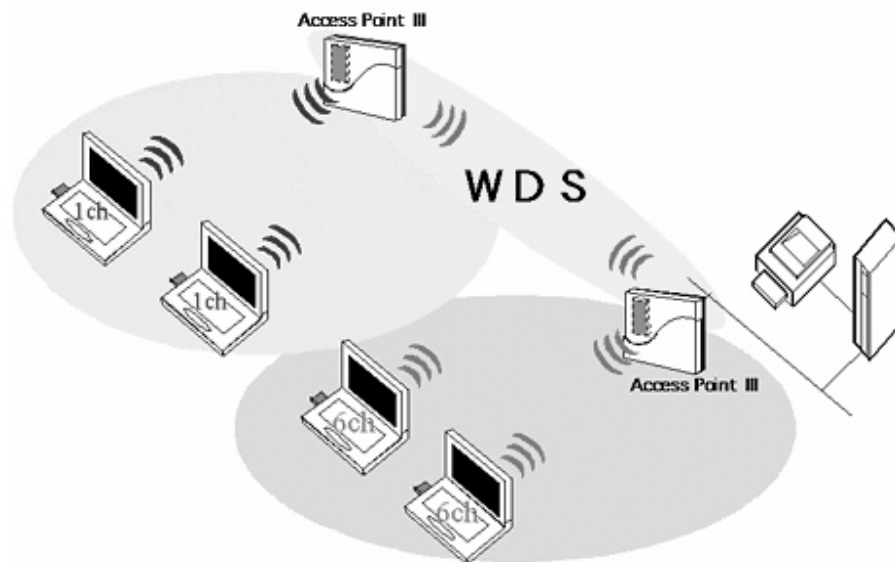


Figura 6: Sistema WDS.

3.2 LINHAS TELEFÔNICAS DISCADAS

Segundo estudo publicado pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005), com base no censo 2000 (Tabela 1), no norte do país a relação entre aparelhos de TV e linhas telefônicas discadas, que constituem o requisito mínimo para o canal de retorno, fica em torno de 40%. Isso exclui cerca de 60% da população, que possui apenas aparelho de TV, de todos os benefícios gerados a partir da interatividade na TVD.

Desta forma, em certas regiões do país, muito provavelmente, o canal de interatividade deve ser composto por diversas tecnologias trabalhando em conjunto, o que gera um cenário muito heterogêneo e que deve ser conhecido “a priori”, para garantia mínima dos padrões de QoS. Como exemplo de tecnologias que podem ser usadas em conjunto para compor o canal de retorno pode-se citar: wlan, cobrindo a última milha, integrada com enlaces de satélite ou WiMax, no *backbone*, compondo a infra-estrutura da rede interativa.

Tabela 1: Relação entre aparelhos de TV e linhas discadas no norte do Brasil.

Domicílios particulares permanentes e Moradores em Domicílios particulares permanentes por existência de serviços e bens duráveis ANO 2000							
Brasil, Região Geográfica e Unidade da Federação		Brasil		Norte		Pará	
Existência de serviços e bens duráveis		Linha telefônica instalada	Televisão	Linha telefônica instalada	Televisão	Linha telefônica instalada	Televisão
Variável	Domicílios particulares permanentes (Unidade)	17.774.403	38.906.707	821.280	2.064.182	350.423	957.294
	Domicílios particulares permanentes (Percentual)	6,54	14,31	6,32	15,88	6,08	16,62
	Coefficiente de Variação (Percentual)	1,3	0,2	5,1	1,4	10,6	2,7
	Moradores em domicílios particulares permanentes (Pessoas)	63.655.528	145.840.612	3.627.333	9.280.462	1.594.470	4.459.685
	Moradores em domicílios particulares permanentes (Percentual)	6,34	14,53	6,28	16,07	6,01	16,80
	Coefficiente de variação - Moradores (Percentual)	1,3	0,2	5,2	1,5	10,5	2,8

Fonte: (IBGE,2005)

Alguns aspectos relacionados à linha telefônica discada contribuem significativamente para o aumento dos níveis de exclusão tecnológica no Brasil. Por exemplo, nos primeiros cinco anos após a privatização das concessionárias da telefonia fixa, a assinatura residencial aumentou 3.106,8% e o valor dos pulsos 231% (MONTEZ; BECKER, 2005). A facilidade e o baixo custo para se obter uma linha telefônica discada mascaram os verdadeiros problemas que se encontram na manutenção desse serviço.

3.3 LINHA DIGITAL ASSIMÉTRICA PARA O ASSINANTE

Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) ou Linha Digital Assimétrica para o Assinante é uma tecnologia de transmissão que utiliza uma linha de telefone convencional que normalmente faz uso de uma taxa de 64 Kbps em ambas as direções. A tecnologia permite a instalação de *modems* que aperfeiçoam a transmissão através do par trançado. O sinal de voz é transmitido em uma área diferente do espectro e não afeta os *modems* ADSL.

O nível de desempenho do ADSL tende a ser afetado pela qualidade da infraestrutura da rede e pela quantidade de usuários. Se a qualidade da rede é ruim, as velocidades serão mais baixas ou o serviço pode ser impossibilitado. No Quadro 2 apresentam-se algumas variantes do *Digital Subscriber Line* (DSL), com as respectivas velocidades e distâncias do ponto de provimento do serviço.

O ADSL, quando usado em modo de difusão ou *broadcast*, tem seu desempenho afetado, entretanto ele pode ser usado em modo sob demanda em TVD. O usuário faz uma requisição, via controle remoto, que é repassada ao servidor onde uma biblioteca de programas ou filmes digitalizados de TV é armazenada. A eficiência desse sistema pode ser melhorada, utilizando-se técnicas como *IP Multicast*, onde uma cópia do programa armazenado no servidor pode ser duplicada mais abaixo na rede, em nível de roteador, para satisfazer múltiplas requisições simultâneas.

Apesar de ADSL ser a variante xDSL mais difundida, há uma série de outras variantes que potencialmente podem suprir deficiências apresentadas por ADSL. Por exemplo, altas taxas em distâncias menores, como é a proposta *Very High Data Rate Digital Subscriber Line* (VDSL). O Quadro 2 sintetiza as peculiaridades da variantes xDSL.

Quadro 2: Variantes do DSL, velocidade e distância.

Variantes do DSL	Descrição	Velocidade	Distância (m)
ADSL Lite (G Lite)	Asymmetric Digital Subscriber Line	1.5 Mbps para <i>downstream</i> (Qualidade de Vídeo VHS) e 384 Kbps para <i>upstream</i>	7.100 a 8.100
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Entre 1.5 e 8 Mbps para <i>downstream</i> (qualidade de vídeo de difusão) e 640 Kbps para <i>upstream</i>	3.900 a 5.800
HDSL	High Data Rate Digital Subscriber Line	1.544 ou 2.084 Mbps/Full duplex (Qualidade de vídeo VHS)	3.900 a 4.800
SDSL	Single Line Digital Subscriber Line	1.544 ou 2.084 Mbps/Full duplex (Qualidade de vídeo VHS)	3.200
VDSL	Very High Data Rate Digital Subscriber Line	Entre 13 e 55 Mbps para <i>downstream</i> e entre 1.5 e 2.3 Mbps para <i>upstream</i>	300 a 1.500

Fonte: (PAGANI, 2003)

3.3.1 Legislação

A utilização de ADSL no canal de retorno pode ser feita de duas formas: a) através da instalação de uma infra-estrutura específica, o que se torna inviável em função do alto custo ou b) através do uso de serviços prestados pelas operadoras de telecomunicação regionais. No caso específico da região Norte, esse serviço é provido pela empresa Telemar e chamado Velox. Algumas cláusulas especificadas no contrato de adesão ao serviço devem ser observadas, pois podem inviabilizar o uso dessa tecnologia de acesso como canal de retorno. São eles (VELOX, 2006):

Na cláusula segunda, “Das características do Serviço Velox”, tem-se:

Item 2.1.3 – “As faixas de velocidade mencionadas nos planos não são garantidas pela TELEMAR, excluindo-se ainda a responsabilidade pela velocidade dos serviços prestados por provedores de acesso à Internet”.

Item 2.8 - “Para instalação do serviço velox, será atribuído pela TELEMAR, via rede *Internet Protocol* (IP), um endereço IP válido e dinâmico”.

Item 2.11 - “É vedado ao assinante disponibilizar” através do velox, objeto do presente instrumento, servidores de Email (SMTP), Protocolo de Transferência de Arquivo (FTP), rede privada virtual ou *Virtual Private Network* (VPN), http, telnet, servidores de rede ponto a ponto e quaisquer conexões entrantes.

Item 2.16 – “O serviço velox não suporta *Transmission Control Protocol* (TCP) e *User Datagram Protocol* (UDP) entrantes, impossibilitando seu uso para disponibilização de servidores”.

Na própria definição de ADSL, constante no contrato de adesão da TELEMAR, ressalta-se que a assimetria do serviço consiste na oferta de uma capacidade de transmissão significativamente maior em um sentido (em direção ao usuário) do que no sentido inverso (a partir do usuário), justamente o que será mais utilizado no contexto de canal de retorno.

O grande problema com a imposição dessas restrições é que as exceções teriam que ser negociadas diretamente com a operadora, o que certamente elevaria o custo da tecnologia a níveis impraticáveis para população de baixa renda.

3.4 SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICAÇÃO MÓVEL

Uma das propostas do grupo DVB sugere o uso de tecnologia celular *Global System For Mobile Communication* (GSM) ou Sistema Global para Comunicação Móvel para o canal de retorno em TVD. GSM é um sistema que pode operar em várias frequências da banda (ex. 900 MHz, 1800 MHz) e tem sido adotado com sucesso na maioria dos países. Trata-se de uma rede celular digital projetada para suportar serviços de voz, fax e dados a taxas de até 270 Kbps. No modelo adotado pela DVB, dois canais são estabelecidos entre o provedor de serviços e o usuário (DVBRCG, 1999):

a) Um canal de difusão que é um unidirecional estabelecido entre o provedor de serviços e os usuários, e incluindo vídeo, áudio e dados;

b) Um canal de interação, que é bi-direcional, estabelecido entre o provedor de serviços e os usuários para propósitos interativos, subdividido em:

b.1) Canal de retorno da interação, que vai do usuário ao provedor de serviços, para as solicitações de serviço ou para a resposta a perguntas mais específicas, incluindo suporte técnico;

b.2) Canal de encaminhamento de interação, que vai do provedor de serviços ao usuário. É usado para prover algumas informações do provedor ao usuário e a comunicação requerida para a provisão de alguns serviços de interatividade, podendo ser embutido no canal de difusão.

Na Figura 7, apresenta-se a arquitetura do sistema DVB para canal de retorno com base na tecnologia GSM. As interfaces podem ser externas ou integradas ao *set-top-box*.

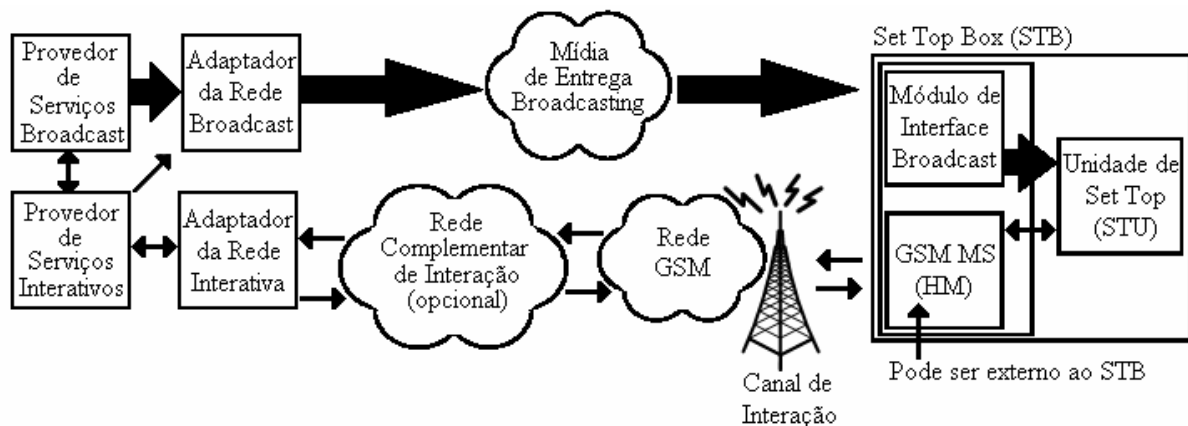


Figura 7: Arquitetura DVB para canal de retorno via GSM.

Fonte: (DVBRCG, 1999)

A proposta da DVB referencia apenas as camadas mais baixas de um modelo de referência genérico, conforme mostrado na Figura 8.

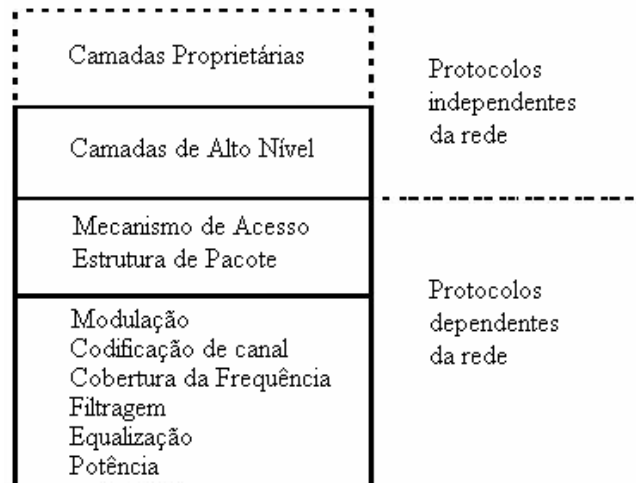


Figura 8: Modelo de referência genérico de TVD.

Fonte: (DVBRCG, 1999)

Como legado da evolução dos sistemas GSM, surge a tecnologia *General Packet Radio System* (GPRS) ou Serviços Gerais de Rádio por Pacote que prima por oferecer um serviço “sempre disponível”, de alta capacidade, que contém serviços baseados em pacotes de dados e Internet. Teoricamente, a velocidade pode ser superior a 171,2 Kbps quando se utilizam os oito *time slots* ao mesmo tempo, assim como na proposta GSM dois canais são utilizados. Um exemplo da arquitetura da pilha de protocolos que envolve o canal de retorno GPRS proposto pela DVB é mostrado na Figura 9.

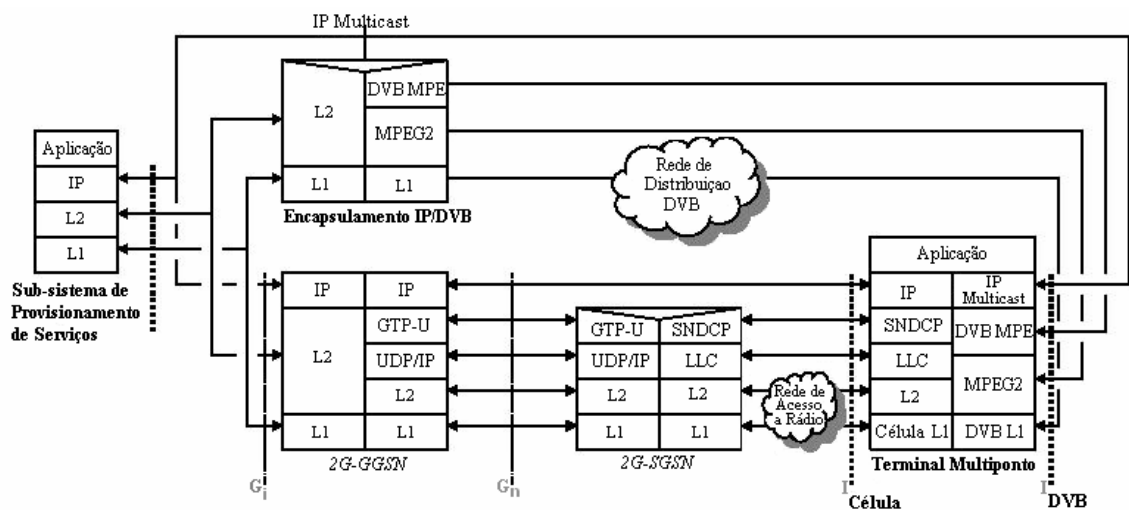


Figura 9: Arquitetura da Pilha de protocolo GPRS.

Fonte: (DVBRCGPRS, 2004)

A infraestrutura GPRS pode suportar a implementação do canal interativo DVB graças a comunicação bidirecional entre o terminal do usuário e o provedor de serviços. A Figura 9 apresenta as camadas (*layers*) do modelo de referência associadas aos componentes DVB. Uma grande vantagem do uso de GPRS é o fato da tecnologia suportar QoS, o que vem ao encontro das premissas do *framework* proposto nesta tese.

3.5 POWER LINE COMMUNICATION

As redes PLC utilizam a rede de distribuição de energia elétrica como meio de transmissão de sinais de comunicação. Entretanto, para realizar esta transmissão é necessário primeiro converter estes sinais na forma em que possam ser transmitidos pelos cabos da rede elétrica. Com este propósito, as redes PLC incluem alguns elementos específicos que realizam a conversão e a transmissão do sinal através das redes elétricas.

3.5.1 Elementos Básicos da Rede

Em todas as redes PLC existem dois elementos básicos, os quais têm a função principal de transmitir e receber o sinal de informação. Os dois dispositivos existentes em toda a rede PLC são: modem PLC e estação base PLC.

Conforme ilustra a Figura 10, o modem PLC é o equipamento do cliente responsável por fazer a conexão entre os equipamentos do usuário (computador, notebook, fax, telefone VoIP, entre outros) com a rede elétrica. O lado do usuário pode suportar várias interfaces padrões de comunicação, como RS-232, USB e Ethernet, enquanto que o outro lado do modem PLC é conectado à rede elétrica, utilizando um método eficiente de acoplamento eletromagnético. O acoplamento deve atuar como um filtro passa alta, separando o sinal de

comunicação (acima de 9 kHz) do sinal elétrico de potência (50 ou 60 Hz), para assim poder enviar e receber o sinal de informação através da rede de distribuição de energia elétrica.

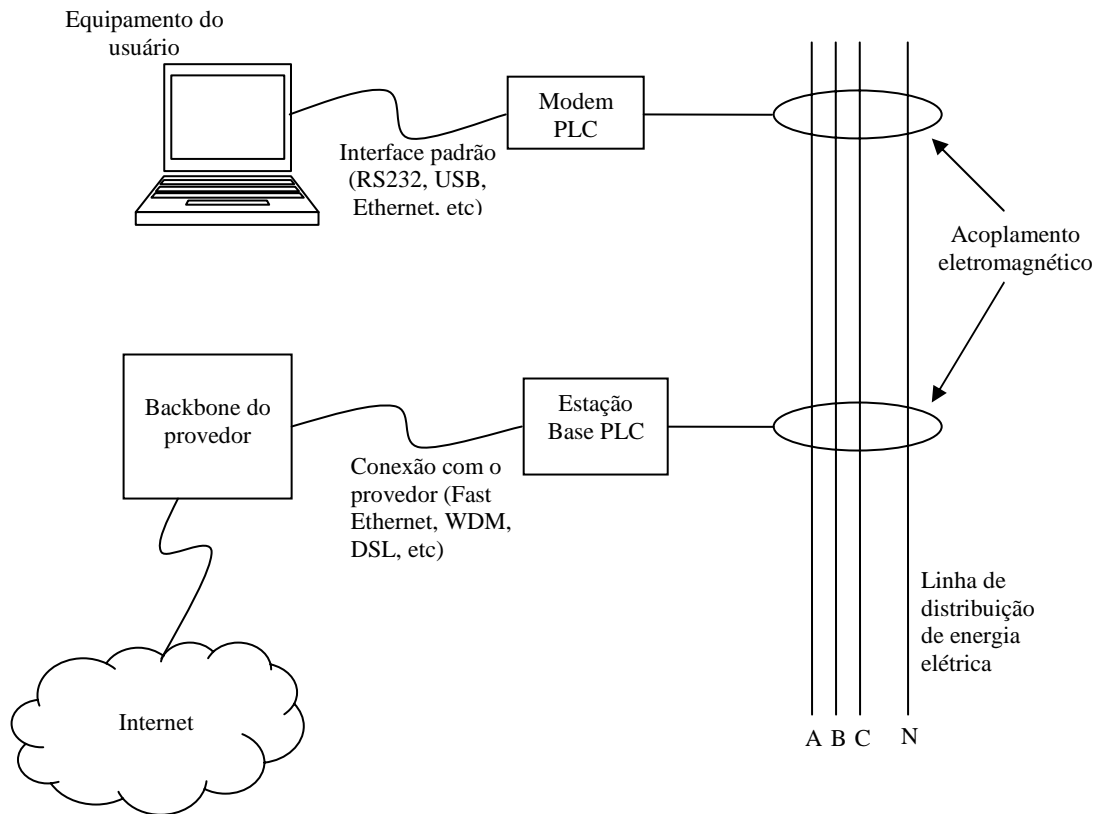


Figura 10: Utilização do modem e estação base PLC.

A estação base PLC é o equipamento do provedor de serviço de comunicação responsável por conectar a rede de acesso PLC com o backbone do provedor. A conexão com o backbone pode ser feita através de interfaces padrões com altas taxas de transmissão, como por exemplo, *Fast Ethernet* e *WaveLength-Division Multiplexing* (WDM) ou Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda e a conexão com o canal de transmissão PLC é realizado através de um acoplamento eletromagnético semelhante ao utilizado no modem PLC. A estação base PLC também é responsável por fazer o gerenciamento da rede de acesso PLC, autorizando ou negando o acesso aos usuários da rede, fazendo o controle da taxa de transmissão de cada usuário, além de realizar o controle de possíveis garantias de serviço.

Do ponto de vista de protocolos, o modem PLC implementa todas as funções da primeira e segunda camadas, de acordo com o modelo de referência *Open System Interconnection* (OSI) ou Interconexão de Sistemas Abertos, enquanto que a estação base PLC implementa também a terceira camada.

3.5.2 Repetidor

Em alguns casos, a distância entre a estação base e o modem é muito longa, impossibilitando a comunicação entre estes dois, devido à grande atenuação do sinal. Com isto, para tornar possível a comunicação entre dois pontos muito distantes, faz-se necessário a utilização de repetidores. Os repetidores dividem a rede de distribuição em vários segmentos, separando-os através do uso de diferentes frequências ou *timeslots* para cada segmento.

A Figura 11 demonstra a divisão da rede em vários segmentos. O repetidor R1 recebe o sinal da estação base EB na frequência f_0 e o amplifica e injeta o sinal de volta a rede em uma frequência diferente, f_1 . O repetidor R2 recebe o sinal de R1 na frequência f_1 , e novamente amplifica e injeta o sinal de volta a rede usando uma outra frequência, f_2 . Este processo continua até alcançar todos os usuários da rede. Observa-se que os repetidores não modificam a informação que está sendo transmitida, apenas amplificam e mudam a frequência de transmissão do sinal.

Observa-se, também, que cada repetidor deve trabalhar em uma frequência diferente dos demais repetidores, entretanto a faixa de frequência que estes repetidores podem utilizar é limitada o que também limita o número máximo de repetidores na rede. Por exemplo, se cada repetidor necessita utilizar uma banda de 5 MHz e a faixa do espectro de frequência utilizada pelo serviço PLC é de 1 MHz a 30 MHz, poderíamos utilizar no máximo apenas 6 repetidores. Para aumentar o alcance da rede e, conseqüentemente, o número de usuários que podem ser atendidos pelo serviço, mesmo tendo um espectro de frequência

limitado, pode-se, em alguns casos, utilizar a técnica de reuso de frequência. Por exemplo, se o sinal da estação base não interfere em R2 devido à grande atenuação do meio, então R2 pode utilizar a mesma frequência que a estação base (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

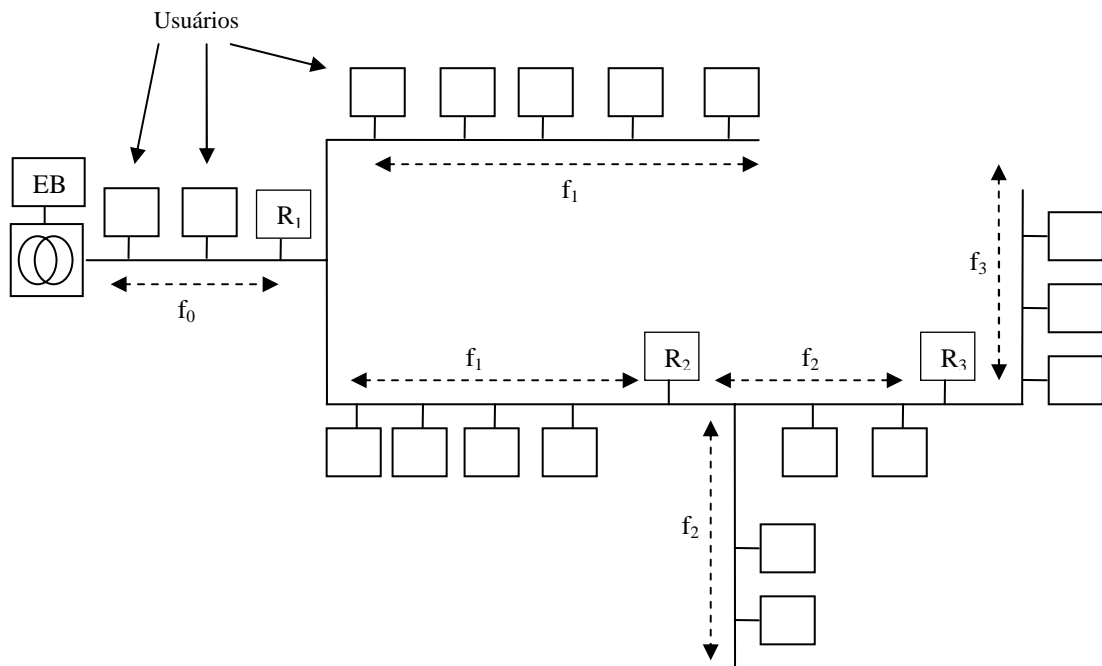


Figura 11: Divisão da rede em segmentos através do uso de diferentes frequências.

3.5.3 Gateway

O *gateway* é utilizado para separar a rede em segmentos distintos, em especial, separar a rede *indoor* do usuário da rede de acesso comum a todos os usuários (Figura 12), utilizando, assim como os repetidores, diferentes frequências para cada área. Entretanto, diferentemente de um repetidor, além de amplificar e injetar o sinal na rede em uma outra frequência, o *gateway* também é capaz de realizar a gerência da sub-rede formada por ele.

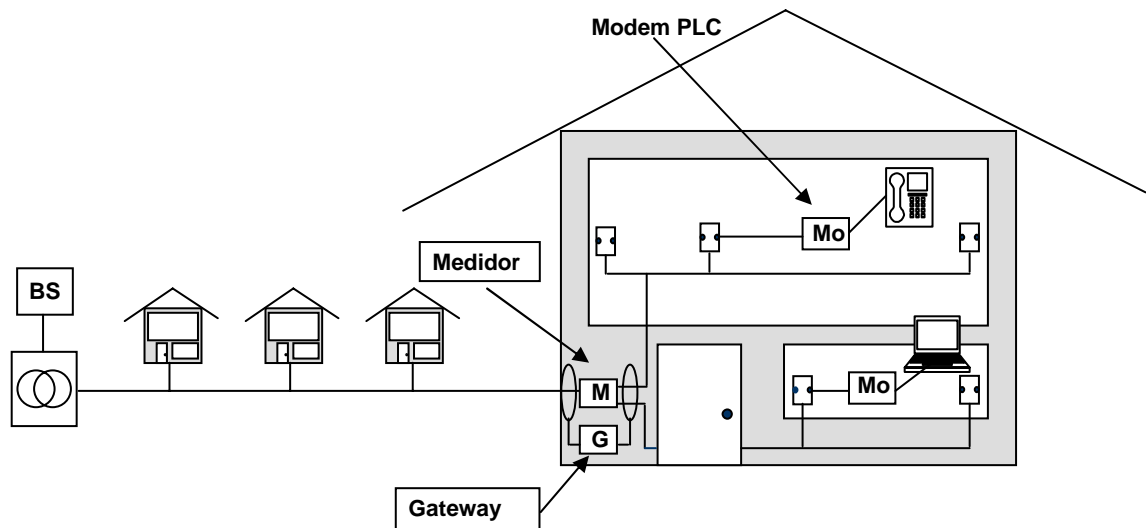


Figura 12: Utilização do gateway para divisão do ambiente *indoor* do *outdoor*.

De forma geral, um *gateway* pode ser inserido na rede para dividi-la em diversas sub-redes, na qual cada sub-rede é gerenciada por um *gateway* e todos os *gateways* são gerenciados pela estação base. A Figura 13 ilustra este funcionamento.

A rede foi dividida em três sub-redes, a primeira é controlada pela estação base, a segunda pelo *gateway* G1 e a terceira pelo *gateway* G2. Os modems pertencentes à sub-rede 2 só podem ser gerenciados por G1, e não são afetados pelo controle de G2, e toda a comunicação entre a estação base e os modems é realizada através de G1. O mesmo se repete para as demais sub-redes (NTULI, 2006).

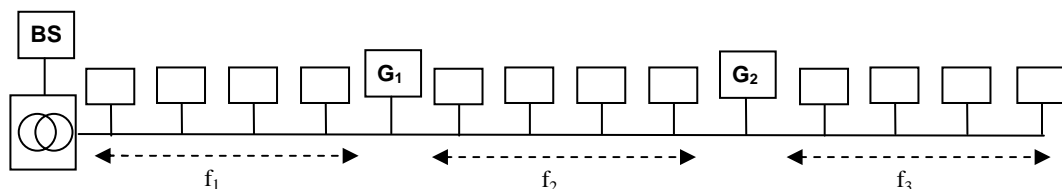


Figura 13: Divisão da rede em sub-redes através do uso de *gateways*.

O grande problema no uso dessa tecnologia como canal de retorno em regiões mais pobres está fortemente associado a grande quantidade de ligações irregulares presentes nessas áreas o que certamente compromete significativamente, senão inviabiliza o uso do serviço.

3.6 LINHAS TELEFÔNICAS DISCADAS

As linhas telefônicas discadas são as mídias mais utilizadas na Europa para o canal de retorno da TVD. Apesar de uma limitação tecnológica de largura de banda (56 Kbps), ainda se constitui em uma forma de viabilizar a interatividade na TVD a baixo custo. Infelizmente, no Brasil, menos de um terço da população tem acesso a uma linha telefônica na residência, quer pelo custo de manutenção, quer pela falta de infra-estrutura. (MONTEZ; BECKER, 2005)

3.7 LINHAS DE SATÉLITE

As linhas de satélite têm uma penetração em praticamente todas as regiões do país e poderiam resolver o problema de interatividade na TVD não fosse por um impêdimento: os custos de manutenção dos satélites e dos transmissores são excessivamente altos para permitir a ampla difusão desse tipo de acesso. Hoje as transmissões para pessoas físicas se restringem a aparelhos da telefonia celular em lugares afastados, onde as redes normais não são rentáveis ou não têm cobertura. (MONTEZ; BECKER, 2005)

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Poucas são as tecnologias de acesso que reúnem dois requisitos desejáveis a todos os usuários na última milha: baixo custo e alto desempenho. Normalmente esses parâmetros são inversamente proporcionais. Em alguns casos, faz-se necessário compor diferentes tecnologias para viabilizar os serviços interativos. Exemplo disso seria o provimento de acesso à Internet, via TVD, a comunidades mais isoladas. Uma alternativa para essa situação seria o uso de um enlace de satélite até um determinado ponto dentro da comunidade e, a

partir daí, a distribuição do sinal com tecnologias de acesso mais baratas como, por exemplo, redes locais sem fio. A premissa de compartilhar o canal de retorno pode, além de baixar os custos, aumentar a escalabilidade da rede.

Todavia, organizar a relação entre provedores, usuários e serviços requer uma rede interativa bem estruturada e com componentes bem definidos. O *framework* apresentado no capítulo 4 possui componentes que permitem viabilizar tanto a composição de diferentes tecnologias de acesso, quanto a definição de políticas de atendimento baseadas em critérios de priorização de tráfego. Esse conjunto de recursos pode ser usado para beneficiar o acesso de comunidades com poucos recursos tecnológicos à rede interativa da TVD contribuindo para minimizar os níveis de exclusão tecnológica em regiões como a Amazônia.

4 DESCRIÇÃO DO *FRAMEWORK* PROPOSTO

Considerando as dimensões do território pátrio e as especificidades de cada região, há de se ponderar a hipótese de que as soluções de TVD, no Brasil, sejam heterogêneas e aplicadas de acordo com as peculiaridades de cada região. No norte do país, onde praticamente não há infra-estrutura de TV a cabo e a população mais pobre ainda não tem acesso a linhas telefônicas discadas, a perspectiva de exclusão tecnológica se torna ainda mais iminente.

A busca por um modelo que garanta esse equilíbrio levou a concepção de um *framework* chamado CARIMBÓ, acrônimo de (**C**anal de **R**etorno com **I**nteratividade **C**ondicionada por **M**ecanismo de **S**inalização **C**ontínua e **P**rovisionamento de **B**anda **O**rientado a **QoS**). Graças à sua flexibilidade, o *framework* pode acomodar uma série de tecnologias emergentes, inclusive TVD.

4.1 COMPONENTES DO *FRAMEWORK*

A estrutura do modelo, ilustrada na Figura 14, prioriza a interconectividade para interatividade com base em dois aspectos fundamentais: os recursos de infra-estrutura da área onde será instalado o sistema e as necessidades e requisitos do usuário.

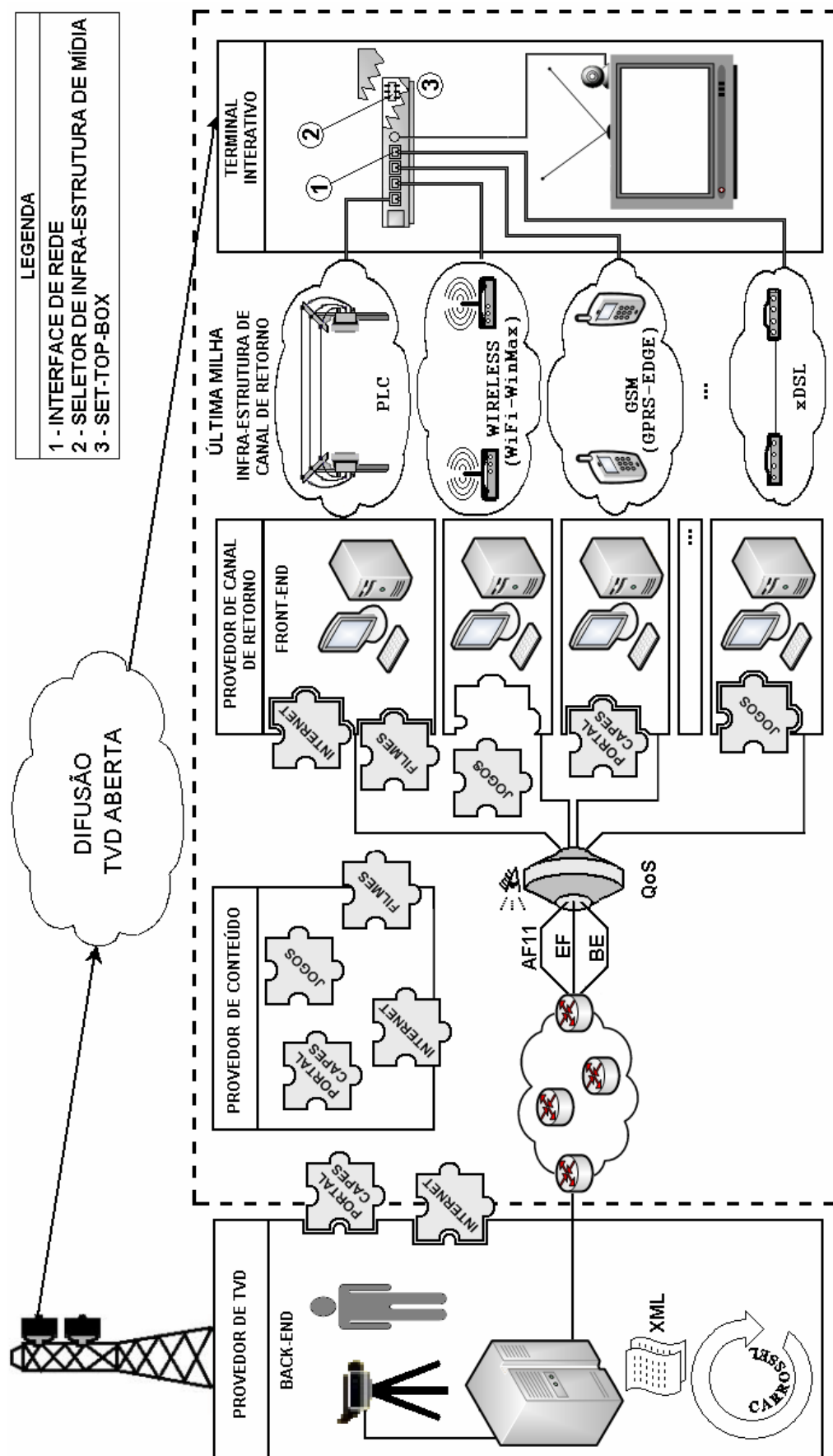


Figura 14: Framework CARIMBÓ

São componentes do *framework* CARIMBÓ os itens adiante descritos:

4.1.1 Provedor de TVD (PTVD)

Cabe ao Provedor de TVD a geração de toda a programação que será distribuída aos usuários em forma de difusão. Como normalmente o EPG é enviado através de um sistema de carrossel de dados (FERNANDES et al, 2004), propõe-se, no *framework* CARIMBÓ, que sejam adicionados a esses dados um conjunto de requisitos de QoS associados à programação interativa corrente. Isso deve ser feito através de um *datacasting* fracamente acoplado para que o receptor possa obter a relação de requisitos em diferentes momentos. Tais requisitos devem ser especificados pelo PTVD em forma de restrições de QoS (sensibilidade a atraso, largura de banda, *jitter* e probabilidade de bloqueio) e associados a cada serviço interativo de acordo com os níveis individuais de tolerância. Ao se associar restrições de QoS à programação interativa, cria-se a possibilidade de definição de políticas de priorização de tráfego, que podem ser ajustadas conforme a necessidade dos PTVD. Esse sistema permite o mapeamento de participantes da programação interativa e, consequentemente, o provisionamento de recursos, de acordo com a demanda.

O Quadro 3 exemplifica a associação de algumas aplicações aos requisitos de QoS pelo PTVD. Intervalos de valores devem ser relacionados às classificações “alto, médio e baixo” ou a uma combinação delas e mantidos em tabelas no *set-top-box* do usuário. Esses valores podem ser ajustados, remotamente, no receptor conforme os níveis de tolerância aceitos pelo usuário, o que varia com o tempo e com a aplicação. Essa tolerância é exemplificada em Croll et al (1999) da seguinte forma: um usuário que execute uma aplicação *Structured Query Language* (SQL) em ambiente gráfico tem uma certa expectativa de tempo de resposta. Se o servidor estiver congestionado ou não estiver disponível, os usuários não terão paciência para aguardar por não se tratar de uma situação comum. Todavia, os usuários

já se acostumaram com certa lentidão nos *Web Browsers*. Eles provavelmente irão entender, esperar e até tentar recarregar a página em caso de lentidão.

Quadro 3: Associação de aplicações aos requisitos de QoS

Aplicações	Medidas de Desempenho				
	Requisitos de Largura de Banda	Duração da sessão (<i>Hold Time</i>)	Rajadas	Sensibilidade a atraso	Sensibilidade a <i>jitter</i>
Voz	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Médio
Stream de Vídeo	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Alto
Vídeo Interativo	Alto	Alto	Médio	Alto	Alto
Aplicação compartilhada	Baixo-Médio	Médio	Alto	Médio	Baixo
Dados	Baixo-Médio	Baixo-Médio	Alto	Baixo	Baixo

Faz-se necessário o uso de vários parâmetros de QoS para caracterizar uma restrição. É comum que uma ou outra variável esteja dentro de limites aceitáveis, mas combinadas, podem inviabilizar o uso da aplicação. Na Tabela 2, que compara as características de várias conexões de voz, pode-se observar que o atraso de 300 milissegundos só inviabiliza a aplicação se associado a um certo percentual de perda de pacotes e a uma determinada variação de *jitter*.

Tabela 2: Comparação entre várias conexões de voz

Conexão	Perda de Pacotes (%)	Vazão de Áudio (Kbps)	Atraso (mseg)	<i>Jitter</i> (Variação do Atraso) (%)
Linha telefônica normal, chamada local	0%	56 Kbps	10-30 mseg	0%
Link transoceânico (submerso)	0%	56 Kbps	100-200 mseg	0%
GSM (conexão digital sem fio)	5-15%	13 Kbps	100-300 mseg	50%
VoIP pela Internet (considerando um bom provedor e um modem Dial-up)	5-20%	20 Kbps	120-240 mseg	150%
Aplicações inaceitáveis de VoIP pela Internet	10-35%	20 Kbps	100-300 mseg	300%

A limitação de sistemas específicos a uma região ou até mesmo a um grupo de usuários pode ser feita pelo PTVD através de acesso condicional, que envolve a cifragem do sinal. Como exemplo pode-se citar uma pesquisa de intenção de voto cujo escopo seja limitado ao estado do Pará.

4.1.2 Terminal Interativo (TI)

O terminal interativo compreende a parte do sistema localizada na residência do usuário. Na fase de transição entre os sistemas analógico e digital, o módulo terminal interativo será hospedado em um equipamento conhecido como *set-top-box*. As principais funções do *set-top-box* são a decodificação, a descompressão e a conversão do sinal, o que permitirá o aproveitamento do parque de televisores em uso no país durante a fase inicial de migração dos sistemas. Todavia, como se trata de um equipamento com processador e memória (MONTEZ; BECKER, 2005), alguns serviços adicionais podem lhe ser agregados.

Uma das propostas do *framework* CARIMBÓ consiste em adaptar um componente ao *firmware* do *set-top-box* chamado Seletor de Infra-estrutura de Mídia (SIM). Uma das funções do SIM é selecionar, quando houver mais de uma opção de canal de retorno na última milha, aquele com melhor custo-benefício. O SIM também é responsável pela realização periódica de testes de desempenho no canal de retorno. Os testes são realizados de forma a se mensurar a qualidade do canal fim a fim, ou seja, de um lado estará o *set-top-box* do usuário e do outro o gestor do serviço, representado nesta tese pelo Provedor de Conteúdo (PC) e descrito no item 4.1.4. O resultado desses testes refletirá as condições do canal de retorno em termos de QoS. Os dados obtidos a partir dos testes de desempenho serão usados no processo comparativo com os requisitos mínimos de interatividade enviados pelo PTVD, através do sistema de carrossel de dados. Sob esse prisma, o modelo atua como um

mecanismo de admissão, permitindo apenas a adição daqueles usuários em condições técnicas de participação no processo interativo, ou seja, por mais que subsídios de banda sejam fornecidos na rede interativa, o usuário só participa da programação interativa se o enlace fim a fim oferecer condições para isso. Além disso, torna-se possível disponibilizar recursos de suporte para o uso de ferramentas administrativas que mapeiem o público-alvo interativo, gerando estatísticas importantes no processo de gerenciamento do sistema. Com essas estatísticas, pode-se, por exemplo, redimensionar a rede interativa injetando-se recursos nos pontos mais sobrecarregados e realizando um balanceamento de carga de forma a tornar o sistema mais estável.

4.1.3 Provedor de Canal de Retorno (PCR)

Como uma das grandes metas é conceber um modelo de interatividade que crie oportunidades, mesmo para as classes sociais menos favorecidas, o *framework* CARIMBÓ propõe a aproximação do usuário através dos PCRs. Um PCR atua dentro da região do usuário e, portanto, opera com recursos condizentes com a infra-estrutura local e com os requisitos e necessidades de seus clientes. Dessa forma, diversos PCRs podem coexistir em uma mesma área, direcionados, porém, a públicos distintos. Isso permite que diferentes arranjos (*bouquet* de serviços interativos) sejam ofertados. Sob a responsabilidade do PCR estará a operacionalização da tecnologia de acesso a ser usada na última milha para o canal de retorno.

Sendo assim, usuários interessados em jogos interativos na TVD irão se associar a PCRs que os ofereçam em seu *bouquet* de serviços que, por sua vez, deverão garantir tecnologias de acesso em conformidade com os requisitos das aplicações que provêm. Em regiões que não ofereçam perspectiva de retorno financeiro, o PCR poderá ser disponibilizado pelo governo, acreditando-se que o poder público tenha a iniciativa pelo provimento do

bouquet de serviços básicos. Nesse caso, soluções de baixo custo e/ou sem tarifação periódica devem ser buscadas. Algumas tecnologias candidatas a esse processo foram apresentadas no capítulo 3.

4.1.4 Provedor de Conteúdo (PC)

No *framework* CARIMBÓ, o *bouquet* oferecido pelos PCRs é resultado de uma composição de serviços especializados disponibilizados pelos chamados Provedores de Conteúdo. Diferentes PCRs poderão oferecer serviços em comum, contratados a partir de um mesmo PC, bastando, para isso, que a tecnologia de acesso adotada suporte os requisitos impostos pelas aplicações. Os PCs, portanto, são concebidos com fins específicos, como o de disponibilizar acesso aos periódicos eletrônicos do *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) ou da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ou mesmo oferecer jogos interativos ou aplicações de *e-gov* e *e-health*. Como diversos serviços de conteúdo podem ser agregados em um mesmo PCR, o usuário fará uso daquele com melhor custo-benefício.

O PC poderá estar ligado tanto ao PTVD, quando se tratar de aplicações interativas em larga escala, quanto ao Provedor de Canal de Retorno, quando se tratar de aplicações regionalizadas. Essa mobilidade permite que vários perfis de aplicações sejam viabilizados e implica na economia de recursos, uma vez que direciona a aplicação interativa a um público alvo específico. Um exemplo, baseado na proposta denominada serviço olímpico que é descrita no anexo A, poderia associar usuários com poucos recursos tecnológicos, como a população ribeirinha, a um código de prioridade alta (AF11), o que os remeteria a um corredor virtual com privilégios de encaminhamento do fluxo e baixa prioridade de descartes.

4.1.5 Provisionamento de Recursos (QoS)

Tão importante quanto prover o canal de retorno no sistema de TVD é provisionar recursos para viabilizá-lo. O *framework* CARIMBÓ propõe o uso de um mecanismo de serviços diferenciados (CROLL et al, 1999) para garantir priorização de tráfego entre os PCRs e o PTVD, em caso de aplicações de larga escala, com base em perfis de aplicações interativas sensíveis a atraso, largura de banda e probabilidade de bloqueio (LAW; KELTON, 2000). Podem-se aplicar restrições na borda de entrada da rede interativa com base no endereço da rede de origem e/ou destino aumentando ou restringindo os recursos de largura de banda conforme se faça necessário. Outra forma de interferir no escoamento do tráfego é direcionando os fluxos para filas mais ou menos rápidas no núcleo da rede interativa. Essas iniciativas dependerão de uma série de políticas que só podem ser definidas a partir de um estudo das necessidades de cada *cluster* de usuários.

4.2 TOLERÂNCIA A FALHAS

O uso de uma estrutura descentralizada facilita a implementação de recursos de tolerância à falha. Isso é possível, por exemplo, através de técnicas de fragmentação horizontal e/ou vertical no Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) que hospeda as tabelas das aplicações de TVD (KORTH; SILBERSCHATZ, 1994), permitindo que os PCRs continuem operacionais mesmo em situações de falhas nos enlaces com o PTVD. Esse modelo descentralizado se mostra bastante eficiente no sistema bancário, pois minimiza consideravelmente o tráfego no *backbone* do sistema e pode ser aplicado a sistemas de TVD que atuem em larga escala. Como exemplo pode-se citar o sistema de controle de vacinação infantil proposto nesta tese. Nesse caso, uma cópia das tabelas com informações das crianças

fica armazenada em um PC da região que continua a operar normalmente mesmo havendo problemas de comunicação na rede interativa.

4.3 INTERATIVIDADE NÃO CONTÍNUA SUPORTADA POR REDES DTN

Mesmo em regiões onde os níveis de atraso são muito altos, existe a possibilidade de se estabelecer a interação para TVD através de soluções como redes tolerantes a atraso ou *Delay-Tolerant Networks* (DTN) (WARTHMAN, 2003).

Essas redes são caracterizadas por altas taxas de erro, grandes atrasos e falta periódica de conectividade, fatores muitos comuns, por exemplo, em redes sem fio instaladas em regiões como a Amazônia, onde as adversidades climáticas criam instabilidade com certa frequência. As redes DTN operam a partir de uma rede lógica (rede *overlay*) construída sobre uma rede física existente. Os contatos entre os nós da rede podem ser agendados ou oportunistas. No contexto de TVD um contato agendado permitiria que as informações fossem atualizadas quando um PC se deslocasse para uma área específica, o que poderia ocorrer diariamente, semanalmente, mensalmente etc. Nesse tipo de rede a comutação é baseada em mensagens e não em pacotes havendo, portanto, a necessidade alguns nós possuírem grande capacidade de armazenamento persistente (Figura 15).

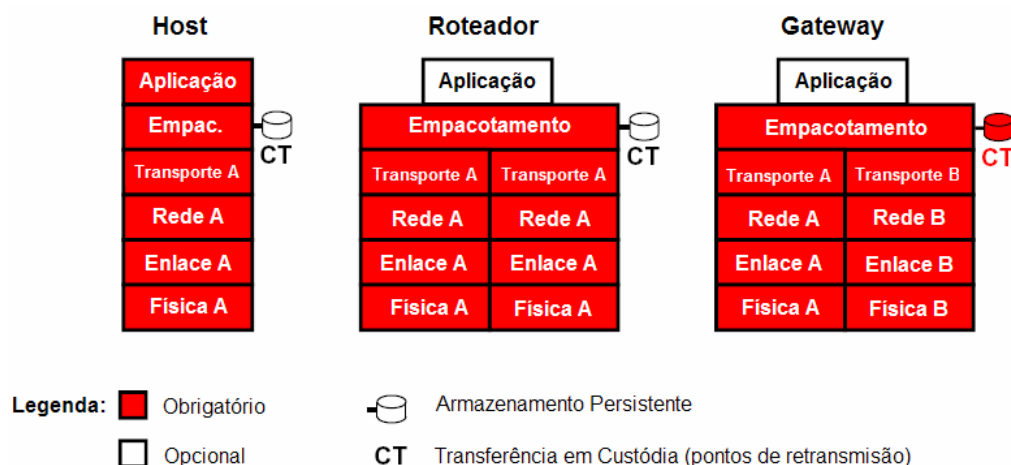


Figura 15: Armazenamento persistente em redes DTN

Para gerenciar esse diferencial, as redes DTN possuem uma camada adicional no modelo TCP-IP chamada camada de empacotamento (Figura 16). A camada de empacotamento, custodiante da mensagem, envia a mensagem para a próxima camada de empacotamento e inicia um temporizador para esperar uma mensagem de reconhecimento.

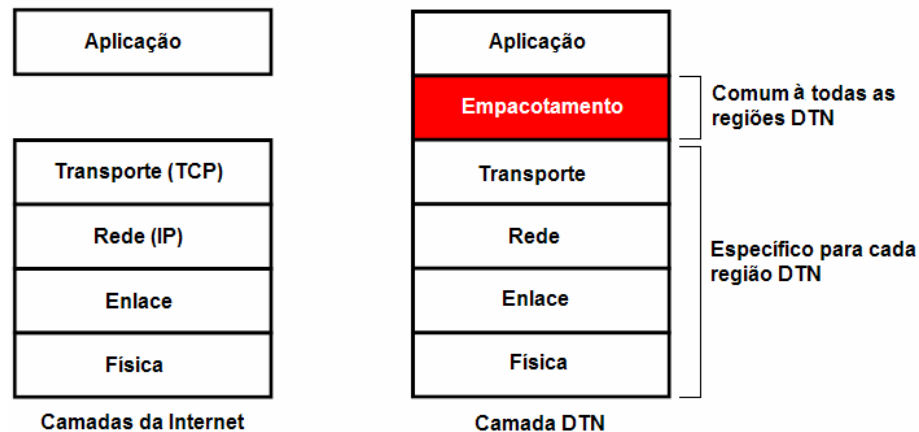


Figura 16: Camada de empacotamento em redes DTN

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta apresentada converge para muitos interesses, em especial do governo federal, por promover a inclusão tecnológica e social, abrindo portas para a inclusão digital. Serviços adicionais, como o proposto por Bellavista et al (2006), que personalizam a visão do usuário em terminais sem fio, ainda podem ser incorporados às funcionalidades do *framework* CARIMBÓ, aumentando ainda mais o foco a aplicações regionalizadas. Todavia, sua viabilidade técnica precisa ser minuciosamente analisada e certificada no contexto de vários cenários que reflitam o quadro de regiões desassistidas de infra-estrutura de telecomunicações, como a Amazônia. Com o intuito de apresentar um estudo de viabilidade que mostre a efetividade do *framework* proposto, uma avaliação de desempenho é implementada no capítulo seguinte. Desta forma, pretendendo-se apresentar o *framework* CARIMBÓ como uma alternativa viável de canal de interatividade para a Amazônia.

5 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA

O crescimento das redes de serviço de banda larga e acesso móvel juntamente com os ambientes emergentes de desenvolvimento de aplicações à distância e tecnologias adaptativas de multimídia, têm levado muitos governos a investirem em um novo segmento chamado governo eletrônico. Segundo a revista *Computação Brasil* (2006), a expressão governo eletrônico ou e-gov tem sido usada para definir o fornecimento de informações, produtos e serviços, via meios eletrônicos, por órgãos ou instituições públicas. As principais formas de e-gov incluem o *Government to Consumer* (G2C), onde a relação se dá entre o governo e o cidadão; o *Government to Business* (G2B), onde a relação se dá entre o governo e seus parceiros de negócios; e o *Government to Government* (G2G), onde a relação ocorre integrando órgãos do próprio governo. Um dos principais objetivos do governo eletrônico é promover a inclusão digital. Exemplos bem sucedidos de e-gov no Brasil são a urna eletrônica, a declaração eletrônica de imposto de renda e os pregões eletrônicos, que geram maior transparência e minimizam, consideravelmente, a ocorrência de fraudes.

5.1 APLICAÇÃO E-GOV

Para realizar o teste de viabilidade técnica que envolvesse a proposta de flexibilidade apresentada no *framework* CARIMBÓ, desenvolveu-se uma aplicação de governo eletrônico G2C com o objetivo de acompanhar e prover orientações sobre o processo de vacinação infantil nas comunidades mais pobres da Amazônia. Em um cenário de TVD interativa, alguns dos benefícios trazidos por esse serviço à população, seriam: divulgação de informações sobre datas, locais e procedimentos acerca das campanhas públicas de vacinação promovidas pelo governo, através de unidades móveis de atendimento; controle do histórico de vacinação da criança, permitindo um acompanhamento individualizado; planejamento de

ações por região com base em dados estatísticos obtidos na base de dados do sistema; acompanhamento, pelos pais e pelo próprio governo, da curva de crescimento da criança, possibilitando um parâmetro comparativo em relação ao padrão de criança saudável, desencadeando, quando necessário, ações no sentido de reduzir os índices de mortalidade infantil.

A aplicação foi direcionada para o acompanhamento da população infantil, com idade de até 5 anos. Os dados que compõem o sistema encontram-se descritos no Quadro 4.

Uma vez que as informações serão armazenadas em banco de dados eletrônico, podem-se disponibilizar serviços direcionados a situações específicas. Um exemplo seria a apresentação de vídeos explicativos sobre o preparo do soro caseiro para mães de crianças que apresentem prognóstico de desnutrição.

Quadro 4: Dados do sistema de controle de vacinação infantil

Dado inserido por	Periodicidade	Dado
Governo (Postos de Vacinação)	Uma única vez	Cadastro da criança no sistema
	Sob demanda	Datas e doses das vacinas aplicadas durante as campanhas de vacinação
Cidadão	Uma única vez	Data do início da introdução de outros alimentos que não o leite materno
Cidadão	Sob demanda	Ocorrência de diarreia
		Hospitalização
		Pneumonia
Cidadão	Mensalmente	Peso
		Altura
		Perímetro cefálico

A interface homem-máquina (IHM) para esse sistema requereu a aplicação de técnicas de usabilidade para operacionalizar, através do controle remoto, mecanismo de navegação simplificado e eficiente (VALDESTILHAS; ALMEIDA, 2005) (FURTADO, et al, 2005).

Uma vez que a plataforma Java impera entre os *middleware* utilizados no mercado, considerou-se a solução Xlet ideal para o desenvolvimento dessa aplicação piloto (CLUA, 2005). As principais telas, assim como as informações para obtenção dos códigos-fonte do sistema são apresentadas no apêndice A.

5.1.1 Interatividade

Como a aplicação é direcionada para a população mais carente, que se concentra em áreas de favela ou às margens dos rios próximos de cidades, optou-se por avaliar o canal de retorno utilizando tecnologias de acesso emergentes e passíveis de implantação nesses locais. Uma forte motivação para a escolha dessas tecnologias envolveu variáveis como custo de instalação e manutenção, adequação à realidade econômica do público-alvo e legislação vigente.

5.1.2 Armazenamento

Optou-se pela representação dos dados em formato XML por se tratar de um padrão compatível com diversos sistemas abertos e de ampla aceitação. Esse vem contribuir com o aumento da interoperabilidade entre variados sistemas de diferentes fabricantes.

5.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO DA PROPOSTA CARIMBÓ

Optou-se por realizar o teste inicial de desempenho utilizando redes sem fio, por dois motivos principais: facilidade de instalação em áreas sem infra-estrutura e a tendência de barateamento dos equipamentos, em função da popularização da tecnologia.

5.2.1 Aferição

Para o processo de aferição, utilizou-se a aplicação piloto de TVD descrita na seção 5.1. O mecanismo de interação adotado no canal de retorno foi baseado na rede sem fio do projeto Wireless Laboratório de Computação Aplicada (WLACA⁶) (ver Figura 17). O experimento inicial, apresentado no item 5.2.1.1, consistiu na avaliação da susceptibilidade da rede sem fio frente a possíveis problemas de interferência causados por equipamentos que operem na banda ISM.

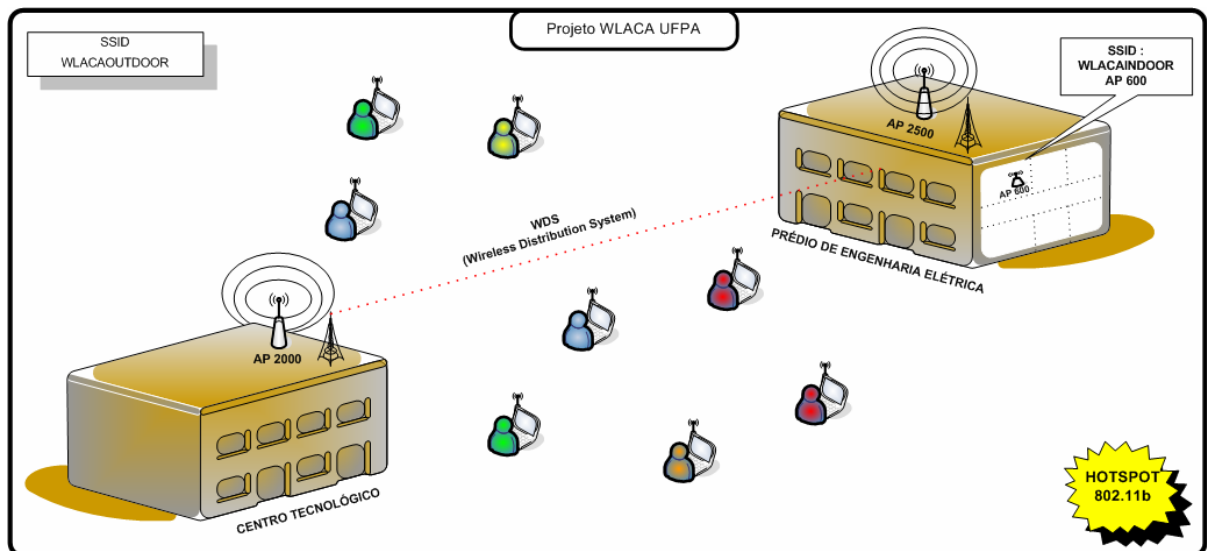


Figura 17: Projeto WLACA

⁶ O projeto WLACA foi criado com recursos do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e é mantido pelo departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará para fins de pesquisa. Duas redes sem fio compõem o projeto: Uma *indoor* e outra *outdoor* do tipo *hot-spot*, que cobre parte do campus profissional da UFPA.

5.2.1.1 Aferição do nível de Interferência

Por operar na banda ISM, as transmissões tornam-se susceptíveis a interferências de inúmeros equipamentos, que vão desde fornos de microondas até eletrônicos que transmitem ondas baseados em tecnologia *bluetooth* (IEEE 802.15). Para avaliar o grau de interferência desses dispositivos em uma rede local sem fio, realizou-se uma série de experimentos descritos a seguir:

Nas Figuras 18 e 19, apresentam-se os resultados de um estudo realizado nas dependências do Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho (LPRAD) da Universidade Federal do Pará, localizado no Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação. O experimento consistiu na análise do tráfego diante de uma transferência de arquivos no sentido rede cabeada/rede sem fio. A rede WLAN foi configurada para operar no padrão IEEE 802.11b. O software de medição de vazão utilizado no experimento foi o *bwmeter* versão 2.3 (BWMETER, 2005). Durante a transmissão de dados dois testes foram realizados: o primeiro com um forno de microondas, operando na banda ISM, que foi acionado nas potências baixa, média e alta (Figura 18) e o segundo envolveu transmissão de vídeo, capturado em tempo real, entre dois telefones celulares, através da tecnologia *bluetooth* (Figura 19). O resultado do primeiro teste mostra um nível crescente de interferência à medida que a potência do forno é elevada. A rede se torna praticamente inoperável quando a potência do forno é alta.

O uso de tecnologia *bluetooth* também interfere em transmissões WLAN. Essa constatação reforça a necessidade de realização de um estudo de viabilidade (*Site Survey*) antes da implantação da rede. Todavia, para uso em áreas abertas – favelas, comunidades ribeirinhas da Amazônia – a tecnologia WLAN é uma opção bastante viável.

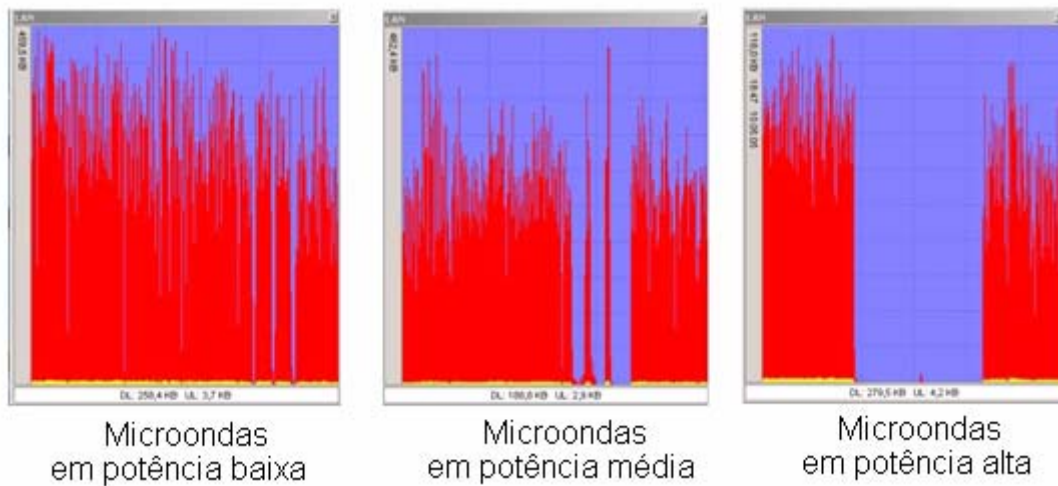


Figura 18: Interferência causada por forno de microondas

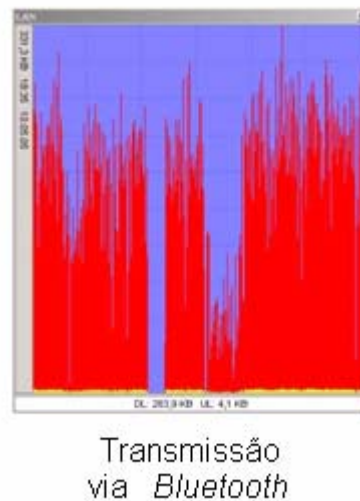


Figura 19: Interferência causada por transmissão via *bluetooth*

5.2.1.2 Aferição da Vazão do Sistema

O cenário ilustrado na Figura 20 caracteriza o experimento cujo objetivo foi aferir as taxas do sistema, para, posteriormente, reproduzi-las em larga escala, através de simulação. Para a coleta de dados na rede de retorno, utilizou-se o analisador de protocolo RADCOM® Performer Analyser.

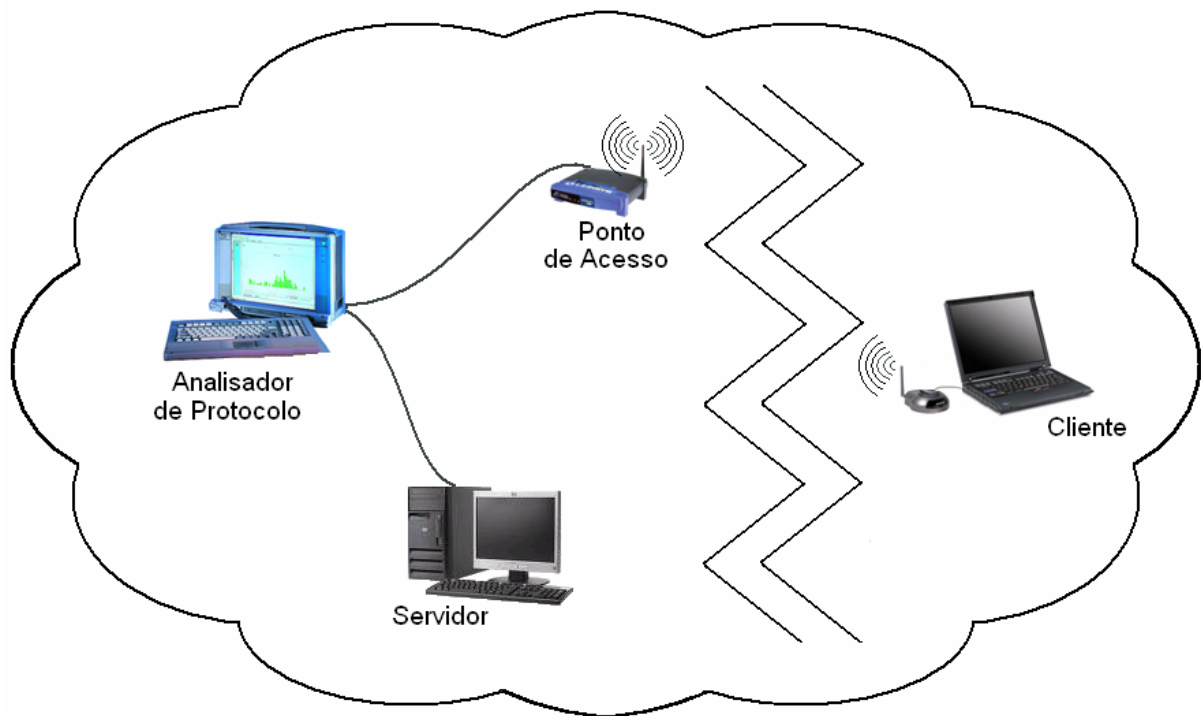


Figura 20: Cenário de aferição das taxas do sistema piloto de E-Gov

A leitura da média das taxas de transmissão do sistema, feitas pelo analisador de protocolos, ficou em torno de 4 Kbps. Para o processo de simulação, considerou-se que, agregada à taxa de dados, dúvidas do usuário, baseadas em fala humana, fluem de forma unidirecional no sentido Terminal Interativo/Provedor de Conteúdo via *Voice over IP* (VoIP), compactada a uma taxa constante de 40 Kbps. Segundo Lau, Khare e Chang (2005), esse tipo de serviço pode ser caracterizado por um fluxo do tipo *Constant Bit Rate* (CBR). Mesmo que a tecnologia de acesso não suporte os requisitos exigidos por um sistema de voz em tempo real (Quadro 5) (IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS, 2006), o arquivo pode ser baixado conforme disponibilidade da tecnologia de acesso e utilizado apenas quando estiver totalmente residente no Terminal Interativo. Como alguns recursos adicionais – fotografia da criança, por exemplo – ainda poderão vir a ser agregados ao sistema, aumentando a vazão, aplicou-se uma margem de folga de 20 Kbps, elevando-se a taxa média de uso para 64 Kbps.

$$\text{Taxa Média} = \sum \text{dados_do_sistema} + \text{fluxo_VoIP} + \text{recurso_de_folga}$$

Taxa Média = 4 Kbps + 40 Kbps + 20 Kbps

Taxa Média = 64 Kbps

Quadro 5: Parâmetros de Tolerância a VoIP recomendados pela *International Telecommunications Union – Telecommunications* (ITU-T)

Atraso	
Intervalo	Nível de Aceitação
0-150 ms	Aceitável para muitas aplicações
150-400 ms	Aceitável para algumas aplicações
> 400 ms	Não aceitável

Em uma segunda etapa, avaliou-se o nível de cobertura de uma rede sem fio *outdoor* em um sistema WDS. O objetivo da utilização de sistemas WDS foi o de testar o aumento da área de cobertura da rede por mecanismo de repetição de sinal, uma vez que o único requisito para essa expansão é de um ponto de alimentação elétrica, o que pode ser obtido por meio de fontes alternativas de energia como solar, eólica etc. Esse sistema pode ser bastante útil em áreas sem infra-estrutura, como nas residências localizadas às margens dos rios da Amazônia. A lógica no processo de medição consiste em estabelecer um comparativo entre o nível de sinal captado (em dBm) e o nível máximo de sensibilidade do adaptador de rede sem fio do cliente. Um adaptador Orinoco, por exemplo, possui nível máximo de sensibilidade de -90 dBm para taxa de transmissão de 1Mbps. Se a medição de sinal for maior que esse valor, a cobertura naquele local é considerada satisfatória, caso contrário, pontos de acessos adicionais deverão ser instalados.

As medições foram realizadas na rede WLACA *outdoor* que se encontra com a configuração discriminada no Quadro 6 e ilustrada na Figura 21.

Quadro 6: Configuração da rede WLACA *outdoor*

Item	Especificação	Quantidade	Fabricante
Antena	Omni Direcional 15 dBi	1	Hiperlink
Antena	Omni Direcional 8 dBi	1	Hiperlink
Antena	Direcional 21 dBi	2	Hiperlink
Rádio	AP-2500 (Hot-Spot)	1	Orinoco/Proxim
Rádio	AP-2000 (WDS)	1	Orinoco/Proxim



Figura 21: Antenas do projeto WLACA

Utilizando-se o software *Network Stumbler* (NETSTUMBLER, 2006), procederam-se 80 leituras de 15 minutos cada, 10 em cada um dos pontos marcados na Figura 22. A Tabela 3 mostra a média dos valores obtidos.



Figura 22: Pontos de Medição de sinal da rede WLACA

Tabela 3: Resultado da medição do sinal da rede WLACA em março de 2006

Ponto	Nível Médio do Sinal	Área coberta por WDS
Ponto A	-73,20 dBm	não
Ponto B	-61,24 dBm	sim
Ponto C	-40,79 dBm	sim
Ponto D	-62,35 dBm	sim
Ponto E	-74,46 dBm	não
Ponto F	-73,76 dBm	sim
Ponto G	-71,16 dBm	sim
Ponto H	-75,84 dBm	não

5.2.2 Simulação

Os dados coletados no processo de aferição foram utilizados para configurar o simulador *Network Simulator* (NS), com o objetivo de proceder a uma avaliação de desempenho em larga escala, contendo valores do sistema real como entrada. Essa prática, via de regra, induz à obtenção de resultados mais próximos do real.

5.2.2.1 Parametrização da Simulação

A perda ou *path loss* equivale à atenuação sofrida por uma onda eletromagnética em trânsito entre um transmissor e um receptor em um sistema de telecomunicações. Em estudos de comunicação sem fio a perda pode ser representada por um parâmetro chamado expoente de perdas ou *path loss exponent*. O expoente de perdas pode ter muitos efeitos, dentre os quais perda no espaço livre, refração, difração, reflexão, absorção etc. Em um processo de simulação com o NS, tem-se refletido o grau de obstruções existente entre o transmissor e o receptor, através de uma faixa que varia entre 0 e 6 e possui valores típicos apresentados na Tabela 4 (VINT PROJECT, 2006b).

Tabela 4: Valores típicos de expoente de perdas

Ambiente		β
Outdoor	Espaço Livre	2
	Sombreamento em Áreas Urbanas	2.7 a 5
Área Urbana com Prédios	Linha de Visada	1.6 a 1.8
	Obstruções	4 a 6

O parâmetro β é chamado expoente de perdas e normalmente é determinado empiricamente através de medições de campo.

Outro parâmetro utilizado na simulação é o desvio padrão cujos valores típicos estão referenciados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores típicos de desvio padrão

Ambiente	σ_{dB} (dB)
<i>Outdoor</i>	4 a 12
Escritórios com paredes	7
Escritórios com divisórias	9.6
Prédios com linha de visada	3 a 6
Prédios com obstruções	6.8

O modelo de sombreamento, utilizado nas simulações realizadas com o *framework* CARIMBÓ, consiste em duas partes. A primeira é conhecida como modelo de perdas ou *path loss model*, que considera a potência média recebida na distância d , denotada por $P_r(d)$ e representada na Equação 1.

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0} \right)^\beta \quad (1)$$

Onde P_r é a Potência recebida, d é a distância, d_0 é a distância de referência, e β é o expoente de perdas.

A perda é normalmente medida em dB. Então, a partir da Equação 1 tem-se a Equação 2:

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (2)$$

A segunda parte do modelo de sombreamento reflete a variação da potência de recepção em certa distância. Trata-se de uma distribuição Gaussiana medida em dB. O modelo de sombreamento é representado na Equação 3.

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB} \quad (3)$$

Onde X_{dB} é a variável aleatória Gaussiana com média zero e desvio padrão σ_{dB} .

5.2.2.2 Cenário 1

Em um primeiro cenário procurou-se analisar a influência da variação do fator conhecido como expoente de perdas nas variáveis de desempenho do sistema (vazão, atraso e *jitter*). A área entre os pontos medidos equivale a uma distância de 6 Km. O padrão utilizado foi o IEEE 802.11b, que opera a uma taxa máxima de até 11 Mbps (*Data Rate*) e com taxa básica de 1 Mbps (*Basic Rate*). As antenas foram configuradas com a altura de 10 metros e com ganhos condizentes com as do projeto WLACA, apresentados no quadro 6.

O gráfico da Figura 23 mostra a queda progressiva da vazão com o aumento do expoente de perdas (nível de obstruções) ao longo do percurso.

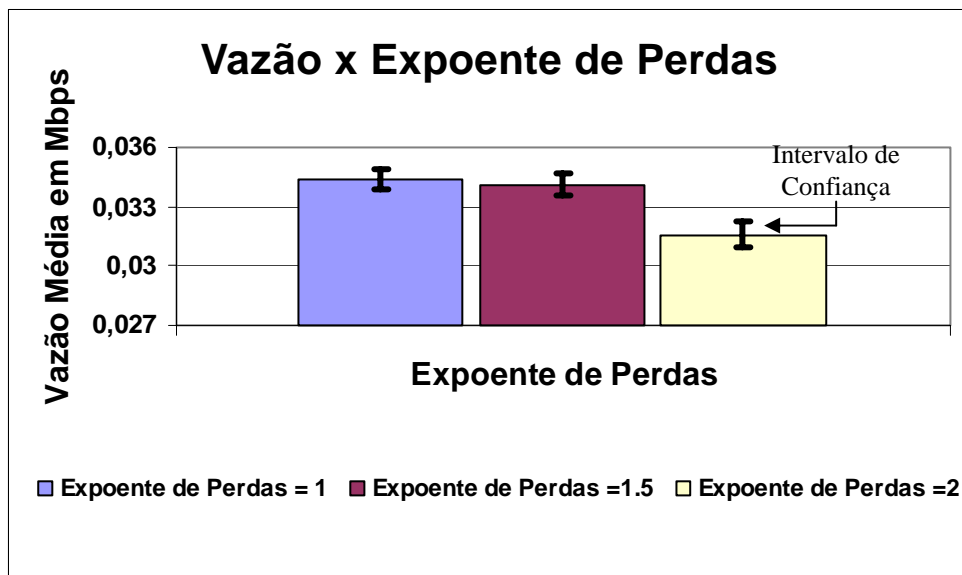


Figura 23: Vazão média frente ao aumento do expoente de perdas

O gráfico da Figura 24 mostra o aumento progressivo do atraso com o aumento do expoente de perdas ao longo do percurso.

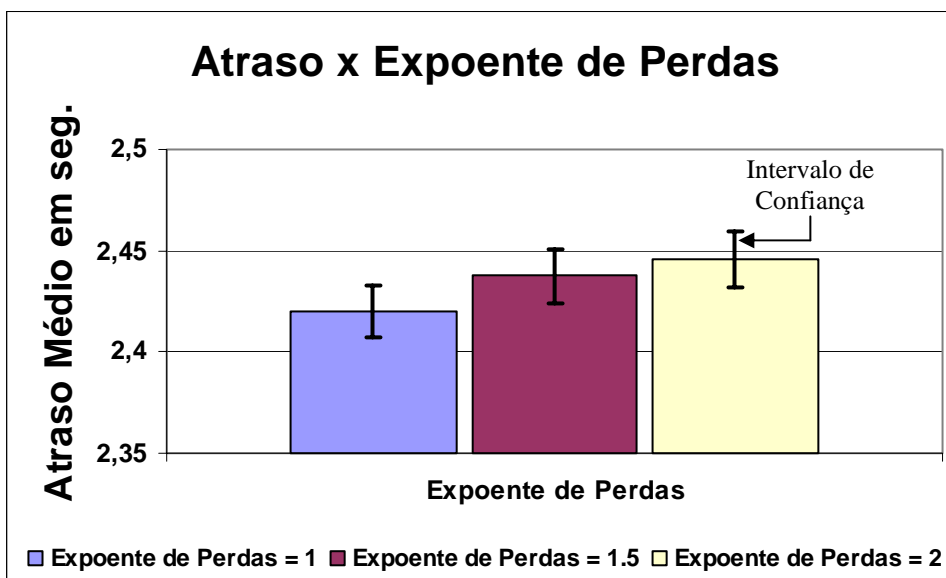


Figura 24: Atraso médio frente ao aumento do expoente de perdas

O gráfico da Figura 25 mostra o aumento pouco significativo nos níveis de *jitter* com o aumento do expoente de perdas ao longo do percurso.

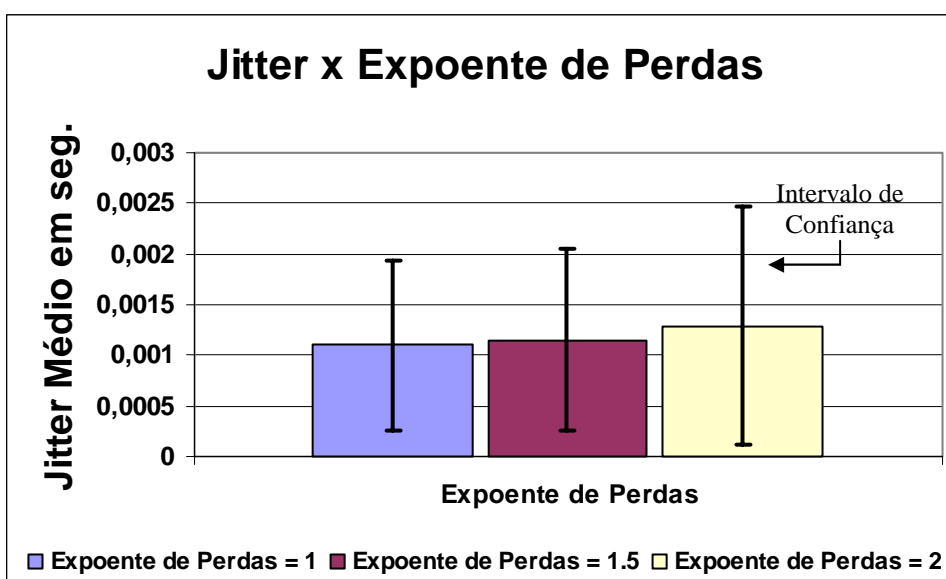


Figura 25: Jitter médio frente ao aumento do expoente de perdas

Uma vez que o expoente de perdas reflete o grau de obstruções em uma transmissão sem fio, era de se esperar que a elevação deste fator trouxesse implicações negativas de desempenho. No caso da vazão, apresentada no gráfico da Figura 23, o aumento de uma unidade no expoente de perdas refletiu em 8,82% de perda na vazão. Já com o atraso e com o *jitter* houve um aumento pouco significativo de menos de 1%.

5.2.2.3 Cenário 2

Já no segundo cenário, o foco da análise se deu no fator escalabilidade. Novamente a área entre os pontos medidos equivale a uma distância de 6 Km. Foram avaliados 2, 10, 20 e 30 terminais interativos utilizando o canal de retorno simultaneamente.

O gráfico da Figura 26 mostra a queda progressiva da vazão com o aumento do número de usuários. Com um aumento de dois para trinta usuários a uma distância de 6 Km, a perda foi da ordem de 82,35%, o que já se mostra um fator bastante preocupante. Uma forma de resolver o problema consiste no uso de pontos de acesso com recurso de balanceamento de carga.

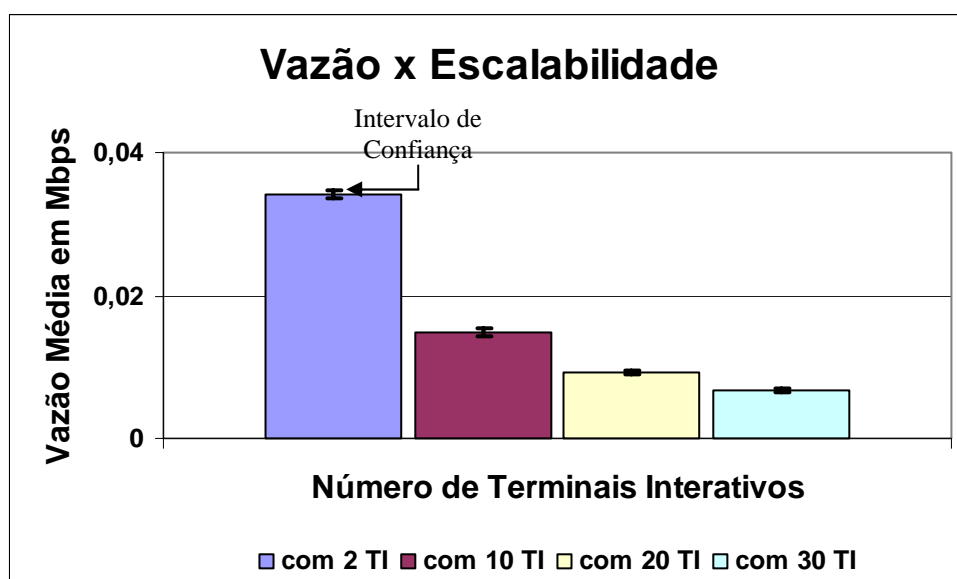


Figura 26: Vazão média frente ao aumento do número de terminais interativos

O gráfico da Figura 27 mostra o aumento progressivo do atraso frente ao aumento do número de terminais interativos. O aumento do atraso quando da mudança de dois para trinta terminais interativos foi de 240,7 %.

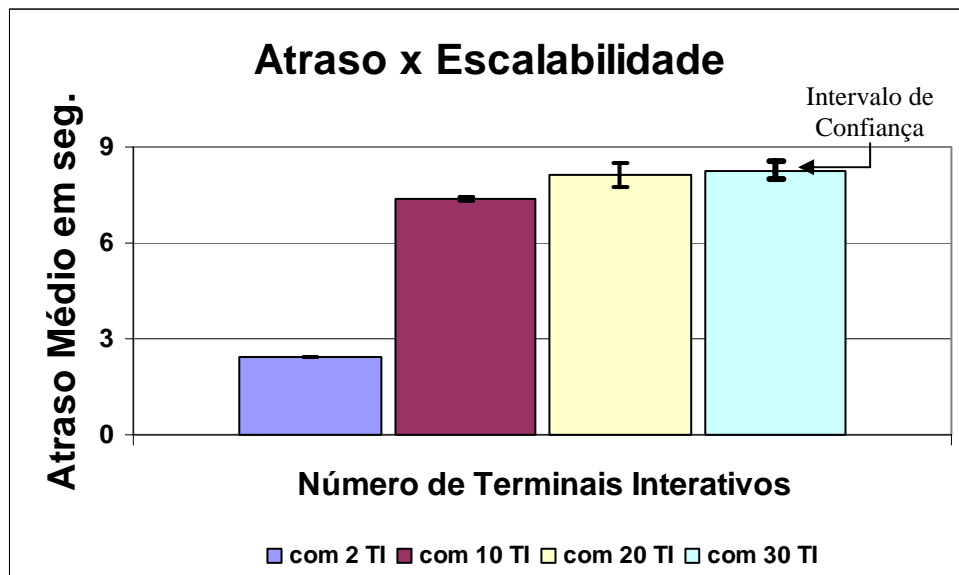


Figura 27: Atraso médio frente ao aumento do número de terminais interativos

Ao contrário dos resultados apresentados no comparativo *jitter*/expoente de perdas, o gráfico da Figura 28 mostra o aumento bastante significativo nos níveis de *jitter* com o incremento do número de terminais interativos (3.172%). Altos níveis de *jitter* e atraso acabam inviabilizando aplicações com requisitos rígidos de QoS, como vídeo e áudio, mas não causam grandes problemas em aplicações interativas como a apresentada na seção 5.1.

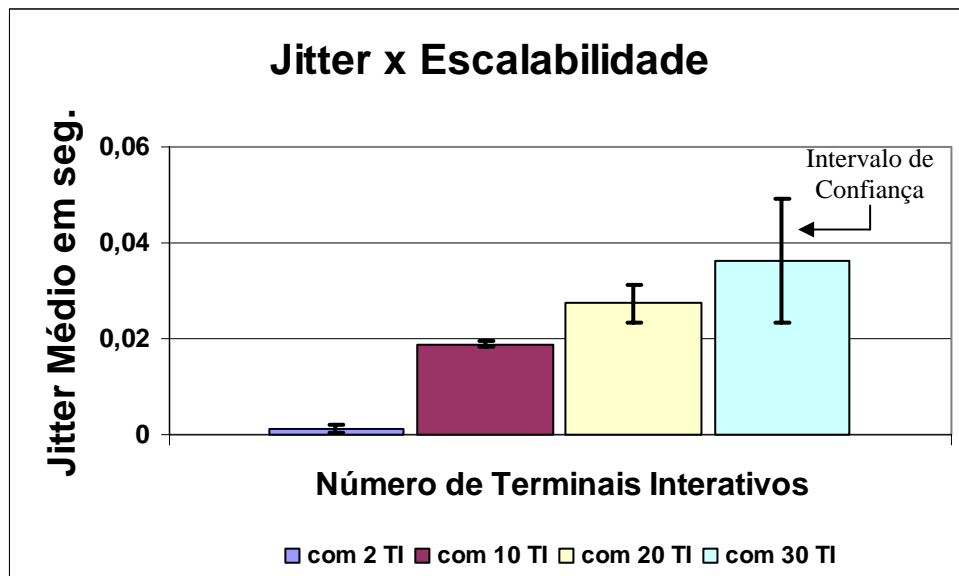


Figura 28: *Jitter* médio frente ao aumento do número de terminais interativos

5.2.2.4 Cenário 3

O terceiro cenário foi direcionado para se avaliar o comportamento das medidas de desempenho frente à distância e número de terminais interativos em relação ao PCR (última milha).

Os gráficos das Figuras 29 e 30 apresentam as relações entre a vazão, o atraso, o crescimento do número de terminais interativos e a distância, e mostram uma variação significativa quando se altera um desses fatores.

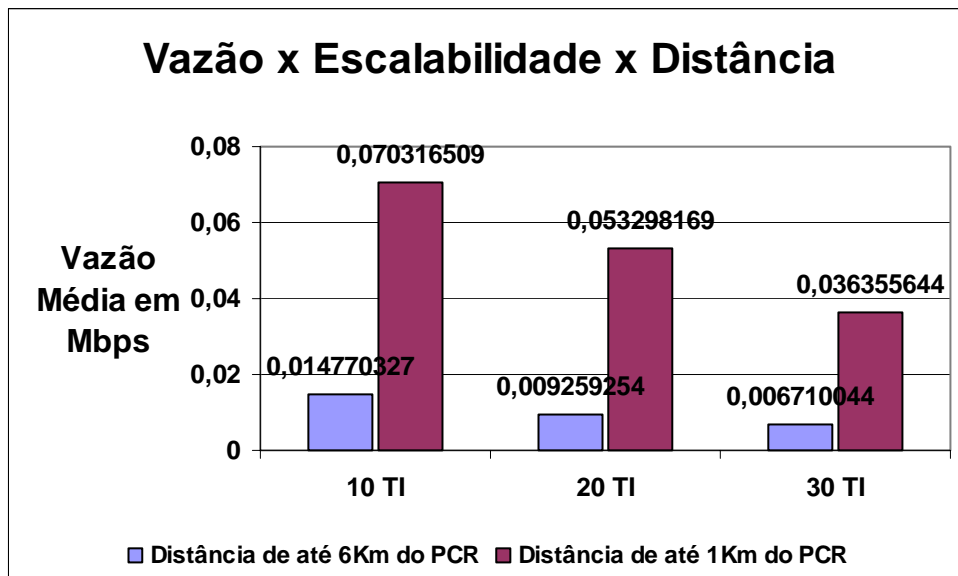


Figura 29: Vazão média frente a variações de distância e número de terminais interativos

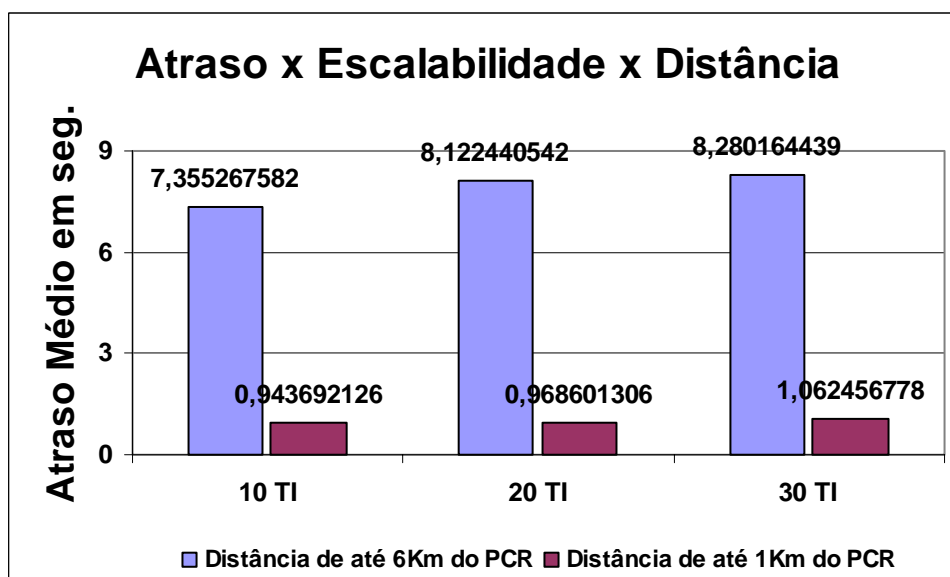


Figura 30: Atraso médio frente a variações de distância e número de terminais interativos

5.2.2.5 Cenário 4

O quarto cenário avalia o comportamento no núcleo da rede interativa proposta no *framework* CARIMBÓ, quando submetida a uma sobrecarga de tráfego. Pelo contexto da simulação nove PCRs, dispostos conforme topologia definida no Quadro 7 e ilustrada na

Figura 31, participam, simultaneamente, de um processo interativo. Desses, apenas dois, representados pelos PCR-Belém e PCR-Santarém, estão protegidos, sendo submetidos a filas com taxa de atendimento maiores.

Quadro 7: Topologia da simulação na rede interativa

Fonte	Destino	Tráfego entrante na rede interativa	Tecnologia de Acesso dos usuários	Observação
PCR-Belém (Protegido)	Borda Entrada	147 Kbps	WLAN	Taxa Média por usuário na rede sem fio (14,7 Kbps) x 10 TIs.
PCR-Santarém (Protegido)	Borda Entrada	336 Kbps	Dial-up	Taxa de <i>upload</i> (33,6 Kbps) x 10 TIs.
PCR-Abaetetuba	Borda Entrada	384 Kbps	LPCD de 64 Kbps	Taxa de 640 Kbps, limitada pela tecnologia ADSL Lite.
PCR-Alenquer	Borda Entrada	384 Kbps	LPCD de 64 Kbps	Taxa de 640 Kbps, limitada pela tecnologia ADSL Lite.
PCR-Altamira	Borda Entrada	384 Kbps	LPCD de 64 Kbps	Taxa de 640 Kbps, limitada pela tecnologia ADSL Lite.
PCR-Bragança	Borda Entrada	384 Kbps	LPCD de 64 Kbps	Taxa de 640 Kbps, limitada pela tecnologia ADSL Lite.
PCR-Castanhal	Borda Entrada	384 Kbps	LPCD de 64 Kbps	Taxa de 640 Kbps, limitada pela tecnologia ADSL Lite.
PCR-Óbidos	Borda Entrada	384 Kbps	LPCD de 64 Kbps	Taxa de 640 Kbps, limitada pela tecnologia ADSL Lite.
PCR-Tucuruí	Borda Entrada	384 Kbps	LPCD de 64 Kbps	Taxa de 640 Kbps, limitada pela tecnologia ADSL Lite.

No processo de simulação realizado, duas dessas filas de prioridade foram criadas: uma para acomodar o tráfego protegido, com 35% dos recursos de largura de banda do enlace entre o núcleo e o PTVD, e outra para as demais aplicações com 65% dos recursos. Fluxos provenientes dos provedores PCR-Belém e PCR-Santarém foram marcados com o

Differentiated Services Code Point (DSCP) 10 e receberam encaminhamento privilegiado nos *Per Hop Behavior (PHBs)*. Fluxos provenientes dos demais provedores recebem o DSCP 0 e foram encaminhados para as filas convencionais caracterizadas pelo serviço de melhor esforço. Na rede interativa utilizou-se a tecnologia ADSL *Lite* entre os PCR e a borda de entrada, e um enlace de dados T1, equivalente a 1.544 Mbps, no núcleo. Entre o PTVD e o PC utilizou-se uma rede local, operando a 100 Mbps. O tráfego total entrante na borda da rede interativa foi de 3.171 Mbps, sendo 147 Kbps do PCR-Belém, 336 Kbps do PCR-Santarém e 2.688 Mbps dos demais provedores. Todavia, como o enlace do núcleo da rede interativa é de apenas 1.544 Mbps, fatalmente uma grande quantidade de descartes teria que ocorrer.

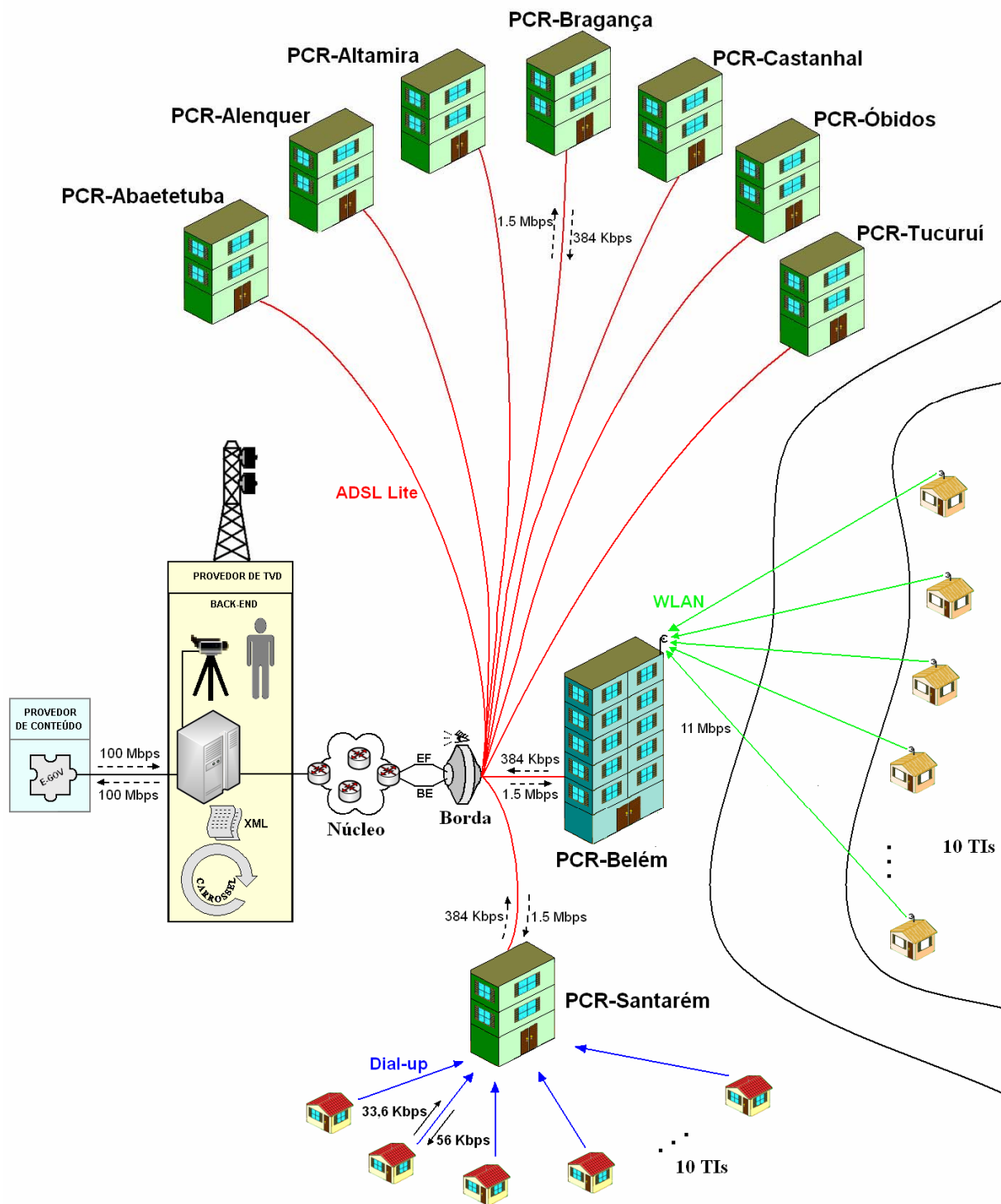


Figura 31: Cenário 4 – Rede Interativa com QoS

O gráfico da Figura 32 mostra a manutenção das vazões injetadas nos PCRs de Belém e Santarém, o que confirma a eficiência do mecanismo de proteção de tráfego, mesmo em situações de congestionamento generalizado.

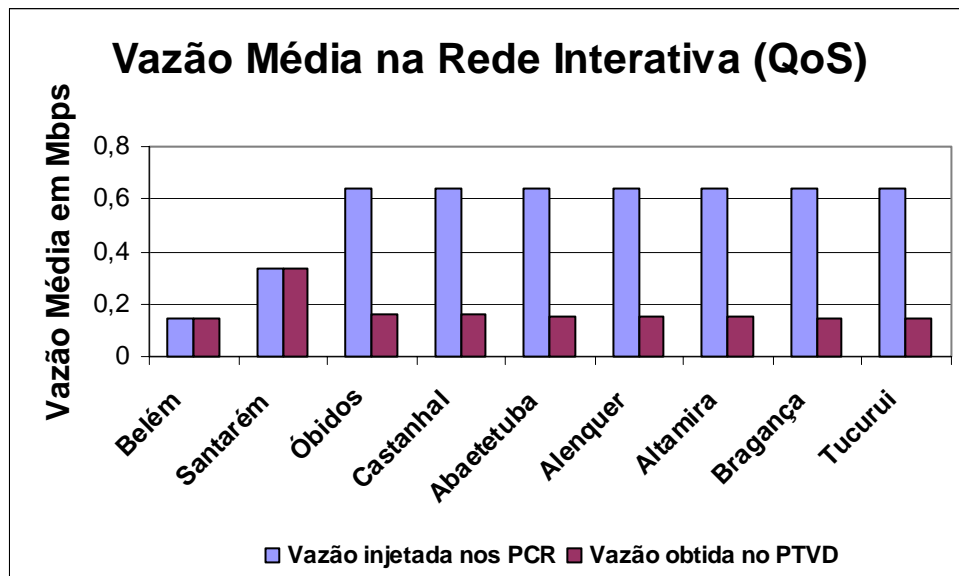


Figura 32: Vazão média na rede interativa

Os gráficos das Figuras 33 e 34 apresentam, respectivamente, os atraso e *jitter* médios dos fluxos da rede interativa. O sistema de proteção fica caracterizado para os PCRs de Belém e Santarém, permitindo que aplicações com restrições de requisitos de QoS sejam viabilizadas.

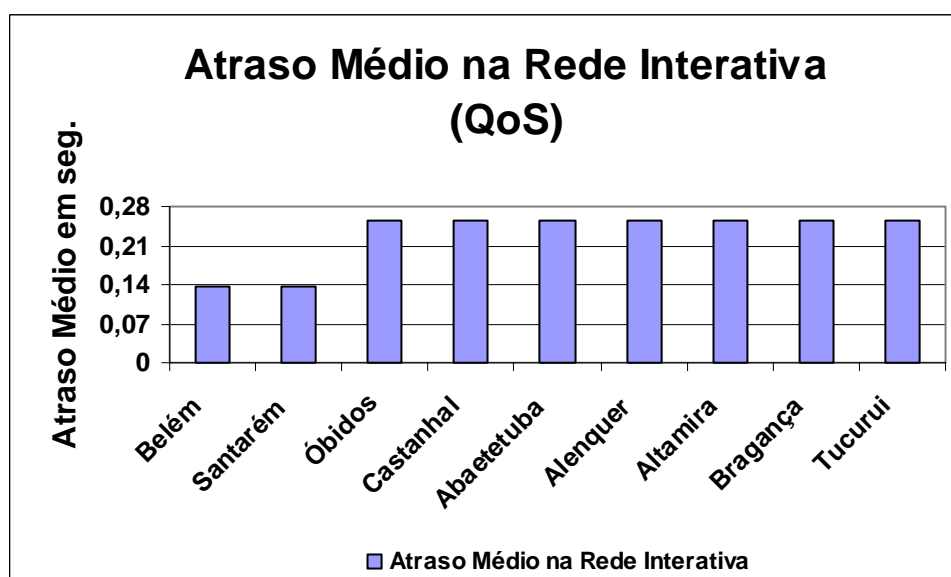


Figura 33: Atraso médio na rede interativa

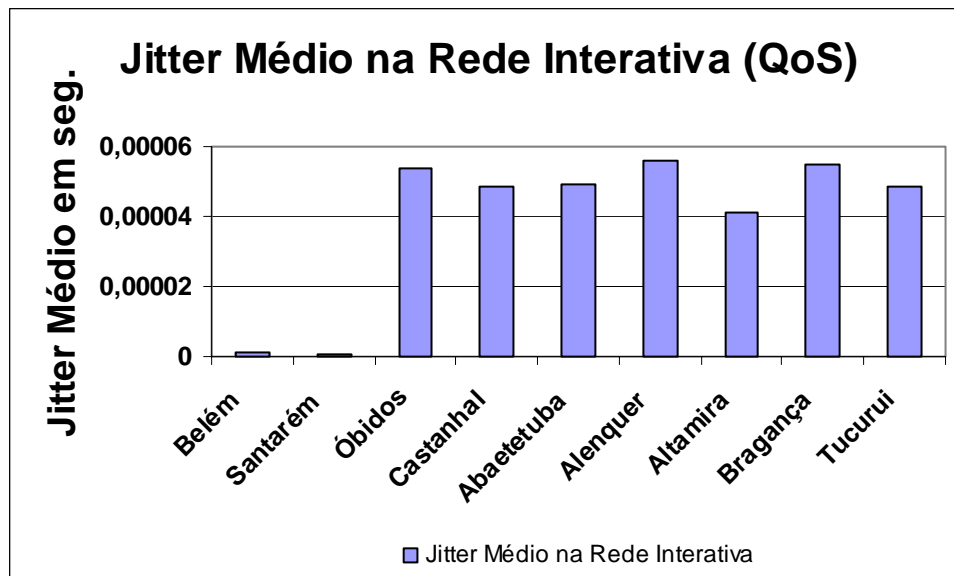


Figura 34: *Jitter* médio na rede interativa

O gráfico da Figura 35 apresenta a probabilidade de bloqueio, ou seja, a relação entre pacotes enviados e pacotes descartados na rede interativa. Nota-se que nos casos dos PCR de Belém e Santarém nenhum pacote foi descartado. As probabilidades de bloqueio expressas em termos percentuais são respectivamente: Belém e Santarém (0%), ou seja, não sofreram nenhum descarte; Óbidos (75%); Castanhas (74%); Abaetetuba (76%), Alenquer (76%); Altamira (76%), Bragança (77%) e Tucuruí (77%).

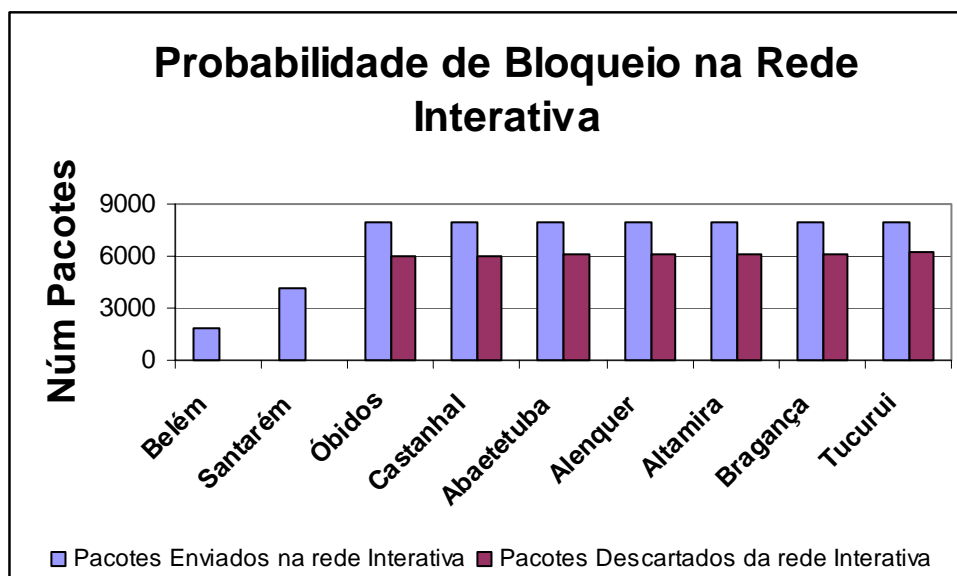


Figura 35: Probabilidade de bloqueio na rede interativa

5.3 ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO

Dentre as tecnologias de acesso candidatas ao canal de retorno do SBTVD e citadas no relatório final do CPqD, destacam-se duas pelo potencial para uso na região amazônica: WiMax e WiFi (SBTVD, 2007). Há de ressaltar que os equipamentos associados a tecnologia WiMax ainda não estão em processo de comercialização no Brasil. Sendo assim, as referências de custo e capacidade de usuários ainda são bastante incipientes e não têm a confiabilidade dos equivalentes WiFi. Para este estudo, considerou-se a estimativa de custo WiMax (WIMAX, 2006) onde uma estação rádio base (ERB) custa em torno de \$ 4,000.00 (quatro mil dólares) ou R\$ 8.588,00 (oito mil, quinhentos e oitenta e oito reais) e as estações cliente ou *Customer Premises Equipment* (CPE), o valor de \$ 400.00 (quatrocentos dólares) ou R\$ 858,80 (oitocentos e cinquenta e oito reais) cotados com a relação dólar-real de R\$ 2,147. A esses valores, foram acrescentados 25% para cobrir os custos com antenas e cabos. Já os equipamentos WiFi, por serem amplamente comercializados, são apresentados com valores mais consistentes. No caso dos pontos de acesso considerou-se o custo de R\$ 1.000,00 (mil reais) por ponto de acesso e R\$ 60,00 (sessenta reais) por cliente. A esses valores foram acrescentados, respectivamente R\$ 500,00 (quinhentos reais) e R\$ 100,00 (cem reais) para os custos de antena, caixa hermética e cabos obtidos a partir de pesquisa de mercado. A Tabela 6 apresenta a relação entre usuários, estações base e custo e, portanto, justificam a escolha da tecnologia WiFi neste estudo de caso.

Tabela 6: Estimativa de custo WiMax / WiFi

TI (Usuários)	WinMax			WiFi		
	Qtd de rádios	Custo por Estação Base	Custo por cluster de estações cliente	Qtd de rádios	Custo por Estação Base	Custo por cluster de estações cliente
30	1	R\$ 10.735,00	R\$ 32.205,00	1	R\$ 1.100,00	R\$ 4.800,00
100	1	R\$ 10.735,00	R\$ 107.350,00	2	R\$ 2.200,00	R\$ 12.800,00
300	2	R\$ 21.470,00	R\$ 322.050,00	6	R\$ 6.600,00	R\$ 48.000,00
500	3	R\$ 32.205,00	R\$ 536.750,00	10	R\$ 11.000,00	R\$ 80.000,00
1000	5	R\$ 53.675,00	R\$ 1.073.500,00	20	R\$ 22.000,00	R\$ 160.000,00

O gráfico da Figura 36 apresenta a relação entre o aumento do número de usuários e o aumento do número de estações base necessárias para acomodar esses usuários. Considerou-se nesse estudo a relação de 200 usuários por CPE na tecnologia WiMax e 50 usuários por ponto de acesso na tecnologia WiFi. Mesmo com uma grande quantidade de usuários, se considerarmos apenas o fator custo, a tecnologia WiFi ainda é significativamente mais barata. Para acomodar 1000 usuários, tem-se custo superior a R\$ 50.000,00 na tecnologia WiMax. Já em WiFi esse custo se mantém próximo aos R\$ 20.000,00.

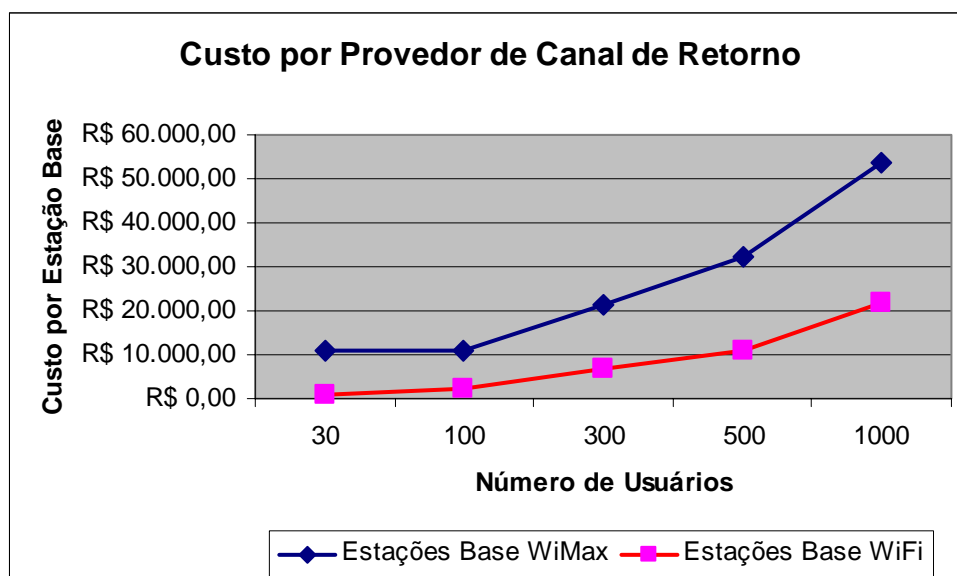


Figura 36: Levantamento de custos/número de usuários por estação base

O gráfico da Figura 37 apresenta a relação entre os custos com o TI, o número de usuários e a tecnologia. Pode-se observar que o aumento do número de usuários não gera um crescimento proporcional de custo entre as tecnologias, uma vez que mil usuários podem ser instalados a um custo médio de duzentos mil reais em WiFi e a mesma quantidade em WiMax fica acima de um milhão de reais.

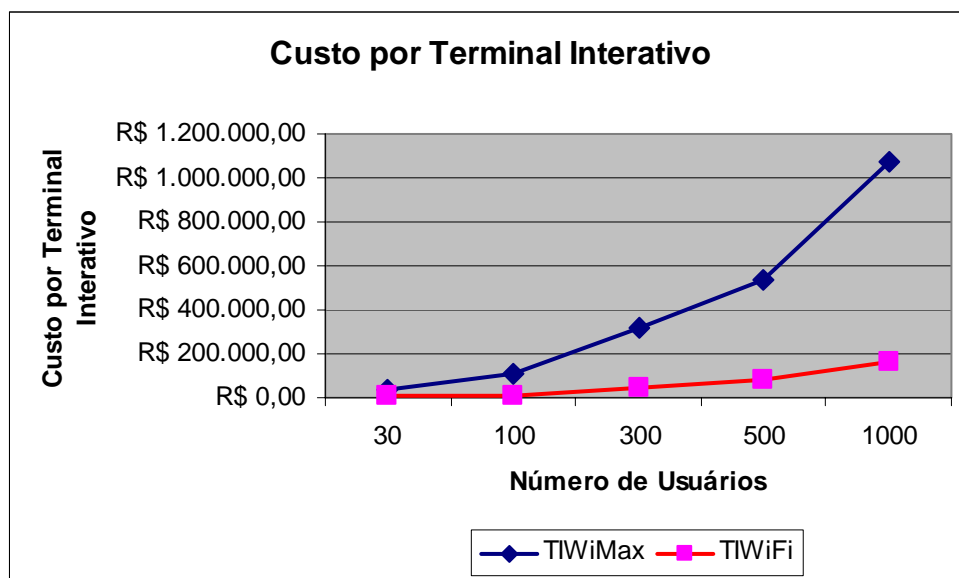


Figura 37: Levantamento de custos/número de usuários por cliente

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou um estudo de viabilidade do *framework* CARIMBÓ para quatro cenários diferentes, nos quais, diferentes variáveis foram consideradas (“expoente de perdas”, “escalabilidade”, “distância”, “atraso”, “vazão”, “*jitter*” e “probabilidade de bloqueio”). Foi observado o impacto de tais mudanças nas medidas de desempenho básicas. A partir da análise do conjunto dessas medidas, o sistema como um todo foi testado e, em linhas gerais, atende aos requisitos mínimos da aplicação alvo.

Assim, o *framework* CARIMBÓ pôde ser observado sobre os aspectos fundamentais, para os cenários propostos, e considera-se que houve boa adequação aos objetivos da proposta. Portanto, o *framework* CARIMBÓ pode ser uma alternativa viável para o canal de interatividade para a Amazônia.

6 CONCLUSÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Propor tecnologias alternativas para o canal de retorno da TVD tem sido objeto de muitas pesquisas no Brasil. Alicerçados nesses estudos surgem, freqüentemente, contribuições com a premissa de redução dos níveis de exclusão tecnológica, o que é muito importante, em especial para a nossa região. Todavia, outras variáveis precisam ser consideradas nesse processo. A proposta de *framework* apresentada nesta tese de doutorado provê, além de um estudo de tecnologias para última milha, todo um mecanismo de apoio para o gerenciamento da rede interativa. São abordados procedimentos de sinalização, políticas de admissão, controle de priorização de tráfego e proteção de aplicações com requisitos rígidos de QoS. A preocupação é garantir viabilidade, tanto para aplicações pontuais, quanto para aquelas de escala maior, que, por exemplo, atuassem a nível nacional. Isso é possível através da especificação de um modelo que mantém o servidor de aplicações hospedado em um componente móvel, o Provedor de Conteúdo, que tanto pode estar próximo do usuário (ligado ao PCR) quanto longe (centralizado no PTVD). A tolerância dos usuários de TVD a atrasos na rede, é muito maior do que em outras mídias. Isso ocorre pelo fato de sempre haver uma razão de entretenimento e distração: a própria programação televisiva. Nesse contexto, acredita-se que tecnologias economicamente mais acessíveis, como as associadas a redes sem fio e linhas telefônicas, possam atuar como portão de entrada dos menos favorecidos no mundo da interatividade digital. Pode-se, por exemplo, equipar unidades móveis (barcos, ônibus etc.) com torres de recepção de sinal e deslocar essas unidades para áreas próximas a regiões isoladas, sob demanda, fazendo com que o ponto de interatividade (PCR) fique próximo ao usuário final. Tomando como exemplo o sistema piloto apresentado no apêndice A, poder-se-ia deslocar uma unidade móvel equipada com os servidores de gerenciamento do

sistema para áreas mais afastadas dos centros urbanos, em períodos próximos a campanhas de vacinação infantil.

Para aplicações que sejam usadas em larga escala, a infra-estrutura da rede interativa de TVD deve estar preparada para suportar altos níveis de tráfego em rajada, o que certamente causará congestionamento. Desse modo, as duas únicas formas de garantir qualidade a aplicações com requisitos rígidos de QoS são: super-dimensionar a rede interativa, o que é inviável economicamente, pois ela ficaria ociosa na maior parte do tempo, ou criar mecanismos de proteção através da reserva de recursos, o que é proposto no *framework* CARIMBÓ através de uma técnica de QoS chamada Serviços Diferenciados. Outro aspecto importante é o mecanismo de admissão que só permite que se candidatem a participar do processo interativo usuários em condições para tal.

A funcionalidade do *framework* CARIMBÓ, demonstrada através das avaliações de desempenho realizadas nesta tese, traz a convicção de uma contribuição bastante promissora.

6.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Durante a concepção desta tese de doutorado, diversas contribuições ficaram evidenciadas. A seguir são relacionadas as de maior relevância:

a) elaboração e avaliação de desempenho de um *framework* para a rede de retorno da TVD no Brasil que prima por possibilitar que diferentes regiões e classes sociais sejam integradas ao processo interativo. Isso só é possível em função da flexibilidade do modelo e da possibilidade de definição de políticas de priorização de tráfego que protejam os fluxos em regiões com deficiência na infra-estrutura de telecomunicações. Para dar mais ênfase à aplicação do *framework* CARIMBÓ em regiões como a Amazônia, foram modelados cenários

com tecnologias disponíveis localmente e realizadas simulações com o uso do Network Simulator;

b) desenvolvimento de uma aplicação piloto de *e-gov/e-health* no emulador *XleTView* compatível com o *middleware MHP* do sistema DVB. Essa aplicação substitui o cartão de vacinação tradicional e permite ao governo maior controle e planejamento nas campanhas de vacinação infantil;

c) divulgação dos resultados obtidos em diversos eventos, nacionais e internacionais, os quais serviram de base para trabalhos de outros autores. Podem-se destacar, por exemplo, as apresentações realizadas no Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, no Brasil, e no E-Challenges 2006, na Espanha, que resultaram em ampla discussão em torno do tema. A relação de artigos aceitos se encontra discriminada no item 6.2.1;

d) projeto e instalação de um laboratório de testes de redes sem fio tanto *indoor* quanto *outdoor* no campus profissional da Universidade Federal do Pará. Apesar desse projeto (WLACA) ter sido criado para avaliar o comportamento do canal de retorno na TVD, ele vem contribuindo, significativamente, com diversas pesquisas em andamento no departamento de engenharia elétrica e de computação desta universidade.

6.2.1 Trabalhos Aceitos

Diversos resultados parciais relacionados a esta tese de doutorado foram submetidos a eventos nacionais e internacionais com o intuito de se obter críticas construtivas que viessem a agregar melhorias às inovações propostas para o STVDB. No Quadro 8 estão discriminados as principais publicações e aceites relacionados a esta tese.

Quadro 8: Publicações relacionadas ao *framework* CARIMBÓ

Ano	Título	Evento	Situação
2003	Performance Evaluation of an Adhoc Wireless Network in a Typical Scenerio of an Amazonian Area (Regions In Amazon).	SPIE - The International Society for Optical Engineering. China	aceito
2003	Avaliação de Desempenho de Redes ad-hoc em um Cenário Típico da Região Amazônica.	SBrT - Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. Rio de Janeiro	aceito / apresentado
2004	Avaliação de Desempenho de Tecnologias de Transmissão de Dados Para Supervisão do Sistema de Distribuição de Energia.	XVI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica Brasília, DF	aceito
2004	Ferramentas Computacionais em Redes Sem-Fio: Uma Abordagem na Avaliação de Desempenho de Canais Rádio-Móvel.	SBrT - Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. Belém	aceito / apresentado
2004	Proposta de Canal de Retorno para TVD Brasileira em um Cenário Típico da Região Amazônica.	SBrT - Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. Belém	aceito / apresentado
2005	A Flexible <i>Framework</i> Proposal for the Return Path in Brazilian Digital Television.	INFOCOMP - Journal of Computer Science. Publicado no Volume 4 Número 3 páginas 42-49. ISSN: 1807-4545	aceito / publicado
2006	An E-Gov application to monitoring children vaccination process in Amazonia using the Return Path of Digital Television.	First Iberoamerican Congress on e-Government. Santiago, Chile.	aceito
2006	Performance Evaluation of a Flexible <i>Framework</i> Proposal for E-Gov Applications using the Return Path of Digital Television.	E-Challenges 2006. Barcelona, Espanha. Publicado em: Exploiting the Knowledge Economy. Issue, Applications, Case Studies. Part 2, Pg 1010-1016. Edited by Paul and Miriam Cunningham. IOS Press. 2006. ISSN 1574-1230	aceito / publicado / apresentado
2006	Canal de Retorno para TVD com Interatividade Condicionada por Mecanismo de Sinalização Contínua e Provisionamento de Banda Orientado a QoS.	Revista IEEE Latino Americana.	aceito para publicação.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

Uma vez definido o padrão de TVD a ser usado no Brasil, surge a possibilidade de avaliar de forma mais direcionada o *framework* aqui proposto. Dentre os trabalhos futuros associados a esta tese, destacam-se: a adaptação do sistema de *e-gov/e-health*, desenvolvido no emulador *XleTView* para ser testado em um *set-top-box* com o padrão brasileiro, isso permitirá que outras variáveis sejam analisadas, inclusive o comportamento do sistema quando interagindo com o *middleware*; a avaliação de outras tecnologias de acesso como IEEE 802.16 (*WiMax*); a definição de um grupo de políticas de prioridade a serem usadas no controle de admissão do *framework*, aplicadas ao perfil das diversas classes sociais brasileiras; um estudo de aspectos de segurança associados tanto às tecnologias de acesso, quanto aos protocolos utilizados nas aplicações de TVD, avaliando-se as perspectivas de uso seguro da TVD para comércio eletrônico; a especificação de um mecanismo, associado ao *set-top-box*, que selecione o melhor canal de retorno a partir de uma avaliação de custo/benefício quando o usuário possuir mais de uma opção.

6.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Um dos principais desafios deste trabalho foi justamente conceber um *framework* que não fosse incompatível com nenhum dos padrões candidatos ao SBTVD. Ressalta-se que apenas recentemente (junho de 2006) ocorreu a definição oficial do padrão. Outra dificuldade encontrada se deu pela escassez de bibliografia com uma metodologia para projeto de redes sem fio, em especial projeto de cobertura, o que requereu o deslocamento para a realização de cursos específicos criados por fabricantes e ministrados apenas em outro estado.

Durante o processo de aferição *outdoor*, houve preocupação em realizar medições com diferentes situações climáticas (chuva e ausência de chuva) para não descaracterizar as

adversidades climáticas da região. Os resultados relacionados nesta tese foram obtidos a partir de médias extraídas das aferições realizadas em ambas as situações. Constatou-se, por exemplo, que variáveis como o vento, que causava movimento nas árvores do local de teste, afetavam de forma mais agressiva a comunicação do que a própria chuva. Isso levou a constatação de que a existência da linha de visada é um fator essencial para o sucesso da comunicação em redes locais sem fio e que, portanto, acaba inviabilizando propostas como o uso de redes *ad-hoc* para canal de retorno na região Amazônica.

Na realização da simulação as dificuldades ocorreram pelo fato de o simulador não oferecer suporte nativo nem ao uso de redes sem fio infra-estruturadas, nem a antenas direcionais. Houve, portanto, a necessidade de ajustes no código para a adequação do NS às características do *framework* CARIMBÓ, além da construção de todo o modelo que caracterizou os cenários propostos, o que consumiu um grande esforço de desenvolvimento.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das adversidades típicas da região amazônica que, infelizmente, ainda possui altos níveis de exclusão tecnológica, a perspectiva do uso da televisão como instrumento de inclusão e integração da sociedade mobiliza diversos segmentos, tanto do governo quanto do setor acadêmico. Fica a certeza de que o esforço empreendido no desenvolvimento desta tese de doutorado contribui, significativamente, para esse processo e espera-se que, com a definição do padrão do SBTVD, outros grupos agregem esforços para tornar a proposta ainda mais consistente e viável.

REFERÊNCIAS

- AMODEI JR A. et al. Uma análise da conectividade do canal de interatividade ad-hoc para a TV digital. In: Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, XXII., 2005, Campinas.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.
- _____. **NBR 14724**: informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 6p.
- _____. **NBR 10550**: informação e documentação – citações em documentos – apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 7p.
- BARBOSA L.M.J. et al. Uma proposta de canal de interatividade para o SBTVD através de comunicação sem fio em RF intrabanda. In: Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, XVIII., 2005, Natal.
- BELLAVISTA, P. et al. Context-Aware Semantic Discovery for Next Generation Mobile Systems. **IEEE Communications Magazine**, New York, v. 44, n. 9, p. 62-71, 2006.
- BLAKE S. et al. **An Architecture for Differentiated Services**. RFC2475. December 1998
- BUZATO, M. E.K. Letramento digital e conhecimento. EducaRede, 11 março 2003. Disponível em <http://www.educarede.org.br/educa/html/index_busca.cfm>. Acesso em: 14 fev. 2006
- BRASIL. Decreto nº 5.820, de 29 de junho de 2006. Dispõe sobre a implantação do SBTVD-T. Brasília, 2006. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm>. Acesso em: 15 set. 2006.
- BWMETER. Disponível em <<http://www.desksoft.com/BWMeter.htm>>. Acesso em 03 set. 2005.
- CARVALHO F.B.S. de, et al. Avaliação da qualidade da transmissão para o canal de interatividade da TV digital utilizando *power line* communications. In: Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, XXII., 2005, Campinas.
- CDI. Inclusão Digital. Disponível em: <<http://www.cdi.org.br/>>. Acesso em: 06 out. 2005.
- CLUA J. L. G. MHP e JavaTV como plataformas de desenvolvimento de conteúdo para Televisão Digital Interativa. In: Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, XVIII., 2005, Natal.
- COMPUTAÇÃO BRASIL. Um olhar para a TV digital. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, Ano VI, n. 17. Março 2005. 16 p.
- _____. E-gov: estado e cidadãos conectados. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, Ano VII, n. 22. Junho/Julho e Agosto 2006. 20 p.

CROLL A., PACKMAN E., **Managing Bandwidth: deploying QoS in enterprise networks**. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

DVBRCG. **Interaction channel through the Global System for Mobile Communications (GSM)**, European Telecommunication Standard, 1999.

DVBRCGPRS. **Interaction channel through General Packet Radio System (GPRS)**, Digital video BroadCasting, 2004. Disponível em: <<http://www.dvb.org>>. Acesso em: 04 mar. 2005.

FENG, W.; **Improving Internet Congestion Control and Queue Management Algorithms**. 1999. Dissertation of PHD - University of Michigan - 1999.

FERNANDES J. et al. Introdução à Televisão Digital Interativa: arquiteturas, protocolos, padrões e práticas”. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, XXIV, JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA, XXIII. 2004, Salvador.

FRANCÊS, C. R. L. **Statecharts Estocásticos e Queuing Statecharts: novas abordagens para avaliação de desempenho baseadas em especificações statecharts**. 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – USP, São Paulo, 2001.

FRANCÊS, C. R. L. et al. Performance evaluation based on system modeling using Statecharts extensions. **Simulation Practice and Theory**, Holanda, v. 13/7, p. 584-618, 2005.

FURTADO E. et al. Projeto de interfaces de usuário para a televisão digital brasileira. In: Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, XVIII., 2005, Natal.

HEINANEN J. et al. **Assured Forwarding PHB Group**. RFC2597. June 1999.

HRASNICA, H.; HAIDINE, A.; LEHNERT, R. **Broadband Powerline Communications Networks: network design**. John Wiley & Sons Inc., 2004.

IEEE 802.11, The Working Group Setting the Standards for Wireless LANs. <<http://www.ieee802.org/11/>>. Acesso em: 07 jan. 2005.

IEEE 802.15, Working Group for WPAN. <<http://www.ieee802.org/15/>>. Acesso em: 07 jan. 2005.

IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS. QoS in next-generation wireless multimedia communications systems. v. 10, n. 3. Junho 2003. 64 p.

_____. Voice over wireless local area networks. v. 13, n. 1. Fevereiro 2006. 79 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/popul/default.asp?z=t&o=21&i=P>>. Acesso em: 22 jan. 2005.

JACOBSON V. et al. **An Expedited Forwarding PHB**. RFC2598. June 1999.

JAIN, R. **The Art of Computer Systems Performance Analysis**: techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling. John Wiley & Sons Inc., 1991. ISBN: 0-471-50336-3.

KORTH H. F., SILBERSCHATZ A. **Sistema de Bancos de Dados**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

LAU R.; KHARE R.; CHANG W. Y. **Service Assurance for Voice over WiFi and 3G Networks**. Norwood: Artech House, inc., 2005.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation Modeling and Analysis**. Third Edition. McGraw-Hill, 2000.

MACDOUGALL, M. H. **Simulating Computer System Techniques and Tools**. Massachusetts: The MIT Press, 1987. ISBN: 0-262-13229-X.

MONTEZ C., BECKER V., **TV Digital Interativa**: conceitos, desafios e perspectivas para o Brasil”, 2. ed. ver. e amp. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

NETSTUMBLER. NetStumbler.com. Disponível em <<http://www.netstumbler.com/>>. Acesso em 03 mar. 2006.

NTULI, S. et al. Powerline Networking as an Alternative Networking Solution: a South African experience. In: 2006 IEEE Power India Conference, 2006, New Delhi, Índia.

PAGANI, M. **Multimedia and Interactive Digital TV**: managing the opportunities created by digital convergence. IRM Press, 2003.

PROCEEDINGS OF THE IEEE. Global Digital Television: technology & emerging services. New York: IEEE, v. 94, n. 1. January 2006. 338 p.

RAST R. M. The dawn of digital TV. **IEEE Spectrum**, New York, v. 42, n. 10, p. 18-23, Out. 2005.

SBTVD. Modelo de Referência do SBTVD. Disponível em: <<http://sbtvd.cpqd.com.br/>>. Acesso em: 03 fev. 2007.

SILVA H. et al. Inclusão Digital e Educação para a Competência Informacional: uma questão de ética e cidadania. **Ciência da Informação**, Brasília, v.34, n. 1, p.28-36, jan/abr 2005.

SOUZA C. T., OLIVEIRA C. T. Especificação de canal de retorno em aplicações para TV digital interativa. In: Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, XXII., 2005, Campinas.

TANENBAUM A. S. **Computer Networks**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. ISBN: 0-13-349945-6.

VALDESTILHAS A., ALMEIDA. F. A. A usabilidade no desenvolvimento de aplicações para TV interativa. In: Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, XVIII., 2005, Natal.

VELOX. Contrato de Serviço. Adesão ao Serviço Velox categoria não Residencial. Disponível em: <http://www.velox.com.br/ArquivosEstaticos/Velox/PDF/contrato_veloxemp_apos11-07-2005.pdf>. Acesso em: 02 out. 2006.

VINT PROJECT. The Network Simulator – ns-2. Disponível em: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>>. Acesso em: 20 jul. 2006a.

_____. The NS Manual: formerly ns notes and documentation. Disponível em: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>>. Acesso em: 13 jan. 2006b.

WARTHMAN, F. Delay-Tolerant Networks (DTNs): A Tutorial v1.1. Mar 2003. Disponível em: <<http://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2007.

WEFORUM. World Economic Forum. Disponível em: <<http://www.weforum.org>>. Acesso em: 15 set. 2006.

WGDS. DiffServ Work Group (Differentiated Service), 1999. Disponível em: <<http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>>. Acesso em: 04 abr. 1999.

WIMAX. Wimax no Mundo. Novos negócios. Ano 1 n. 10. 06 a 12 de nov 2006. Disponível em: <<http://www.revistadewimax.com.br/AdminSite/WMA1N10/tabid/111/Default.aspx>>. Acesso em: 13 jan. 2007.

APÊNDICE A - Sistema de controle de vacinação infantil

A.1 CÓDIGOS-FONTE DO SISTEMA

Para o desenvolvimento do sistema piloto de TVD, utilizado nos experimentos do *framework* CARIMBÓ, optou-se pelo emulador *XleTView*, que possui licença *General Public License* (GPL) e encontra-se disponível em <http://xletview.sourceforge.net/>. O sistema foi desenvolvido com o apoio do laboratório de publicidade e propaganda da Universidade da Amazônia (UNAMA) e de uma equipe de alunos da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Os códigos e procedimentos para os que desejarem reproduzir as simulações deste trabalho se encontram disponíveis no endereço <http://www.cci.unama.br/margalho/doutorado/>.

A.2 TELAS DO SISTEMA

Tela 1: Tela de abertura do sistema



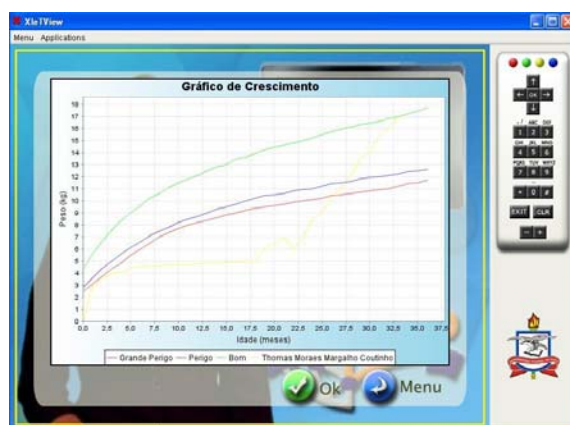
Tela 2: Entrada de Dados



Tela 3: Menu de abertura



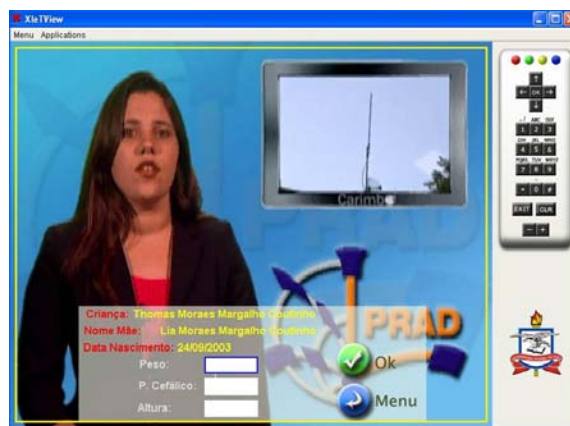
Tela 4: Gráfico de acompanhamento



Tela 5: Informações Mensais



Tela 6: Entrada de dados mensais



Tela 7: Informações Mensais - Continuação



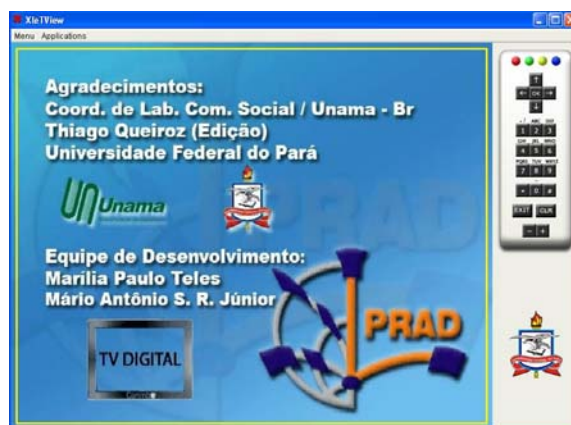
Tela 8: Apresentação de vídeo informativo



Tela 9: Acompanhamento das vacinas



Tela 10: Tela de fechamento do sistema



APÊNDICE B – Procedimentos e códigos utilizados no processo de simulação

B.1 O SIMULADOR *NETWORK SIMULATOR*

O simulador *Network Simulator*, que se encontra na versão 2.30 disponibilizada em setembro de 2006, alcançou repercussão internacional através do projeto *Virtual InterNetwork Testbed* (VINT). A proposta básica era criar uma ferramenta que, além de prover um conjunto básico de elementos de redes como protocolos, políticas de fila, enlaces, roteadores etc, oferecesse suporte para que outros fossem agregados e interagissem com os já existentes. O produto desse esforço coletivo foi um simulador discreto que vem ganhando cada vez mais credibilidade ao longo dos anos (VINT PROJECT, 2006a).

O fato de todo o código-fonte ser aberto e gratuito tem atraído diversos pesquisadores que, com suas contribuições, têm tornado o simulador mais robusto e confiável. Uma dessas contribuições, feita pelo grupo *Monarch* da Universidade de Carnegie Mellon, foi responsável pela incorporação do módulo de redes sem fio ao NS. O suporte nativo do NS a redes locais sem fio engloba apenas a topologia *ad-hoc*. Para proceder a simulação de redes infra-estruturadas, utilizada nesta tese, fez-se necessário os ajustes no código-fonte do simulador descritos na sessão b.1.1:

B.1.1 Ajustes para suporte à topologia infra-estruturada

Para permitir o uso de redes sem fio infra-estruturadas nas simulações desta tese de doutorado foi aplicado o ajuste de código do grupo de pesquisa ligado ao professor Jörg Widmer da Escola Politécnica Federal de Lausanne, na Suíça. O código encontra-se disponível em <<http://icapeople.epfl.ch/widmer/>>. Esse ajuste permitiu que a comunicação

entre os nós da rede ocorresse sempre por intermédio de uma estação base ou ponto de acesso. Todavia, ainda fez-se necessário a aplicação de um segundo ajuste de código para permitir o uso de antenas direcionais, não suportadas na versão nativa do NS. Para isso utilizou-se o módulo desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação e Engenharia do Instituto de Tecnologia Indiano, localizado em Kanpur, na Índia. O código encontra-se disponível em <<http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>>.

B.2 CÓDIGO-FONTE DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS

Como resultado do processo de simulação do NS, um arquivo texto é gerado contendo todos os eventos ocorridos. Tais eventos são associados ao instante de simulação em que ocorreram. Esse arquivo (*trace file*) precisa ser tratado para apresentar os resultados estatísticos desejados. Como o simulador NS não contém programas que façam esse tratamento, todos os códigos de simulação utilizados nesta tese de doutorado, assim como os programas requeridos para o tratamento estatístico do arquivo de trace foram desenvolvidos especificamente para esse fim e estão relacionados no Quadro de códigos-fonte. Também foi criado um sítio na *Internet* que hospeda todos os códigos e procedimentos para os que desejarem reproduzir as simulações deste trabalho que se encontra disponível no endereço <<http://www.cci.unama.br/margalho/doutorado/>>.

Quadro de códigos-fontes

Programas	Descrição	Requisitos
Programas utilizados para o cálculo das variáveis de desempenho		
vzroot.tcl, vzteste, layoutwireless, layoutwired	Calcula a vazão fim a fim a partir de um arquivo de trace chamado <i>wtrace.tr</i> . Deve-se executar o arquivo matriz <i>vzroot.tcl</i> .	Cada fluxo da simulação deve ter uma identificação única e sequencial feita através da variável <fid_>
atsroot.tcl, atsteste, layoutwireless, layoutwired, jitter.tcl	Calcula o atraso fim a fim, o <i>jitter</i> fim a fim e a probabilidade de bloqueio a partir de um arquivo de trace chamado <i>wtrace.tr</i> . Deve-se executar o arquivo matriz <i>atsroot.tcl</i> .	Cada fluxo da simulação deve ter uma identificação única e sequencial feita através da variável <fid_>
vzrootunificada.tcl	Calcula a vazão acumulada (somatório das vazões de todos os fluxos)	Cada fluxo da simulação deve ter uma identificação única e sequencial feita através da variável <fid_>
Programas utilizados para as simulações do <i>framework</i> CARIMBÓ		
carimbowlan.tcl	Realiza a simulação entre o TI e o PCR com redes locais sem fio	Os ajustes de código do NS devem ser aplicados
carimboredeinterativa.tcl	Realiza a simulação na rede interativa com QoS	Os ajustes de código do NS devem ser aplicados

APÊNDICE C – Principais publicações indexadas no sistema Qualis da CAPES.

C.1 REVISTA IEEE LATINO-AMERICANA

Canal de Retorno para TV Digital com Interatividade Condicionada por Mecanismo de Sinalização Contínua e Provisionamento de Banda Orientado a QoS

M. Margalho, R. Francês e J. Weyl

⁷**Resumo-** Em regiões com pouca infra-estrutura de telecomunicações, a escassez de tecnologias de acesso na última milha acaba gerando altos níveis de exclusão tecnológica (*digital divide*). Isso compromete metas governamentais de inclusão digital e isola, tecnologicamente, grande parte da população. A investigação de tecnologias alternativas de acesso nesses cenários pode viabilizar o uso de sistemas emergentes, como o de TV Digital, como instrumento meio no processo de inclusão tecnológica. Este artigo propõe o uso de um *framework* flexível, capaz de viabilizar o processo interativo através de um mecanismo distribuído de interatividade. Como estudo de caso será apresentando um experimento focado na população ribeirinha da Amazônia que, mesmo em condições mínimas de infra-estrutura, mantém, em suas residências, um aparelho receptor de TV alimentado por baterias recarregáveis. Para consolidar o experimento, utilizou-se uma aplicação de governo eletrônico (e-gov) com informações pertinentes ao processo de vacinação infantil.

Palavras Chave—Inclusão Digital, Interatividade, Redes sem Fio, TV Digital.

I. INTRODUÇÃO

A Televisão (TV) já pode ser considerada um bem público de interesse geral da sociedade,

principalmente em países subdesenvolvidos ou em processo de desenvolvimento. No Brasil, por exemplo, são mais de 65 milhões de aparelhos receptores, presentes em 90% dos lares. Desse montante, cerca de 80% recebe apenas o sinal da TV aberta [15]. Esse dado acabou por chamar a atenção do governo federal para o possível uso do aparelho receptor de TV como instrumento meio no processo de inclusão digital.

Trata-se de veículo que atinge a totalidade das classes sociais em todas as regiões do país.

Na Amazônia, por exemplo, é comum a presença de um receptor de TV, mesmo em vilarejos remotos, tanto na área rural, quanto às margens dos milhares de afluentes do rio Amazonas. Mesmo desprovidos de qualquer infra-estrutura, os moradores desses vilarejos não abrem mão desse recurso de entretenimento, chegando a se deslocar por vários quilômetros em busca de postos de recarga para a manutenção das baterias de seus televisores. Nesse contexto, há de se ponderar a hipótese de que soluções para TV Digital (TVD) interativa sejam heterogêneas e aplicadas de acordo com as especificidades de cada região. A adoção de um padrão inflexível pode causar altos níveis de exclusão tecnológica na população mais pobre. O termo original “digital divide” (exclusão tecnológica) surgiu em 1990 para descrever o crescimento da lacuna entre aqueles que têm acesso às tecnologias de comunicação e informação e os que, por motivos sócio-econômicos ou razões geográficas, não o tem [21]. Já o termo inclusão digital se refere ao domínio de habilidades básicas para o uso de computadores e da Internet e, também, na capacitação para utilização dessas mídias, em favor dos interesses e necessidades individuais e comunitários, com

O suporte de financiamento para este projeto foi obtido com recursos do CNPQ e SECTAM.

Mauro Margalho Coutinho é professor MSc. adjunto II da Universidade da Amazônia.CCET. Av. Alcindo Cacela, 287 CEP: 66060-902, Belém, PA, Brasil (e-mail: margalho@unama.br).

Carlos Renato Francês e João Crisóstomo Weyl são professores Drs. da Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa nº 1 Caixa Postal: 8619, CEP: 66075-900, Belém, PA, Brasil.(e-mail: rfrances.jweyl@ufpa.br).

responsabilidade e senso de cidadania [3] [17].

Este artigo propõe e avalia o desempenho de um modelo de rede interativa capaz de se adequar às limitações tecnológicas do usuário.

II. TV DIGITAL INTERATIVA

A busca por soluções que atendam aos anseios da maioria dos usuários tem levado diferentes países a adotarem diferentes sistemas de TVD.

Nos Estados Unidos, priorizou-se a qualidade da imagem e do som com a adoção do padrão ATSC (*Advanced Television Systems Committee*). No Japão, o requisito mais importante foi a mobilidade e o padrão adotado foi o ISDB (*Integrated Services Digital Broadcast*). Já na Europa o cerne das atenções ficou com a interatividade, explorada pela plataforma MHP (*Multimedia Home Platform*) do sistema DVB (*Digital Video Broadcasting*) [16].

No Brasil, diversos estudos foram realizados para se definir o padrão mais adequado à realidade do país. Patrocinador desse processo, o governo federal incentivou a criação de grupos nas comunidades acadêmica e técnica, envolvendo um total de 79 instituições de pesquisa, com vistas a definição e testes de um padrão baseado em ampla discussão com a sociedade [15]. A definição foi oficializada em junho de 2006 e adotou como base o padrão ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*), incorporando as inovações tecnológicas aprovadas por um Comitê de Desenvolvimento [8].

A. Canal de Retorno

A perspectiva de retro-alimentação em programas televisivos muda consideravelmente as características da relação entre o telespectador e as emissoras de TV na forma em que a conhecemos [18]. O modelo tradicional, caracterizado pelo formato unidirecional, cede lugar a um modelo interativo, capaz de promover a inclusão digital do usuário através de uma gama de novos serviços, dentre os quais, o comércio eletrônico, o governo eletrônico, a educação à distância e os jogos interativos [9].

Todavia, por uma questão de justiça social, faz-se necessário que as oportunidades sejam garantidas a todos. Toma-se como exemplo as comunidades rural e ribeirinha da Amazônia. Muitas delas não têm energia elétrica, linha telefônica e o saneamento básico, quando existe, é precário. O perfil dessas comunidades não atrai as operadoras de telefonia fixa, nem tampouco da telefonia móvel em função do alto custo da instalação e manutenção dos equipamentos e da falta de perspectivas na obtenção de retorno do investimento com o serviço oferecido. Usar a própria faixa do espectro de TVD é uma opção, mas implica em acomodar a demanda dentro de um espectro de frequência já congestionado [5].

O modelo de proposto na seção III oferece uma

série de alternativas que viabilizam os serviços interativos de TVD, mesmo em situações adversas.

III. FRAMEWORK CARIMBÓ

Disponibilizar um modelo que viabilize aplicações interativas implica em uma carga de responsabilidade social muito grande. Isso porque, a falta de planejamento pode acarretar altos níveis de exclusão tecnológica. As oportunidades precisam chegar a todos e isso só pode ser garantido com mecanismos de proteção para os subsistemas menos favorecidos.

A busca por um modelo que garanta essa relação de forma mais equilibrada levou à concepção de um *framework* chamado CARIMBÓ, acrônimo de (**C**anal de **R**etorno com **I**nteratividade **C**ondicionada por **M**ecanismo de **S**inalização **C**ontínua e **P**rovisionamento de **B**anda **O**rientado a **Q**oS). A estrutura desse modelo, ilustrado na Fig. 1, prioriza a interatividade distribuída e provê um mecanismo de admissão confiável na rede interativa, viabilizando o uso de aplicações com restrições de QoS em larga escala. São componentes do *framework* CARIMBÓ os itens adiante descritos:

A. Provedor de TVD

Cabe ao Provedor de TV Digital (PTVD) a geração de toda a programação que será distribuída aos usuários em forma de difusão. Uma vez que a grade de informações sobre a programação a ser transmitida será enviada através de um sistema de *datacasting*, conhecido como carrossel de dados [9], propõe-se que sejam adicionados a esses dados um conjunto de requisitos de interatividade associados à programação corrente. Esses requisitos devem ser especificados pelo PTVD na forma de restrições de QoS (sensibilidade a atraso, largura de banda, *jitter*, probabilidade de bloqueio etc). Os resultados obtidos, em conformidade com os padrões mínimos de QoS fornecidos pelo PTVD, habilitam o usuário a participar da programação interativa corrente. Esses valores formam a base de um sistema de admissão confiável, onde o PTVD poderá mapear a relação de possíveis e/ou pretensos participantes e, a partir daí, provisionar recursos para atender à demanda esperada.

B. Terminal Interativo

O Terminal Interativo (TI) compreende a parte do sistema localizada na residência do usuário. Na fase de transição entre os sistemas analógico e digital, o terminal interativo será representado por um equipamento conhecido como *set-top-box*. As principais funções do *set-top-box* são a decodificação, a descompressão e a conversão do sinal, o que permitirá o aproveitamento do parque de televisores em uso no país durante a fase inicial de migração dos sistemas. Todavia, como se trata de um equipamento com processador e memória [15], alguns serviços adicionais podem vir a ser agregados.

Uma das propostas do *framework* CARIMBÓ consiste em adaptar um módulo ao *firmware* do *set-top-box* chamado Seletor de Infra-estrutura de Mídia (SIM). Esse módulo será responsável pela realização periódica de testes de desempenho com o canal de retorno. O resultado desses testes refletirá as condições do canal de retorno em termos de requisitos de QoS. Tais dados serão usados no processo comparativo com os requisitos mínimos de interatividade enviados pelo PTVD, através do sistema de carrossel de dados. Sob esse prisma, o modelo atua realmente como um mecanismo de admissão, permitindo apenas a adição daqueles usuários em condições técnicas de participação do processo interativo. Além disso, torna-se possível disponibilizar recursos de suporte para o uso de ferramentas administrativas que mapeiem o público alvo interativo.

C. Provedor de Canal de Retorno

Como uma das grandes metas é conceber um modelo de interatividade que crie oportunidades, mesmo para as classes sociais menos favorecidas, propõe-se no *framework* CARIMBÓ a aproximação do usuário através dos Provedores de Canal de Retorno (PCR). Um PCR atua dentro da região do usuário e, portanto, opera com recursos condizentes com a infraestrutura local e com os requisitos e necessidades de seus clientes. Dessa forma, diversos PCR podem coexistir em uma mesma área, focando, porém, públicos diferenciados. Isso permite que diferentes arranjos (*bouquet* de serviços interativos) sejam ofertados. Sob a responsabilidade do PCR estará a operacionalização da tecnologia de acesso a ser usada na última milha para o canal de retorno.

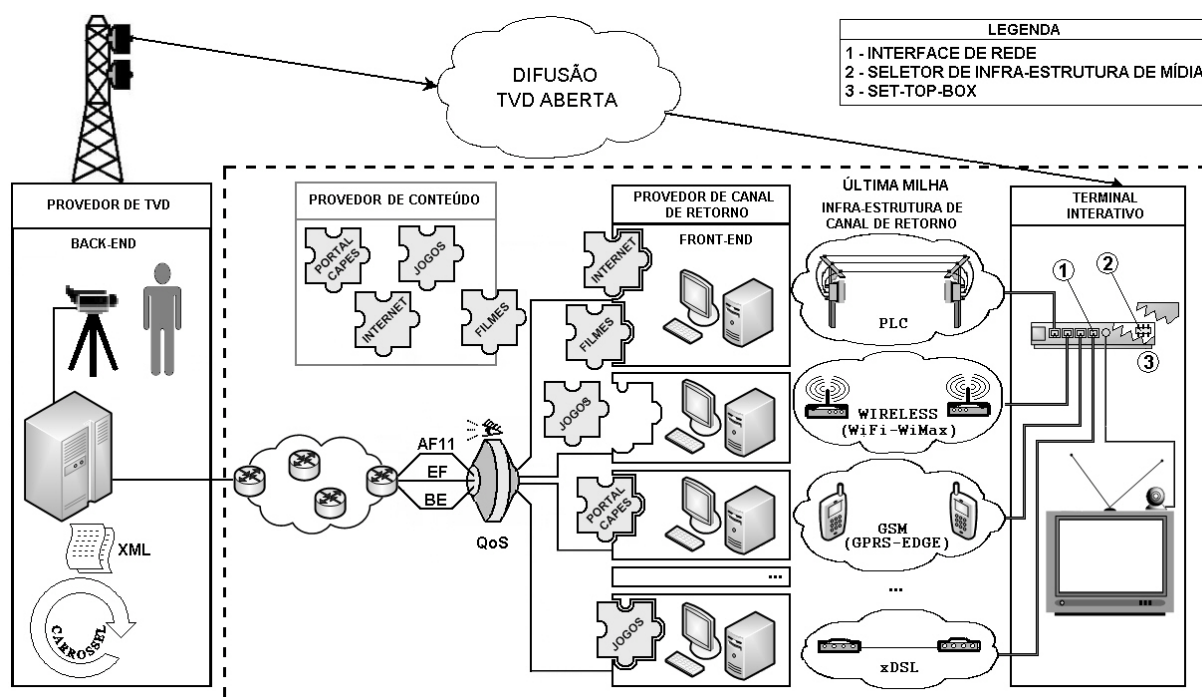


Fig. 1. Framework CARIMBÓ

Sendo assim, usuários interessados em jogos interativos na TVD irão se associar a provedores que ofereçam tais serviços em seu *bouquet* que, por sua vez, deverão garantir tecnologias em conformidade com os requisitos das aplicações que provêm. Em regiões que não ofereçam perspectiva de retorno financeiro, caberá ao governo a iniciativa pelo provimento do *bouquet* de serviços básicos. Nesse caso, soluções de baixo custo e sem tarifação periódica devem ser buscadas. O uso de tecnologias emergentes como as IEEE802.16 e IEEE802.11 tende a ser bastante promissor na última milha do canal de retorno. Um estudo de caso, apresentado na seção IV, será objeto de pesquisa utilizando redes *Wireless Local*

Area Network (WLAN) na última milha em função do baixo custo.

D. Provedor de Conteúdo (PC)

No *framework* CARIMBÓ, parte dos serviços oferecidos pelos PCRs é resultado de uma composição de serviços especializados oferecidos pelos chamados Provedores de Conteúdo (PC). Diferentes PCRs poderão oferecer serviços em comum contratados a partir de um mesmo PC, bastando, para isso, que a tecnologia de acesso adotada suporte os requisitos impostos pelas aplicações. Os PCs, portanto, são concebidos com fins específicos. Sendo assim, pesquisadores provavelmente se associariam a um

PCR que disponibilizasse acesso aos periódicos eletrônicos da IEEE, adolescentes buscariam um PCR que oferecesse jogos interativos e assim por diante. Como diversos serviços de conteúdo podem ser agregados em um PCR, o usuário fará uso daquele com melhor custo-benefício.

Provisionamento de Recursos

Tão importante quanto prover o canal de retorno no sistema de TVD é provisionar recursos para viabilizá-lo. Propõe-se no *framework* CARIMBÓ o uso de um mecanismo de serviços diferenciados [7] para garantir prioridade de tráfego entre os PCR e o PTVD, com base em perfis de aplicações interativas sensíveis a atraso, *jitter*, recursos de banda e probabilidade de bloqueio [14].

IV. ESTUDO DE CASO

Um cenário bastante comum na região amazônica é representado pelas populações ribeirinha e rural. Muitas dessas comunidades se fixam em áreas cobertas pelo sinal de TV aberta e têm, nessa mídia, o único elo áudio-visual com o mundo exterior. O acesso à escola é precário e os serviços médicos básicos só chegam quando há iniciativa do governo. Focando nesse cenário, foram realizados experimentos, descritos na sessão A, com base no uso do *framework* CARIMBÓ.

A. Aplicação

Para realizar o teste de desempenho que envolvesse a proposta de flexibilidade apresentada no *framework* CARIMBÓ, considerou-se uma aplicação hipotética de governo eletrônico (*e-gov*) caracterizada como G2C (*Government to Consumer*), com o objetivo de acompanhar e prover orientações essenciais sobre o processo de vacinação infantil das comunidades ribeirinhas da Amazônia. Uma vez que a plataforma Java impera entre os *middlewares* utilizados no mercado, utilizou-se a solução Xlet no desenvolvimento da aplicação piloto [6]. Em um cenário de TVD interativa, alguns dos benefícios trazidos por esse serviço à população, seriam:

- Informações sobre datas, locais e procedimentos acerca das campanhas públicas de vacinação promovidas pelo governo, através de unidades móveis de atendimento;
- Informações específicas sobre o histórico de vacinação de cada criança, permitindo um acompanhamento individualizado, possível através da associação entre o código de cadastramento da criança (número único contido no cartão de vacinação) e o identificador de cada *set-top-box*.
- Acompanhamento, pelos pais e pelo próprio governo, da curva de crescimento da criança, estabelecendo um parâmetro comparativo em relação ao padrão de uma criança saudável e desencadeando, quando necessário, ações no sentido de reduzir os

índices de mortalidade infantil.

O modelo de interface homem máquina (HCI) requereu a aplicação de técnicas de usabilidade [19] [10].

B. Metodologia

O objetivo do experimento foi simular o uso de um sistema interativo utilizando a aplicação de *e-gov* descrita na sessão A. A metodologia utilizada compreendeu a estimativa da taxa de transmissão, requerida para a utilização do sistema (definida em 5KBps) e uma série de aferições realizadas a partir da transferência de formulários com os dados do sistema em uma rede sem fio *outdoor* para a obtenção de valores a serem configurados no simulador Network Simulator (NS-2) v 2.29 e testados em escala maior [20]. Os níveis de atraso foram obtidos utilizando-se o software Iperf v 2.0.2. [13]. Como a aplicação não requer altos níveis de interatividade, havendo apenas a troca de dados em operações de consulta, a largura de banda não constitui um fator de limitação.

As medições foram realizadas em uma rede de testes sem fio, *outdoor*, mantida pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (Projeto WLACA).

C. Cenário I

O cenário apresentado na Fig. 2 caracteriza um pequeno vilarejo de moradores ribeirinhos, com oito residências, conectadas ao PCR via enlace de rádio padrão IEEE 802.11b para estabelecimento do canal de retorno [12]. Nesse contexto a interação ocorre entre os usuários e o PC{E-GOV}, mantido pelo governo.

No procedimento de aferição, duas etapas de caracterização do tráfego podem ser destacadas.

A primeira delas compõe o *download* da aplicação do PTVD para o *set-top-box* do usuário. A leitura média estimada nesse processo foi de 16 KBps. Todavia, a aplicação pode ser transferida gradativamente e sob demanda, não havendo a necessidade de manutenção de parâmetros rígidos de QoS, uma vez que o processo pode ser interrompido e reiniciado a qualquer instante sem prejuízo ao usuário.

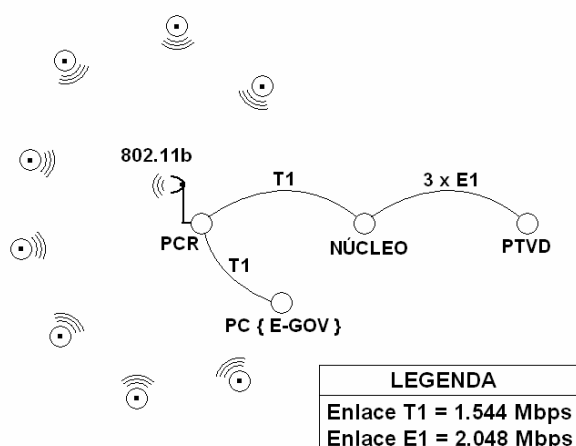


Fig. 2. Cenário

A segunda caracteriza interação com o sistema. Nesse caso, por se tratar de um sistema cliente-servidor, o tráfego na rede foi relativamente baixo, ficando a média em torno de 5 KBps ou 40 Kbps, quando utilizadas as operações de consulta. Para tornar a simulação em larga escala o mais autêntica possível, configurou-se o simulador NS-2 com os mesmos parâmetros da rede experimental WLACA. A tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados na configuração do simulador.

Tabela 1. Parametrização do Network Simulator

Descrição	Valor
Área (Flat Grid)	500x500 m ²
Número de Nós	8, 10, 20, 30, 40, 50
Ganho das Antenas	18 dBi
Padrão Adotado	IEEE 802.11b
Expoente de Perdas	2.7
Desvio Padrão	5.0
Potência de Transmissão	100 mW
Taxa de Transmissão	5 KBps
Tamanho do Pacote	224 bits

D. Resultados

Uma das preocupações no uso de uma infraestrutura sem fio, foi testar a escalabilidade do sistema. O gráfico da Fig. 3 apresenta a evolução da escalabilidade frente ao aumento do número de usuários.

O resultado apresenta uma clara tendência de queda de desempenho quando o número de usuários ultrapassa 20. Nesse caso, se o número de usuários de uma comunidade for superior, pode-se fazer uso de pontos de acesso adicionais que possuam o recurso de balanceamento de carga.

O gráfico da Fig. 4 apresenta o impacto do aumento do número de usuários no atraso fim a fim. Novamente o limiar de 20 usuários se apresenta como ponto de inflexão no gráfico de desempenho.

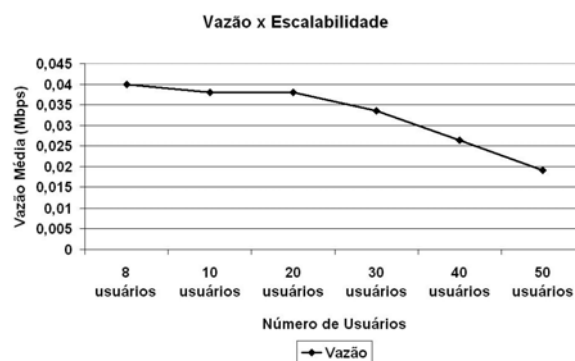


Fig. 3. Escalabilidade de uma WLAN frente a vazão

Uma grande vantagem no uso de redes sem fio em cenários como os apresentados na seção C é o baixo custo. No PCR a estrutura de recepção pode ser montada inclusive em bases móveis (barcos, por exemplo). Além disso, sistemas conhecidos como WDS (*Wireless Distribution System*) podem aumentar consideravelmente a área de cobertura estendendo o benefício a um número maior de usuários.

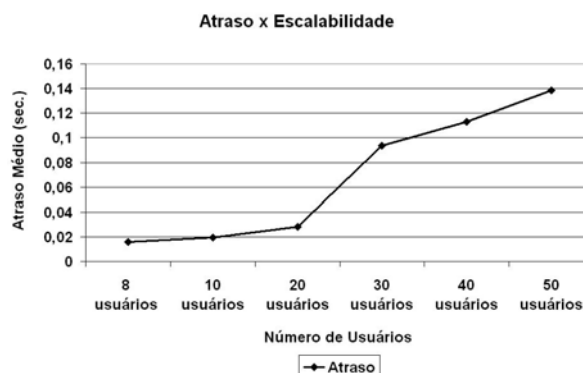


Fig. 4. Escalabilidade de uma WLAN frente ao atraso

Para testar o mecanismo de QoS proposto no *framework* CARIMBÓ, um segundo cenário, apresentado na Fig. 5, foi idealizado. Para tanto, foram considerados 8 PCR que operam com linhas telefônicas discadas e interagem com o PTVD. Cada PCR possui 267 usuários e o tráfego agregado converge para o *backbone* de 6.144 Kbps, que equivale a uma composição de três enlaces E1. A estimativa do número de usuários foi baseada em projeções do IBGE para cidades típicas da região amazônica [11].

Considerou-se que o PCR1 requereu provisionamento de 20% da banda, o que equivale a 1.228,8 Kbps, em função dos requisitos de suas aplicações interativas e que 10% dos usuários de todos os PCR encontravam-se conectados simultaneamente transmitindo fluxos CBR a uma taxa de aproximadamente 56 Kbps. Com isso, cada PCR preencheu quase que integralmente sua capacidade de

vazão, definida por um enlace T1 de 1.544 Mbps. Quando agregados no núcleo, criou-se um ponto de gargalo onde, efetivamente, as políticas de QoS surtiram efeito.

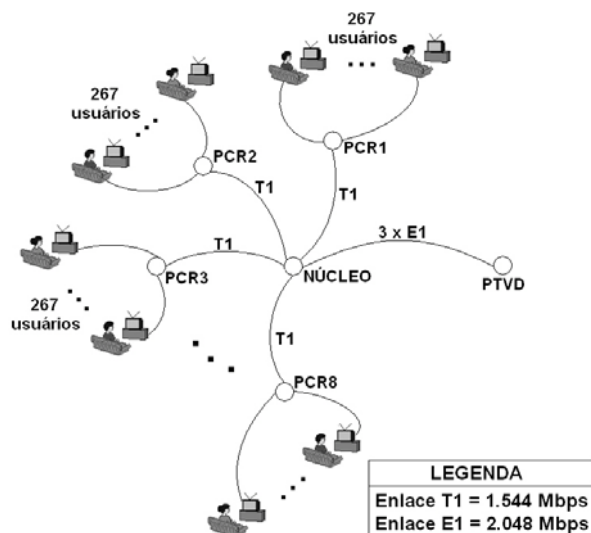


Fig. 5. Cenário da rede de interatividade em larga escala

O gráfico da Fig. 6 mostra que o fluxo proveniente do PCR1 foi protegido, tendo ocupado a área da banda reservada pelo administrador do sistema. Os demais fluxos concorreram pelos 80% restantes da banda.

Serviços como esses permitem ao PTVD criar políticas diferenciadas protegendo aplicações, regiões, serviços etc.

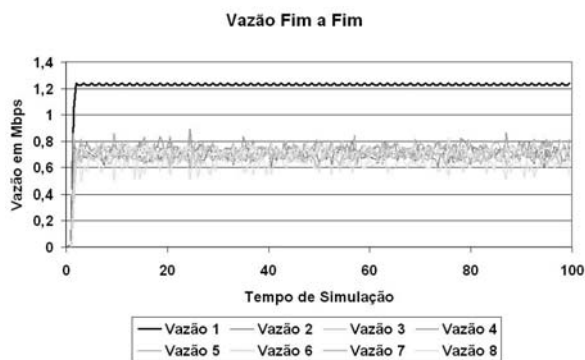


Fig. 6. Vazão com provisionamento de 20% da banda para o PCR1

O gráfico da Fig. 7 mostra a probabilidade de bloqueio, ou seja, a relação entre o número de pacotes descartados e o número de pacotes enviados. Nesse caso, também se pode constatar que a reserva do recurso foi mantida para o fluxo proveniente do PCR1. A probabilidade de bloqueio ficou em torno de 20% enquanto que a dos demais fluxos superou os 50%. Vale ressaltar que quaisquer ajustes nesses parâmetros podem vir a ser configurados de acordo com a necessidade pelo administrador da rede de retorno.

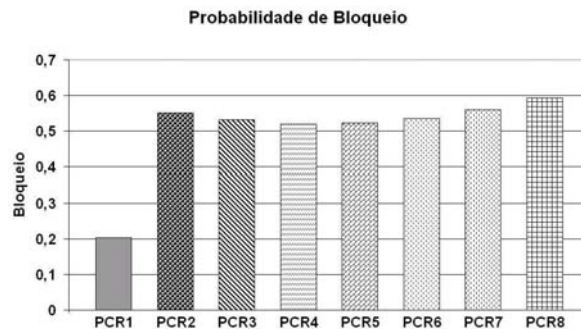


Fig. 7. Probabilidade de bloqueio

Existem diversas propostas para aumentar a capilaridade do canal de retorno em TVD que variam desde o uso de redes sem fio Ad-Hoc [1] [2] até o uso da infra-estrutura de energia elétrica (*Power Line Communication*) [4]. Todavia, faz-se importante que o fator interoperabilidade não seja excluído do foco de discussões, pois apenas com a composição de diferentes tecnologias de acesso, serviços de qualidade e preços acessíveis, podem-se consolidar as metas de integração de qualquer governo.

V. CONCLUSÃO

Independentemente do padrão adotado, a flexibilidade é um fator essencial, uma vez que torna possível a adaptação dos serviços às peculiaridades regionais. A aproximação do usuário, através dos Provedores de Canal de Retorno permite que soluções compatíveis com a infra-estrutura local e com a situação sócio-econômica dos usuários sejam adotadas.

O teste de desempenho realizado no *framework* CARIMBÓ mostrou que é possível a proteção de aplicações mais sensíveis através do provisionamento de recursos. Pode-se ainda contar com um mecanismo que permite dimensionar a demanda e planejar mais eficientemente a distribuição dos recursos, mesmo em situações adversas. A aproximação da gestão de serviços do usuário, através do PCR e do PC, permite que aplicações direcionadas sejam viabilizadas, permitindo ao governo desenvolver estratégias focadas em problemas regionais muito mais eficientemente.

Certamente ainda existe um desafio a ser vencido: a efetiva participação do usuário no processo. Espera-se que as técnicas de usabilidade aliadas a diversidade de serviços oferecidos trarão uma contribuição ímpar nessa empreitada.

Assim, entende-se que a proposta é inovadora, sob vários pontos de vista, realística e factível e que, portanto, pode realmente contribuir com o processo de inclusão digital muito necessário para a região amazônica.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Amodei A., Moraes I., Cunha D., Campista M., Espósito P., Costa L., Duarte O., *Uma Análise de Conectividade do Canal de Interatividade Ad Hoc para TV Digital*, 2005 SBRT XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações.
- [2] Barbosa L., Goçalves J. Morais E., Moreira R., Sonntag R., Meloni L., *Uma proposta de Canal de Interatividade para o SBTVD através de comunicação sem fio em RF intrabanda*, 2005 SBRT XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações.
- [3] Buzato, Marcelo E.K., *Letramento digital abre portas para o conhecimento*. EducaRede, 11 março 2003. Disponível em http://www.educarede.org.br/educa/html/index_busca.cfm>. 15/06/2006.
- [4] Carvalho S., Castro E., Braz E., Alencar M., Avaliação da Qualidade da Transmissão para o Canal de Interatividade da TV Digital utilizando Power Line Communications, 2005 SBRT XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações.
- [5] Claudy L., *The Dawn of Digital TV*, *IEEE Spectrum*, vol. 42, pp. 18-23, Oct. 2005.
- [6] Clua J., "MHP e JavaTV como plataformas de desenvolvimento de conteúdo para Televisão Digital Interativa" 2005 *SIBGRAPI XVIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*.
- [7] Croll A., Packman E., "Managing Bandwidth – Deploying QoS in Enterprise Networks" Prentice Hall, 1999.
- [8] Decreto Número 5.820, de 29 de junho de 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm. 15/09/2006
- [9] Fernandes J., Lemos G., Elias G., *Introdução à Televisão Digital Interativa" Arquiteturas, Protocolos, Padrões e Práticas*, JAI-SBC, 2004.
- [10] Furtado E., Carvalho F., Schilling A., Falcão D, Souza K., Fava F., *Projeto de Interfaces de Usuário para a Televisão Digital Brasileira* 2005 *SIBGRAPI XVIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*
- [11] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Disponível em: <http://www.ibge.gov> em 20/03/2006.
- [12] IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Disponível em: <http://standards.ieee.org/>. 20/03/2006
- [13] Iperf v 2.0.2, Distributed Application Support Team, University of Illinois. Disponível em: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>. 22/03/2006.
- [14] Law, A.M.; Kelton, W.D. *Simulation Modeling and Analysis*. Third Edition, McGraw-Hill, 2000.
- [15] Montez C., Becker V., *TV Digital Interativa – Conceitos, desafios e perspectivas para o Brasil*, 2a. ed. Florianópolis: Editora da UFSC.
- [16] Pagani, M., *Multimedia and Interactive Digital TV: Managing the Opportunities Created by Digital Convergence*, IRM Press, 2003.
- [17] Silva H., Jambeiro O., Lima J., Brandão M., *Inclusão Digital e Educação para a Competência Informacional: uma questão de ética e cidadania*. Ci. Inf., Brasília, v.34, n. 1, p.28-36, jan/abr 2005.
- [18] Souza C., Oliveira C., *Especificação de Canal de Retorno em Aplicações para TV Digital Interativa*, 2005 *SBRT XXII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*.
- [19] Valdestilhas A., Almeida F., *A usabilidade no desenvolvimento de aplicações para TV interativa*, 2005 *SIBGRAPI XVIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*.
- [20] VINT Project, *Virtual Internetwork Testbed*. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/vint>. 20/03/2006.
- [21] World Economic Forum. Disponível em: <http://www.weforum.org>. 15/09/2006.

CARIMBÓ – A Flexible Framework Proposal for the Return Path in Brazilian Digital Television

MAURO MARGALHO COUTINHO¹
CARLOS RENATO LISBOA FRANCÊS²
JOÃO CRISÓSTOMO W.A. COSTA²

UNAMA – Universidade da Amazônia
CCET – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Av. Alcindo Cacela, 287 – CEP 66060-902 - Belém (PA)
¹margalho@unama.br

UFPA- Universidade Federal do Pará
DEEC – Departamento de Engenharia Elétrica e Computação
Rua Augusto Corrêa nº 1 - Guamá, - Caixa Postal 8619 - CEP 66075-900 - Belém (PA)
²{rfrances,jweyl}@ufpa.br

Abstract. This paper proposes a framework to the return path on the Brazilian digital television. It presents an alternative way to achieve user based interactivity by utilizing the existing Wireless Distribution System resource (WDS). The utilization of this resource in areas with no infrastructure of telecommunications, like the Amazonian region, creates a perspective of integration for the native people to the digital inclusion programs organized by federal government. In order to evaluate the feasibility of this proposal the Network Simulator (NS) was used.

Keywords— performance evaluation, wireless, wds, digital television, digital inclusion.

Received March 28, 2005 / Accepted June 14, 2005

1. INTRODUCTION

Digital Television (DTV) is a term adopted by the Federal Communications Commission [4] to describe the specifications for the next generation technology used for televising transmissions through diffusion. The main phases of this process are the digital encoding and the digital compression [18]. One of the great innovations brought by the DTV System is the interactivity [2]. This resource allows users, until then passive due to the unidirectional characteristic of transmission of the current model, to directly interact with the system. The implementation of this technology is a challenge for countries like Brazil with such a vast territorial extension, and a diverse climate, topology, demographic density, socioeconomic situation, etc. The establishment of a single option for the return path can exclude from this process a

considerable part of population, due to the lack of infrastructure in many parts of the country which is required to support some of these technologies. Alternate measures are needed in order to compensate to this lack of infrastructure and to reach users nation wide including those users living in remote areas where conventional wired infrastructure is not available as well. This paper proposes a flexible framework capable to accommodate different technologies in the return path, also making use of the IEEE 802.11b standard with resource of wireless distribution system (WDS), allowing an effective growth of the covering area.

1.1 PROPOSAL OF RETURN PATH

1.1.1 General Considerations

Considering the dimensions of the Brazilian

territory and the specificities of each region, is necessary to consider the hypothesis that the DTV solutions in countries like Brazil, are heterogeneous and used in accordance with the peculiarities of each region. In the north of the country, where there are practically no cable TV infrastructure and the poor population still does not have access to the telephonic lines (60% of the north region population, that have TV, does not have telephone [8], one possible alternative would be to provide the return path through a wireless network once that specter for solutions based on VHF/UHF is already congested enough, generating a problem in the introduction of new services. Worth mentioning that the Return Path or Interactivity Path in Brazilian DTV is currently in the process of standardizations . [6].

The proposal presented in this paper makes use of the framework described in the section 1.1.2, which eases the use of many technologies in accordance with the technological availability of each region.

1.1.2 Framework

Figure 1 shows the model of one flexible framework inspired on [3] named CARIMBÓ⁸ which allows the use of many technologies to constitute a return path more appropriated to each region. The framework is split up into four main modules:

1) The Interactive Terminal that will be resident in the user's home. It is composed by the following elements:

- a) The set-top-box that is a component responsible for the tasks of encoding and decoding of digital signals. It's also capable, to host secondary memory what implies in the possibility of the transmission of video on demand (VoD);
- b) The Media Infrastructure Selector that has the function of a filter that will act as a threshold, limiting the use of applications according to the technology adopted in return path. Applications that require a high level of QoS in the return path, such as audio and video, will be allowed if the chosen technology supports these applications. For example, interactive video applications won't be allowed in dial-up return path due to their limited bandwidth;
- c) The network interface defines the type of physical media adapter used for the return path and establishes the interface with the environment. In the case of wireless, for example,

this implies a WLAN adapter 802.11 standard [20].

2) The interconnectivity gateway is associated with the Return Channel Providers (RCP) and will act as the Front-End between the end users and the Digital Television Provider (DTVP). It's a solution for the last mile that presents to the user the available services, according to the limitation of the media. Occasionally, some services may be granted by their local RCPs instead of the DTVP. The choice is made based on which services are available at the RCPs at a particular time. For example, interactive games between users of the same RCP or access to electronic libraries hosted on the Content Provider, like the collection of scientific periodic on the portal of the CAPES (an important entity of research fomentation linked to the ministry of education in Brazil). Another function of the RCP is to transport the data to the DTVP. In many cases there are the possibility of aggregation with others technologies allowing more flexibility to the model. This resource can be useful, for example, in scenes such as aboriginal tribes, where one system of wireless can collect the return path and converge to a single point for being multiplexed and directed, by satellite or WiMax (described in section 1.1.5) to the RCP. This process would make possible the interactivity in the entire village.

3) The Content Provider is a media repository. A place where specific content are stored and, eventually, commercialized. This repository is linked to RCPs and can either be: Integrated to the DTVP or act as an independent module.

4) Finally the Digital Television Provider where the data flows are submitted to a dynamic QoS [10]marker called Matrix [16]. The Matrix scans the incoming data flows and, based on specific characteristics of them, classify each to the appropriated priority level of QoS. After this, the data are stored, processed and eventually used to define the sequence of the programming. It's possible that, at this point, proposals like COSMOS, fit perfectly to CARIMBÓ using the carrousel technique describe in [14].

1.1.3 Return Path

The return path constitutes on of the instruments that makes possible the interactivity in the DTV. Through it, the user interaction plays a big role once that new spaces are opened to applications of the most varied purpose maximizing the user's benefits.[18]

⁸ The carimbó is a folkloric dance of the state of Pará in the Brazilian Amazon, in the area of the Marajó Island.

1.1.4 WDS (Wireless Distribution System)

WDS is a terminology used to characterize a system that interconnects Basic Service Sets (BSS)[7]. The majority of the wireless networks require more than one Access point (AP) to provide an adequate signal of radio frequency to enable the roaming between the multiple APs and to connect them to the wired network. If no cable is used and the connection between the APs is established through a radio signal one WDS link will be created.[9]

The main benefits of a WDS system are:

- a) Cost effectiveness, once an AP link is established, adding another WDS link simply requires the configuration of new AP.
- b) Flexibility, because the expansion of the covering area is possible without the necessity of investment in additional wired infrastructure and the topology allows adjustments of positioning when it required.
- c) Multiplexing of channels, if required all the APs involved in a WDS infrastructure can be configured to operate on the same channel.

The use of the WDS system was proposed in CARIMBÓ framework for two reasons. First: the use of a reusable energy source in order to power each remote Access Points (like solar or eolic energy). There are lots of places where the population does not have electrical energy. They watch television using a recharge battery. Second: to expand the area covered some Access Points (AP) manufactures allow the use of six of them through a WDS scheme.

1.1.5 WiMax

WiMax is the acronym to Worldwideweb Interoperability for Microwave Access. The standard that defines WiMax is the IEEE 802.16a [11]. This new standard, approved by the WiMax Forum [22] in January of 2004 for use in Metropolitan Area Networks, allows more than sixty users connected simultaneously to the same base station in velocities greater than 124 Mbps. The protocol used in this new model, W-OFDM, allows the satisfactory communication in distances up to 6 Km without line of sight.

1.1.6 Alternative Proposal of Return Path

The model presented in this paper uses the framework considered in section 1.1.2. A wireless network is used in order to provide interactivity for remote regions lacking a conventional wired infrastructure. Two applications forms of this

proposal are presented below[15]:

- a) Use in urban areas: The application of the proposal for urban areas implies in the use of the mobile telephony infrastructure and suggests the installation of APs IEEE 802.16a standard in the Cellular Base Stations (CBSs), seeking the collection of the return signal. For such, the antennas installed in the CBSs must be dual band, receiving not only the cellular operator's frequencies, but also the defined for the Digital TV return path, without the necessity of new cables installation. The signals would be differentiated using a duplex filter, before being delivered to the controlling equipment of the CBS, adapted to process both the signals, cellular and radio, and to send them to the Central of Commutation and Control (CCC). Once that there is already a convergence of links from CBSs to CCC, will have the necessity of installation of only one additional link between the CCC and the Digital TV Provider, responsible for the data processing, so that the return path would be established.
- b) Use in rural areas with low demographic density: It has places of the Amazonian region, where the population is found dispersed throughout a vast territorial area. Some of these places are half-flooded and located on plain areas, what makes rather difficult the installation of a wired infrastructure. In this case the installation of a IEEE 802.11 WDS system, coupled with several directional antennas, is capable of covering an area of several kilometers with a relatively low cost. Any device of telecommunications can be used to direct the signal to the DTV provider. Moreover, this wireless infra-structure can be used, like hot spots by tourists, in time of idleness of the system.

Regarding the user, it would be necessary a device equipped with a transmitting radio, with a wireless card attached, and an external antenna, what would make possible the sending of the return data to the AP. The Brazilian legislation, supervised by the ANATEL, allows the use of ISM (Industrial, Scientific and Medical) networks through SCM service (Multimedia Communication Service) for community ends, since the providers preceded their registration on a regulating agency, and use homologated equipment. [1]

The graphic showed in figure 2 presents the relation between the bandwidth capacity of different technologies of return path.

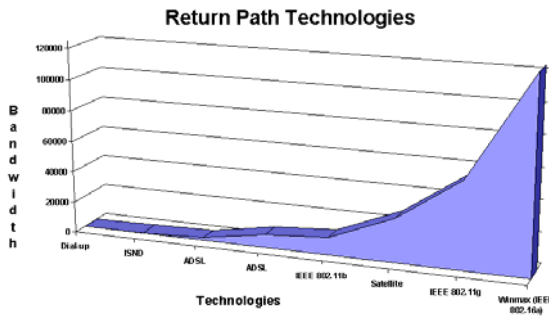


Figure 2 - differences between the main technologies of return path

2. METHODOLOGY

The methodology used to evaluate the model was based on simulation. The NS (Network Simulator) was adopted motivated by the acceptance in the international scientific community. Developed from the VINT project (Virtual InterNetwork Testbed), the NS is a discrete events simulator [21] with support to a wide variety of researches that include the stack of TCP-IP protocols, LANs, WANs, and satellite networks.

The NS is open source code and free, what has attracted several researchers, making the simulator robust and reliable. One of those contributions, made by the Monarch group of the Carnegie Mellon University [17], was responsible for the incorporation of the module of wireless mobile networks on the NS.

A support tool denominated NAM (Network Animator) allows a better visualization of the simulation through a graphical interface. The evaluation of the results begins with the analysis in a trace file generated in the simulation process.

The version used in this work was the 2.27, released on January 2004. The operating system was Linux with the kernel version 2.4.

3. RESULTS

To evaluate the performance [12] [13], a scenario of a typical remote area secluded in the middle of the Amazonian region was used, with low demographic density and area of 80.000 square meters, where the residences are equipped with a set-top-box.

Figure 3 presents a snapshot of the simulation generated by the module NAM (Network Animator) of the NS. [21]

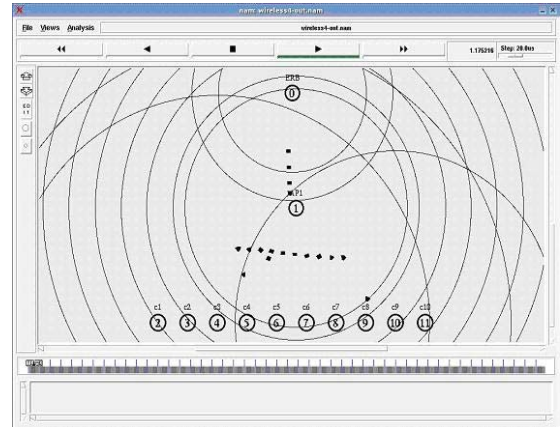


Figure 3 –CARIMBÓ Simulation with WDS

The first experiment simulated intended to evaluate the behavior of the system facing the growth of the number of users. For such, simulations with 5, 10, 15, 20, 25 and 30 users were accomplished. This limit exists due to the current average capacity of AP configured in simulator, which support up to 30 users connected simultaneously. The graphs of figures 4 and 5 show the performances of the outflow system facing the growth of the number of users. Two types of flows were transmitted with a rate of 64 Kbps throughout 100 simulation units: CBR [19], which characterize a constant transmission rate, and another based on a statistical distribution of Pareto [5], which characterizes transmission in burst, typical in the Internet.

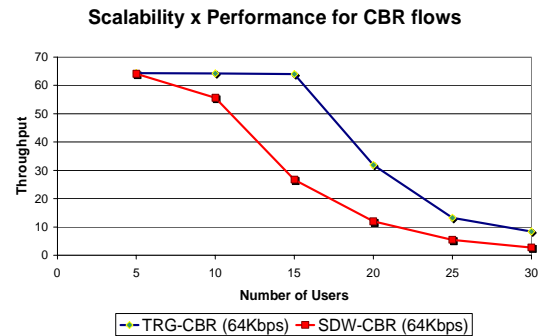


Figure 4 – Scalability from Two Ray Ground and Shadowing models based on CBR Flows

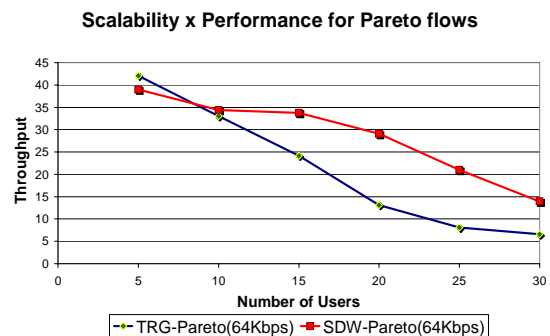


Figure 5 - Scalability from Two Ray Ground and

Shadowing models based on Pareto Flows

It can be observed that the more accentuated drop of performance happens when the system has more than 15 users.

Once that the system performance presents an accentuated drop from the fifth user, and considering that additional APs could extend this capacity without larger problems, then the others performance dimension was based in the proportion of 15 users for each AP.

The graph of figure 6 shows the evolution of the throughput from the average of 15 CBR flows transmitted throughout 100 simulation units. The values are presented with and without the confidence interval ($64,94 \pm 0,59$ Kbps).

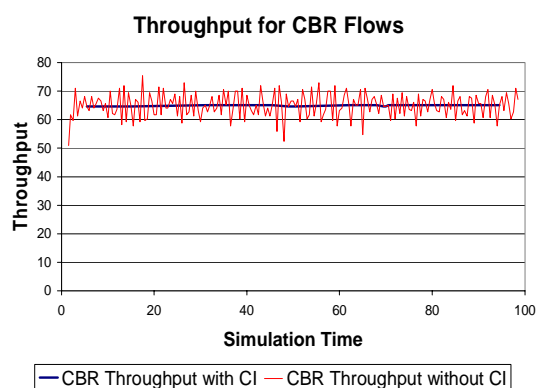


Figure 6 – Throughput versus Simulation Time

The graph of figure 7 show the average values of delay inherent to the simulation made with and without the confidence interval ($0,14 \pm 0,00147$), where it can be verified that the delay levels are below 150 milliseconds, which constitute the minimum requirement for multimedia applications.

If the confidence interval was used, the average delay decreases to nearly 136 milliseconds.

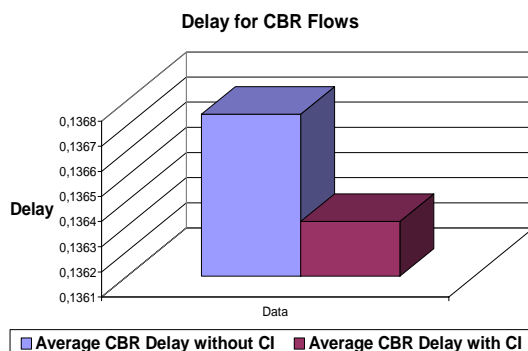


Figure 7 – Delay of Flows

Another performance measure is the jitter, which constitutes the statistics variation of the delay.

Transmissions with many variations of jitter can compromise the quality on the reception, if the flows in question are multimedia. The graph of figure 8 shows the average values of jitter inherent to the simulation made with and without the confidence interval ($0,14 \pm 0,00147$).

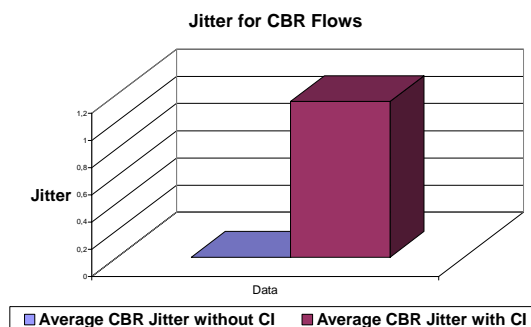


Figure 8 – Jitter of Flows

4. CONCLUSIONS

The adoption of the CARIMBÓ framework in areas with no infrastructure of telecommunications will certainly benefit a significant portion of the population, once different kinds of infrastructure technologies can be composed. The definition of one specific technology for return path can exclude lots of people of the digital inclusion process, once there are many places without infrastructure in countries like Brazil. Furthermore, the results achieved through simulation indicate the technical viability of the return path based on WDS proposal, which can be implemented with a relatively low cost while contributing to the overall social benefit of the community. Some applications, such as Distance Learning, would allow the process of digital inclusion to happen not only in urban centers with certain level of development, but in regions of difficult access, where there are no perspective of higher technological investments. In fact, another questions need to be investigated in futures works. Aspects like security and interference need to be discuss in specifcs work groups. This is really one initial contribution to be ripened and further improved.

5. REFERENCES

- [1] ANATEL (2005). Agência Nacional de Telecomunicações. Available in: <<http://www.anatel.gov.br/home/default.asp>>. 03/04/2005.

- [2] BECKER, V.; MONTEZ, C. TV Digital Interativa: Conceitos, desafios e perspectivas para o Brasil. Florianópolis: I2TV, 2004.
- [3] DVB Project, DVB Standards & Specifications. Versão 7.0. 2004. CD-ROM.
- [4] FCC (2005). Federal Communications Commission. Available in: <<http://www.fcc.gov/>>. 03/04/2005.
- [5] FISCHER, M.J.; MASI D.M.B.; GROSS D.; SHORTLE J.; BRILL P.H. Using quantile estimates in simulating internet queues with pareto service times. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2001. Orlando. Proceedings. Orlando: WSC, 2001.
- [6] FUNTTEL. Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações. Available in: <<http://www.mc.gov.br/funttel/default.htm#>>. 19/01/2005.
- [7] GAST, M.S. 802.11 Wireless Network, The Definitive Guide. 1. Ed. Sebastopol, CA, USA: O'reilly, 2002.
- [8] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Available in: <<http://www.ibge.gov>>. 22/01/2005.
- [9] IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available in: <<http://www.ieee.org>>. 07/01/2005.
- [10] IEEE. Wireless Communications. QoS in next generation wireless multimedia communications systems. June 2003, Vol. 10 No 3.
- [11] IEEE 802.16a (2005). Available in: <<http://standards.ieee.org/announcements/80216abwa.html>>. 04/04/2005.
- [12] JAIN, R.; The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling. John Wiley & Sons Inc., 1991.
- [13] LAW, A.M.; KELTON, W.D. Simulation Modeling and Analysis. Third Edition, McGraw-Hill, 2000.
- [14] LOPES, A.; BORELLI, F.; ELIAS, G.; LEMOS, G.; MAGALHÃES, M. Uma arquitetura para configuração e gerenciamento de recursos em um Middleware para sistemas de televisão digital interativa. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES, 21., Sep. 06-09, 2004, Belém-PA.
- [15] MARGALHO, M.; NASCIMENTO, K.; CARDOSO, D.; FRANCÊS, R.; COSTA, J. Proposta de canal de retorno para TVD brasileira em um cenário típico de região amazonica. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES, 21., Sep. 06-09, 2004, Belém-PA.
- [16] MARGALHO, M.; KELNER, J.; SADOK, J. Mapeador de tráfego interdomínios extensível a novas arquiteturas de QoS (MATRIX). In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, 18., Sep. 03-06, 2000, Gramado-RS.
- [17] MONARCH PROJECT, Mobile Networking Architectures, Available in: <<http://www.monarch.cs.cmu.edu>>. 03/04/2005.
- [18] PAGANI, M. Multimedia and Interactive Digital TV: Managing the Opportunities Created by Digital Convergence. IRM Press, 2003
- [19] SIVCHENKO D.; Xu B.; ZIMMERMANN, G.; HISCHKE, S. Internet Traffic Performance in High Speed Trains1. In: SECOND INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE: PERFORMANCE MODELLING AND EVALUATION OF HETEROGENEOUS NETWORKS, Jul. 26-28, 2004, West Yorkshire. HET-NETs '04
- [20] TANENBAUM, A. S. Computer Networks, Fourth Edition. Prentice Hall, 2003.
- [21] VINT PROJECT. Virtual Internetwork Testbed. Available in: <<http://www.isi.edu/nsnam/vint>>. 1997.
- [22] WIMAX Forum (2005). Available in: <<http://www.wimaxforum.org/>>. 04/04/2005.

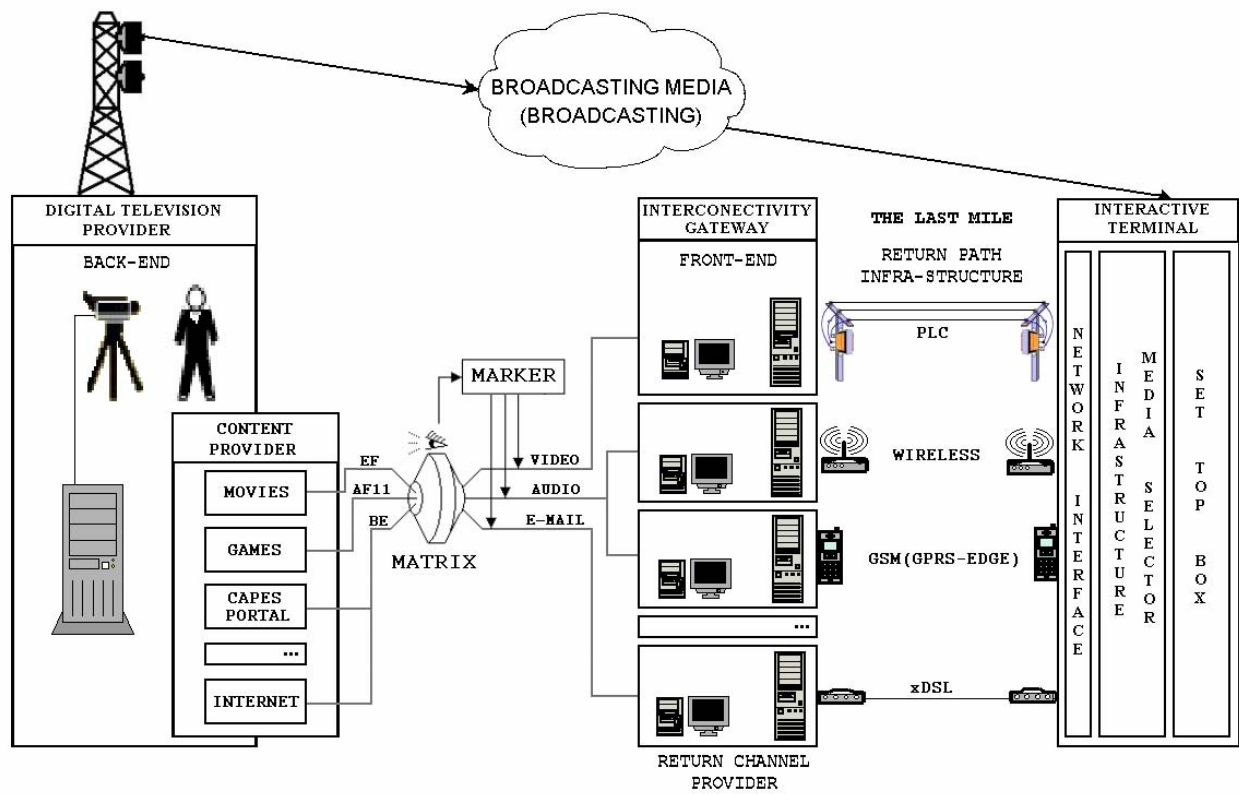


Figure 1 – Carimbó Framework

ANEXO A – Referências de Apoio Requeridas no Desenvolvimento da Tese

A1 SERVIÇOS DIFERENCIADOS

A arquitetura de Serviços Diferenciados ou *Differentiated Services* (DiffServ) adota mecanismos que mantêm o modelo escalável, mesmo com o crescimento significativo do número de *host* na rede. Além disso, nenhum processo de sinalização é requerido, eliminando os problemas causados pela sobrecarga de mensagens. Basicamente a arquitetura se utiliza de diferentes agregações de fluxos de acordo com o perfil das aplicações ou dos usuários.

Os pacotes *Internet Protocol* (IP) são marcados com diferentes prioridades pelo usuário ou pelo Provedor de Serviços Internet (ISP). De acordo com as diferentes prioridades das classes, os roteadores reservam o compartilhamento de recursos necessários – em particular largura de banda. Essa concepção habilita um provedor de serviços a oferecer diferentes classes de QoS por diferentes custos para seus usuários.

Para a marcação dos pacotes (ver Figura 1) o chamado byte de Serviços Diferenciados (DSbyte) é usado no cabeçalho de cada pacote IP. No IPv4 há um mapeamento do octeto *Type of Service* (ToS) e no IPv6 do *Traffic Class* (TC). Seis bits desse byte, chamados *Codepoint*, são combinados para definir o comportamento do pacote por salto ou *Per Hop Behavior* (PHB) que é analisado em cada roteador no despacho do pacote. Os outros dois bits foram preservados para uso em futuras propostas, são os chamados *Current Unused* (CU) (FENG, 1999).

O significado dos bits individuais nos PHBs ainda não foram padronizados. Uma série de propostas, entretanto, já estão sendo analisadas no grupo de discussão *DiffServ* da *Internet Engineering Task Force* (IETF) (WGDS, 1999).

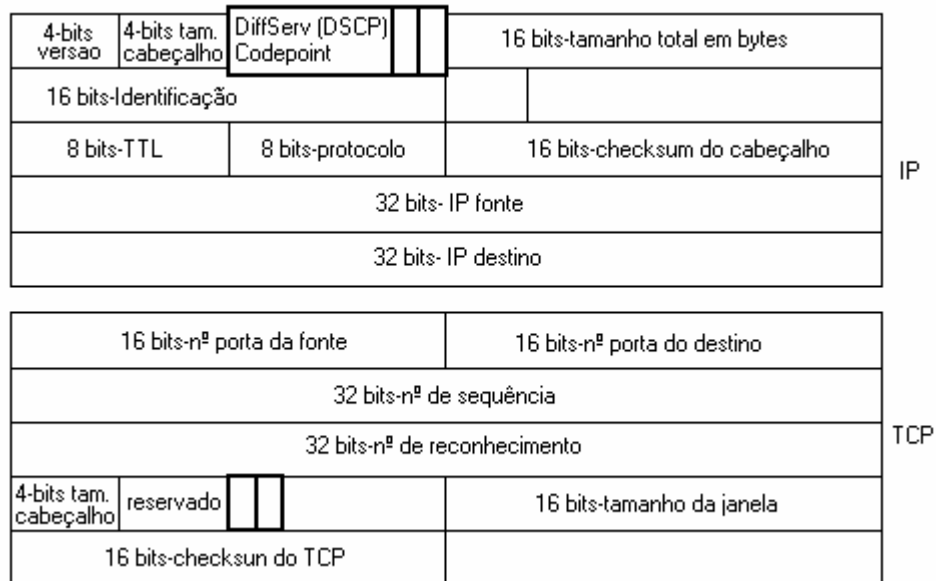


Figura 1: Lay-out do IP/TCP

Fonte: (TANENBAUM, 1996)

Duas propostas de serviços de encaminhamento nos roteadores merecem destaque: Serviço Assegurado ou *Assured Forwarding* (AF) e Serviço Expresso ou *Expedited Forwarding* (EF).

A1.1 O PHB AF

O PHB AF procura prover suporte a um domínio de Serviços Diferenciados para oferecer diferentes níveis de despacho para pacotes IP. Para isso, quatro classes AF são definidas e ficam hospedadas em cada um dos nós DS reservando um certo montante de recursos de despacho – espaço de *buffers* e largura de banda. Os pacotes IP que desejarem usar os serviços providos pelos PHBs AF, são marcados pelo usuário ou Provedor de Domínio DS dentro de uma ou mais classes de AF, de acordo com os serviços que o receptor houver definido.

Para cada classe AF os pacotes IP são marcados com um de um total de três valores que indicam a probabilidade de descarte (Quadro 1). Em caso de congestionamento, o

descarte será feito considerando-se a classe e a probabilidade de descarte escolhidos. O nó congestionado irá tentar proteger os pacotes com baixa prioridade de descarte.

Em um nó DS, o nível de despacho assegurado em um pacote IP depende, basicamente, de três fatores: da quantidade de recursos de despacho que foram reservados para a classe AF que o pacote pertence; da carga das classes AF e da probabilidade de descarte dos pacotes. Um nó DS não pode reordenar pacotes AF do mesmo microfluxo quando eles pertencerem a mesma classe AF. Se isso ocorresse a integridade da aplicação estaria comprometida.

Não há requisitos quantitativos de tempo (atraso e *jitter*) associados com o encaminhamento de pacotes AF. O controle de tráfego é feito pelos nós de borda que, quando necessário, suavizam o tráfego, descartam pacotes, aumentam ou diminuem a probabilidade de descarte e remarcar pacotes para outras classes AF.

Uma série de códigos denominados *codepoints* são sugeridos no quadro 1 para identificar as classes e prioridades de descarte (HEINANEN, 1999).

Quadro 1: Proposta de Codificação para o *Per Hop Behavior Assurance Forward*

DESCARTE	CLASSE			
	Serviço Olímpico			Classe 4
	Classe 1/Ouro	Classe 2/Prata	Classe 3/Bronze	
Baixo	AF11 = 001010	AF21 = 010010	AF31 = 011010	AF41 = 100010
Médio	AF12 = 001100	AF22 = 010100	AF32 = 011100	AF42 = 100100
Alto	AF13 = 001110	AF23 = 010110	AF33 = 011110	AF43 = 100110

Fonte: (HEINANEN, 1999)

Um dos serviços sugeridos (HEINANEN, 1999), chamado serviço olímpico, trabalha apenas com três classes: Ouro, Prata e Bronze e com três níveis de descarte: baixo,

médio e alto. O serviço Ouro, com baixa prioridade de descarte (AF11), poderia ser usado para transmissão de algumas aplicações de multimídia, desde que sejam elásticas, ou seja, possam se adaptar a situações de congestionamentos. Isso pode ser conseguido, por exemplo, com o uso de *buffers*.

A1.2 O PHB EF

O PHB EF pode ser usado para prover um serviço fim a fim, através de domínios DS, com baixos níveis de perda, baixa latência, baixo *jitter* e largura de banda assegurada. Como o serviço aparece nos pontos finais, como uma conexão ponto a ponto ou uma linha dedicada virtual, ele também é descrito como serviço *Premium*.

O mecanismo EF é o mais adequado para encaminhamento de pacotes que fazem parte de fluxos multimídia, uma vez que certas garantias podem ser dadas, o que não ocorre com o mecanismo AF.

Perdas, latência e *jitter*, ocorrem devido ao tráfego nas filas dos roteadores, enquanto os pacotes caminham na rede. Portanto, prover baixos níveis de perdas, latência e *jitter* para algum tráfego agregado, implica garantir que essa agregação não enfrente filas muito grandes. Criar um serviço EF requer basicamente dois passos:

- a) configurar os nós para que as agregações tenham uma taxa mínima de despacho bem definida. Isso implica uma certa independência do estado dinâmico do nó, ou seja, uma independência da intensidade de outros tráfegos no nó;
- b) condicionar as agregações via policiamento e suavização, para que a taxa de chegada nos nós seja sempre menor que a taxa mínima de encaminhamento configurada no nó.

O primeiro item é provido pelos PHBs EF enquanto que o segundo pelos mecanismos de policiamento de tráfego localizados nos nós de borda. Se o PHB EF é

implementado por um mecanismo que permite preempção ilimitada de outros tráfegos, ou seja, uma fila prioritária, a implementação precisa incluir algum mecanismo que limite o perigo do tráfego EF infligir em outro tráfego. Isso pode ser feito, por exemplo, através do limitador conhecido como balde de fichas (*token bucket* - Figura 2). O tráfego que exceder o limite deve ser descartado. A taxa máxima de EF e o tamanho das eventuais rajadas devem ser configurados pelo administrador da rede.

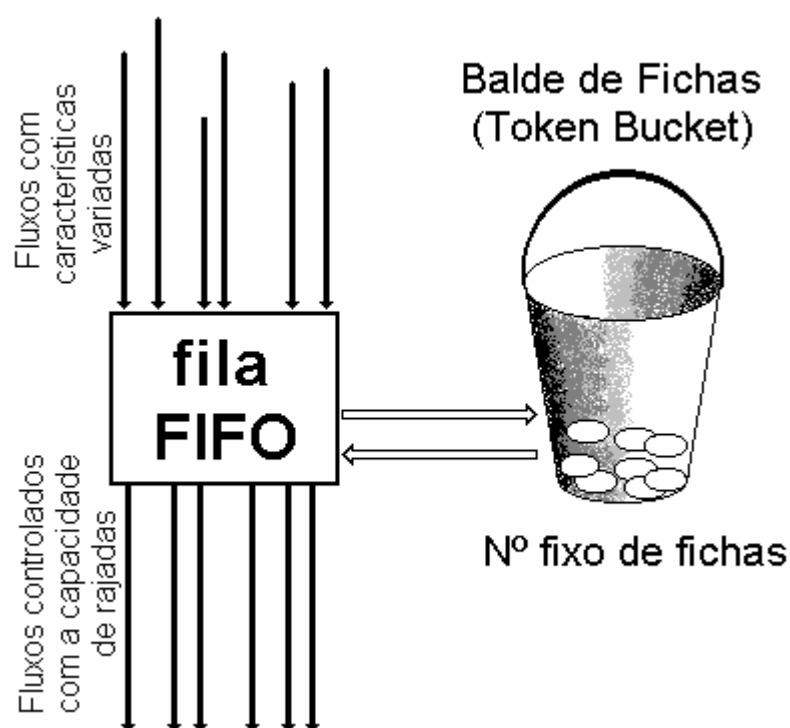


Figura 2: Balde de fichas

A analogia com o balde de fichas se apresenta da seguinte forma: para que um fluxo passe adiante, ele precisa de um determinado montante de créditos, representados pelas fichas do balde. Se o balde estiver vazio ou com um número de fichas inferior ao necessário, o fluxo terá que esperar até que novas fichas sejam depositadas. Com isso obtém-se um certo controle da vazão no domínio, ou seja, pode-se provisionar a rede configurando-se os diversos parâmetros do balde.

e) Suavizador (*Shaper*): dispositivo que suaviza a passagem de pacotes, mantendo o fluxo dentro do perfil contratado com o usuário (Ex.: *Token Bucket*);

f) Condicionador de Tráfego (*Traffic Conditioner*): entidade que executa o condicionamento de tráfego. Um condicionador pode conter medidores, marcadores, descartadores e suavizadores. A ação a ser adotada dependerá da política escolhida pelos administradores do domínio.

A2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Avaliar o desempenho de um sistema é tarefa fundamental, quer na etapa de planejamento, quer na de manutenção. A partir da análise de métricas como vazão, atraso, *jitter* e probabilidade de bloqueio, pode-se identificar distorções, dimensionar o impacto de mudanças e planejar o crescimento de forma mais consistente. Para a realização dessa tarefa, podem-se agrupar as técnicas de avaliação de desempenho em dois grupos, de certa forma, complementares. O primeiro relaciona aquelas técnicas que realizam experimentação no sistema e o segundo grupo relaciona as técnicas que criam abstrações desse sistema, através das quais são feitas inferências sobre o seu funcionamento e de seus componentes. Uma taxonomia para essas técnicas é proposta em Francês (2001), onde se sugere uma divisão em duas classes: as técnicas de aferição e as de modelagem, sendo que o grande diferencial entre os dois grupos está em ter-se ou não o sistema implementado. Para os casos em que o sistema já existe e, conseqüentemente, pode ser averiguado empiricamente, as técnicas de aferição são mais recomendadas. Estão nessa classe, por exemplo, os *benchmarks*, os protótipos e a coleta de dados (através de monitores de *hardware* e/ou de *software*). Mais referências sobre esse grupo de técnicas podem ser encontradas em Jain (1991). Em contrapartida, para os sistemas inexistentes, sugerem-se as técnicas de modelagem descritas por Francês et al (2005).

Modelagem, no contexto de avaliação de desempenho, é um processo complexo e com um forte teor matemático, mas que de maneira simplista pode ser definida como a utilização de uma abstração que contemple em seu cerne as características essenciais de um sistema real, sendo que através da solução desse modelo, pode-se ter uma aproximação de como o sistema se comportaria se fosse efetivado.

A Figura 4 apresenta as etapas seguidas em um processo de modelagem (FRANCÊS et al, 2005).

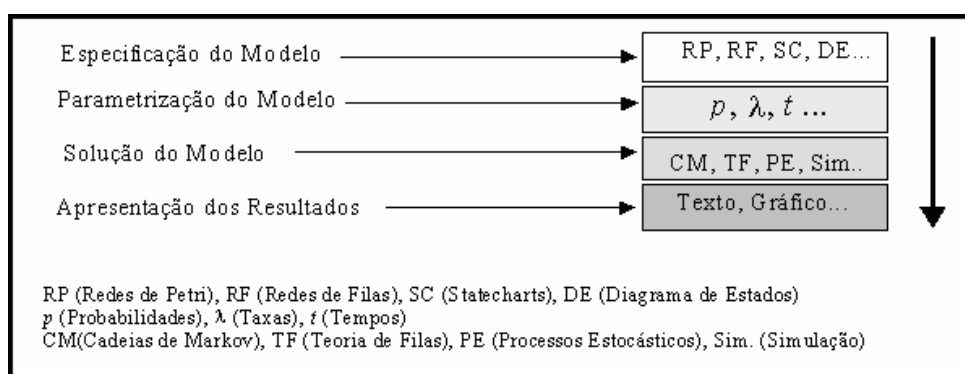


Figura 4: Etapas do Processo de Modelagem.

Fonte: (FRANCÊS et al, 2005)

Na fase inicial da modelagem, deve-se criar uma especificação condizente com o sistema real, na qual devem estar contidos os componentes do sistema relevantes à avaliação, além do relacionamento entre eles. Algumas técnicas usadas para especificação são redes de filas, redes de petri e *statecharts*. Após a confecção do modelo com uma das técnicas citadas, deve-se parametrizá-lo com elementos que serão dados de entrada para a próxima fase (solução). Na parametrização, são comuns taxas, tempos médios e probabilidades. Alguns métodos analíticos (cadeias de Markov e teoria de filas, por exemplo) ou simulação são usados na fase de solução do modelo. Por fim, a modelagem deve apresentar seus resultados através de uma maneira conveniente: gráficos e arquivos-texto são, geralmente, utilizados nessa fase.

A2.1 Fases de uma Simulação.

Segundo Soares (1992 apud FRANCÊS, 2001), as seguintes fases podem ser identificadas em um processo de simulação:

1. Estudo do Sistema e Definição dos Objetivos;
2. Construção do Modelo;
3. Determinação dos Dados de Entrada e Saída;
4. Tradução do Modelo;
5. Verificação;
6. Validação;
7. Experimentação;
8. Análise dos Resultados;
9. Documentação.

O marco zero do processo de uma simulação é o estudo e entendimento do sistema considerado. O sistema deve ser definido com precisão e as metas pretendidas devem ser claras e objetivas. Um mau entendimento dos objetivos do sistema e da simulação provavelmente poderá levar todo o processo ao insucesso.

A segunda etapa do processo é a construção do modelo. Três técnicas para construção de modelos foram abordadas neste trabalho: redes de filas, redes de Petri e Statecharts. Essas técnicas, basicamente, possibilitam uma ampla abstração do sistema real, além de proporcionar uma maneira de solução do modelo. A grande complexidade dessa fase é fazer com que o modelo (sendo elaborado sob o ponto de vista do modelador) expresse realisticamente as características essenciais do sistema real.

Uma vez construído o modelo, devem-se gerar os dados de entrada que o alimentarão. Essa fase de formulação, via de regra, utiliza valores de entrada inicialmente hipotéticos ou baseados em alguma análise preliminar. Entretanto, nada impede que esses

dados sejam modificados, tendo como base fatores considerados válidos pelo modelador. Porém, independente do juízo adotado para escolha dos dados de entrada, eles podem obedecer, fundamentalmente, a dois critérios: os dados podem ser vistos como Estocásticos (Probabilísticos) ou Determinísticos (seqüência de passos de trabalho).

Após a formulação dos dados de entrada, deve-se traduzir o modelo para uma forma aceitável pelo computador. Vários softwares de simulação estão disponíveis para realizar esse propósito. A gama vai de extensões funcionais de linguagens de programação convencionais a linguagens específicas ou pacotes de simulação.

As duas fases seguintes são, de certa maneira, complementares. A quinta etapa (de verificação) determina se o modelo traduzido para o computador executa como desejado (a verificação é chamada por alguns autores de depuração, por assegurar que o modelo faz o que era esperado). Algumas das técnicas utilizadas na verificação podem ser, por exemplo, o uso de modelos determinísticos, para os quais é mais fácil determinar os valores de saída das variáveis, ou a execução de casos simplificados, com, por exemplo, menos clientes no sistema. A sexta fase (de validação) consiste em determinar se o modelo é uma representação razoável do sistema. Jain (1991) relaciona as seguintes técnicas de validação: intuição de um especialista, medidas realizadas no sistema real e resultados teóricos (obtidos através de algum método analítico). Neste trabalho, são sempre utilizados os resultados teóricos para validação dos modelos. Assim, as duas fases em questão exprimem, respectivamente, se o modelo funciona e se ele realmente representa o sistema real.

As etapas de experimentação e de análise dos resultados são aquelas em que, efetivamente, há a exercitação do modelo e uma posterior interpretação das saídas. Nessas duas etapas, a simulação se faz mais clara, pois então se obtêm saídas que podem atestar a eficácia de todo o processo.

Para assegurar a validade desses valores (variáveis de saída) deve ser aplicado à simulação um planejamento estatístico, onde alguns dos aspectos a serem considerados são:

a) o uso de *warm-up* significa que os dados colhidos pelo programa durante o chamado período de aquecimento não são significativos à avaliação. Esse período de aquecimento chega ao final quando o sistema chega ao equilíbrio. Um sistema entra em equilíbrio quando atinge o estado estacionário;

b) a validade estatística dos valores de saída de uma simulação são dependentes do grau de aleatoriedade dos números aleatórios gerados. Sendo assim, devem-se usar corretamente os números aleatórios, de forma que sejam independentes, isto é, não deve existir correlação na sequência de números aleatórios. Além disso, devem ser geradas sequências diferentes de números aleatórios, a partir da utilização de sementes diferentes;

c) tendo resolvido a questão do *warm-up* (através do descarte dos dados obtidos durante o período transiente), podem-se então analisar as variáveis de saída. A precisão dessas variáveis é verificada por intermédio do cálculo de intervalos de confiança. Dentre os métodos utilizados para estimar os intervalos de confiança, destacam-se o método de replicação, o método das médias por lotes e o método da regeneração;

d) pela estimação duvidosa dos parâmetros de entrada do modelo, medidas de desempenho podem ser produzidas contendo erros. Isso acontece, uma vez que essas entradas (distribuições do tempo de serviço, distribuições do tempo de chegada, probabilidades de rotas, disciplinas de filas) correspondem às estimativas dos parâmetros reais, assim pequenos erros cometidos em sua estimativa podem redundar em grandes erros nas medidas de desempenho;

e) o fim de uma simulação pode ser determinado através de vários modos, denominados métodos de parada. Algumas linguagens de simulação permitem a aplicação de vários métodos, podendo, por exemplo, terminar uma simulação considerando o tempo de

execução (determinando o tempo de execução) ou métodos de parada automática (construídos em torno de cálculos sobre intervalos de confiança).

A etapa da documentação consiste na elaboração de documentos que retratem de maneira clara o desenvolvimento do processo de simulação, através de todas as suas etapas, especificando as características importantes de cada fase, assim como os resultados obtidos.

Apesar das fases da simulação terem sido apresentadas de uma maneira que subentendesse um aspecto seqüencial, nada impede que haja interações entre as diversas etapas do processo. Na realidade, a maioria dos processos de simulação é feita de maneira não-seqüencial.

Uma das técnicas mais usadas para avaliar o desempenho de um sistema é a simulação de eventos discretos⁹. Sistemas baseados em eventos discretos mudam de estado em instantes de tempos discretos. Os dados de entrada para esses sistemas podem ser gerados quer probabilisticamente, com o programa de simulação, quer externamente, a partir de um *trace* obtido no sistema em execução. Alguns simuladores, como o *Network Simulator* (NS), apresentado no Apêndice B, ainda suportam a facilidade conhecida como “redes vivas”, onde os dados de um sistema alimentam, em tempo real, a entrada da simulação.

As simulações orientadas a eventos tendem a impor certo nível de simplicidade, uma visão global do sistema na modelagem (MACDOUGALL, 1987).

A2.2 Intervalo de Confiança

Supondo que exista um conjunto de N exemplos com valores Y_1, Y_2, \dots, Y_N provenientes de uma distribuição com um valor verdadeiro (mas desconhecido) chamado μ . A média da amostra é demonstrada na Equação 1.

⁹ Em termos matemáticos, um simulador de eventos discreto permite que o sistema mude somente em um número de pontos contáveis no tempo. Esses pontos são onde cada evento ocorre (LAW; KELTON, 2000).

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^N Y_i / N \quad (1)$$

Define-se $1 - \alpha$ como a probabilidade do valor absoluto da diferença entre a média da amostra e μ que é igual ou menor que H conforme mostra a Equação 2.

$$P[|\bar{Y} - \mu| \leq H] = 1 - \alpha \quad (2)$$

O intervalo de confiança para a média é definido conforme a Equação 3.

$$P[\bar{Y} - H \leq \mu \leq \bar{Y} + H] = 1 - \alpha \quad (3)$$

O intervalo $\bar{Y} - H$ até $\bar{Y} + H$ é chamado de intervalo de confiança, H equivale a metade do tamanho do intervalo de confiança e $1 - \alpha$ é o nível de confiança ou coeficiente de confiança, cujos valores típicos são 0.90 ou 0.95. O nível de confiança é especificado pelo analista da amostra. H é determinado, portanto, pelos valores da amostra, pelo número de amostras e, pelo valor de α .

H é uma função de variáveis aleatórias e, portanto, ela própria é uma variável aleatória, consequentemente, o intervalo $\bar{Y} \pm H$ é um intervalo aleatório. Diferentes experimentos produzem diferentes conjuntos de intervalos de confiança.

Quando Y_1, Y_2, \dots, Y_N são variáveis aleatórias independentes de uma distribuição normal com média μ , H é dado pela Equação 4.

$$H = t_{\alpha/2; N-1} s / N^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Onde $t_{\alpha/2; N-1}$ é um quantil de $\alpha/2$ de uma distribuição com grau de liberdade $N-1$ e s^2 é a variância da amostra conforme a Equação 5.

$$s^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 / (N - 1) \quad (5)$$

Onde s^2 é a variância estimada da distribuição dos valores da amostra \bar{Y}_i .

O problema a seguir é apresentado em Macdougall (1987), para caracterizar o intervalo de confiança:

A estimativa da média de tempo no enfileiramento em uma fila M/M/1.

Deve ser considerado que foram obtidos dez tempos médios de enfileiramento a partir de simulações previamente realizadas (Tabela 1).

Tabela 1: Tempos médios de enfileiramento

Simulação	Tempo médio de enfileiramento
1	331.993
2	366.052
3	404.524
4	464.856
5	393.393
6	447.532
7	420.858
8	355.959
9	492.144
10	389.200

Como exemplo cita-se a computação de 95% de intervalo de confiança para a amostra apresentada na tabela 1 gera os seguintes resultados:

$$1 - \alpha = 0.95, \text{ então } \alpha = 0.05$$

$$\text{Média da amostra } \bar{Y} = 406.55$$

$$\text{Variância da amostra } s^2 = 2540.08$$

$$\text{Desvio padrão da amostra } s / N^{\frac{1}{2}} = 15.94$$

$$t_{.05/2;9} = 2.26 \text{ (obtido a partir da Tabela 2)}$$

$$\text{Metade do tamanho do intervalo de confiança } H = 2.26 \times 15.94 = 36.02$$


$$\text{Intervalo de Confiança} = 406.55 \pm 36.02$$

Ou seja, a média do exemplo está com um percentual de confiança de 95% encontra-se entre 370.53 e 442.47.

Tabela 2: Valores de $t_{\alpha/2; N-1}$

N-1	$\alpha/2 = 0.05$ (t)	$\alpha/2 = 0.025$ (t)	N-1	$\alpha/2 = 0.05$ (t)	$\alpha/2 = 0.025$ (t)
4	2.13	2.78	15	1.75	2.13
5	2.02	2.57	16	1.75	2.12
6	1.94	2.45	17	1.74	2.11
7	1.90	2.37	18	1.73	2.10
8	1.86	2.31	19	1.73	2.09
9	1.83	2.26	20	1.73	2.09
10	1.81	2.23	21	1.72	2.08
11	1.80	2.20	22	1.72	2.07
12	1.78	2.18	23	1.71	2.07
13	1.77	2.16	24	1.71	2.06
14	1.76	2.15	25	1.65	1.96

ANEXO B – Esclarecimento da ANATEL referente ao SCM



Agência Nacional de Telecomunicações
Assessoria de Relações com os Usuários

Nº Solicitação: 561782 - 2005

☐ **Dados do Usuário**

Nome:	MAURO MARGALHO COUTINHO	CPF:	221.785.702-91
Logradouro:	TRAVESSA TIMBO 1294 cs 3 vila marluci	Complemento:	
Bairro:	PEDREIRA	E-Mail:	margalho@ufpa.br
CEP:	66085654	Tel. Contato:	(91)213-4400
Cidade:	BELEM	UF:	PA

☐ **Dados do Assinante**

Nome:	mauro margalho coutinho	CPF:	221.785.702-91
--------------	-------------------------	-------------	----------------

☐ **Dados da Solicitação**

Tipo Atendimento:	Pedido de Informação	Tipo de Acesso:	0800
Serviço:	Limitado Privado	Via de Resposta:	E-mail
Modalidade de Serviço:	NÃO APLICÁVEL	Superintendência:	SPV
Motivo:	Licença / Autorização	Gerência Geral:	
Submotivo:		Gerência:	
Categoria:		Responsável:	Anatel
Subcategoria:		Reclamado:	SPV

Diagnóstico:

Complemento da Solicitação:

Observação Solicitação:

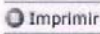

Gostaria se saber quais os procedimento deve seguir para prestar o serviço de Internet via rádio. E qual a resolução referente a este tipo de serviço.

Última providência - 03/06/2005

A Conexão à Internet não é regulamentada, sendo considerada como serviço de valor adicionado, o qual não requer autorização da Agência. Todavia, este é suportado por um serviço de telecomunicações que deve ser autorizado pela Agência, para o qual o interessado poderá solicitar, com ônus, a autorização para o uso de radiofrequência associada ao serviço autorizado. A modalidade de Serviço de Comunicação Multimídia é o serviço mais utilizado para essa finalidade. O preço público do serviço é de R\$ 9.000,00, pago em uma única vez no momento da publicação da autorização no Diário Oficial da União. O Regulamento está no site <http://www.anatel.gov.br>- palavra chave: 272-tipo de documento: resolução-clicar no texto em azul. A solicitação do serviço pode ser protocolada na Anatel em seu estado.

☐ **Detalhe da Solicitação**

Situação:	Resolvida	Condição:	Nova
Data do Registro:	02/06/2005	Tel. Ligação:	0
Reiteraões:	0	Reaberturas:	0
Dias úteis reabertura:	0		
Documentos Anexos:	0		

ÍNDICE REMISSIVO

A

acesso, 18-21, 37, 44, 47, 50, 54-56, 59, 64, 69, 71, 73-74, 78, 80, 83, 85, 90, 99, 113
ad-hoc, 51, 55, 112, 114
 admissão, 79, 109-110, 113
 ADSL, 62-64, 103-104
 aferição, 20, 28, 37, 86, 90, 94, 114
 Amazônia, 47, 57, 73, 82-83, 88, 91, 108, 111
 ANATEL, 58
 aplicação piloto, 20, 85-86, 111
 atraso, 23, 28, 48, 76-77, 81, 96-101, 106, 108
 ATSC, 41-42

B

banda ISM, 86-87
bouquet, 39, 79-80

C

canal de retorno, 19-20, 47-50, 53-54, 58-60, 63-67, 72, 79-81, 85-86, 98, 109, 111, 114
 carrossel, 39, 76, 79
 CBR, 39, 90
 cobertura, 51, 59-60, 91, 114

D

datacasting, 39, 76
 DiffServ, 21-22
 difusão, 38-39, 41, 47-50, 62-63, 65, 76
 distância, 19, 47, 52, 63, 70, 83, 95-96, 99, 101-102, 108
 DVB, 41-42, 65-67, 111

E

e-gov, 56, 80, 83, 111, 113
 e-health, 56, 80, 111, 113
 escala, 19, 55, 81-82, 89, 94, 109-110
 exclusão tecnológica, 18, 20, 61, 73-74, 109, 115
 experimento, 86-87, 89
 expoente de perdas, 94-98, 100, 108

F

flexível, 19-20
framework, 20-21, 37, 67, 73-74, 76, 78-83, 95, 102, 108-110, 112-114
 CARIMBÓ, 37, 74-76, 78-83, 86, 95, 102, 108, 110-112, 114

G

governo, 19-20, 43, 47, 52, 56, 80, 82-83, 111, 115
 GPRS, 66-67
 GSM, 65-66, 78

I

inclusão digital, 18, 20, 43, 47, 51-52, 82-83
 infra-estruturada, 20-21, 51, 54, 60, 62-63, 74, 79, 82, 86, 91, 110-111
 interatividade, 19-20, 42-43, 47-51, 55-57, 60-61, 65, 74, 79, 82, 108-109
 Internet, 21-22, 42, 50, 55, 64, 66, 73, 78, 80
 ISDB, 41, 43, 46

J

jitter, 23-25, 28, 76-77, 96, 98, 100, 106, 108

L

largura de banda, 21, 23-24, 40, 42, 48, 76, 81, 104
 Legislação, 58, 63

M

middleware, 41-43, 85, 111, 113
 Modelagem, 28-29, 46

N

Network Simulator, 33, 111

P

PHB, 22-25, 27
 PLC, 53, 55, 67-70
 priorização, 20, 55, 73, 76, 81, 109, 111
 probabilidade de bloqueio, 107
 provedor, 21, 23, 76, 79-81, 90, 109
 provisionamento, 27, 74, 81, 113

Q

QoS, 21, 61, 67, 74, 76-77, 79, 81, 100, 105-106, 109-110, 113

R

rajada, 50, 110
 rede de retorno, 20, 89, 110
 RFP, 44

S

Seletor de Infra-estrutura de Mídia, 78
set-top-box, 40, 50, 65, 76, 78, 113
 Simulação, 29, 35, 94
 sinal, 38, 40, 55, 59, 62, 68, 70-71, 73, 78, 91, 93, 109
 sinalização, 21, 109
 STVD, 48
 SBTVD, 43-46, 50, 54, 56, 114-115

T

tecnologia, 18-19, 40, 43, 49-50, 55, 57-59, 62, 64-67, 72, 80, 86-88, 90, 103-104
 TVD, 18-20, 37-48, 50, 53-55, 57, 59-60, 62, 65-66, 73-74, 76, 80-83, 86, 109-113
 terminal interativo, 78

tolerância à falha, 81

topologia, 55, 60, 103

tráfego, 23, 25, 27, 73, 76, 81, 87, 102, 104-105, 109-111

V

vazão, 26, 28, 87, 90, 96, 98-99, 101, 108

viabilidade técnica, 20, 37, 82-83

W

WDS, 59-60, 91-93

WiMax, 55, 113

WLAN, 57, 87-88, 103