

**JOÃO MARCOS MENON**

**DIMENSIONAMENTO DE TRÁFEGO DE REDE DE  
DADOS PARA SISTEMA CELULAR 1XEV-DO**

**PUC CAMPINAS**

**2006**

**JOÃO MARCOS MENON**

**DIMENSIONAMENTO DE TRÁFEGO DE REDE DE  
DADOS PARA SISTEMA CELULAR 1XEV-DO**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-Graduação na área de Gestão de Redes de Telecomunicações - Gestão de Redes e Serviços, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Branquinho

**PUC CAMPINAS**


**2006**

# JOÃO MARCOS MENON

## DIMENSIONAMENTO DE TRÁFEGO DE REDE DE DADOS PARA SISTEMA CELULAR 1XEV-DO

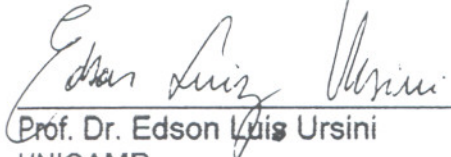
Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado Profissional em Gestão de Redes de  
Telecomunicações do Centro de Ciências  
Exatas, Ambientais e de Tecnologias da  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Elétrica  
Área de Concentração: Gestão de Redes e  
Serviços  
Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho  
Branquinho

Dissertação defendida e aprovada em 13 de junho de 2006 pela Comissão Examinadora  
constituída dos seguintes professores:



---

Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho  
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas.



---

Prof. Dr. Edson Luis Ursini  
UNICAMP



---

Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub  
UNICAMP

## **BANCA EXAMINADORA**

Presidente e Orientador Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

1º Examinador Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub

2º Examinador Prof. Dr. Edson Ursini

3º Examinador Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

Campinas, 13 de Junho de 2006

À Providência que realizou em mim o  
querer e o executar, a minha família,  
Gláucia, Mateus, Lucas e João Pedro  
Menon, pela compreensão ao tempo  
dedicado aos estudos, pelo apoio e  
incentivos irrestritos.

# AGRADECIMENTOS

A Deus que ouviu o meu pedido e me conduziu durante todos os passos dessa dissertação.

Ao Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

Orientador, e mestre sempre atento e aplicado na minha formação do mestrado profissional pela Faculdade de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas e amigo sincero em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Edson Ursini

Guia incentivador dos meus trabalhos, colaborador em suas sugestões e no seu apoio ao uso de simuladores, valorizando o resultado final dessa dissertação.

Ao Eng. Severiano Leão Macedo Júnior

Colaborador na revisão do modelo matemático, importante referência na revisão dos conceitos envolvidos, pela atenção e amizade.

Ao Eng. Ms. Rogério Monteiro de Barros

Pelo apoio e estímulo na utilização do Mat Lab.

Ao Eng. Glauber André Bussada

Pelo apoio e colaboração na programação utilizando o Mat Lab.

Ao Eng. Christian Keiti Maki

Pelo apoio na execução dos desenhos e formatação do Word.

Ao Eng. Álvaro Jun Miyazaki

Pelo apoio na tradução do artigo e abstract para o inglês.

Ao Eng Ms. Samir Nucci

Pela disponibilidade e apoio.

Aos que prestigiaram a defesa, aos que foram ouvintes, aos que contribuíram com sugestões, aos familiares e amigos pela torcida e estímulo.

Mesmo que eu tivesse o dom da profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência; mesmo que tivesse toda a fé, a ponto de transportar montanhas, se não tiver caridade, não sou nada.

I Coríntios – 13,2

## RESUMO

MENON, João Marcos e. *Dimensionamento de tráfego de rede de dados para sistema celular 1xEV-DO*. 2006. 135f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em gestão de redes e telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2006.

Pesquisa sobre os modelos de dimensionamento de rede de voz e de dados aplicados nas redes de telecomunicações. Para a aplicação de voz, as redes são dimensionadas a circuito, realiza-se um resgate do dimensionamento desse serviço utilizando-se as fórmulas de Erlang. Destaca-se, em seguida, que as novas redes de dados requerem um dimensionamento baseado a pacotes e a complexidade aumenta significativamente devido a diversidade das aplicações e de suas múltiplas características. Evolui-se, do modelo matemático proposto por Erlang, aplicável às redes de voz baseado em circuito, até um modelo matemático aplicável aos serviços de dados a ser utilizado no dimensionamento das redes a pacotes. Detalham-se os requisitos dos usuários e das aplicações, bem como a correlação entre eles, que é a chave para o entendimento do modelo de dimensionamento. Aplica-se o modelo matemático (gera-se um case) para a tecnologia 3G existente em operação no Brasil no momento, 1xEVDO com valores de entrada utilizáveis na prática. Gera-se um programa para ensaios pontuais ou diferentes cases. Medem-se em campo os resultados obtidos do case utilizado para validação do modelo de dimensionamento de rede a pacotes. Para os extremos da tecnologia, 1xEVDO, são ensaiados com a utilização de um simulador de um software aderente e alinhado a teoria das filas. Promovem-se ensaios que permitem a visão correta dos valores possíveis de serem obtidos e que devem ser ignorados no dimensionamento de uma rede a pacotes. Destaca-se que, apesar de se haver utilizado a tecnologia 1xEVDO do ITU para ensaio, o modelo de dimensionamento é proposto a ser aplicado em qualquer tecnologia que necessite de dimensionamento baseado em pacotes e com aplicações de dados (demais da terceira geração do ITU como UMTS e do IEEE como *wifi* e *wimax*). O modelo é conceituado, aplicado em case, testado em campo com valores práticos, convalidado pontualmente e extremado em simulação.



# ABSTRACT

MENON, João Marcos. *Data Traffic Dimensioning for 1xEV-DO Cellular Systems*. Campinas. 2006. 135f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em gestão de redes e telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2006.

Research regarding voice and data dimensioning models applied to Telecommunication Networks. For circuit switched voice networks dimensioning, the Erlang formulas are used. When it comes to newer data networks, a packet based dimensioning is required, and the complexity is significantly increased due to the diversity of applications and its multiple features. This work goes from the mathematical model (proposed by Erlang) applied to circuit switched voice networks to a mathematical model applicable to data services and packet based network dimensioning. User and application requirements are detailed as well as the correlation between them, which is key to understanding the dimensioning model. The mathematical model is applied (and a study case is presented) to an existing 3G technology (1xEVDO) in Brazil using practical input values. A computer program is generated to run prompt tests or different study cases. Then, the obtained results for the given case are measured in the field to validate the packet based network dimensioning model. Computer simulations are run to test the edge of the 1xEVDO technology with the aid of appropriate software containing queuing theory concepts. The experiments permit the correct visualization of the possible values that can be obtained and should be ignored on the dimensioning of a packet based network. Although ITU's 1xEVDO technology is used for the experiments, the dimensioning model is proposed to be applicable to any technology which needs packet based dimensioning and has data applications (i.e. other ITU 3G technologies such as UMTS and IEEE technologies such as *wifi* e *wimax*). The model is constructed, applied to study cases, tested on the field with practical values, promptly validated and pushed to the edge during simulations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos padrões 3GPP e 3GPP2 .....	25
Figura 2 - Abrangência de Cobertura e Throughput entre os padrões ITU e IEEE .....	28
Figura 3 - Aplicações disponíveis pela evolução tecnológica e taxas utilizadas .....	29
Figura 4 - Transmissão de potência no UWB .....	31
Figura 5 - Macro elementos do modelo de tráfego .....	32
Figura 6 - Elementos da rede de comunicação .....	34
Figura 7 - Dimensionamento da rede de acesso .....	45
Figura 8 - Rede de Acesso Wireless.....	46
Figura 9 - Dimensionamento de uma rede de acesso para os serviços de dados .....	47
Figura 10 - Direção do Link Direto .....	51
Figura 11 - Fator de descontagem de um tempo de leitura .....	56
Figura 12 - Direção do Link Reverso .....	62
Figura 13 - Curva de distribuição do tráfego diário da PDSN Vivo. Medição na entrada de uma das PDSNs da Vivo em bists por segundo ao longo de 24 horas.....	72
Figura 14 - Distribuição do Throughput do Usuário em função do Fator de Atividade .....	76
Figura 15 - Distribuição do BH Throughput em função da Quantidade de Transações ...	81
Figura 16 - Distribuição da Duração da Conexão em função do Fator de Atividade .....	91
Figura 17 - Distribuição da Duração da Sessão em função do Fator de Atividade .....	93
Figura 18 - Distribuição do Percentual de Atividade da Sessão (Forward) em função do Fator de Atividade .....	95
Figura 19 - Distribuição do Throughput (Kbps) de uma conexão ativa em função do Fator de Atividade .....	97
Figura 20 - Distribuição dos Usuários ativos em função do Fator de Atividade.....	99
Figura 21 - Distribuição do Percentual de Uso da sessão por tipo de aplicação em função do Fator de Atividade .....	101
Figura 22 - . Distribuição número de usuários ativos com a mistura de aplicações em função do Fator de Atividade .....	103
Figura 23 - Distribuição Throughput de um usuário ativo no link reverso em função do Fator de Atividade .....	106
Figura 24 - Distribuição Número de usuários ativos por aplicação no link reverso em função do Fator de Atividade .....	108
Figura 25 - Distribuição Número de usuários ativos no link reverso com a mistura de aplicações em função do Fator de Atividade .....	110
Figura 26 - Cenário de teste .....	118
Figura 27 - Desempenho de Throughput medido .....	120
Figura 28 - Medição pela tela de dial up .....	120
Figura 29 - Medição extraída do log do AAA .....	122
Figura 30 - Medição por logs do AAA .....	123
Figura 31 - Curva de tempo de fila por canais a 600kbps .....	138
Figura 32 - Curva Quantidade de canais por tempo de fila - Streaming e download para 600kbps.....	140
Figura 33 - Curva de tempo de fila por canais a 900kbps .....	143
Figura 34 - Curva Quantidade de canais por tempo de fila - Streaming e download para 900kbps.....	144
Figura 35 - Relação de proximidade da BS versus o ThroughputFL .....	145
Figura 36 - Curva de tempo de fila por canais a 2400kbps .....	147

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das características dos padrões IEEE .....	27
Tabela 2 - Comparação entre as técnicas de acesso dos padrões .....	30
Tabela 3 - Análise comparativa do dimensionamento de voz e dados.....	39
Tabela 4 - Valores adotados requisitos do usuário.....	73
Tabela 5 - Requisitos do Provedor – Categoria de Aplicação .....	78
Tabela 6 - Entrada de um modelo de tráfego sobre o uso da interface aérea - .....	79
Tabela 7 – TU Kbps na BH por aplicação .....	82
Tabela 8 - Taxa de dados no canal direto de RF .....	84
Tabela 9 - Throughput no link reverso de RF com o usuários transmitindo todo o tempo (throughput reverse link) .....	86
Tabela 10 - Adoção de valores as variáveis no dimensionamento da rede 1xEVDO Rev0 .....	89
Tabela 11- Duração da conexão no PMM por aplicação.....	91
Tabela 12 - Distribuição do estado ativo por aplicação.....	92
Tabela 13 - Duração da sessão no PMM por aplicação.....	93
Tabela 14 - Duração percentual da aplicação ativa na sessão no PMM (padrão utilizado).. .....	95
Tabela 15 - Taxa de dados de uma conexão ativa no PMM por aplicação .....	97
Tabela 16 - Número de usuários ativos no PMM por aplicação.....	99
Tabela 17 - Percentual de uso da sessão no PMM por aplicação (padrão utilizado)....	102
Tabela 18 - Número de usuários ativos com a mistura de aplicações no PMM por aplicação (padrão utilizado) .....	104
Tabela 19 - Distribuição throughput de um usuário ativo no link reverso no PMM por aplicação (padrão utilizado).. .....	107
Tabela 20 - Distribuição número de usuários ativos no link reverso na BH por aplicação.... .....	109
Tabela 21 - Distribuição número de usuários ativos no link reverso com a mistura de aplicações no PMM (padrão utilizado)... .....	111
Tabela 22 - Modelo de tráfego por aplicação.....	119
Tabela 23 - Comparativo das medições dial up x log AAA.....	124
Tabela 24 - Resumo das medições com cálculo do TU kbps.....	125
Tabela 25 - Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 18 usuários com Throughput médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	138
Tabela 26 - Análise personalizada com os tráfegos de maior peso (88,25%) na interface aérea: Streaming e Download.....	139
Tabela 27 - Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 18 usuários com Throughput médio de 900 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	142
Tabela 28 - Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 18 usuários com Throughput médio de 2400 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	146
Tabela 29 - Extração do tempo de downlink.....	148
Tabela 30 - Variação de usuários para obtenção de tempo de fila em evolução .....	150

## LISTA DE ABREVIATURAS

TDM	=	Time Division Modulation;
FDM	=	Frequency Division Modulation;
CDMA	=	Code Division Multiple Access;
OFDM	=	Orthogonal Frequency Division Modulation;
GSM	=	Global System for Mobile Communications;
WLL	=	Wireless Local Loop;
Wifi	=	Wireless Fidelity;
Wimax	=	WorldWide Interoperability for MicroWave Access;
ITU	=	International Telecommunication Union;
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers;
IMT-2000	=	International Mobile Telecommunications;
3GPP	=	Third Generation Partnership Project;
3GPP2	=	Third Generation Partnership Project 2;
IS-95	=	Protocolo 2G padrão 3GPP2 ;
IS2000	=	Protocolo 3G padrão 3GPP2
1xEVDO	=	1xEvolution Version Data Only
EVDO	=	Evolution Version Data and Voice;
R'99 EDGE	=	Protocolo 3G padrão 3GPP – em descontinuidade;
IS-856	=	Protocolo do EVDO;
Rel'5	=	Release 3G do 3GPP;
AP	=	Access Point;
PDA	=	Personal Digital Assistant;
VoIP	=	Voice over IP;
WCDMA	=	Wideband CDMA;
HSDPA	=	High Speed Downlink Packet Access;
LTE	=	Long Term Evolution;
E-DCH	=	Enhanced Dedicated Channel;
UMTS	=	Universal Mobile Telecommunications Systems;
WiBro	=	Korean Wireless Broadband;
UWB	=	Ultra-Wideband;
AAA	=	Authentication, Authorization, Accounting;
IP	=	Internet Protocol;
RF	=	Radio Freqüência;
BS	=	Base Station;
CM	=	Consumo por Mês;
DM	=	Dias por Mês;
HMM	=	Horários de Maior Movimento;
PMM	=	Períodos de Maior Movimento;
BH	=	Busy Hour;
RT	=	Razão de Tráfego na BH;
FA	=	Fator de Atividade;
AMPS	=	Advanced Mobile Phone Systems;
BHCA	=	Busy Hours Channel Attempts;
TMR	=	Tempo Médio de Retenção;
HSPD	=	High Speed Packet Data;
TP	=	Tamanho do Pacote;
R DU	=	Razão Downlink e Uplink;
TL	=	Tempo de Leitura;

PS	=	Pacotes por Sessão;
TA(i)	=	Throughput por Aplicação (i);
TP(i)	=	<i>Tamanho do Pacote</i> por Aplicações (i);
PS(i)	=	Número de <i>Pacotes por Sessão</i> de dados por aplicação (i);
S(BH)	=	Números de sessões de dados por usuário na BH geradas com um usuário ativo;
AT	=	Access Terminal;
ERB	=	Estação Rádio Base;
BS	=	Base Station;
q(i)	=	Percentual de aplicação pelo perfil do usuário ativo;
FDD	=	Frequency Division Duplexing;
TDD	=	Time Division Duplexing;
EU	=	Estação do Usuário;
EA	=	Estado Ativo;
DOR	=	dormant;
DC	=	Duração da Conexão;
DS	=	Duração da Sessão;
PAS	=	Percentual de Atividade na Sessão;
TUA FL (i)	=	Throughput Usuário Ativo no Link Direto por aplicação (i);
NUA FL(i)	=	Número de Usuários Ativos por aplicação (i),
Throughput FL	=	Taxa média de transmissão de dados obtida no link direto;
PUS(i)	=	Percentual de Uso da Sessão por tipo de aplicação (i);
NTUA FL	=	Número Total de Usuários Ativos que podem ser suportados no <i>link</i> direto com a mistura de aplicações (i);
TUA RL(i)	=	Throughput Usuário Ativo no link Reverso por aplicação (i);
NTUA RL	=	Número Total de Usuários Ativos no <i>link</i> reverso com a mistura de aplicações;
NUA RL(i)	=	Número de Usuários Ativos por aplicação (i), que podem ser suportados no <i>link</i> reverso;
EV	=	Expectativa de Vendas (
NADD	=	Número Total de Usuários com Sessão Ativa, em Dormant e os Desconectados;
SPP	=	Setores por portadora;
NADD	=	Número Total de Usuários com Sessão Ativa, em Dormant e os Desconectados;
NA	=	Número de Usuários com Sessão Ativa;
N	=	Mínimo entre NUA FL e NUA RL;
PN	=	Portadoras Necessárias para apoiar o total de usuários;
CDG	=	CDMA Development Group;
PCMCIA	=	Personal Computer Memory Card International Association;
RAN	=	Access network;
AN	=	Access Node;
BSC	=	Base Satations Controler;
PDSN	=	Packet Distribution Service Node;
IMSI	=	Internacional Mobile Subscriber Identifier;
FIFO	=	first i, first out;
Random Order	=	em ordem aleatória;
HOL	=	head of the line priority;
VoIP	=	Voice over IP;
QoS	=	Quality of Service.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO</b>	<b>22</b>
2.1	Introdução	22
2.2	Visão Geral dos padrões ITU	24
2.3	Visão Geral dos padrões IEEE	25
2.4	Visão Comparativa de Cobertura, Throughput e Serviços entre ITU e IEEE	28
2.5	Outras tecnologias de Acesso	30
<b>3</b>	<b>MODELAMENTO DE TRÁFEGO</b>	<b>32</b>
3.1	Requisitos de Tráfego do Usuário	34
3.1.1	Banda do Usuário	36
3.2	Requisitos das Aplicações	40
3.2.1	Banda por Aplicação	42
3.3	Considerações sobre os requisitos de tráfego	44
3.4	Requisitos de tráfego para planejamento da interface aérea	47
<b>4</b>	<b>INTERFACES AÉREAS</b>	<b>49</b>
4.1	Capacidade do link direto	50
4.2	Capacidade do Link Reverso	62
4.3	Calculando o número de portadoras	66
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DOS MODELOS DE TRÁFEGO NAS INTERFACES AÉREAS</b>	<b>70</b>
5.1	Requisitos do Usuário como Dados de entrada para o Modelamento de Tráfego	71
5.2	Ensaio do Modelo de Tráfego pelos Requisitos do Usuário	74
5.3	Requisitos do Provedor como Dados de entrada para o Modelamento do Tráfego	77
5.4	Ensaio do Modelo de Tráfego pelos requisitos do provedor	80
5.5	Características da Tecnologia 1xEV-DO	83
5.5.1	Considerações sobre Taxa de transmissão de dados de RF no <i>Link Direto (Downlink)</i> e <i>Link Reverso (Uplink)</i>	83
5.6	Dimensionamento do link direto para 1xEVDO	90
5.6.1	Dimensionamento da Duração da conexão por Aplicação (DC(i))	90
5.6.2	Dimensionamento da Duração da Sessão por Aplicação (DS(i))	92
5.6.3	Dimensionamento do Percentual de Atividade na Sessão por Aplicação (PAS(i))	94
5.6.4	Dimensionamento do Throughput de um Usuário Ativo por Aplicação (TUA FL(i))	96
5.6.5	Dimensionamento do Número de Usuários Ativos por Aplicação (NUA FL(i))	98
5.6.6	Dimensionamento da Porcentagem de Uso da Sessão por Aplicação (PUS(i))	100

5.6.7	Dimensionamento do Número Total de Usuários Ativos com mistura de Aplicações (NTUA FL).....	102
5.7	Dimensionamento do <i>link</i> reverso para 1xEVDO Rev0 .....	105
5.7.1	Dimensionamento do <i>Throughput</i> de um Usuário Ativo por Aplicação (TUA RL(i)).....	105
5.7.2	Dimensionamento do Número de Usuários Ativos por Aplicação (NUA RL(i)).....	107
5.7.3	Dimensionamento do Número Total de Usuários Ativos (NTUA RL)	109
5.8	Dimensionamento do Número de Portadoras para 1xEVDO.....	111
5.8.1	Dimensionamento do Número de Usuários com Sessão Ativa (NA)	112
5.8.2	Dimensionamento do Número Total de Usuários com Sessão Ativa, Dormant e Desconectados (NADD).....	113
5.8.3	Dimensionamento do Número de Portadoras Necessárias (PN)..	113
5.8.4	Dimensionamento do Número de Base Station (BS).....	114
5.9	Testes de Throughput realizado em campo para o ensaio em 1xEVDO	116
<b>6</b>	<b>MODELO DE SIMULAÇÃO PARA AVALIAR O DESEMPENHO DE TRÁFEGO EM UMA ÁREA DE COBERTURA .....</b>	<b>126</b>
6.1	CARACTERÍSTICAS DO MODELO (filas de prioridades).....	134
6.2	RESULTADOS DO MODELO.....	137
6.3	REFINAMENTO DO MODELO.....	139
6.4	EVOLUÇÃO ANALÍTICA DO MODELO.....	141
6.4.1	Utilizando o simulador para validar os conceitos de “respiração” no CDMA e proximidade nas tecnologias <i>Wireless</i> .....	141
6.4.2	Utilizando o simulador para validar, a partir do tempo de fila, o modelo proposto versus as medições de campo (Capítulo 5).....	148
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>151</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>161</b>
	ANEXO A – Programa aberto de dimensionamento de rede no MatLab.....	162
	ANEXO B – Simulador de uma rede 1xEVDO no Software Arena .....	179
	ANEXO C – Sugestão de Receituário.....	183

## 1 INTRODUÇÃO

A telecomunicação sempre foi vista como sendo a comunicação composta de telefonia, telegrafia e televisão. Dentro da telefonia, historicamente neste século, o serviço básico disponibilizado pelos provedores de redes de transporte tem sido a aplicação da voz.

Com o advento dos computadores, na última década, isto vem mudando a passos largos. Desde a criação dos primeiros roteadores, que permitem a comunicação entre computadores, passando pela evolução da capacidade destes computadores, evolução dos *softwares* envolvidos e a proliferação do uso, criou-se uma nova necessidade ao homem, comunicar-se através do transporte de pacotes de dados.

Esta necessidade ficou ainda mais evidente quando as redes de computadores passaram a utilizar as redes de transporte, a princípio desenvolvidas para o transporte de voz, para transportarem seus pacotes e comunicarem entre si, agora sob uma rede de conectividade mundial, a Internet.

Na internet, a velocidade com que foram desenvolvidas várias aplicações como Vídeo, envio de arquivos, acesso a provedores de todos os ramos de negócios e necessidades humanas, email, transações bancárias, além do próprio serviço de voz, deixou evidente que esta rede seria a convergência a ser buscada.

Se por um lado esta convergência vem andando a passos largos, a evolução das redes de comunicação tem levado os provedores de acesso a quebrarem o paradigma da comutação de circuito para pacotes.



Devido às mudanças provocadas pela evolução e proliferação dos computadores e da internet, as redes de acesso que antes estavam construídas com pares metálicos na rede fixa e sistemas analógicos na rede *wireless*, vêm buscando adequar-se a necessidade de “*packetização*”.

Paralelamente as redes de acesso existentes (fixas e móveis), novas tecnologias de acesso *wireless* passaram a desenvolver modos alternativos de acesso, já orientadas ao transporte de pacotes.

Com as redes de transporte em pacotes e a evolução das tecnologias de rede de acesso, vem-se propiciando o acesso às aplicações de dados na Internet ao que se denomina “*All IP*” (IP do computador, ou telefone fixo e móvel, até as aplicações na Internet).

Este novo cenário, onde se passou da única aplicação de voz para várias aplicações, de uma comutação a circuito (em Erl) para pacotes (em bits), uma capacidade limitada a poucos Kbps para uma capacidade em muitos Mbps, requer necessariamente um novo Modelo de Dimensionamento de Tráfego destas Redes.

As redes de transporte (Core) e a Internet devem estar baseadas e estruturadas com seus equipamentos e arquitetura para suportarem este novo tráfego oriundo das redes de acesso. O correto dimensionamento da rede de acesso continua sendo o ponto de equilíbrio da relação custo/benefício para os provedores de rede.

Uma rede de acesso bem dimensionada trará o correto atendimento ao tráfego previsto, proporcionando a qualidade de serviço esperada a um custo sem

desperdícios. Proporcionará os requisitos necessários ao dimensionamento do Core e assim sucessivamente.

Um outro ponto de destaque no quesito custo é que a rede de acesso além de ser o ponto de partida ao dimensionamento total de uma rede (*end to end*) possui um peso significativo no investimento a ser feito. Isto ocorre devido a sua capilaridade (ex: levar fibra óptica até as residências, ou promover cobertura *wireless* numa cidade, estado e país).

Se por um lado às operadoras denominadas fixas (provedores de acesso fixo) buscam levar o mais próximo de seus usuários o acesso (nos grandes centros) por fibra óptica (que possui uma capacidade extraordinária), por outro lado, às móveis (provedores de acesso móvel) com o avanço da capacidade de *throughput* das novas tecnologias e padrões, atendem aos requisitos da mobilidade e do acesso à comunicação “*always on*”.

O *throughput* de uma rede de acesso *wireless* varia de acordo com a tecnologia a ser utilizada, expectativa de mobilidade e de aplicabilidade de serviços (ex: redes onde há concentração de usuários necessitando suportarem suas aplicações, o dimensionamento exigirá este rigor em seus cálculos, ou seja, quanto ao fator de atividade destes usuários numa determinada cobertura).

Estas particularidades que envolvem a rede *wireless*, quando comparada com a rede fixa, pode ser resumida ao fator da mobilidade e possibilidade de concentração de tráfego.

Essa dissertação apresenta um modelo matemático de dimensionamento de redes *wireless*, baseada em pacotes, não se atentando aqui as particularidades

de cada tecnologia. Estas particularidades serão objetos de considerações ao longo do dimensionamento a que se propõe cada projetista, pois possuem espaço no modelo para isso.

Isto poderá ser visto também ao longo do modelo, pois será apresentado um “case” aplicado, com medições de resultados em campo e com simulações.

Logo após este capítulo, se traz um resumo das principais abreviações utilizadas ao longo desta dissertação. Também ao longo dos capítulos, por vezes, são repetidas entre parênteses, as siglas correspondentes aos seus significados.

O Capítulo 1 trata desta introdução, que tem como proposta dar a visão geral em que se encontra o assunto no mundo, contextualizando dentro desta visão, os objetivos a que se propõe essa dissertação, ou seja, propor um modelo de dimensionamento de uma rede de dados (a pacotes) *wireless*.

O Capítulo 2 visa apresentar os principais modos de acesso das tecnologias *wireless*, conhecidos também como sistemas de transmissão de dados sem fio. A evolução dos dois principais modos de acesso ITU e IEEE e seus respectivos padrões. Estes padrões possuem, no momento, suas características específicas e se aplicam a determinadas expectativas de atendimento.

Será possível também verificar a evolução no tempo destas tecnologias, o que é possível ser aplicado hoje, ou seja, quais os requisitos dos usuários que são atendidos e o que está por vir. A convergência (cenário mundial atual) destas tecnologias para um tipo comum de tecnologia empregada ao acesso *wireless* (quarta geração) também é destacada.

O Capítulo 3 trata dos Requisitos de Modelagem de Tráfego de dados. Quais são os requisitos dos usuários de uma rede de dados. Se por um lado os usuários querem atingir as aplicações de dados que estão disponíveis na Internet, por outro lado, estas aplicações também possuem seus requisitos para serem acessadas. Como correlacionar estes requisitos de forma a atender a expectativa destes usuários. Estes requisitos são os que norteiam o planejamento da Interface Aérea.

O Capítulo 4 trata do Dimensionamento da Interface Aérea. Uma vez que se está de posse dos requisitos dos usuários e das aplicações, bem como sua correlação, o modelo agora é de como se dimensionar o *links* de subida e descida deste tráfego na interface aérea.

Uma vez que se possui o modelo no *links* de subida e descida do tráfego de dados, o dimensionamento de uma rede de dados *wireless* pode ser realizado, ou seja, quantidade de portadoras / banda e BS (*Base Station*) / AP (*Access Point*).

O Capítulo 5 trata de uma Análise prática de uma tecnologia *wireless* de terceira geração, que suporte as aplicações existentes nos provedores de aplicação. Como no Brasil, no momento, a única cobertura de 3G que possuímos é da tecnologia 1xEVDO Rev0, esta foi escolhida para os testes práticos.

Será aplicado, do modelo matemático proposto, até o cálculo da interface aérea, utilizando-se de valores de entrada próximos aos comuns (existentes nos provedores de mercado). Uma vez obtido os resultados do modelo, será realizada medição em campo para que seja possível comparar o dimensionado projetado e o medido para validação do modelo.

Para que seja possível gerar outros cenários de teste, foi desenvolvido um programa no MatLab que permite a entrada de dados e alteração das variáveis de acordo com a expectativa do projetista.

O Capítulo 6 propõe um modelo de simulação para tratar o desempenho do tráfego em uma cobertura projetada. No Capítulo 5 foi o modelo aplicado pontualmente com um valor fixo de entrada, a proposta agora é simular a BS para obter os limites de saturação (onde não há mais avanço devido às limitações tecnológicas) e os limites de capacitação (até onde é necessário avançar no aumento de capacidade, ou seja, qual o ponto ótimo onde mesmo com investimento não se terá melhores resultados).

Para isso, foi desenvolvido um programa utilizando-se o *software* Arena como simulador dos tempos de fila. Este programa está aberto e permite a geração de outros cenários de simulação que se fizerem necessárias ao projetista.

O Capítulo 7 traz as conclusões que obtivemos com o modelo proposto, as aplicações pontuais do Capítulo 5 e as simulações do Capítulo 6, todos sobre o modelo proposto nos capítulos anteriores.

A proposta de continuidade desta dissertação, as considerações sobre QoS, modelo de dimensionamento do *Core* a partir dos dados de saída deste modelo, poderão ser verificados.

O Capítulo 8 traz o ANEXO A, programa no MatLab6.5 com o programa utilizado na simulação das curvas de dimensionamento do 1xEVDO Rev0 do Capítulo 5. O ANEXO B traz o programa de simulação dos tempos de fila, utilizados no Capítulo 6, em continuidade ao Capítulo 5.

O Capítulo 9 traz a Bibliografia utilizada ao longo desta dissertação. Esta dissertação iniciou-se com o estudo de “*papers*” e documentos dos principais “*vendors*” de tecnologia *wireless*, até o estudo de *softwares* de programação e simulação, inclusive com o desenvolvimento de programas aplicados.

O Capítulo 10 traz os *softwares* e ferramentas utilizadas ao longo desta dissertação. Além dos *softwares* previstos no *Office*, outras ferramentas e programas foram utilizados, sendo todos destacados neste capítulo.

## 2 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO

### 2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as principais tecnologias sem fio que, através dos sistemas de transmissão na rede de acesso, permitem a utilização das aplicações de dados.

Estas tecnologias são compostas de dois modos distintos de acesso, as que vêm da evolução das redes que permitiam apenas a aplicação de voz (TDM, FDM e CDMA), e as que foram desenvolvidas considerando aplicações de dados (baseadas em OFDM).

Estes dois modos compõem basicamente o que os provedores de rede de comunicação e/ou transporte (ex: operadoras móveis com TDMA, GSM e CDMA e Fixas com WLL) e provedores de serviço (ex: portais de acesso à internet, cafés, hotéis com *Wireless Fidelity* - Wifi e operadoras fixas e móveis com *WorldWide Interoperability for MicroWave Access* - Wimax), utilizam ao redor do mundo como rede de acesso.

O primeiro modo de acesso, que vêm da evolução das redes de voz, passou a desenvolver padrões que suportassem também as Aplicações de dados através da *International Telecommunication Union* (ITU). Vale destacar que por ser uma evolução das redes de voz, a própria ITU é quem vem também padronizou estas redes (1G e 2G) ao longo do tempo.

Dentro do ITU há o *International Mobile Telecommunications* (IMT-2000), responsável pelas demandas móveis que suportem serviços multimídia. O IMT por sua vez tem inserido dois grupos que se destacam dentro das solicitações de terceira geração, o *Third Generation Partnership Project* (3GPP) que partindo do padrão de segunda geração GSM elabora o padrão de terceira geração UMTS e o *Third Generation Partnership Project 2* (3GPP2) que partindo do padrão de segunda geração IS-95 A e B elabora o padrão de terceira geração IS2000.

Os detalhes da evolução da rede de acesso baseado nestes padrões, onde estão contidas as datas de conclusão das etapas, as propostas de evolução dos protocolos envolvidos e a visão de evolução no futuro (conhecido como quarta geração), podem ser vistos na FIGURA 1.

Se por um lado, no ITU, há os grupos 3GPP e 3GPP2 que desenvolvem padrões a partir das redes originárias do serviço de voz, por outro lado o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) desenvolve padrões referentes ao outro modo de acesso, ou seja, baseado em provedores de serviço e estruturado para as Aplicações de dados.

Os padrões do IEEE são baseados em frequências mais altas, na faixa de 2,4 GHz a 5 GHz, priorizando também a obtenção de *throughput* mais altos. A obtenção de *throughputs* mais altos permite atender melhor aos requisitos das aplicações de dados.



## 2.2 VISÃO GERAL DOS PADRÕES ITU

A FIGURA 1 mostra a evolução dos padrões desenvolvidos pelo 3GPP e 3GPP2. Pode-se verificar que ocorre um processo de descontinuidade tanto no IS-2000 RevA (que seria a evolução do EVDV) no 3GPP2, quanto no R'99 EDGE no 3GPP.

Esta visualização é característica deste momento histórico, podendo vir a ser modificada nos próximos meses ou anos. Este ponto de vista também tem sido, assim como nos demais ramos tecnológicos, uma constante na evolução das redes móveis “o que se escreve hoje rapidamente fica no passado”.

Dando continuidade a este momento, temos que os dois padrões, ambos baseados em CDMA, que possuem continuidade e evolução para o futuro estão posicionados como sendo a partir do IS-856 Rev0 para o 3GPP2 e do Rel'5 para o 3GPP.

Estes padrões estão presentes como interface aérea de terceira geração já em implantação nas operadoras da Europa, Ásia e América do Norte e Sul, nos releases Rel'5 (3GPP) e IS-856Rev0 (3GPP2) pois existem produtos desenvolvidos no mercado.

Os releases IS-856RevA (3GPP2) e Rel'6 (3GPP), apesar de estarem com os respectivos padrões prontos, os produtos devem estar no mercado a partir de meados de 2006.

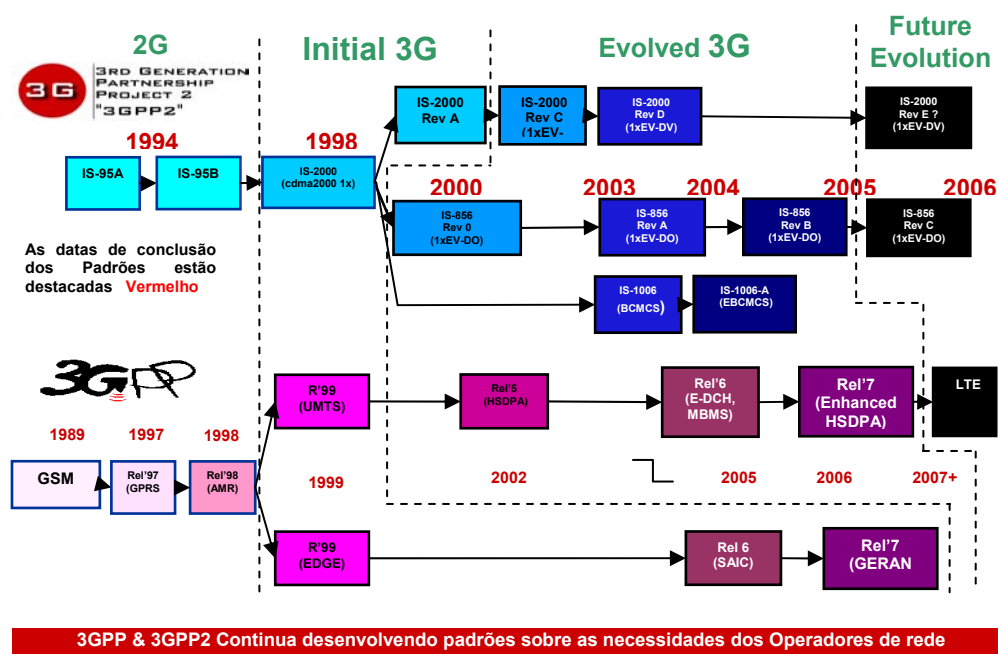


FIGURA 1 - Evolução dos padrões 3GPP e 3GPP2 (ITU-T, 2006)

Para concluir esta visão geral dos padrões ITU, ao que chamamos de primeiro modo de acesso, destaca-se a evolução para terceira geração com o uso (comum nas duas tendências) do CDMA. Os releases futuros (2007+) apontam neste momento para uma convergência de uso de OFDM (quarta geração).

### 2.3 VISÃO GERAL DOS PADRÕES IEEE

Quatro grupos podem ser destacados dentro dos padrões do IEEE e um quinto que surgiu mais recentemente e ainda requer tempo para ser aprofundado. Estes grupos de padrões estão relacionados à abrangência da cobertura a que se propõem. Suas características como taxa máxima, cobertura, frequência utilizada

e utilização de APs, são comparados na TABELA 1 (quatro primeiros grupos estruturados).

O primeiro grupo trata da cobertura pessoal, conhecido como *bluetooth*, padrão 802.15. São utilizados nas aplicações que requerem baixíssima potência e não dependem de autenticação com um IP de uma rede.

O segundo grupo trata da cobertura local, conhecido como *Wireless Fidelity (Wifi)*, padrão 802.11 (mais utilizados no mercado são a, b e g). São utilizados nas aplicações em ambientes confinados (*in door*), normalmente aeroportos, hotéis, cafés, centros de convenção e dependem de autenticação com IP de uma rede (a autenticação em uma rede permite o controle das sessões e a contabilidade do uso). Esta tecnologia pode ser utilizada sem autenticação, por exemplo, em substituição a uma rede cabeada onde neste caso será sem o intuito de contabilizar o transporte do tráfego a ser cobrado.

Tanto o *bluetooth* quanto o *wifi* trabalham com faixas de frequência não licenciadas, possibilitando um baixo custo de investimento inicial.

O terceiro grupo trata de coberturas metropolitanas, conhecido *World Wide Interoperability for MicroWave Access (Wimax)*, padrão 802.16. São utilizados nas Aplicações para atender ambientes externos (*out door*) e dependem de autenticação com IP de uma rede (a autenticação em uma rede permite o controle das sessões e a contabilidade do uso).

Este grupo (*Wimax*) trabalha com frequências licenciadas. Em cada país os provedores de transporte devem contar com este investimento inicial, ou seja, o investimento na aquisição da faixa de frequência.

O quarto grupo trata também de coberturas *out door*, conhecido como 802.20 e é similar ao *WiMax*. Para atender a expectativa de uma cobertura ainda maior, abre mão das taxas elevadas do *WiMax*, ficando em torno de 1Mbps de *throughput*.

**TABELA 1 - Comparação das características dos padrões IEEE**

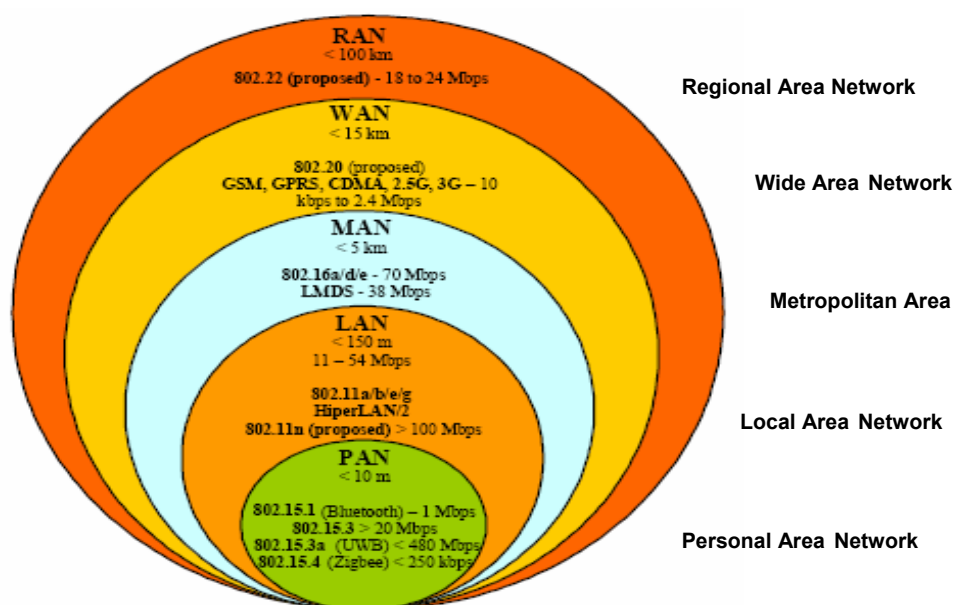
IEEE Padrão (Nome de mercado)	Taxa máxima de dados	Frequencia	Cobertura	Comentários	Custo Access Point	Rede Aérea
802.15 (Bluetooth)	20-250 Kbps 11-54 Mbps	2.4 GHz 915 MHz 868 MHz (sem licença)	30 ft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IP não nativo</li> <li>• Baixa potência</li> <li>• Substitui o cabo</li> </ul>	Embutido nos aparelhos	Pessoal
802.11a (Wi-Fi) Wireless Fidelity	54 Mbps	5 GHz Band (Unlicensed)	100 ft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa potência</li> <li>• Substitui o cabo</li> </ul>	<\$100 Consumidor \$300 to \$500 Empresas	Local
802.11b (Wi-Fi)	11 Mbps	2.4 GHz (sem licença)	300 ft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfere nos fones fixos, forno de micro-ondas</li> </ul>		Local
802.11g (Wi-Fi)	54 Mbps (108 com extensão proprietária)	2.4 GHz (sem licença)	300 ft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interopera com b a 11Mbps</li> </ul>		Local
802.16-2004 (WiMAX) Worldwide Interoperability for Microwave Access	75 Mbps	BRS Band ~2.5 GHz (Licença US) 3.5 GHz (Licença ROW) 5 GHz Band (sem licença)	4 to 6 milhas (30 milhas*)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE nome sancionado 802.16d</li> <li>• Fixo wireless de banda larga</li> <li>• Taxad de dados com a cobertura trade off</li> </ul>	<\$10,000 para >\$100,000	Metro
802.20	>1 Mbps	Abaixo de 3.5 GHz (com licença)	9 milhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Mobile DSL"</li> <li>• 3G and 802.16e convergência pode eliminar necessidade</li> </ul>	indefinido	Largo

(IEEE Education, 2006)

Um novo grupo (quinto grupo) está em desenvolvimento a sua padronização, o 802.22, baseado na reutilização das frequências sub utilizadas de TV.

## 2.4 Visão comparativa de cobertura, *throughput* e serviços entre ITU e IEEE

A FIGURA 2 demonstra a relação de abrangência de cobertura e *Throughput* do IEEE e ITU:



**FIGURA 2 - Abrangência de Cobertura e Throughput entre os padrões ITU e IEEE (IEEE Education, 2006)**

A FIGURA 3 demonstra a utilização das aplicações (serviços) que se pode obter com o uso das tecnologias de acesso ITU e IEEE que serão detalhadas nos itens seguintes (3G – WCDMA e EVDO e *Wifi* e *WiMax*) seguindo a evolução tecnológica pelas taxas utilizadas.

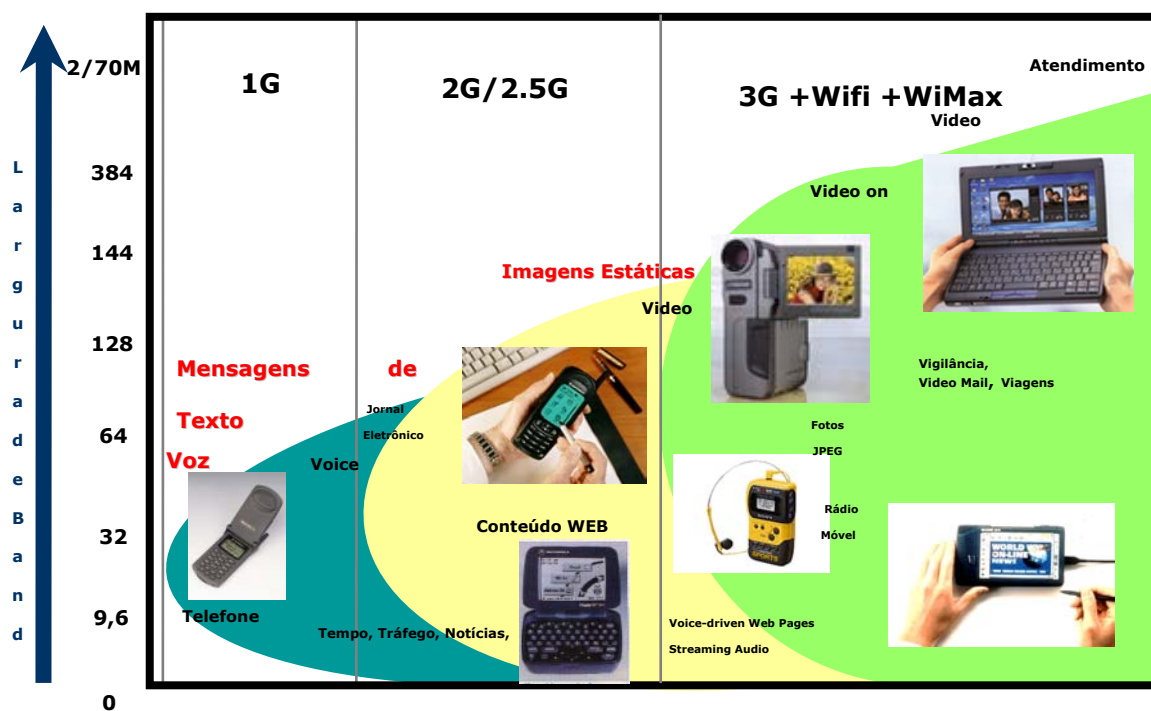


FIGURA 3 - Aplicações disponíveis pela evolução tecnológica e taxas utilizadas (IEEE Education, 2006)

A aproximação destas tecnologias de acesso ITU e IEEE podem ser comparadas pela TABELA 2:

**TABELA 2 - Comparação entre as técnicas de acesso dos padrões**

CAMINHOTECNOLOGIAS EMPREGADAS		COMETÁRIOS
<b>TDMA</b>	GSM, GPRS, EDGE, IS-136, TDMA	Primeiro celular digital. Enorme sucesso com GSM
<b>CDMA</b>	CDMA2000 1XRTT, CDMA2000 1XEVD0, WCDMA, HSDPA, IEEE 802.11b	Base comum de todas as redes de 3G
<b>OFDM</b>	WiMAX, Flarion Flash OFDM, 3GPP Tecnologia candidata a um longo prazo de evolução, IEEE 802.11a, g, Evolução 3GPP2, 3GPP2 aumento de difusão dos serviços multi trajetos	Caminho efetivo para os sistemas com a mais alta banda larga e para os mais altos picos de taxas de dados nos amplos blocos de espectro

**(Ericsson, 2006)**

Dentro dos dois modos de acesso, padronizados pelo IEEE e ITU, esta dissertação tratará das interfaces aéreas destes padrões que estão desenvolvidas e implantadas no mercado e que serão à base de acesso nos próximos anos.

Pelo ITU ocorre neste momento a evolução do 3GPP para os releases do UMTS, e ao mesmo tempo a evolução do 3GPP2 para com os releases do protocolo IS-856.

Pelo IEEE, a utilização do 802.15 e 802.11 já são realidades no mercado. Para o padrão 802.16, no Brasil, a Anatel anunciou que estará licitando a frequência de 3,5 GHz no primeiro semestre de 2006.

## **2.5 OUTRAS TECNOLOGIAS DE ACESSO**

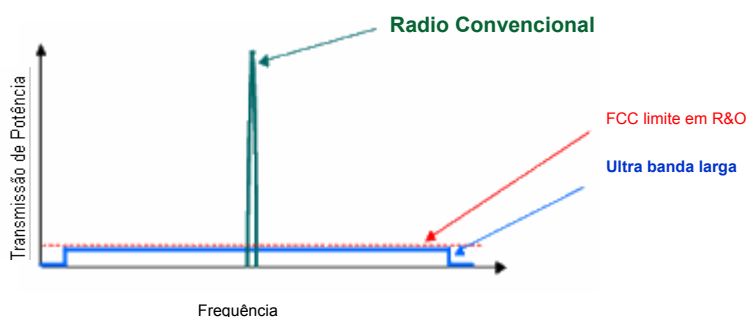
Outras tecnologias de acesso, tais como *Korean Wireless Broadband (WiBro)* e *Ultra-Wideband (UWB)* não possuem neste momento os requisitos de

desenvolvimento de devices como as demais tecnologias focadas anteriormente, e serão apenas comentadas a seguir.

A primeira (*WiBro*) trata-se de uma tecnologia muito similar as características do *Wimax* que está sendo desenvolvido na Coreia do Sul, ou seja, limitaremos a detalhar a interface aérea do *Wimax* de modo a não se tornar repetitivo.

A segunda (*UWB*) possuem oponentes quanto ao seu uso no mercado atual. Estes oponentes são operadores que possuem serviços sobre faixas de frequência que foram adquiridas (pagas) e afirmam poder ocorrer interferência nos seus serviços.

Tais afirmações estão baseadas nas características básicas de funcionamento desta tecnologia. A potência de transmissão está baseada sob trens de pulsos de curta duração, transmitidos sem translação para uma frequência de portadora superior. Estes pulsos são sempre muito curtos em duração, porém não o bastante para convencer os operadores, vide FIGURA 4.



**FIGURA 4 - Transmissão de potência no UWB (IEEE Education, 2006)**



### 3 MODELAMENTO DE TRÁFEGO

Neste capítulo será desenvolvida a formulação do modelo de tráfego para rede de dados por pacotes. O princípio desta análise deve ser entendido como sendo usuários que necessitam utilizar as aplicações que estão nos provedores de serviço.

Para que os usuários utilizem estas aplicações, é necessário haver uma rede de comunicação que faça com que a estação do usuário, que pode ser um aparelho fixo ou móvel, converse com estas aplicações. Estas aplicações são disponibilizadas por plataformas contidas nos provedores. A FIGURA 5 mostra estes elementos.

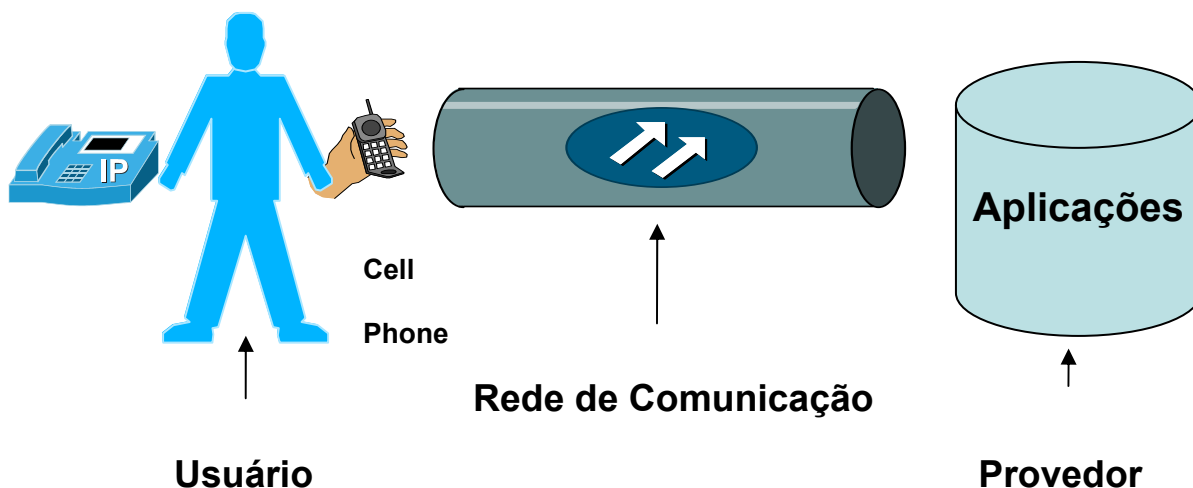


FIGURA 5 - Macro elementos do modelo de tráfego

Existem de um lado os usuários que, pelo modo como geram o tráfego na rede de comunicação, constituem um modelo de uso comum. Este modelo de uso contém o que se denomina de requisitos dos usuários.

Por outro lado os requisitos dos provedores de serviço contêm as aplicações disponíveis de serem utilizadas, ou seja, o objetivo a ser alcançado pelos usuários (1xEVDO Air Interface Specification, Qualcomm, Rev X3).

A análise está então separada em duas partes: requisitos do usuário e requisitos do provedor (Black e Gurelli, 2001)

Os recursos necessários para que o usuário atinja o objetivo é a rede de comunicação. A rede de comunicação, necessária para que o usuário alcance as plataformas que estão normalmente na Internet, é constituída basicamente de uma rede de acesso - interface aérea (RF), para conexões *wireless*, rede cabeada para conexões fixas, além do Core de rede que provê o IP público, através da PDSN, que dará acesso à internet, a autorização de conexão na rede, normalmente feita pelo elemento *Authentication, Authorization, Accounting (AAA)*, e pela própria internet que pelos provedores disponibilizam as aplicações. A FIGURA 6 mostra com mais detalhes os elementos envolvidos.

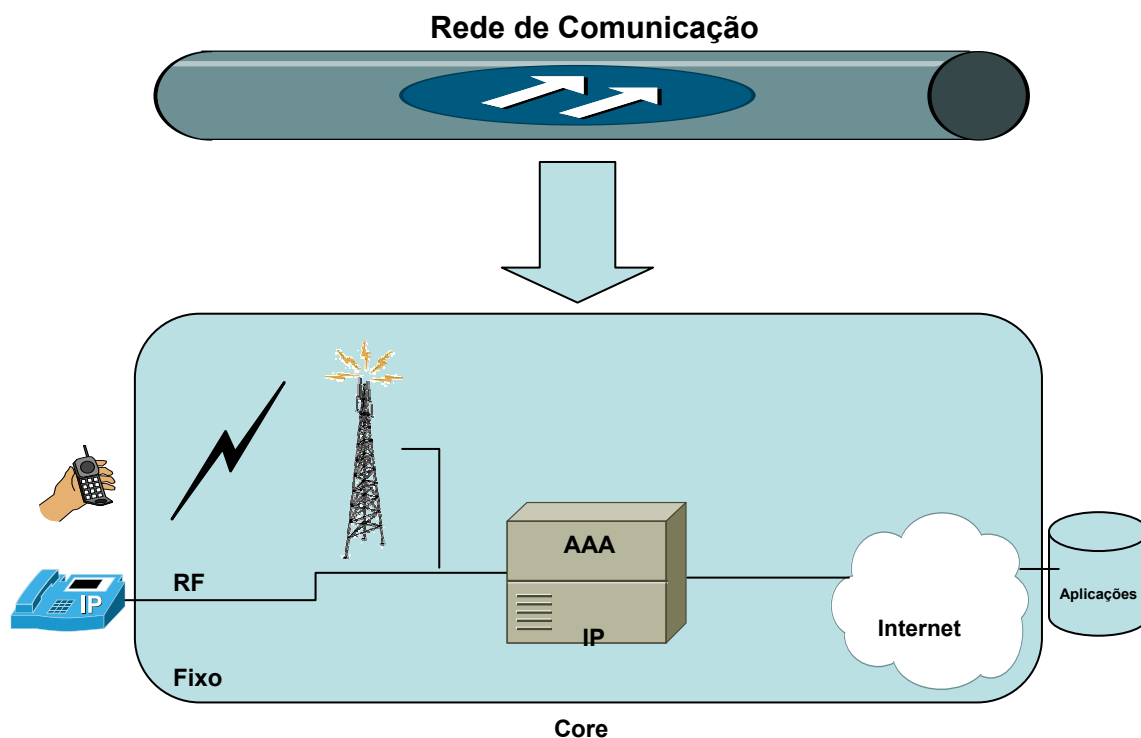


FIGURA 6 - Elementos da rede de comunicação

### 3.1 REQUISITOS DE TRÁFEGO DO USUÁRIO

O modelo de uso comum, de tráfego de dados, compõe os requisitos de tráfego dos usuários e caracteriza o comportamento do perfil destes usuários acessando as múltiplas aplicações. Para caracterizar este perfil devem-se identificar parâmetros que permitam mensurar as necessidades dos usuários de forma a subsidiar o planejamento da rede de acesso.

O acesso às múltiplas aplicações gera um determinado consumo, convencionado como consumo por mês (CM) em *Mega-bytes*. O mês é representado pelo

número de dias de uso, ou seja, o número de 'dias por mês' (DM) em que o usuário vai utilizar a rede de acesso.

Uma vez possuindo o consumo em *Mega-bytes* e o tempo em que o usuário utilizará a rede de acesso, pode-se calcular o tráfego (razão de consumo por um determinado período de tempo). Esta razão em que o usuário vai utilizar a rede de acesso deve estar na mesma base: consumo por dias, ambos por mês.

O comportamento dos usuários, gerando tráfego ao longo dos dias, é mais intenso em determinados horários e menos intenso em outros.

Estes horários de maior movimento (HMM) dos usuários, também conhecidos como períodos de maior movimento (PMM) ou *Busy Hour* (BH) são considerados como base para dimensionamento.

Dimensionando a rede de acesso pelo pior caso, ou seja, pela BH se garante o atendimento pleno aos usuários em todos os períodos. Este tipo de abordagem é empregado na telefonia convencional para dimensionamento de rede de acesso.

A somatória das horas consideradas como BHs ao longo do dia em relação ao dia completo, ou seja, as 24 hs, permite obter a razão de tráfego na BH (RT).

A razão, ou fator, em que os usuários estão ativos na BH (FA), reflete a possibilidade do usuário estar utilizando a rede de transporte na BH.

Assim, os requisitos dos usuários podem ser resumidos como:

- CM = Consumo por mês: estimativa de quantos *Mega-bytes* por mês o usuário vai consumir;

- DM = dias por mês: número de dias por mês que o usuário utilizará a rede;
- RT = razão de tráfego na BH: somatória das horas consideradas como BHs ao longo do dia em relação ao dia completo;
- FA = fator de atividade na BH: reflete a possibilidade do usuário estar ativo na BH.

### 3.1.1 BANDA DO USUÁRIO

As redes de acesso baseadas em circuito são dimensionadas para uma única aplicação, o serviço de voz (Ex: redes fixas e móveis AMPS e 2G), e adotam o cálculo do Erlang, vide Equação 1.

O tráfego em Erlang previsto para um usuário ( $TU_{Erl}$ ) depende diretamente das variáveis *busy hours call attempts* (BHCA)<sup>1</sup>, ou seja, da quantidade de tentativas de tomada de um canal de voz na BH, pela quantidade de tempo da BH (neste caso BH é uma hora), multiplicado pelo tempo médio de retenção (TMR)<sup>2</sup> deste canal.

$$TU_{Erl} = \frac{BHCA * TMR}{3600} \quad (1)$$

Onde:

---

<sup>1</sup> BHCA – *Busy hours channel attempts* (tentativa de chamadas na BH ou PMM)

<sup>2</sup> TMR – Tempo médio de retenção

TU Erl: tráfego para um usuário em Erl;

BHCA : quantidade de tentativas de tomada de um canal de voz na BH;

TMR : tempo médio de retenção do canal tomado em segundos;

3600 : hora de maior movimento em segundos.

As redes de acesso baseadas em pacotes são dimensionadas para várias aplicações, ou seja, serviços como *file downloading*, *web browsing*, *e-mail*, *streaming* e *small transaction* (Ex: redes fixas de dados como *hight speed packet data* (HSPD), móveis 3G e outras tecnologias usadas tanto em redes fixas como móveis como *Wifi* e *WiMax*), e adotam o cálculo do *throughput* para um usuário na BH (TU ou T BH), vide Equação 2.

A taxa de transmissão de dados para um usuário ou *throughput* BH (TU Kbps), depende diretamente das variáveis, CM (consumo em *Mega-bytes* por mês), ou seja, da quantidade de bytes a ser utilizada por mês pelo usuário e pelo fator de tempo DM (dias de utilização no mês). Com isto caracteriza-se a relação de volume de tráfego (bits) por tempo (segundo), bastando para isso multiplicar-se pelo coeficiente  $2,22 \times 10^{-3}$  que trata da conversão de *byte* para *bit* e hora para segundo.

O resultado desta relação deve ser multiplicado pelos fatores RT (razão de tráfego), ou seja, razão entre as BHs do dia por 24 horas e pelo FA (fator de atividade), ou seja, razão em que o usuário estará ativo na BH. A Equação 2 mostra a relação entre os parâmetros.

$$TU_{Kbps} = \frac{CM * RT}{DM * FA} * 2,22 * 10^{-3} [Kbps] \quad (2)$$

Onde:

TU kbps : taxa de transferência de dados para um usuário dada em kbps ;

CM: consumo mensal por usuário em Mbytes/mês;

RT: razão de tráfego é a relação entre a soma das BH pelas 24 horas do dia.

DM: dias de uso no mês;

FA: probabilidade de o cliente estar em atividade no período com IP válido ou com sessão aberta na BH.

2,22\*10 E-3: fator de conversão de *byte* para *bit* e hora para segundo:

$$\frac{8}{3600} = 2,22 * 10^{-3}$$

3600: constante de tempo: 60 min. X 60 seg. = 3600 segundos na hora.

8: constante referente à transformação de bytes em bits;

Obs: Como a entrada do consumo por mês é dada em *Mega-bytes*, será necessária a conversão:

x 1000 (conversão de Mega para Kilo), ou seja, para um CM dado em Mbytes, teremos a transformação para Kbits;

Como forma de comparar e melhor entender a correspondência que há nas duas visões de tráfego, tanto no dimensionamento de circuito para a aplicação do serviço de voz quanto para a aplicação para os serviços a que denominamos de dados, segue a TABELA 3 com uma análise comparativa.

**TABELA 3 - Análise comparativa do dimensionamento de voz e dados**

---

$TU_{Erl} = \frac{BHCA * TMR}{3600}$	$TU_{Kbps} = \frac{CM * RT}{DM * FA} * 2,22 * 10^{-3} [kbps]$
Serviço: Aplicação do Serviço de Voz	Serviço: Aplicação do Serviço de Dados
Comutação: Circuito	Comutação: Pacotes
TU Erl consiste na relação de chamadas no tempo (BHCA / 3600), multiplicado pelo tempo de retenção da chamada (TMR).	TU Kbps consiste na relação de pacotes no tempo (CM/DM), multiplicado tempo em que a sessão ficou ativa (RT/FA).
BHCA consiste nas chamadas no circuito	CM consiste no consumo de pacotes
1 Hora = 3600 segundos	DM = Dias no Mês versus o coeficiente transformando para segundos
TMR consiste no tempo de retenção do circuito	FA consiste no tempo em que a sessão ficou ativa
As variáveis constituem os Requisistos dos Usuários para uma rede de Voz	As variáveis constituem os Requisistos dos Usuários para uma rede de Dados

---



Para realizar o dimensionamento a partir de um modelo de tráfego, faz-se necessário ter o perfil a ser usado pelos usuários da rede. Os valores básicos de entrada, parâmetros e seu significado, são mostrados num ensaio prático no Capítulo 5.

Para possibilitar uma maior abrangência nos ensaios foi desenvolvido um programa com o *software* MatLab, [Capítulo 7 e ANEXO A], que possibilita a obtenção do dimensionamento de uma rede de dados de acordo com os valores de entrada de usuários e provedores.

O usuário tem por objetivo utilizar uma aplicação ou mesmo um conjunto delas. O modelo de tráfego, ao seu final, prevê o dimensionamento de uma rede de dados. Nos cálculos futuros o usuário será considerado utilizando cada aplicação e a misturas destas.

### **3.2 REQUISITOS DAS APLICAÇÕES**

Uma vez demonstrado os requisitos do usuário, para obtenção do modelo de tráfego é necessário considerar a entrada dos dados das aplicações, ou seja, com os requisitos dos provedores de serviço.

Os provedores de serviço contêm as aplicações disponíveis de serem utilizadas, ou seja, o serviço a ser consumido pelos usuários.

As principais aplicações hoje utilizadas pelos usuários, passando pela Internet, são os serviços de *streaming (video near real time)*, *file downloading* (descarregamento de arquivos), *web browsing* (acesso a páginas da Web), *e-mail*

(acesso a correio eletrônico) e *small transaction* (pequenas transações, tipo bancárias).

Estas aplicações possuem suas características próprias, denominadas de categoria de aplicação (Cloutier, Sinha, Wang, Setembro 2003). Estas categorias estabelecem os parâmetros de cada aplicação. Estes parâmetros compõem os requisitos das aplicações, como o Tamanho do Pacote (TP) em Kbyte, a Razão de assimetria entre *downlink* e *uplink* (R DU), o tempo de leitura (TL), tão significativo em aplicações tipo *web* onde o usuário após abaixar a página leva um tempo de leitura significativamente alto, por exemplo, comparado com as *small transactions* e o número de pacotes por sessão (PS).

Os requisitos de tráfego de um provedor de serviço, para suportar as aplicações, pode ser resumido por:

- TP = tamanho do pacote: na conexão (chamada), por aplicação, têm-se como requisito um determinado tamanho de pacote em Kbyte;
- R DU = razão *downlink* e *uplink*: razão da capacidade entre a subida e descida de tráfego no RF. Influencia diretamente na correspondência e entrega dos pacotes, por tipo de aplicação;
- TL = tempo de leitura: o tempo de leitura pode variar dependendo da aplicação, retendo ou liberando o provedor, e também os canais de RF, por tempos distintos;
- PS = pacotes por sessão: número de pacotes por sessão de dados, ou seja, quantas movimentações (transações) de pacotes o usuário faz numa determinada sessão.

### 3.2.1 BANDA POR APLICAÇÃO

As aplicações por terem diferentes requisitos, requerem que o cálculo do tráfego seja por aplicação ativa na BH (TA Kbps).

Estas aplicações estão contidas nos provedores de serviço. Os provedores utilizam-se das sessões de dados geradas na rede de comunicação, para se comunicar com os usuários. O número de sessões geradas na BH (S BH) pode ser uma ou várias. Estas sessões são consideradas ativas quando transportam um número de pacotes por sessão por aplicação (PS(i)).

Estes pacotes, por sessão ativa, podem ser de diferentes tamanhos dependendo do tipo de aplicação, ou seja, outro requisito do provedor é o tamanho do pacote (TP (i)) por aplicação em Kbyte.

Para obter-se o *throughput* por aplicação, considerando os requisitos do provedor, parte-se do tamanho do pacote (TP(i)) versus o número destes pacotes por sessão ativa (PS (i)) sendo trafegados, versus o número de sessões geradas na BH (S BH) para trafegar estes pacotes, obtêm-se o TA Kbps (i) . O coeficiente de transformação de *byte* para *bit* e hora para segundos,  $2,22 \times 10^3$  também deve ser utilizado como multiplicador de conversão.

$$TA_{Kbps}(i) = TP(i) * PS(i) * S_{BH} * 2,22 * 10^3 [kbps] \quad (3)$$

Onde:

TP(i): tamanho do pacote por aplicações de *downloading*, *web browsing*, *e-mail*, *near RT streaming* e *small transaction* apresentado normalmente em Kbytes.

PS(i) : número de pacotes por sessão de dados de acordo com os serviços de *downloading*, *web browsing*, *e-mail*, *near RT streaming* e *small transaction*;

S(BH): números de sessões de dados por usuário na BH geradas com um usuário ativo.

### 3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS REQUISITOS DE TRÁFEGO

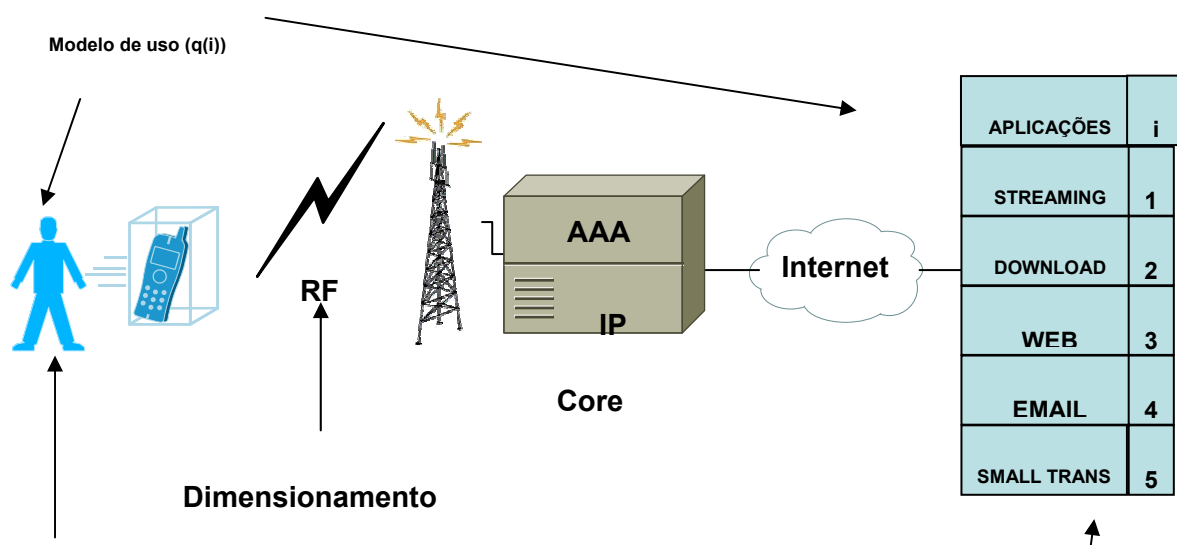
Uma vez demonstrados os requisitos dos usuários e dos provedores e suas aplicações, bem como desenvolvido o cálculo do TU Kbps e TA (i) Kbps, para que o usuário atinja o seu objetivo, sabe-se que os recursos necessários para que isto ocorra está na rede de comunicação.

Como a rede de comunicação é constituída por recursos de rede, vide a FIGURA 7, podem-se dimensionar estes recursos de acordo com o tráfego gerado pelos usuários.

Se considerarmos que os elementos como o *Core*, a Internet e a capacidade dos provedores de serviço disponibilizarem as aplicações são possíveis de serem ampliados de acordo com a demanda de tráfego (pois são elementos físicos que podem ser ampliados de acordo com a exigência do tráfego, não tendo limite definido), temos a interface aérea (RF) como ponto limitante de *throughput* para uma rede *wireless*.

De posse do modelo de tráfego com os seus requisitos, o início do dimensionamento de uma rede de comunicação é feito pela rede de acesso - interface aérea (RF) (limitante de uso de rede) sendo os demais elementos dimensionados a partir deste.

A FIGURA 7 apresenta o ponto limitante no dimensionamento de uma rede de acesso. Este dimensionamento, da interface aérea, é o objetivo desta dissertação.



Requisitos do Usuario:

CM = Consumo por mês

DM = Dias por mês

RT = Razão de Tráfego na BH

FA = Fator de Atividade na BH

Requisitos do Provedor:

TP = Tamanho do Pacote

R DU = Razão Downlink Uplink

TL = Tempo de Leitura

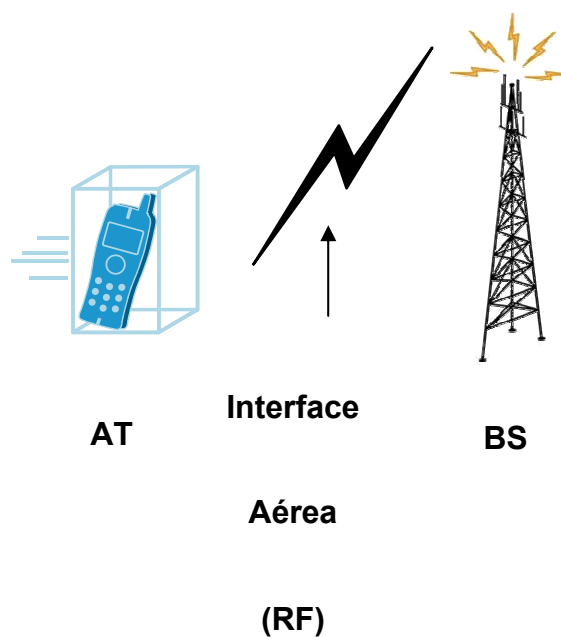
PS = Pacotes por Sessão

**FIGURA 7 - Dimensionamento da rede de acesso**

A interface aérea é composta basicamente por *links* de subida e descida, conhecidos também como *uplink* e *downlink*. Estes conceitos serão detalhados no Capítulo 4.

O dimensionamento da interface aérea será feito então nos *links* de subida e descida do tráfego. Para todo o dimensionamento será considerado como sendo para a BH, ou seja, de forma a atender plenamente o usuário no acesso as aplicações considerando a BH.

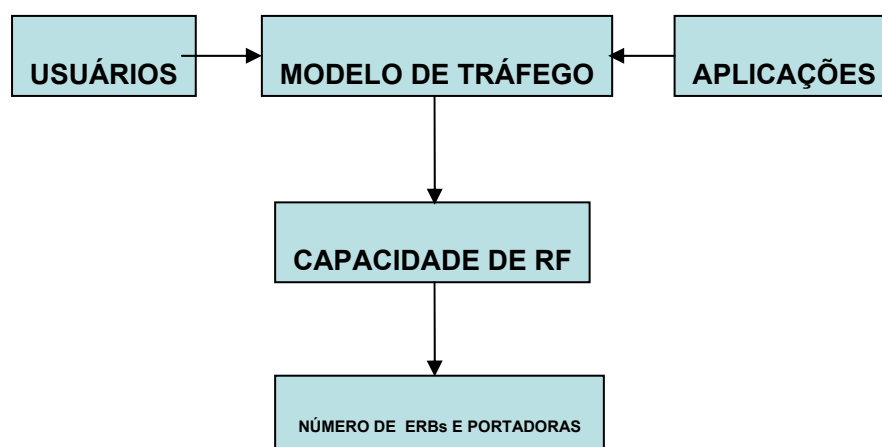
O conjunto composto pela estação móvel do usuário ou *access terminal* (AT), a interface aérea (RF) e a estação rádio base (ERB) ou *base station* (BS) denomina-se rede de acesso *wireless*, apresentado na FIGURA 8.



**FIGURA 8 - Rede de acesso *wireless***

De posse da capacidade da interface aérea (RF) é possível dimensionar uma rede de acesso *wireless* com suas portadoras e quantidade de estações.

A FIGURA 9 ilustra o procedimento inicial de se dimensionar uma rede de acesso *Wireless* para os serviços de dados.



**FIGURA 9 - Dimensionamento de uma rede de acesso para os serviços de dados**

Vale destacar que uma vez dispendo do recurso de RF e estações, as facilidades de transmissão entre o as BSs e também o Core podem ser determinadas (TIA: advancing global communications, 2006).

. Este dimensionamento por ser decorrente e não limitante não fará parte desta dissertação, ou seja, o foco será a limitante interface aérea.

### **3.4 REQUISITOS DE TRÁFEGO PARA PLANEJAMENTO DA INTERFACE AÉREA**

Para se planejar o dimensionamento da interface aérea é fundamental que se tenha a correlação entre o tráfego do usuário e o tráfego por aplicação.

Se considerarmos que o usuário utilizará vários tipos de aplicações, a razão com que este usuário vai utilizar cada aplicação na BH, ou seja, o tempo de uso de



cada aplicação na BH sobre o tempo considerado como BH é dito o percentual de uso da aplicação na BH.

Para o cálculo de um usuário entrando com a taxa de dados na BH é necessário conhecer-se percentualmente o quanto esta taxa representa por aplicação  $q(i)$ , ou seja, de todas as aplicações utilizadas, o quanto percentualmente o usuário utiliza cada uma delas.

Este percentual basicamente é uma interpolação, que permite se compor a utilização das aplicações, representado pelas Equações 4 e 5 :

$$q(i) = \frac{TU_{Kbps} - TA_{Kbps}(i+1)}{TA_{Kbps}(i) - TA_{Kbps}(i+1)} \quad (4)$$

$$q(i+1) = 1 - q(i) \quad (5)$$

Onde:

**q(i):** percentual de aplicação pelo perfil do usuário ativo, ou seja, a correspondência entre o tráfego do usuário e o tráfego por aplicações.

De posse do modelo de tráfego e dos dados de entrada do provedor de serviço é possível o cálculo da vazão de dados.

## 4 INTERFACES AÉREAS

Neste capítulo será apresentado as duas interfaces aéreas (*uplink* e *downlink*), necessárias para a transmissão de dados.

Será considerado o aspecto técnico destas interfaces, relevantes para o planejamento de uma rede de acesso, explanando os procedimentos para se estimar a capacidade de tráfego nestas interfaces em termos de taxa de transmissão de dados, capacidade de usuários, número de usuários simultâneos ativos que podem ser suportados por uma interface aérea.

A rede de acesso é composta pelo AT, RF e BS, vide FIGURA 8 (rede de acesso). A comunicação entre o AT com a BS, e vice versa, utiliza a interface aérea. A interface aérea é composta por dois *links*, necessários para transportar os pacotes nos dois sentidos, denominados *links* direto e reverso.

Estes *links* são estabelecidos na interface aérea para o transporte dos pacotes na subida e descida, conforme o interesse de tráfego. O tipo de modulação FDD ou TDD, não é considerado neste momento. Os *links* (direto e reverso) são estabelecidos dentro de portadoras exclusivas ou compartilhadas, sendo esta uma questão tecnológica não influenciando na modelagem.

#### 4.1 CAPACIDADE DO LINK DIRETO

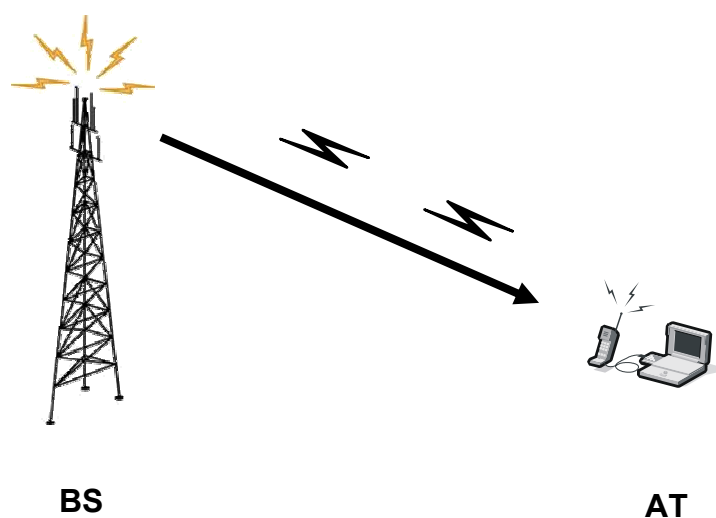
O *link* direto está na direção da *base station* (BS) para a estação do usuário (EU), também conhecida como *access terminal* (AT), vide FIGURA 10.

A BS irradia potência de transmissão através de antenas. Estas antenas podem ser projetadas para irradiarem em 360 graus, conhecidas como omnidirecionais ou divididas em ângulos uniformes e proporcionais entre eles, sendo que cada parte desta divisão é conhecida como setor de uma BS.

Por outro lado, um usuário é considerado ativo quando este quer atingir as aplicações e sensibiliza a rede de acesso passando a ter um IP válido na rede, ou seja, o princípio de uma conexão está na conexão no *link* reverso com a BS (*base station*).

O usuário torna-se ativo no *link* reverso, solicitando as aplicações, e passa a estar em estado ativo (EA) também no direto, recebendo o conteúdo destas aplicações.

A capacidade do *link* direto é a estimativa do número dos usuários ativos que podem ser suportados pelo setor de uma BS (BLACK, 2001).



**FIGURA 10 - Direção do *link* direto**

O usuário para entrar no estado ativo (EA), ou seja, buscar atingir as aplicações, realiza uma chamada na rede de acesso, ou comumente usa-se o jargão conectar-se por se tratar de uma chamada de dados.

Definem-se os estados do usuário na rede de acesso como sendo o estado ativo (realiza uma chamada), o estado de *dormant* (está conectado sem transacionar dados) e desligado (quando finaliza a chamada).

O estado do usuário entre originar uma chamada, utilizar a rede de acesso, ficar em dormência ou *dormant*<sup>3</sup>(DOR) e desligar a chamada constitui uma conexão. A duração da conexão (DC) compreende o tempo em que este usuário levou para realizar este processo.

---

<sup>3</sup> *Dormant*: o usuário com sessão aberta, caso não esteja transacionando dados por um intervalo de tempo (baixa atividade), entra em estado dormente.

O conjunto das conexões realizadas por um usuário é chamado de sessão. A duração da sessão (DS) é a soma de todas as DC do usuário, ou seja, o conjunto de todas as conexões.

O usuário realiza uma conexão a uma aplicação ou várias conexões a uma ou várias aplicações. O conjunto destas conexões gera a sessão, sendo estas compostas por pacotes de dados.

O número de pacotes por sessão (PS) de dados, assim como o seu tamanho (TP) e o tempo de leitura (TL), estão relacionados às características de cada aplicação.

As redes *wireless*, por sua vez, são equipadas com dispositivos de inteligência que permitem um melhor aproveitamento de seus recursos.

Dentre eles podemos destacar o estado de *dormant* que permite liberar a interface aérea para outros usuários enquanto se está conectado, porém não se está trafegando dados. Um exemplo comum é quando o usuário está lendo uma página *web* por um determinado período e a rede libera o canal que havia dedicado no link direto para outros usuários utilizarem durante este tempo de leitura (TL).

Este conceito deve ser considerado como chave, pois influi direta e fortemente no dimensionamento dos *links* direto e reverso. Saber por quanto tempo o usuário ficou ativo na sessão, trafegando dados é denominado fator de atividade (FA), ou razão de atividade (RA).

O percentual correspondente à parte do tempo total em que o usuário ficou realmente ativo é denominado como percentual de atividade na sessão (PAS).

Onde:

DC = duração da conexão: estado entre originar / conectar, utilizar, ficar em dormant e desligar;

DS = duração da sessão: sessão compreende o conjunto das conexões, ou seja, a duração da sessão é o conjunto de todas as conexões;

PAS = percentual de atividade na sessão: quanto se ficou percentualmente ativo na sessão. Este percentual corresponde à parte do tempo total em que o usuário ficou realmente ativo, ou seja, qual foi o fator de atividade (FA) real do usuário.

Quando um usuário quer atingir uma aplicação particular (i), este realiza uma conexão. A duração da conexão para uma aplicação (i) DC(i) é a soma do estado ativo por aplicação (i) EA(i) mais o tempo de *dormant* (DOR) durante a utilização desta aplicação, Equação 6.

$$DC(i) = EA(i) + DOR \quad (6)$$

Onde:

DC(i) = duração da conexão por aplicação (i);

EA(i) = estado ativo por aplicação (i);

DOR = estado de *dormant* previsto para a rede.

O estado ativo (EA) de um usuário utilizando uma aplicação (i) é composto pela razão entre o tamanho dos pacotes (TP) utilizados para esta determinada aplicação (i), pelo *throughput* em Kbps deste usuário (TU Kbps). Este cálculo permite ter o tempo de estado ativo EA(i) para cada aplicação (i).

$$EA(i) = \frac{TP(i) * 8}{TU_{Kbps}} \quad (7)$$

Onde:

TP(i) = tamanho do pacote por aplicação (i);

TU Kbps= *throughput* do usuário em Kbps previsto na rede. O *throughput* dos usuários previstos na rede TU Kbps, Equação 2, detalhado nos requisitos do usuário;

8 = transformar a entrada do TP(i) dado em Kbyte para Kbit.

A composição das Equações 6 e 7 permitem obter-se a DC(i) para um usuário utilizando o *link* direto para uma determinada aplicação (i):

$$DC(i) = \frac{TP(i) * 8}{TU_{Kbps}} + DOR \quad (8)$$

A duração da sessão no *link* direto, para uma determinada aplicação (i), é o conjunto das conexões realizadas pelo usuário para esta aplicação (i).

O conjunto destas conexões inclui o estado ativo do usuário vezes a quantidade de pacotes trafegados, ambos para a aplicação (i), somado pelo tempo de leitura da aplicação (i) versus os pacotes utilizados nesta sessão por aplicação (i), somados ao *dormant* previsto na rede.

A duração da sessão provê o tempo em que ocorreu o *download* (descarregar os pacotes no *link* direto) desta aplicação (i).

$$DS(i) = EA(i) * PS(i) + TL(i) * (PS(i) - 1) + DOR \quad (9)$$

Onde:

DS(i) : duração da sessão: sessão compreende o conjunto das conexões, ou seja, a duração da sessão é o conjunto de todas as conexões para a aplicação (i);

EA(i): estado ativo em que esteve realizando a aplicação (i);

PS(i) : número de pacotes por sessão de dados de acordo com as aplicações (i);

TL (i): tempo de leitura por aplicação (i). Tempo compreendido entre duas atividades realizadas pelo usuário na rede para uma aplicação (i). Normalmente utilizado para leitura e uso das aplicações descarregadas (*download*), medidos em segundos;

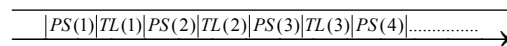


DOR: estado de *dormant* previsto na rede;

O valor (-1) a frente do PS(i) é para descontar o último tempo de leitura para os “n” pacotes de sessão (PS) que ocorrerão na duração da conexão (DC) em estado ativo (EA).

Exemplo:

para PSA=4, temos TL=3 e assim sucessivamente (vide FIGURA 11), ou seja, deverá sempre ser descontado um tempo de leitura em comparação com os pacotes da sessão durante uma conexão para qualquer aplicação.



**FIGURA 11 - Fator de descontagem de um tempo de leitura**

O percentual de atividade na sessão (quanto percentualmente o usuário ficou ativo na sessão) por aplicação (i) (PAS(i)) no link direto é a razão entre a somatória do estado ativo mais o mínimo entre o tempo de leitura para uma aplicação (i) e o estado de *dormant* previsto na rede, sobre a soma do estado ativo mais o tempo de leitura, ambos pela aplicação (i), dado pela Equação 10.

$$PAS(i) = \frac{EA(i) + (\text{mínimo})(TL(i), DOR)}{EA(i) + TL(i)} \quad (10)$$

Onde:

PAS(i): percentual de atividade na sessão: quanto percentualmente o usuário ficou ativo na sessão por aplicação (i);

EA (i): estado ativo do usuário por aplicação (i);

TL (i): tempo de leitura por aplicação (i);

(mínimo) (TL(i), (DOR(i)): (mínimo entre o tempo de leitura e o tempo de *dormant*): o mínimo é para termos entre esses dois tempos o pior caso do ponto de vista de uso de rede, ou seja, buscando o caso em que o usuário está mais tempo em atividade, de tal modo a manter a rede sempre ativa.

Exemplo:

Quando um usuário vai realizar a aplicação *small transactions* (pequenas transações), devido a ser uma aplicação que tem um tempo de leitura pequeno, Ex: TL= 6 segundos, menor que o *dormant*, Ex: DOR = 12 segundos (valor atribuído na rede de acesso), o usuário na verdade não consegue entrar em *dormant*. Isto faz com que seja mantido o canal reservado por todo tempo. Neste caso o percentual de atividade na sessão no link direto PAS é de 100%, ou seja, o pior caso do ponto de vista de rede.

O *throughput* (Kbps) dos usuários ativos para uma aplicação particular (i) (TUA FL (i)), trata da taxa de dados realizada pelo usuário durante o tempo em que este está ativo no *link* direto (*link* direto também conhecido como *forward link* (FL)).

Este *throughput* é obtido pela razão entre o tamanho do pacote pela duração da conexão, ambos para a mesma aplicação (i), ou seja, ambos em estado ativo.

$$TUA_{FL}(i) = \frac{TP(i) * 8}{DC(i)} \quad (11)$$

Onde :

TUA FL (i): *throughput* usuário ativo no *link* direto: *throughput* (Kbps) durante o tempo em que o usuário estava ativo no link direto (*forward link*) para uma aplicação em particular (i);

TP(i) : tamanho do pacote por aplicação (i);

DC(i) : duração da conexão por aplicação (i);

8: transformar o tamanho do pacote TP (i) de Kbytes para Kbits.

Vale destacar que TUA FL(i) difere de TU Kbps essencialmente em função de TUA FL(i) tratar do estado ativo por aplicação (i) e TU Kbps tratar do *throughput* previsto na rede, visualizando o ponto de vista do usuário e seus requisitos.

Quando tratamos de *throughput*, vale também destacar que, comumente as tecnologias *wireless* trabalham com o conceito de canais e portadoras.

A soma das portadoras determina a banda utilizada pela tecnologia. O cálculo do *throughput* de um usuário ativo no *forward link* em Kbps é para uma portadora ativa.

As tecnologias *wireless* prevêem suportar nos seus links diretos *throughputs* que vão de 9,6 Kbps (Ex: taxas de uma rede 2G) até taxas acima de 70 Mbps (Ex: taxas no *WiMax*) de pico. A média desta taxa de transmissão (*throughput* FL) é a taxa em condições aplicáveis considerada como referência nos ensaios da tecnologia a ser dimensionada, por portadora.

O cálculo do número de usuários ativos por aplicação (i) no link direto por portadora ( $N_{UA_{FL}}(i)$ ), é obtido através do *throughput* médio (*throughput* FL) que suporta a tecnologia a ser dimensionada no *link* direto pelo *throughput* de usuários ativos no *link* direto para cada aplicação (i).

$$N_{UA_{FL}}(i) = \frac{\text{Throughput}_{FL}}{TUA_{FL}(i)} \quad (12)$$

Onde:

$N_{UA_{FL}}(i)$ : número de usuários ativos por aplicação (i), que pode ser suportado no link direto;

*Throughput* FL : taxa média de transmissão de dados obtida no *link* direto por tecnologia;

TUA FL: *throughput* (Kbps) durante o tempo em que o usuário estava ativo no *link* direto para uma aplicação em particular (i) por portadora.

Para uma condição onde o usuário drena um tráfego misto das aplicações, o percentual de uso das sessões ativas simultâneas por aplicação (i) (PSU(i)) é identificado pela razão entre a composição do percentual que um cliente ativo usa desta aplicação (i) no misto de sua utilização (q(i)) versus a duração da sessão desta aplicação (i) versus o quanto percentualmente o usuário ficou ativo na sessão por aplicação (i) pela somatória da mesma composição para todas as aplicações (i) que o usuário realiza no *link* direto.

$$PUS(i) = \frac{q(i) * DS(i) * PAS(i)}{\sum_{i=1}^n q(i) * DS(i) * PAS(i)} \quad (13)$$

Onde:

PUS(i): percentual de uso da sessão por tipo de aplicação (i);

q(i): percentual que um cliente ativo poderá usar por aplicação (i) do total de uso das aplicações (i);

DS(i) : duração da sessão por aplicação (i);

PAS(i): percentual de atividade na sessão: quanto percentualmente o usuário ficou ativo na sessão por aplicação (i).

A somatória de  $q(i) \cdot DS(i) \cdot PAS(i)$  para todas as aplicações (i) deve ser igual a 1. Isto garante a razão percentual por uso da sessão por aplicação (i) ( $PSU(i)$ ).

O número total de usuários ativos que podem ser suportados no *link* direto com a mistura de aplicações ( $NTUA_{FL}$ ) é o arredondamento da razão da somatória do número de usuários ativos no *forward link* por aplicação (i) pela soma do percentual de uso da sessão por aplicação (i).

$$NTUA_{FL} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n PUS(i) / NUA_{FL}(i)} \quad (14)$$

Onde:

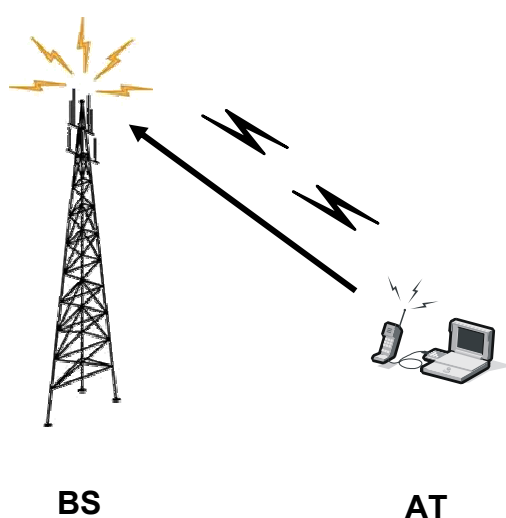
$NTUA_{FL}$ : número total de usuários ativos que podem ser suportados no *link* direto com a mistura de aplicações (i);

$PUS(i)$ : percentual de uso da sessão por tipo de aplicação (i);

$NUA_{FL}(i)$ : número de usuários ativos por aplicação (i) que pode ser suportado no *link* direto.

## 4.2 CAPACIDADE DO *LINK* REVERSO

O *link* direto está na direção da estação do usuário (EU), também conhecida como *access terminal* (AT) para a *base station* (BS), FIGURA 10.



**FIGURA 12 - Direção do *link* reverso**

As tecnologias *wireless* assim como prevêem suportar nos seus *links* diretos *throughputs* que vão de 9,6 Kbps até taxas acima de 70 Mbps de pico por portadora, prevêem também suportar taxas no link reverso (Aydin, 2002) que muitas vezes não seguem a proporcionalidade entre subida e descida deste tráfego. Esta desproporcionalidade ocorre porque a potência utilizada por uma BS é muitas vezes superior a potência de um AT que é utilizado pelo usuário.

Os ensaios e especificações das tecnologias *wireless* prevêm a relação entre o *downlink* e o *uplink*, conhecida como razão entre os *links* direto e reverso por aplicação (i) (RDU (i)).

O *throughput* de usuários ativos no *link* reverso por aplicação (i) (TUA RL (i)), é a razão entre a o tamanho do pacote para a aplicação (i) pela duração da conexão, multiplicada pela RDU, ambas para a aplicação (i). O *link* reverso é também conhecido como *reverse link* (RL).

$$TUA_{RL}(i) = \frac{TP(i) * 8}{RDU(i) * DC(i)} \quad (15)$$

Onde:

TUA RL(i): *throughput* usuário ativo no *link* reverso: *throughput* (Kbps) durante o tempo em que o usuário estava ativo no *link* reverso para uma aplicação em particular (i);

TP(i): tamanho do pacote na chamada: dado em Kbytes por aplicação (i);

8: transformar o tamanho do pacote TP(i) de Kbytes para Kbits;

RDU(i): razão entre os *links* direto e reverso: razão de tráfego entre esses dois *links* para uma aplicação (i);



DC(i): duração da conexão para uma aplicação (i), idem ao calculado para o *link* direto.

O cálculo do número de usuários ativos por aplicação (i) no *link* reverso por portadora (NUA<sub>RL</sub> (i)), é obtido através do *throughput* médio (*throughput* RL) que suporta a tecnologia a ser dimensionada no *link* reverso pela *throughput* de usuários ativos no *link* reverso para cada aplicação (i).

$$NUA_{RL}(i) = \frac{Throughput_{RL}}{TUA_{RL}(i)} \quad (16)$$

Onde:

NUA<sub>RL</sub>(i): número de usuários ativos por aplicação (i), que podem ser suportados no *link* reverso;

*Throughput* RL: *throughput* no *link* reverso: *throughput* médio de transmissão de dados obtida no *link* reverso por tecnologia (Yang, 2001).

TUA RL(i): *throughput* usuário ativo no link reverso: *throughput* (Kbps) durante o tempo em que o usuário estava ativo no *link* reverso para uma aplicação em particular (i).

O número total de usuários ativos que podem ser suportados no *link* reverso com a mistura de aplicações (NTUA RL) é o arredondamento da razão da somatória do número de usuários ativos no *reverse link* por aplicação (i) pela soma do percentual de uso da sessão por aplicação (i).

$$NTUA_{RL} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n PUS(i) / NUA_{RL}(i)} \quad (17)$$

Onde:

NTUA RL: número total de usuários ativos no *link* reverso com a mistura de aplicações;

PUS(i): percentual de uso da sessão por tipo de aplicação (i);

NUA RL(i): número de usuários ativos por aplicação (i), que podem ser suportados no *link* reverso;

### 4.3 CALCULANDO O NÚMERO DE PORTADORAS

Dimensionar o número de portadoras necessárias para suportar todos os usuários na BH, requer conhecer o número de usuários que utilizará a rede, ou seja, a expectativa de vendas (EV) de um provedor de rede de comunicação (normalmente informado pelo marketing como expectativa de venda).

O número de portadoras é o arredondamento da razão da expectativa de venda pela multiplicação do número total de usuários com sessão ativa, em *dormant* e os desconectados (NADD) pela quantidade de setores que haverá por portadora (SPP).

Para se dimensionar o número total de usuários com sessão ativa, em *dormant* e os desconectados (NADD), é necessário dividir o número de usuários com sessão ativa (NA) pelo fator de atividade dos usuários (FA).

Por sua vez, o número de usuários ativos (NA), é a razão entre o mínimo dentre o número de usuários ativos no *link* direto e reverso (NUA FL e NUA RL) denominado de (N) *versus* a somatória de composição do percentual que um cliente ativo usa das aplicações (i) no misto de sua utilização (q(i)) *versus* a duração da sessão desta aplicação (i) *versus* o quanto percentualmente o usuário ficou ativo na sessão por aplicação (i), pelo número de sessões de dados por BH geradas por um usuário ativo (S BH).

$$NA = \frac{N * 3600}{S_{BH} / \sum_{i=1}^n q(i) * DS(i) * PAS(i)} \quad (18)$$

Onde:

NA: número de usuários com sessão ativa: usuários com sessão ativa, ou seja, com IP válido;

N: mínimo entre NUA FL e NUA RL. O limitante é o pior caso, normalmente NUA FL considerando usuários com aplicações que requerem muita taxa de transmissão no *link* direto (Ex.: *video streaming, downloading*) e NUA RL quando se necessita de muita taxa de *uplink* (Ex.: envio de arquivos pelo AT);

NUA FL: número de usuários ativos que podem ser suportados no *link* direto;

NUA RL: número de usuários ativos que podem ser suportados no *link* reverso;

S BH: números de sessões de dados por BH geradas por um usuário ativo;

PAS(i) : percentual de atividade na sessão: quanto percentualmente o usuário ficou ativo na sessão por aplicação (i);

DS(i): duração da sessão por aplicação (i);

Converter a capacidade de usuários ativos na BH para o número total de usuários com sessão ativa, em *dormant* e os desconectados (NADD) :

$$NADD = \frac{NA}{FA} \quad (19)$$

Onde:

NADD: total de usuários, ou seja, todos os ativos mais os em *dormant* mais os desconectados;

NA: número de usuários com sessão ativa: usuários com sessão ativa, ou seja, com IP válido;

FA: fator de atividade na BH: reflete a possibilidade do usuário estar ativo na BH.

Calcular o número total de portadoras necessárias para apoiar o total de usuários:

$$PN = \text{Arredondamento} \left\{ \frac{EV}{NADD * SPP} \right\} \quad (20)$$

Onde:

PN: portadoras necessárias para apoiar o total de usuários;

Arredondamento: arredondamento para cima;

EV: número de usuários na rede (expectativa de vendas de um provedor de rede de comunicação, normalmente informado pelo marketing como expectativa de venda). Total projetado de usuários que necessitam serem suportados na rede;

NADD: total de usuários, ou seja, todos os ativos mais os em *dormant* mais os desconectados;

SPP = setores por portadoras, depende da tecnologia *wireless* a ser empregada.

## 5 APLICAÇÃO DOS MODELOS DE TRÁFEGO NAS INTERFACES AÉREAS

Neste capítulo será aplicado o modelo de tráfego, desenvolvido no Capítulo 3, em uma das tecnologias *wireless*, descrita no Capítulo 2.

Será dimensionada uma rede de acesso aplicando-se o cálculo de interface aérea, desenvolvido no Capítulo 4.

Os valores de entrada a serem utilizados no ensaio são em parte dados disponíveis em catálogos de venda de serviços no mercado, parte da experiência dos provedores de rede de comunicação.

De posse do dimensionamento da capacidade de RF e do número de portadoras, conforme descrito no Capítulo 3, é possível se calcular o número de *base stations* (BS). Este dimensionamento será desenvolvido de modo exclusivo para esta tecnologia *wireless* nesta dissertação.

Será demonstrado a aplicação sobre o modelo proposto, ou seja, realizado um ensaio sobre os valores de entrada, utilizando-se como suporte a base de cálculo proposta, um programa desenvolvido no *software* MatLab versão 6.5, [Capítulo 7; ANEXO A].

O programa permite exercitar o modelo proposto em um provedor de rede de acesso que, por exemplo, deseja projetar sua rede de acesso, podendo para isso realizar outros ensaios. As variáveis podem ser alteradas de acordo com as premissas e expectativas de vendas e de taxa que cada provedor possa

estabelecer. Isto permitirá o dimensionamento correto de suas redes, proporcionando a melhor qualidade pelo menor custo.

Uma vez adotados valores de entrada e realizado o dimensionado da interface aérea, é possível realizar testes práticos sob a cobertura da tecnologia *wireless* dimensionada.

Isto permite, uma vez as premissas adotadas para os serviços e ensaiadas pelo modelo, avaliar se os resultados são compatíveis em campo.

Este capítulo contempla, além do dimensionamento da rede de acesso desta tecnologia, a avaliação dos resultados em campo.

## **5.1 REQUISITOS DO USUÁRIO COMO DADOS DE ENTRADA PARA O MODELAMENTO DE TRÁFEGO**

Baseado na experiência dos provedores de rede de comunicação adotou-se<sup>4</sup> como requisitos dos usuários, o valor de consumo por mês (CM) em 1250 MB/mês. Como referência de mercado, para comparação, a operadora Vivo lançou em 2005 franquias de uso para seus usuários de 1GB/mês (corresponde a 1000 MB/mês), valor muito próximo do que será ensaiado.

---

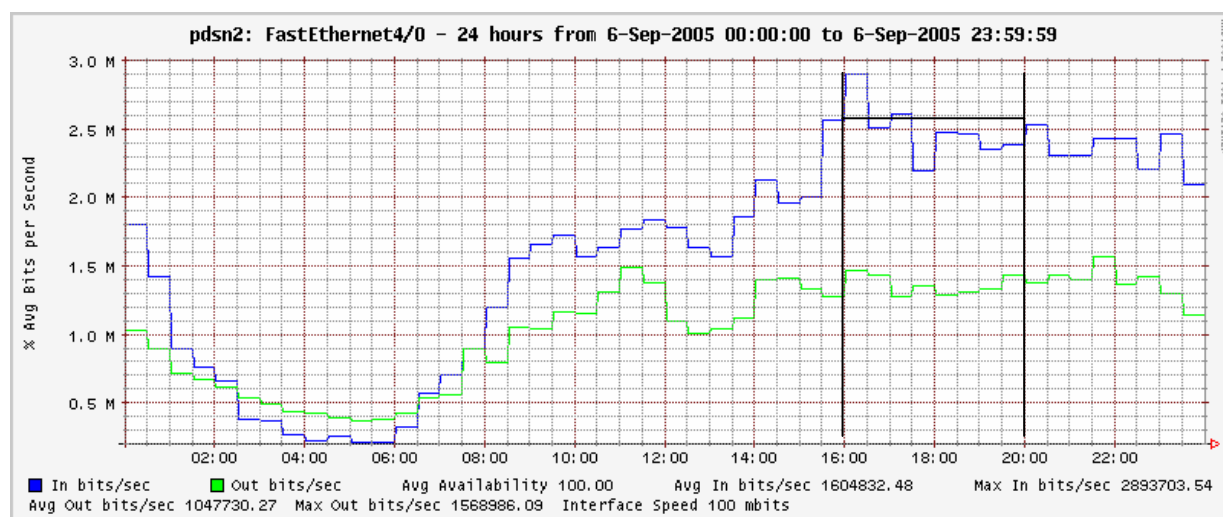
<sup>4</sup> Estes dados são valores estimados e sugeridos que podem ser alterados, dentro do programa no MatLab.



O requisito do usuário dias por mês (DM) será utilizado 22 dias. Este número foi escolhido por representar os dias úteis por mês e espelhar a utilização inicial dos usuários de 3G nas operadoras, ou seja, usuários corporativos.

Como a PDSN é a agregação da rede de acesso, sendo este elemento responsável pela designação do IP público para se conectar na internet, nele está contido contador de tráfego que permitem mensurar o volume de tráfego em Mbps ao longo do dia.

Para o requisito do usuário razão de tráfego na BH (RT), utilizou-se a amostragem da curva de tráfego da operadora Vivo em uma de suas PDSNs durante 24 hs, onde é possível obter-se quais são as horas que compõem a BH do dia.



**Figura 13 - Curva de distribuição do tráfego diário da PDSN Vivo. Medição na entrada de uma das PDSNs da Vivo em bits por segundo ao longo de 24 horas.**

Foi considerado o período entre as 16:00 h e 22:00 h (6 horas) como sendo a composição da BH. A razão de tráfego (RT) é a divisão das 6 horas em relação as 24 horas do dia, correspondendo a 0,25, ou seja, 6/24.

O requisito do usuário fator de atividade (FA) trata do percentual de tempo que este usuário estará em atividade durante a BH. Esta variável influi forte e diretamente na interface aérea e em todo o dimensionamento do modelo de tráfego.

Pode ser ensaiado o usuário utilizando 0,001% a 100% do tempo a interface aérea na BH. Para este modelamento será adotado o valor médio de 50%, ou seja, o usuário estará ativo durante 3 horas (a BH adotada foi de 6 horas).

Devido FA ser uma razão, este requisito do usuário será de 0,5 (FA = 0,5).

Assim, para os requisitos do usuário serão adotados os valores da TABELA 4.

**TABELA 4 - Valores adotados requisitos do usuário**

---

Consumo por mês (CM)	1250 MB/mês
Dias de uso por mês (DM)	22 dias
Razão de tráfego (RT)	0,25
Fator de atividade (FA)	0,5

---

## 5.2 ENSAIO DO MODELO DE TRÁFEGO PELOS REQUISITOS DO USUÁRIO

Todo o dimensionamento neste e nos próximos itens, utilizando o modelo de tráfego e interface aérea, estará baseado nos requisitos e valores adotados na TABELA 4. Uma vez aplicado os testes, contemplando também os requisitos do provedor (aplicações) a ser desenvolvido nos próximos itens, deverá ser obtido em campo o *throughput* ensaiado.

A analogia da taxa de dados por cliente ativo (*throughput*), pode ser feita com o dimensionamento dos circuitos de voz necessários nas redes móveis. Para as redes de voz, a experiência dos provedores de comunicação (estes possuem requisitos específicos e mensurados ou estimam, de acordo com perfil de cada usuário, o tráfego e a performance requerida (TIA, 2001) utiliza o valor de uma a duas chamadas na BH, ou seja, será adotado para um usuário na BH um BHCA de 1,2 chamadas com uma TMR de um minuto por chamada, 60 segundos.

Exemplo para um BHCA de 1,2 chamadas, com um TMR de 60 segundos:

$$TU_{Erl} = \frac{BHCA * TMR}{3600} \quad TU_{Erl} = \frac{1,2 * 60}{3600} \quad TU_{Erl} = 0,020Erl$$

Assim como o TU Erl adotado de 20 mErl por usuário para o serviço de voz, está o TU Kbps para as aplicações de dados. O tempo médio de retenção (TMR) está para a rede de voz em analogia ao fator de atividade (FA) para a rede de dados.

Utilizando-se a TAB. 4, obtêm-se:

$$TU_{kbps} = \frac{CM * RT}{DM * FA} * 2,22 * 10^{-3} [kbps] \quad TU_{kbps} = \frac{1250.000 * 0,25}{22 * 0,5} * 2,223 * 10^{-3}$$

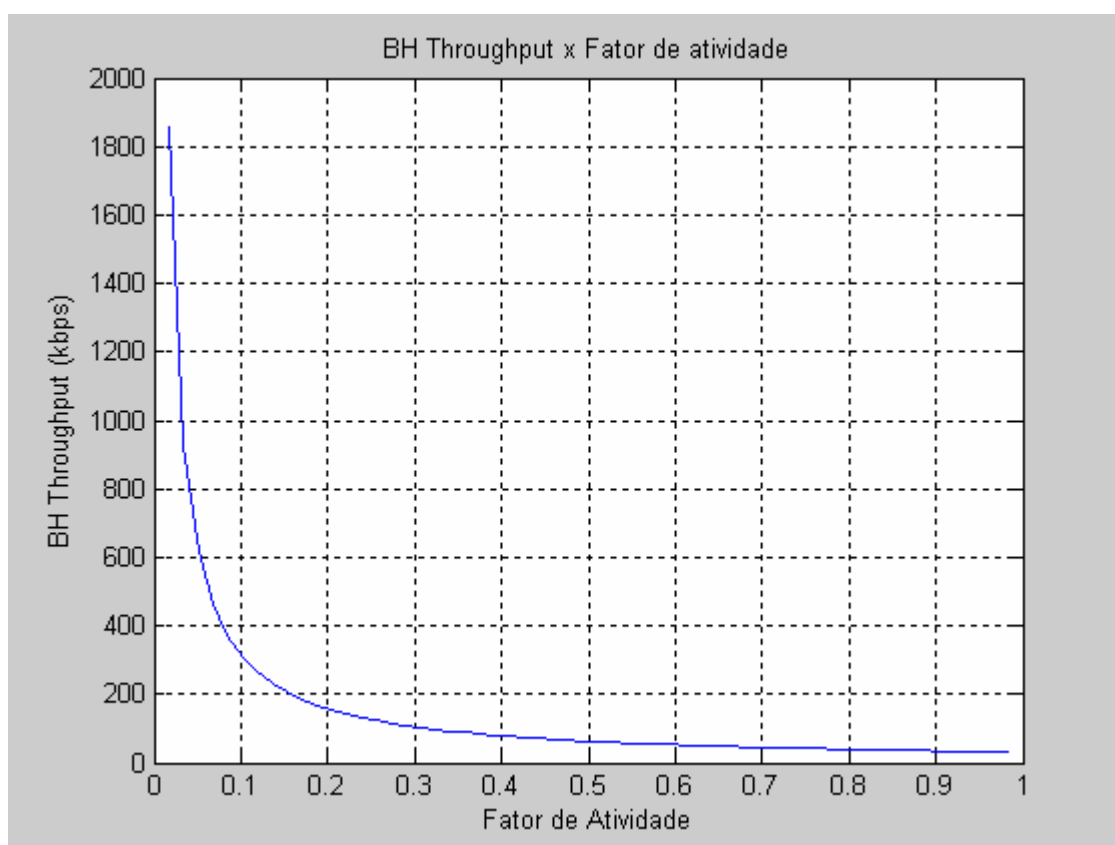
$$TU_{kbps} = 63,13kbps$$

Considerando as aproximações, será arredondado para TU kbps = 64 Kbps. Uma vez calculado o *throughput* do usuário (TU Kbps) é possível a validação dos testes práticos. Para isto é necessário também que sejam adotadas as aplicações a serem utilizadas e executar o modelo de tráfego e interface aérea propostos. Assim, pode-se avaliar em campo, sob a cobertura de uma BS, o resultado encontrado, ou seja, qual o *throughput* encontrado para as aplicações realizadas. Os testes de campo serão desenvolvidos no item 5.9.

O valores de FA=0,5, e conseqüentemente o valor calculado para a *throughput* do usuário de 64 Kbps, trata-se de uma proposta que será desenvolvida por um

cliente ativo na BH. O ensaio deste e de outros valores de entrada são possíveis com o utilização do programa MatLab desenvolvido e disponibilizado como anexo.

Diante desta primeira análise, em que o fator de atividade do tráfego na BH produz forte impacto no dimensionamento, gerou-se a curva do *throughput* pelo FA para visualização deste impacto. Temos pela a FIGURA 14, que o *throughput* apresenta um decaimento suave entre os valores de 0,4 e 0,9 como fator de atividade.



**FIGURA 14 - Distribuição do *throughput* do usuário em função do fator de atividade.**

O fator de atividade  $FA = 0,5$  pode ser obtido também através da FIGURA 14 para TU Kbps de 64 Kbps e vice versa, considerando os valores adotados nas demais variáveis.

### **5.3 Requisitos do provedor como dados de entrada para o modelamento do tráfego**

De forma complementar aos requisitos dos usuários, que foram adotados como entrada vinda particularmente da experiência dos provedores de rede de comunicação, será adotado o requisito do provedor que têm sua entrada baseada nos provedores de serviços, conhecidos também como provedores de conteúdo (aplicações).

**TABELA 5 – Requisitos do provedor: categoria de aplicação**

Application Category Categoria de Aplicação	Near RT Streaming	File Downloading	Web Browsing	Email	Small Transaction *
TP = Tamanho do Pacote (Kbyte)	2400	2000	54	10	0,52
R DU = Razão DU-UL	>100:1	20:1	10:1	5:1	1:1
TL= Tempo de Leitura (séc)	n/a	180	40	60	5,5
PS = Número de Pacotes por Sessão de Dados	1	1	20	10	2

\* As pequenas transações incluem aplicações de cartão de crédito, telemetria, serviços de short message, etc;  
(Lucent, n. 401-614-323)

Há que se considerar que os valores de conteúdo deste modelo de referência, TAB. 5, podem ser alterados se o provedor de rede de comunicação possuir uma referência própria proveniente do uso destes serviços em uma outra rede de dados.

A correlação entre os requisitos dos usuários e do provedor retrata o qual o percentual que um usuário ativo utilizará cada aplicação (q(i)). Esta correlação,

assim como o número das sessões de dados geradas por um usuário ativo na BH (SBH) são adotados na TABELA 6.

**TABELA 6 - Entrada de um modelo de tráfego sobre o uso da interface aérea**

Parâmetros	Significado	Valores Padrão
Seleção de Aplicação por cliente ativo q(i)	Percentual que um cliente ativo poderá usar por aplicação	Vídeo Streaming: 10% Downloading Arquivo: 20% Web Browsing: 30% Email: 30% Small Transaction: 10%
S BH Contagem de Sessão por cliente S bh	Números de sessões de dados por BH geradas por um usuário ativo	1

**(Lucent, n. 401-614-323)**

O valor 1 para S BH demonstra que o durante a BH o usuário abre uma sessão ativa e acessa (conecta-se) as cinco aplicações nos percentuais previstos como q(i) dentro da mesma sessão ativa.

A soma da duração das conexões (DC) nas aplicações provê a duração da sessão ativa (DS).



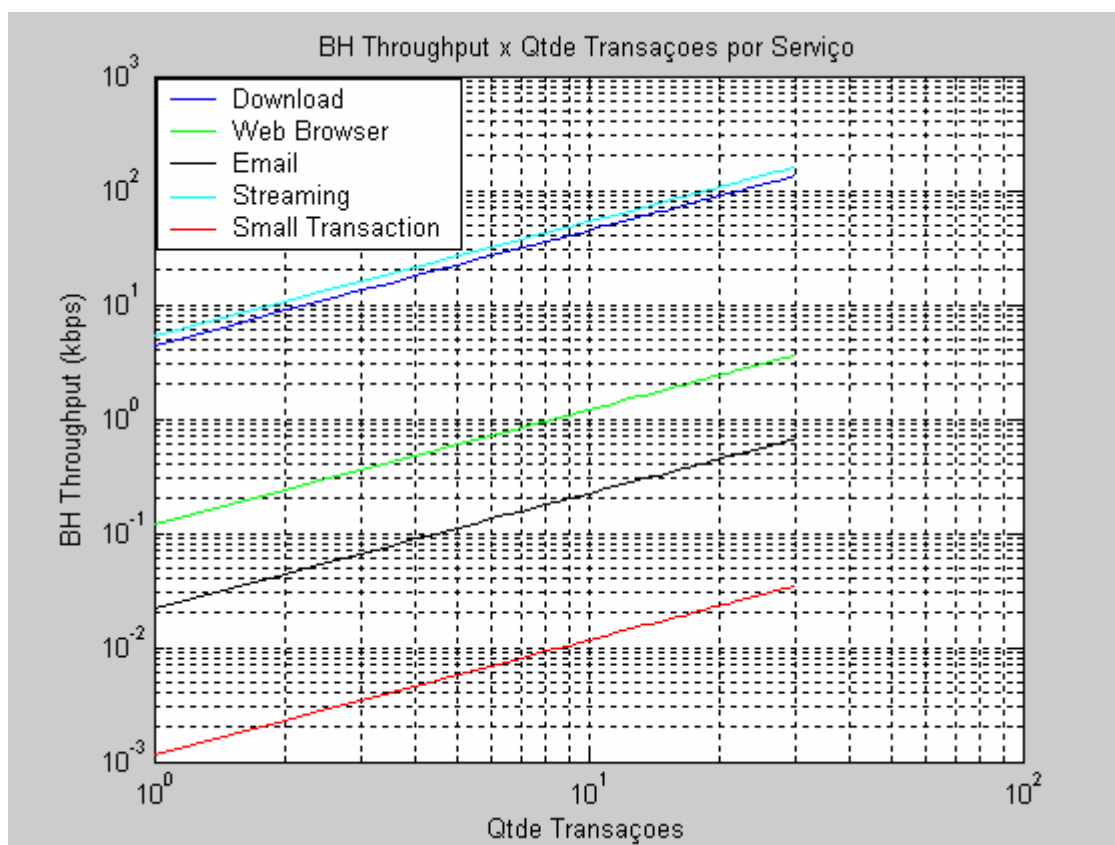
#### 5.4 ENSAIO DO MODELO DE TRÁFEGO PELOS REQUISITOS DO PROVEDOR

O mesmo paralelo entre o modelo de tráfego de circuito TU Erl por TMR, apresentado no item anterior, e o modelo de TU Kbps por FA continuam valendo. Amplia-se então o dimensionamento de uma aplicação única (voz) com o TU Erl para o dimensionamento de várias aplicações TA kbps, ambas na BH.

O número de pacotes por sessão de dados está diretamente relacionado à quantidade de transações na BH. Para obter o *throughput* BH por aplicação (i), gerou-se a curva da FIGURA 15 na BH. No caso foram simulados de 1 a 30 de modo a abranger todos os PSs previstos para as aplicações.

Para isto requer-se a adoção de variáveis da entrada do modelo de tráfego de dados, TABELAS 5 e 6.

A utilização da Equação 3 provê o *throughput* do usuário por aplicação (i).



**FIGURA 15 - Distribuição do BH *throughput* em função da quantidade de transações**

Pela curva da FIGURA 15 - Distribuição do BH *throughput* em função da quantidade de transaçõesBH obtem-se TA Kbps, ou pela fórmula acima temos a TABELA 7.

**TABELA 7 – TU Kbps na BH por aplicação**

Categoria Aplicação	Near RT Streaming (1)	Downloading Arquivo (2)	Web Browsing (3)	Email (4)	Small Transaction (5)
TA (Kbps)	5.33	4.44	3.4	0.22	0.001

Pode-se verificar que a taxa de dados na BH está mais carregada para arquivos sendo descarregados (*download e streaming*) e mais leves para pequenas transações (*small transaction*).

De posse do *throughput* na BH, TU kbps (64 Kbps), das entradas dos valores adotados para os requisitos dos usuários e do provedor, do *throughput* por aplicação TA kbps, a capacidade de tráfego da interface aérea pode então ser dimensionada.

A tecnologia de rede sem fio adotada para ser ensaiada, no modelo proposto na interface aérea, e para ser testada em campo é a tecnologia de terceira geração-3G 1xEVDO revisão 0. Essa tecnologia é capaz de suportar as aplicações de dados, e com ela é possível se obter o valor que se espera como produto desta dissertação.

## 5.5 CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA 1XEV-DO

Assim como todas as interfaces aéreas a serem tratadas, estas contêm particularidades nos aspectos técnicos de suas interfaces e no modo de funcionamento, que são relevantes no dimensionamento.

As características particulares da tecnologia *wireless* 1xEVDO Rev0 serão descritas de forma a subsidiar e servir como entrada nos dados que serão necessários no dimensionamento da interface aérea.

### 5.5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS DE RF NO *LINK* DIRETO (*DOWNLINK*) E *LINK* REVERSO (*UPLINK*)

A taxa de transmissão de dados, em ambas as direções (*links* direto e reverso), são obtidas utilizando protocolos proprietários. Estes protocolos que suportam os *links* direto e reverso, quando avaliados sob a camada de *throughput*, podem ser alcançados sem qualquer implicação no modelo de tráfego (Lucent, 2002).

### 5.5.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O *LINK* DIRETO

Os fluxos resumidos a seguir,

**TABELA 8**, são de taxa de dados (*throughput* FL), obtidos de informações dos provedores de rede de comunicação e de órgãos como o *CDMA development group* (CDG) [<http://www.cdg.org/>], que medem estas taxas de transmissão de dados na avaliação de ATs (Lucent, 2002) e fabricantes de equipamentos da tecnologia.

Vale destacar que no 1xEVDO é o terminal de acesso (AT) quem solicita a taxa a ser utilizada, ou seja, é o AT que pede o *throughput* em que necessita trabalhar. A rede através de seus controles e protocolos avalia a taxa de ruído de RF e busca entregar a taxa solicitada. Em tráfego ocorre um enfileiramento das solicitações dos ATs pela BS (Agashe, 2002).

**TABELA 8 - Taxa de dados no canal direto de RF  
(Protocolo RLP – radio *link* protocol)**

Downlink RF Throughput (Throughput FL - with full mobility*)	
Single AT Receiving Antenna	Dual AT Receiving Antenna
600 Kbps	850 Kbps

\* Mobilidade total refere-se ao caso da cobertura para os ATs tanto em alta velocidade quanto parado. Especificamente para esta mobilidade foi usado o AT 25% parado, 22,5% a 3 Km/h, 30% a 30Km/h e 22,5% a 100 Km/h.

(Lucent, n. 401-614-323)

No 1xEVDO o móvel pode trabalhar com uma antena de recepção (RX) comumente descrita como *single* AT, ou como diversidade de recepção descrita como *dual* AT, ou seja, duas antenas. Se ambos os tipos de ATs estiverem presentes na planta, o *throughput* FL do *downlink* dependerá da mistura destes (média). Considerando que  $x$  é o percentual de ATs com antena com uma diversidade e utilizando-se da taxa de transmissão da TABELA 9, obtemos a média de *throughput* FL.

$$\textit{Throughput}_{FL} = x * 600 + (1 - x) * 850 \quad (21)$$

Onde:

$(x)$  é o percentual de ATs com antena de RX *single*.

### 5.5.1.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LINK REVERSO

O *throughput* no *link* reverso do setor de uma *base station* (BS) depende do número de usuários ativos. Geralmente, é uma curva convexa com o *throughput* máximo conseguido nos usuários 10~12 ativos por setor, TAB. 9. Este é o resultado comum do controle de *link* reverso e da energia a mais imposta pelas ações dos canais de controle do usuário no *link* reverso (Esteves, 2002). A

seguinte tabela mostra o *throughput* no *link* reverso do setor, obtidos através de ensaios nos provedores de rede de comunicação e dos fabricantes de equipamentos da tecnologia.

**TABELA 9 - *Throughput* no *link* reverso de RF com o usuários transmitindo todo o tempo (*throughput reverse link*)**

Número de usuários transmitindo por setor (Nrt)*	<i>Throughput Uplink RF</i>
	<i>Throughput RL (com mobilidade total)</i>
1	110
2	150
4	185
6	205
8	225
10	235
12	235
14	220
16	185
18	150

\* Assume-se que todos os usuários estão transmitindo ativamente sobre o canal de tráfego do *link* reverso todo o tempo. (Lucent, n. 401-614-323)

Tipicamente, haverá uma parcela significativa dos usuários ativos que estarão ociosos todo o momento do tempo, ou seja, sem transmitir dados. Um usuário ocioso é definido como sendo um usuário ativo que tenha uma conexão de RF, mas não tem nenhum tráfego a emitir. Desde que um usuário ocioso necessite manter alguns “canais de cabeçalho” sobre o *link* reverso, este gera a

interferência aos usuários em transmissão e reduz assim o *throughput* no *link* reverso de todos os demais usuários que estejam na cobertura do mesmo setor.

Baseado em estudos de fabricantes e desenvolvedores em 1xEVDO, a geração de cabeçalhos feitos por usuários ociosos remove aproximadamente 2,5% do *throughput* do *link* reverso. Conseqüentemente, se houverem usuários ociosos no *link* reverso em qualquer momento do tempo, o *throughput* no *link* reverso é reduzida por 2.5% (ICC, 2002).

Esta informação é significativa quando os resultados dos ensaios são próximos, porém não são precisos. Nestes casos é de se considerar os 2,5% de redução de *throughput* devido interferência que possa haver sob uma cobertura 1xEVDO.

Para estes períodos em que os usuários ficam ociosos, sem gerar tráfego na interface aérea, dá-se o nome de tempo de dormência, ou *dormant*. Esta é uma das maiores virtudes do CDMA, manter o canal ativo enquanto realmente há necessidade de uso. Este período, nas redes de comunicação em operação, é ajustado normalmente entre 3 a 20 segundos. Este número de *dormant* é também uma orientação dos fabricantes de equipamentos da tecnologia.



### 5.5.1.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA RELACIONADA À INTERFACE AÉREA

Para se calcular o tráfego da interface aérea, além da entrada do modelo de tráfego de dados, dos dados dos requisitos dos usuários e dos provedores de serviço, do *Throughput* na BH, são necessárias também a adoção de algumas variáveis de rede<sup>5</sup>. Para este caso estaremos adotando a tabela:

---

<sup>5</sup> Estas variáveis podem ser alteradas no programa desenvolvido no MatLab, de acordo com o projeto de cada operadora

**TABELA 10 - Adoção de valores as variáveis no dimensionamento da rede 1xEVDO Rev0**

DOR (sec.) <sup>6</sup>	10 Segundos
<i>Throughput FL single (Kbps)</i> <sup>7</sup>	600 kbps
<i>Throughput RL Kbps</i> <sup>8</sup>	110 kbps
<i>SPP</i> <sup>9</sup>	3 setores
<i>TU Kbps</i> <sup>10</sup>	64 kbps
<i>EV</i> <sup>11</sup>	80.000 usuários

---

<sup>6</sup> Pode variar de 3 a 20 segundos;

<sup>7</sup> Depende do tipo de recepção dos ATs utilizados na rede;

<sup>8</sup> Considerando um usuário S(BH) a plena carga;

<sup>9</sup> Configuração padrão;

<sup>10</sup> Calculado;

<sup>11</sup> Usuários que utilizarão a rede uniformemente. Base de usuários.

## 5.6 DIMENSIONAMENTO DO LINK DIRETO PARA 1xEVDO

Para o dimensionamento da capacidade do *link* direto na tecnologia 1xEVDO Rev0, utilizaremos o Capítulo 4 como referência.

As variáveis a serem utilizadas estão justificadas nos itens e tabelas anteriores, presentes neste capítulo, e serão apenas mencionadas como referências, de forma a não se tornarem repetitivas.

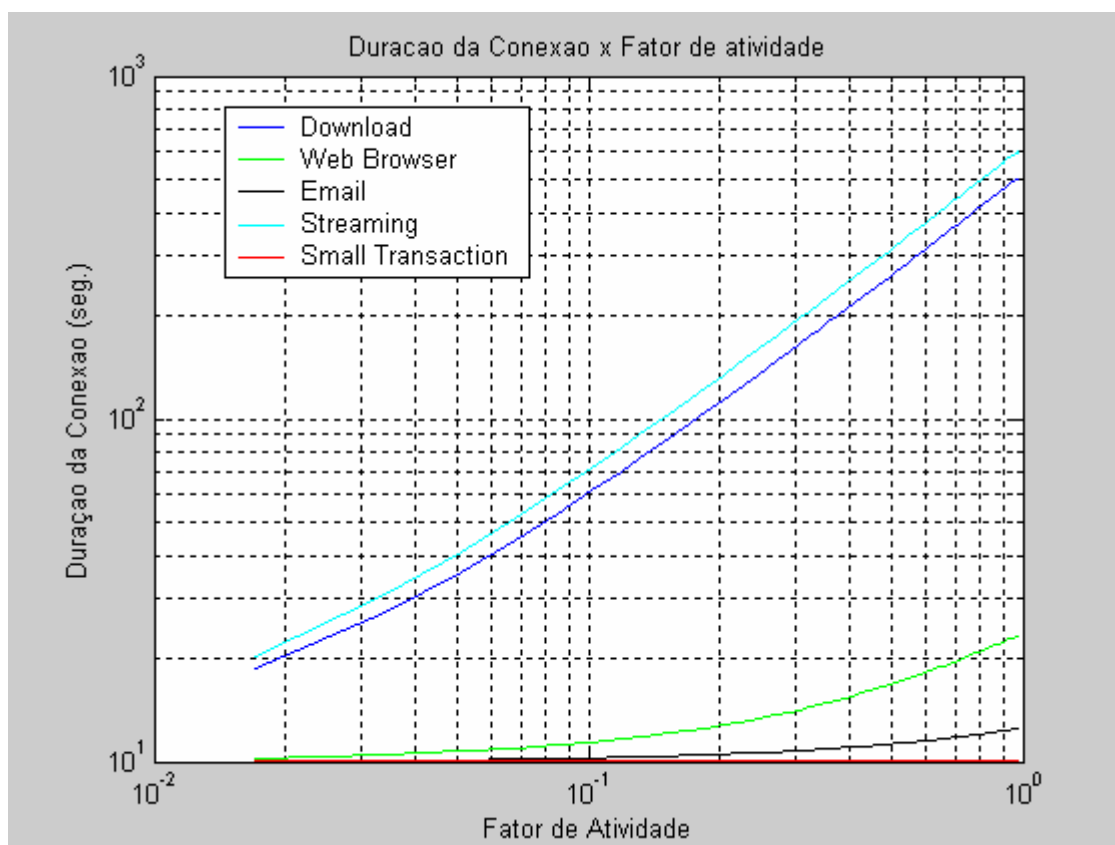
### 5.6.1 DIMENSIONAMENTO DA DURAÇÃO DA CONEXÃO POR APLICAÇÃO (DC(I))

Para uma aplicação particular (i), a duração da conexão no *link* direto (DC) é calculada pela Equação 8.

As variáveis da entrada serão adotadas no modelo de tráfego de dados, TAB. 5 .

Assim gerando a curva da FIG. 16, podemos obter a duração da conexão por aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio.

Pode-se obter através da FIG. 16 ou pela Equação 8 pelo FA=0,5 os valores da duração da conexão (DC) por aplicação.



**FIGURA 16 - Distribuição da duração da conexão em função do fator de atividade**

**TABELA 11- Duração da conexão no PMM por aplicação**

Aplicação	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
Duração da Conexão (sec) = (DC)	310,00	260,00	16,75	11,25	10,07

## 5.6.2 DIMENSIONAMENTO DA DURAÇÃO DA SESSÃO POR APLICAÇÃO (DS(I))

Para uma aplicação particular (i), a duração da sessão no *link* direto para uma aplicação (i) (DS(i)), calculado pela Equação 9.

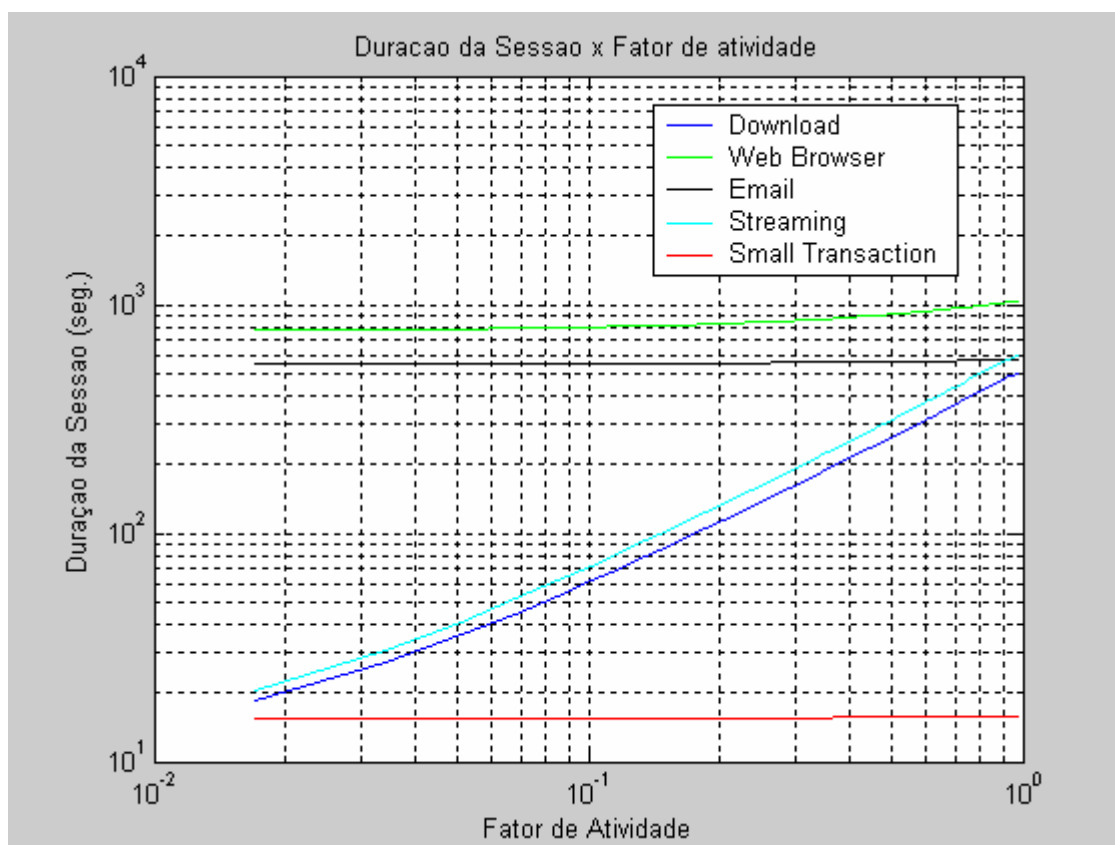
As variáveis da entrada serão adotadas no modelo de tráfego de dados, TAB. 5. Para o cálculo da variável estado ativo por aplicação (i) (EA(i)), é necessário desenvolver a Equação 7.

**TABELA 12 - Distribuição do estado ativo por aplicação**

	<i>Stream</i>	<i>Download</i>	<i>Web Br</i>	<i>Email</i>	<i>Small T</i>
<i>EA(i)</i>	300	250	6,75	1,25	0,065

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter a Duração da Sessão por Aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio.

Pode-se obter através da FIGURA 17 ou pela Equação 9 pelo FA=0,5 os valores da duração da sessão por aplicação (DS(i)).



**FIGURA 17 - Distribuição da duração da sessão em função do fator de atividade**

**TABELA 13 - Duração da sessão no PMM por aplicação**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
<b>Duração da Conexão (sec) = DC(i)</b>	310,00	260,00	16,75	11,25	10,07
<b>Duração da Sessão (sec) = DS(i)</b>	310,00	260,00	905,00	562,50	15,63

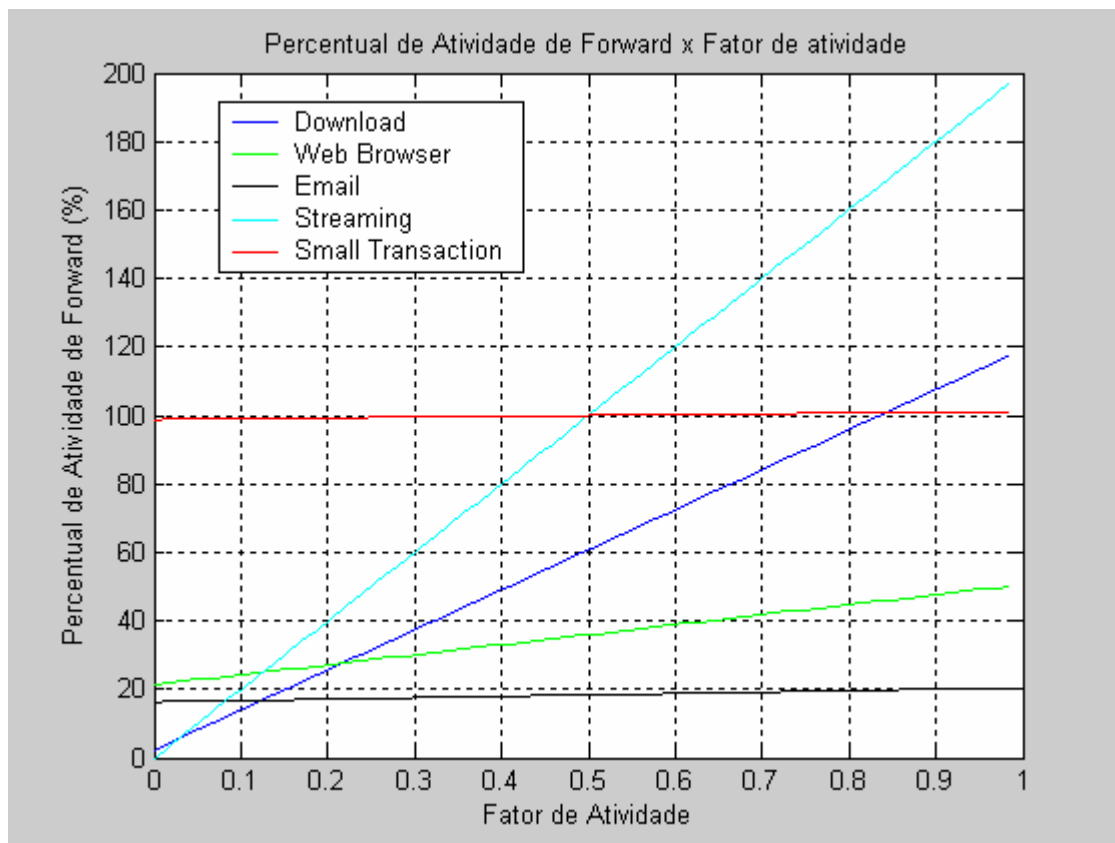
### 5.6.3 DIMENSIONAMENTO DO PERCENTUAL DE ATIVIDADE NA SESSÃO POR APLICAÇÃO (PAS(I))

O percentual de atividade na sessão por aplicação (PAS(i)), retrata o quanto percentualmente o usuário ficou ativo na sessão no *link* direto, calculado pela Equação 10.

As variáveis da entrada serão adotadas no Modelo de Tráfego de dados, TABELAS 5 e 12, além de DOR que adotou-se 10 seg. neste mesmo capítulo.

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter o percentual de atividade na sessão por aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio.

Pode-se obter através da FIGURA 18 ou pela Equação 10 pelo FA=0,5 os valores da duração da sessão por aplicação (DS(i)).



**FIGURA 18 - Distribuição do percentual de atividade da sessão (*forward*) em função do fator de atividade**

**TABELA 14 - Duração percentual da aplicação ativa na sessão no PMM (padrão utilizado)**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
<b>Duração da Conexão (sec) = DC(i)</b>	310,00	260,00	16,75	11,25	10,07
<b>Duração da Sessão (sec) = DS(i)</b>	310,00	260,00	905,00	562,50	15,63
<b>Percentual de Atividade na Sessão (%)= PAS(i)</b>	100%	60%	36%	18%	100%



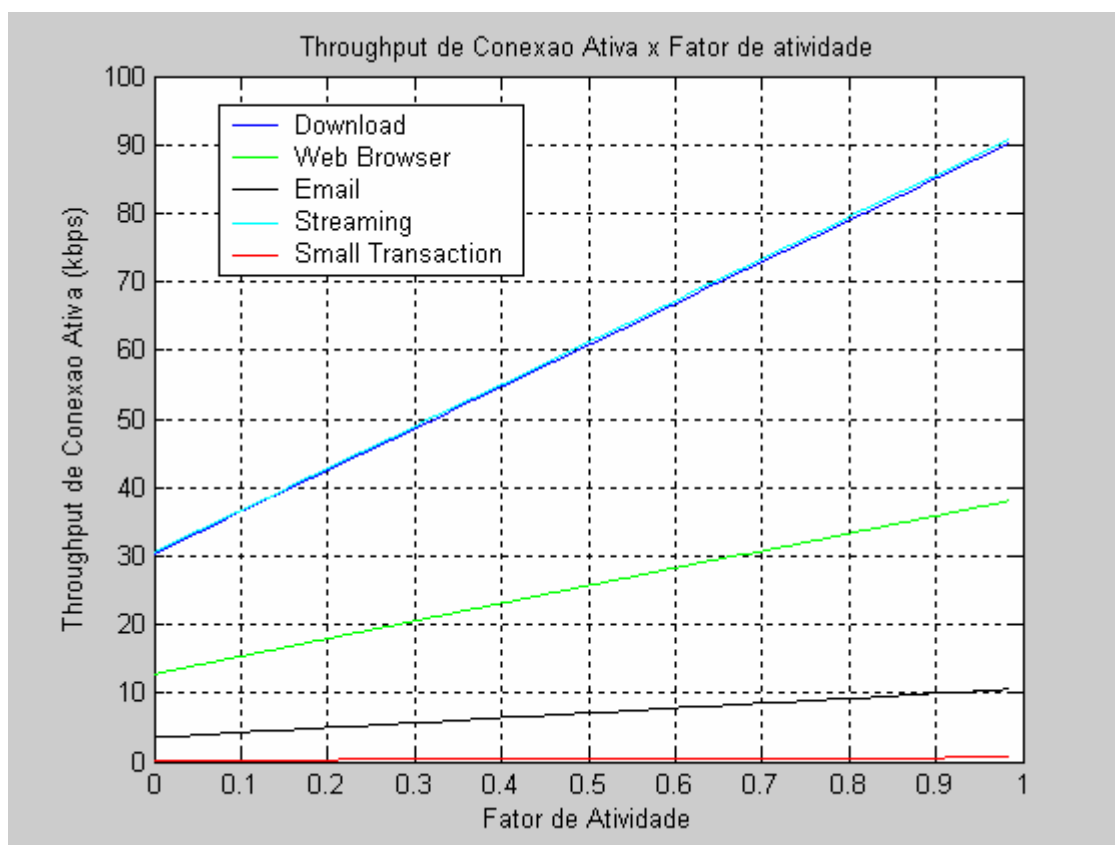
#### 5.6.4 DIMENSIONAMENTO DO *THROUGHPUT* DE UM USUÁRIO ATIVO POR APLICAÇÃO (TUA FL(I))

Para uma aplicação particular (i), cálculo de *throughput* de um usuário durante o tempo em que estava ativo no *link* direto (TUA FL(i)), calculado pela Equação 11:

As variáveis da entrada serão adotadas no modelo de tráfego de dados, TABELA 5 e 11.

Assim gerando a curva da FIGURA 17, podemos obter o *throughput* de usuário ativo por aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio no *link* direto.

Pode-se obter através da FIGURA 19 ou pela Equação 11 pelo FA=0,5 os valores *throughput* de usuário ativo por aplicação (TUA FL(i)).



**FIGURA 19 - Distribuição do *throughput* (Kbps) de uma conexão ativa em função do fator de atividade**

**TABELA 15 - Taxa de dados de uma conexão ativa no PMM por aplicação**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
<b>Duração da Conexão (sec) = DC(i)</b>	310,00	260,00	16,75	11,25	10,07
<b>Duração da Sessão (sec) = DS (i)</b>	310,00	260,00	905,00	562,50	15,63
<b>Percentual de Atividade na Sessão (%)=PAS(i)</b>	100%	60%	36%	18%	100%
<b>Throughput de Usuário Ativo (Kbps) = TUA FL (i)</b>	61,9	61,5	25,8	7,1	0,4

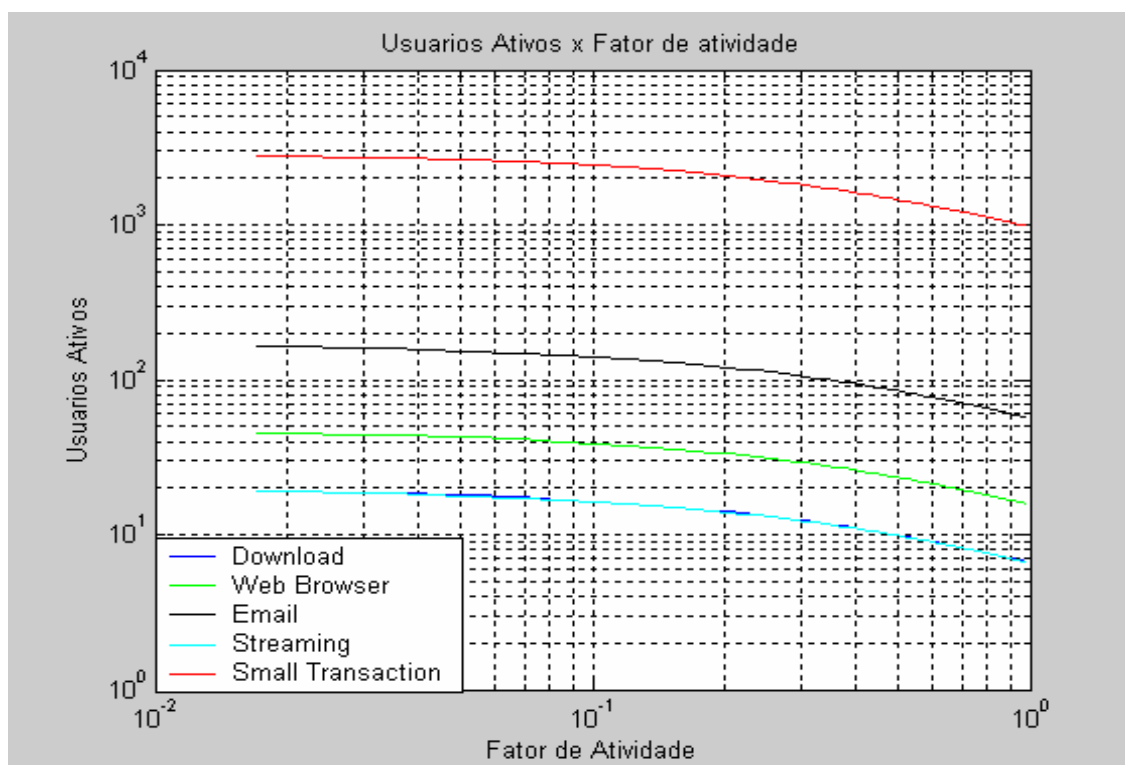
### 5.6.5 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE USUÁRIOS ATIVOS POR APLICAÇÃO (NUA FL(I))

Para uma aplicação particular (i), cálculo do número de um usuários ativos no *link* direto (NUA FL(i)), calculado pela Equação 12.

As variáveis da entrada serão adotadas da TABELA 15 e o *throughput* FL single (Kbps) = 600, descrito neste capítulo.

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter o número de usuário ativos por aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio.

Pode-se obter através da FIG. 20 ou pela Equação 12 pelo FA=0,5 os valores número de usuários ativo por aplicação (NUA FL(i)).



**FIGURA 20 - Distribuição dos usuários ativos em função do fator de atividade**

**TABELA 16 - Número de usuários ativos no PMM por aplicação**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
<b>Duração da Conexão (sec) = DC(i)</b>	310,00	260,00	16,75	11,25	10,07
<b>Duração da Sessão (sec) = DS(i)</b>	310,00	260,00	905,00	562,50	15,63
<b>Percentual de Atividade na Sessão (%)=PAS(i)</b>	100%	60%	36%	18%	100%
<b>Throughput de Usuário Ativo (Kbps) = TUA FL (i)</b>	61,9	61,5	25,8	7,1	0,4
<b>Número de Usuários Ativos = NUA(i)</b>	9,7	9,8	23,3	84,4	1451,7

### 5.6.6 DIMENSIONAMENTO DA PORCENTAGEM DE USO DA SESSÃO POR APLICAÇÃO (PUS(I))

Para uma aplicação particular (i), cálculo da percentagem de uso da sessão no *link* direto por aplicação (PUS(i)), Equação 13 é para uma condição onde o usuário drena um tráfego misto das aplicações e as sessões ativas simultâneas de dados necessitam serem identificadas.

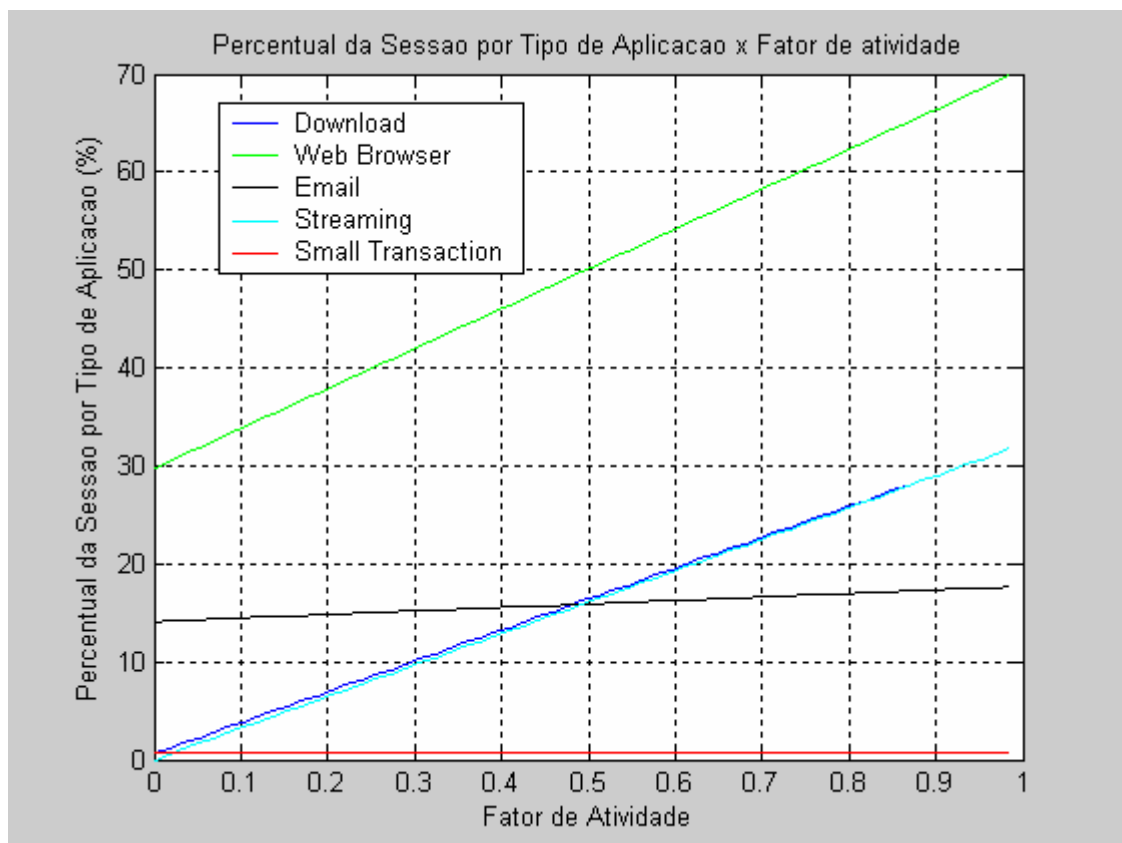
$$PUS(i) = \frac{q(i) * DS(i) * PAS(i)}{\sum q(i) * DS(i) * PAS(i)} \quad (13)$$

As variáveis são obtidas:

- ✓ q por aplicação (i) através da TAB. 6;
- ✓ DS por aplicação (i) através da TAB. 13;
- ✓ PAS por aplicação (i) através da TAB. 14.

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter o percentual de uso da sessão por tipo de aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio.

Pode-se obter através da FIG. 21 ou pela Equação 13 pelo FA=0,5 os valores número de usuários ativo por aplicação (PUS(i)).



**FIGURA 21 - Distribuição do percentual de uso da sessão por tipo de aplicação em função do fator de atividade**

**TABELA 17 - Percentual de uso da sessão no PMM por aplicação (padrão utilizado)**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T	Somatória
<b>Duração da Conexão (sec) = DC(i)</b>	310,00	260,00	16,75	11,25	10,07	
<b>Duração da Sessão (sec) = DS(i)</b>	310,00	260,00	905,00	562,50	15,63	
<b>Percentual de Atividade na Sessão (%)=PAS(i)</b>	100%	60%	36%	18%	100%	
<b>Throughput de Usuário Ativo (Kbps) =TUA FL (i)</b>	61,9	61,5	25,8	7,1	0,4	
<b>Número de Usuários Ativos =NUA(i)</b>	9,7	9,8	23,3	84,4	1451,7	
<b>q(i) * DS(i) * PAS(i)= Fator facilitador cálculo</b>	31,00	31,44	97,28	30,99	1,56	<b>192,28</b>
<b>Percentual de Uso da Sessão (%)=PUS(i)</b>	0,161	0,164	0,506	0,161	0,008	<b>1,00</b>

### 5.6.7 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO TOTAL DE USUÁRIOS ATIVOS COM MISTURA DE APLICAÇÕES (NTUA FL)

Para a mistura de aplicações, o cálculo do número total de um usuários ativos no *link* direto (NTUA FL(i)), calculado pela Equação 14.

As variáveis são obtidas:

- ✓ PUS por aplicação (i) através da TAB. 7 ;
- ✓ NUA por aplicação (i) através da TAB. 15.

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter o número de usuários ativos com mistura de aplicações para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio.

Pode-se obter através da FIG. 22 ou pela Equação 14 pelo  $FA=0,5$  os valores número de usuários ativo por aplicação (NTUA FL).



**FIGURA 22 - . Distribuição número de usuários ativos com a mistura de aplicações em função do fator de atividade**



**TABELA 18 - Número de usuários ativos com a mistura de aplicações no PMM por aplicação (padrão utilizado)**

	Strea m	Download	Web Br	Email	Small T	Somatória
<b>Duração da Conexão (sec) =DC(i)</b>	310,00	260,00	16,75	11,25	10,07	
<b>Duração da Sessão (sec) =DS(i)</b>	310,00	260,00	905,00	562,50	15,63	
<b>Percentual de Atividade na Sessão (%)=PAS(i)</b>	100%	60%	36%	18%	100%	
<b>Throughput de Usuário Ativo FL (Kbps) =TUA FL (i)</b>	61,9	61,5	25,8	7,1	0,4	
<b>Número de Usuários Ativos FL=NUA(i)</b>	9,7	9,8	23,3	84,4	1451,7	
<b>Q(i) * DS(i) * PAS(i) =Fator facilitador cálculo</b>	31,00	31,44	97,28	30,99	1,56	<b>192,28</b>
<b>Percentual de Uso da Sessão (%)=PUS(i)</b>	0,161	0,164	0,506	0,161	0,008	<b>1,00</b>
<b>Número Total de Usuários Ativos com mix i=NTUA(i)</b>	0,0166	0,0167718	0,021747	0,001911	5,6E-06	<b>18</b>

43

Com isto finaliza-se o cálculo no *link* direto. Considerando as premissas adotadas ao modelo, pode-se ter 18 usuários (número deve ser arredondado) com a mistura de aplicações no *link* direto.

## 5.7 DIMENSIONAMENTO DO *LINK* REVERSO PARA 1xEVDO REV0

Para o dimensionamento da capacidade do *link* reverso na tecnologia 1xEVDO Rev0, utilizaremos o Capítulo 4 como referência.

As variáveis a serem utilizadas estão justificadas nos itens e tabelas anteriores, presentes neste capítulo, e serão apenas mencionadas como referências, de forma a não se tornarem repetitivas.

### 5.7.1 DIMENSIONAMENTO DO *THROUGHPUT* DE UM USUÁRIO ATIVO POR APLICAÇÃO (TUA RL(I))

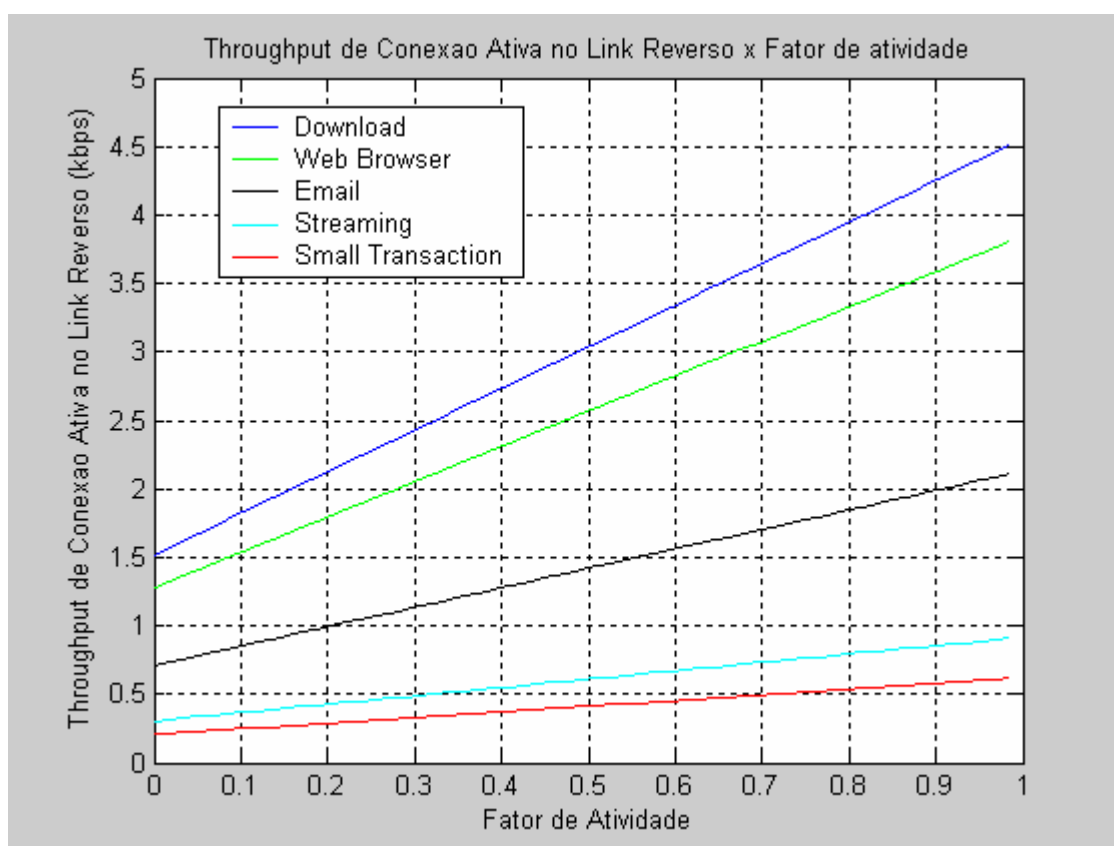
Para uma aplicação particular (i), cálculo de *throughput* de um usuário durante o tempo em que estava ativo no *link* reverso (TUA RL(i)), calculado pela Equação 15.

As variáveis são obtidas:

- ✓ TP e RDU, por aplicação (i) através da TAB. 5;
- ✓ DC para a aplicação (i) através da TAB. 11.

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter o *throughput* de usuário ativo por aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio no *link* reverso.

Pode-se obter através da FIGURA 23 ou pela Equação 15 pelo FA=0,5 os valores *throughput* de usuário ativo por aplicação (TUA RL(i)).



**FIGURA 23 - Distribuição *throughput* de um usuário ativo no link reverso em função do fator de atividade**

**TABELA 19 - Distribuição *throughput* de um usuário ativo no link reverso no PMM por aplicação (padrão utilizado)**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
<b>Throughput de Usuário Ativo RL (Kbps)=TUA RL (i)</b>	0,619	3,077	2,579	1,422	0,413

### 5.7.2 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE USUÁRIOS ATIVOS POR APLICAÇÃO (NUA RL(I))

Para uma aplicação particular (i), cálculo do número de um usuários ativos no *link* reverso (NUA RL(i)), calculado pela Equação 16.

As variáveis são obtidas:

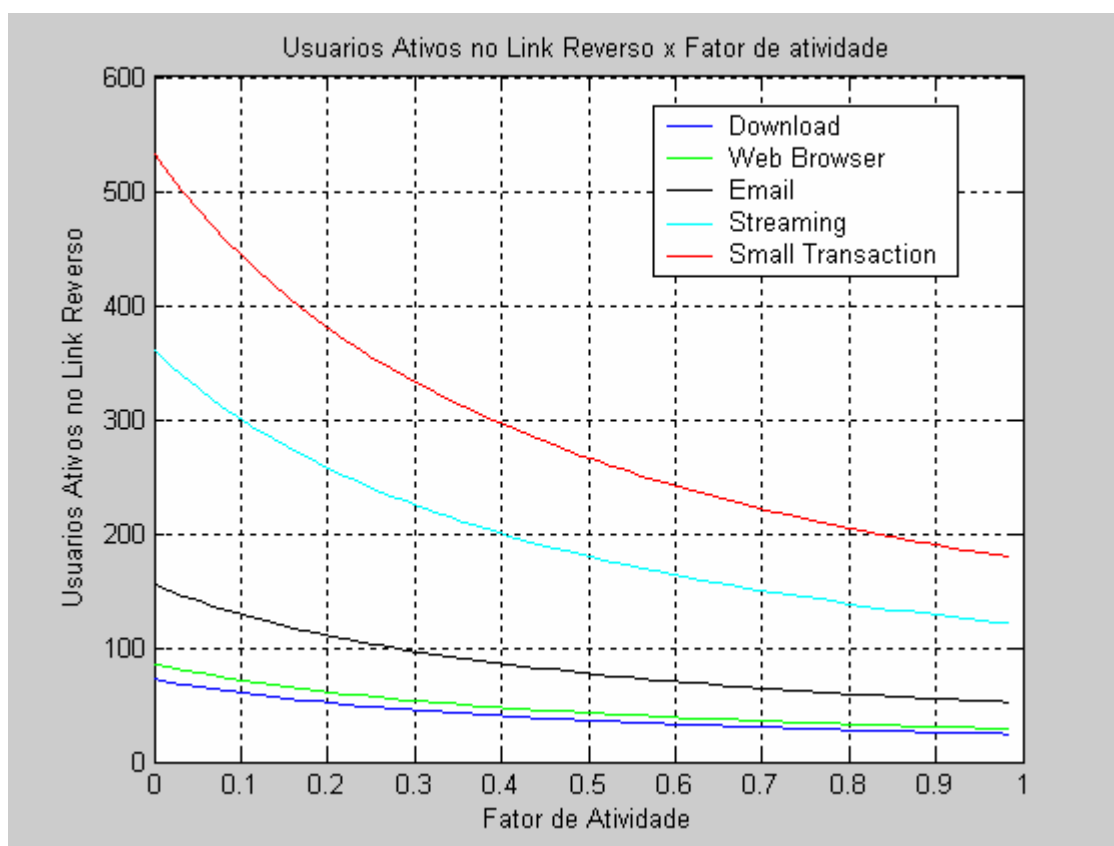
- ✓ *Throughput* RL =110 Kbps para um usuário, foi descrita na nota <sup>12</sup>;
- ✓ *TUA RL* por aplicativo (i) através TAB. 9.

---

<sup>12</sup> Considerando um usuário S(BH) a plena carga;

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter o número de usuário ativos por aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio no *link* reverso.

Pode-se obter através da FIGURA 24 ou pela Equação 16 pelo FA=0,5 os valores número de usuários ativo por aplicação (NUA RL(i)).



**FIGURA 24 - Distribuição número de usuários ativos por aplicação no *link* reverso em função do fator de atividade**

**TABELA 20 - Distribuição número de usuários ativos no *link* reverso na BH por aplicação**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
<b>Throughput de Usuário Ativo RL (Kbps)=TUA RL(i)</b>	0,619	3,077	2,579	1,422	0,413
<b>Número de Usuários Ativos RL=NUA RL(i)</b>	177,6	35,8	42,7	77,3	266,1

### 5.7.3 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO TOTAL DE USUÁRIOS ATIVOS (NTUA RL)

Para uma mistura de aplicações, o cálculo do número total de usuários ativos no *link* reverso (NUA RL), calculado pela Equação 17.

As variáveis PUS e NUA RL para as aplicações (i) foram calculadas e podem ser encontradas nas TABELAS 7 e 5 respectivamente.

Assim gerando a curva da FIG. 17, podemos obter o número total de usuário ativos por mistura de aplicação para o fator de atividade de 0,5 deste ensaio no *link* reverso.

Pode-se obter através da FIGURA 25 ou pela Equação 17 pelo  $FA=0,5$  os valores número de usuários ativo por aplicação (NUA RL).



**FIGURA 25 - Distribuição número de usuários ativos no *link* reverso com a mistura de aplicações em função do fator de atividade**

**TABELA 21 - Distribuição número de usuários ativos no *link* reverso com a mistura de aplicações no PMM (padrão utilizado)**

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T	
<b>Throughput de Usuário Ativo RL (Kbps)=TUA RL (i)</b>	0,619	3,077	2,579	1,422	0,413	
<b>Número de Usuários Ativos RL=NUA RL(i)</b>	177,6	35,8	42,7	77,3	266,1	
<b>Número Total de Usuários Ativos com mix i= NTUA RL</b>	0,000908	0,004574	0,011862	0,002084	3,05E-05	<b>51</b>

Assim finaliza-se o cálculo no *link* reverso. Considerando as premissas adotadas ao modelo podemos ter 51 usuários (número deve ser arredondado) com a mistura de aplicações no *link* reverso.

## **5.8 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE PORTADORAS PARA 1xEVDO**

Para o dimensionamento do número de portadoras na tecnologia 1xEVDO, utilizaremos o Capítulo 4 como referência.



As variáveis a serem utilizadas estão justificadas nos itens e tabelas anteriores, presentes neste capítulo, e serão apenas mencionadas como referências, de forma a não se tornarem repetitivas.

### **5.8.1 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE USUÁRIOS COM SESSÃO ATIVA (NA)**

Durante a sessão, o AT pode estar numa conexão de RF ativa com o BS, como também pode estar em *dormant*. O cálculo do número de usuários como sessão ativa (NA), trata dos usuários que estão trafegando dados, calculado pela Equação 18.

A variável N (mínimo entre NTUA FL=18, TAB. 8, e NTUA RL=51, TAB. 11) no exemplo em desenvolvimento é 18;

A variável S BH=1 usuário, definido através TAB. 6;

A  $\sum q(i) * PAS(i) * DS(i)$  está demonstrada na TAB. 7 e apresenta o valor de 192,28.

Aplicando-se a Equação 18: NA = 337 (Número de usuários com sessão ativa, ou seja, IP válido)

### 5.8.2 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO TOTAL DE USUÁRIOS COM SESSÃO ATIVA, *DORMANT* E DESCONECTADOS (NADD)

Converter a capacidade de usuários ativos no BH para o número total de usuários ativos mais os em *dormant* mais os desconectados (NADD), calculado pela Equação 19.

A variável  $NA = 337$ , calculada no item anterior. A variável  $FA$  trata-se do fator de atividade = 0,5.

Aplicando-se a Equação 19:  $NADD = 674$  (Total de usuários: ativos + *dormant* + desconectados)

### 5.8.3 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE PORTADORAS NECESSÁRIAS (PN)

Calcular o número total de portadoras necessárias (PN) para apoiar o total de usuários 1xEV-DO, usando a Equação 20.

A variável  $EV = 80.000$  usuários e  $SPP = 3$  foram descritos nas notas <sup>13</sup> e <sup>14</sup> respectivamente. A variável  $NADD = 674$  foi calculada no item anterior.

---

<sup>13</sup> Usuários que utilizarão a rede uniformemente. Base de usuários.

<sup>14</sup> Configuração padrão;

Aplicando-se a Equação 20:  $PN = 40$  (Portadoras EVDO com 3 setores, considerando tráfego uniforme)

#### 5.8.4 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE *BASE STATION* (BS)

Adicionalmente a teoria dos Capítulos 3 e 4, serão desenvolvidas o cálculo de *base station* (BS), de modo a finalizar toda a rede de acesso (AT, RF e BS) para um sistema 1xEVDO.

Para o desenvolvimento inicial de um sistema 1xEV-DO, cada *base station* deverá ser configurada para apoiar uma portadora 1xEVDO. Então, para apoiar todo o tráfego da rede, o total de *base stations* são dimensionadas seguindo esta proporcionalidade (Lucent, 2002).

O número de estações radio base pode ser considerado igual ao número de portadores, conforme Equação 22.

$$ERB = PN \quad (22)$$

A variável  $PN = 40$  portadoras foi calculada no item anterior.

Aplicando-se a Equação 22: São  $ERB = 40$  sites necessários para suportar com uma portadora os 80.000 usuários, considerando os requisitos de usuário e do provedor com as respectivas aplicações e utilização.

A Equação 22 foi considerada na proporção 1:1 nesse *case*, porém numa região de grande concentração, poderá haver 20 ERBs com 2 portadoras, totalizando as mesmas 40 portadoras. A concentração de usuários e a distribuição das células passam a ser preponderante na prospecção do sinal e conseqüentemente na forma como se apresentará o projeto de RF final.

Com isto finaliza-se a demonstração prática com os resultados obtidos no dimensionamento, utilizando-se o modelo de tráfego e de interface aérea para uma rede 1xEVDO Rev0 na rede de acesso, com suporte do programa MatLab.

Outras simulações podem ser feitas de acordo com as entradas dos respectivos requisitos dos usuários e dos provedores de serviço utilizando-se o modelo de tráfego.

Para o caso de se simular a interface aérea de outras tecnologias, deverá ser considerada suas particularidades, principalmente dos *links* direto e reverso, idem ao realizado na aplicação para 1xEVDO Rev0.

Para que isso seja possível, o programa no MatLab (ANEXO A) irá suportar estas entradas e proverá com resultados as premissas que forem inseridas.

## 5.9 TESTES DE *THROUGHPUT* REALIZADO EM CAMPO PARA O ENSAIO EM 1xEVDO

O cenário de teste foi montado de forma ensaiar um usuário utilizando um computador (*lap top*) com uma placa PCMCIA habilitada na operadora móvel Vivo - 1xEVDO.

O usuário utilizando o *lap top*, passa a acessar as aplicações (*i=streaming, download, web, e-mail e small transaction*) dos provedores de serviço que estão na internet, vide FIGURA 26.

A interface aérea (RF) utilizada é a mesma proposta na análise de dimensionamento deste capítulo, ou seja, realizado sob a cobertura de uma *base station* (BS) 1x EVDO.

As BS das redes de comunicação estão conectadas no elemento que compõe a *radio access network* (RAN) denominado *access node* (AN) [[www.3GPP2.com](http://www.3GPP2.com)]. O AN executa um papel similar as *base stations controler* (BSC) na rede de comutação a circuito que agregam as ERBs de voz numa rede *wireless*.

A seqüência da conexão passa pelo *Core*, atribuindo um IP através do *packet distribution service node* (PDSN), elemento responsável por esta atribuição numa rede CDMA.

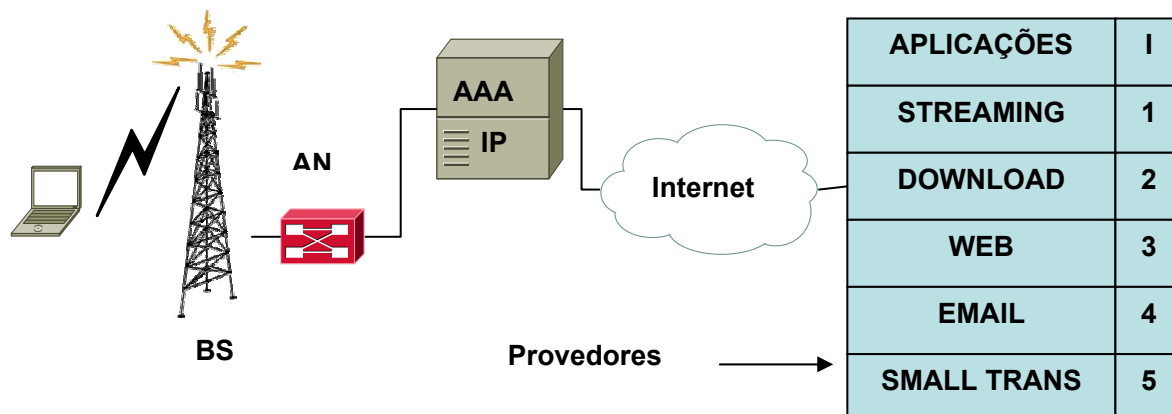
Para que o usuário possa conectar-se na internet, com o IP atribuído pelo PDSN, é necessária a autenticação, verificação no banco de dados do AAA se o usuário existe e se está permitindo a conexão na rede de comunicação. A autorização está prevista dentro da autenticação da conexão. Uma vez vencida estas etapas (autenticação e autorização), o usuário pode acessar a internet, pois o AAA estará monitorando o tráfego gerado pelo usuário de modo que se possa gerar a contabilização dos pacotes (em *bytes*) oriundos deste tráfego. Esta contabilização (*account*) possibilita a emissão de cobrança de uso do Serviço.

Finalizado o processo de *authentication*, *authorization* e *account* (AAA) e com IP que seja válido como provedor de internet, o usuário pode acessar as aplicações.

Na internet estão os provedores que possuem as aplicações, objetivo a ser alcançado pelo usuário. As aplicações e os respectivos sites utilizados nos testes estão detalhados:

- *Streaming*: utilizado o site [www.tv.terra.com.br](http://www.tv.terra.com.br), monitorado pelo dial up do *Windows* até o tamanho do pacote previsto;
- *Download*: utilizado o site [www.baixaki.com.br](http://www.baixaki.com.br), e realizado *download* com monitoração pelo *dial up* do *Windows* até o tamanho do arquivo previsto;
- *Web*: navegado nos sites [www.terra.com.br](http://www.terra.com.br); [www.folha.com.br](http://www.folha.com.br); [www.estadao.com.br](http://www.estadao.com.br), alternando de acordo com tempos estabelecidos;
- *E-mail*: enviado *e-mail* do site da Vivo para site da Ig, o número de transações previsto, com leitura;

- *Small transaction*: entrada no Banco Bradesco e realizadas pequenas transações como visualização de saldo.



**FIGURA 26 - Cenário de teste**

No ensaio foi considerado o modelo de tráfego para um (1) usuário (tabela abaixo), com o objetivo de executar as mesmas quantidades de utilização de cada aplicação, buscando trafegar volumes aproximados de dados (kbytes) para cada aplicação, idem aos demonstrados como entrada dos requisitos do provedor.

O tempo de leitura também foi considerado, de forma que, a cada uso de aplicação, houve a espera correspondente para se fazer novo uso da aplicação.

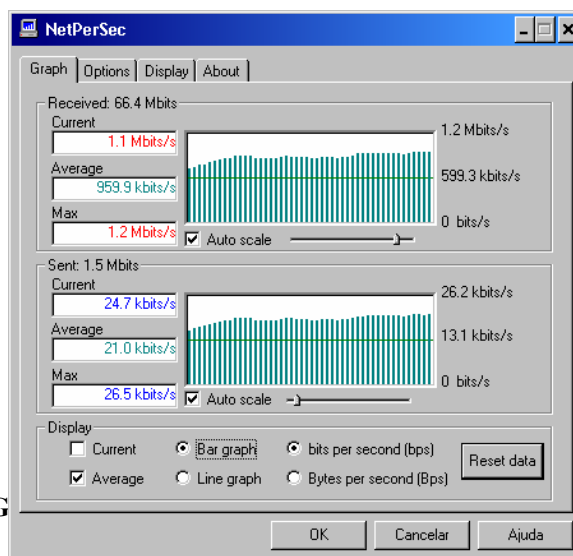
TABELA 22 - Modelo de tráfego por aplicação

<b>Modelo de Tráfego para 1 Usuário:</b>			
<b>Aplicação</b>	<b>Tamanho (kbytes)</b>	<b>Tempo de Leitura (segundos)</b>	<b>Qtidade de utilização na sessão</b>
<b>Download</b>	2000	180	1
<b>Web Browsing</b>	54	40	20
<b>Email</b>	10	60	10
<b>Stream</b>	2400	-	1
<b>Small Transaction</b>	0,52	5,5	2

De forma a ilustrar o *download*, foi utilizado o *software* NetPerSec, que é uma ferramenta que permite a visualização do *throughput* do tráfego de subida e descida (FIG. 27).

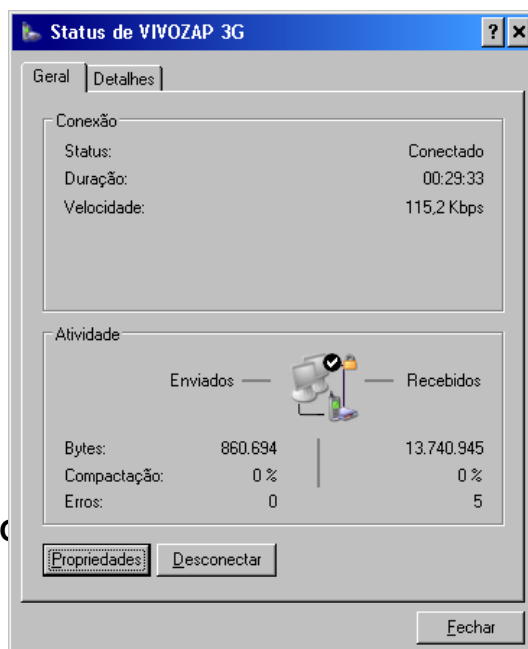
Devido a não haver *log*, pois o *software* NetPerSec demonstra somente *on line* a performance do *throughput*, foi realizado um *print scream* da tela do computador, que foi utilizado para os testes.





FIG

Da mesma forma, foi realizado o *print screen* da tela de *dial up*, permitindo visualizar ao final da Sessão, a duração dos testes (29,33 minutos) e o volume de pacotes trafegados (860.694 enviados e 13.740.945 recebidos) em *bytes*.



FIG

Foi também retirado os *logs* do AAA, onde no processo é possível visualizar informações sobre a estação móvel do usuário ensaiado, como:

- *Authentication:*

O usuário solicita a conexão na rede da operadora. A data e hora da autenticação (2005/11/01 10:14:24.746 Auth), IP utilizado na rede interna da Vivo (from 10.21.44.17), *realm* e número de lista utilizado (vip@vivozap.com.br (1196194389)), IP público atribuído pela rede da Vivo para acesso a *internet* (on 200.142.130.226) e aceite rede da Vivo a conexão solicitada pelo usuário (*login ok*).

- *Autorization:*

A operadora uma vez autenticando, não possui mensagem adicional, considera o usuário autorizado a utilizar a rede.

- *Account:*

O *account* está descrito com a data e hora de início (2005/11/01 10:14:25.301 Acct ) e fim (2005/11/01 10:44:13.671 Acct ). Há resposta do AAA ao número do usuário contêm o *Internacional mobile subscriber identifier* (IMSI) (111111196194389). A geração da contabilização para geração do bilhete de cobrança é utilizando o resumo no *stop session* das interfaces I/O (I/O:822026/13694022 for 1788 seconds).

```
2005/11/01 10:14:24.746 Auth from 10.21.44.17 -
vip@vivozap.com.br (1196194389) on 200.142.130.226: login ok
```

```
2005/11/01 10:14:25.301 Acct from 10.21.44.17 -
vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on
200.142.130.226:10.91.1.91 using 200.142.136.146
```

Além do log do AAA descrito de forma aberta, foi retirado em forma de *print screen* do monitor de interface da máquina em duas páginas, devido ao comprimento das mensagens.

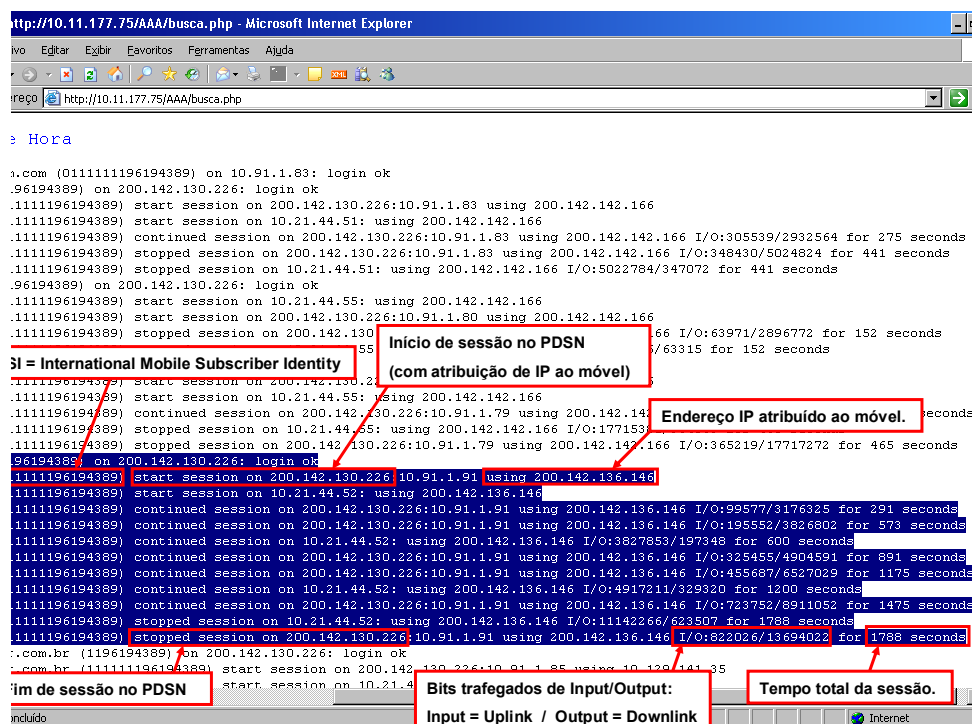
```

Ordenado por Data e Hora

35/11/01 09:56:00.071 Auth from 10.91.1.83 - 1196194389@vps.aktelecom.com (011111196194389) on 10.91.1.83: login ok
35/11/01 09:56:00.859 Auth from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (1196194389) on 200.142.130.226: login ok
35/11/01 09:56:02.395 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 09:56:02.575 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 10.21.44.51: using 20
35/11/01 10:00:37.453 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:03:23.197 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:03:23.377 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 10.21.44.51: using 20
35/11/01 10:03:33.709 Auth from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (1196194389) on 200.142.130.226: login ok
35/11/01 10:03:33.879 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 10.21.44.55: using 20
35/11/01 10:03:33.881 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:06:05.754 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:06:05.934 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 10.21.44.55: using 20
35/11/01 10:06:10.688 Auth from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (1196194389) on 200.142.130.226: login ok
35/11/01 10:06:11.454 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:06:11.633 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 10.21.44.55: using 20
35/11/01 10:11:01.165 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:13:56.893 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 10.21.44.55: using 20
35/11/01 10:13:56.895 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:14:24.746 Auth from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (1196194389) on 200.142.130.226: login ok
35/11/01 10:14:25.301 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:14:25.480 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) start session on 10.21.44.52: using 20
35/11/01 10:19:16.696 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:23:58.272 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:24:25.908 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 10.21.44.52: using 20
35/11/01 10:25:16.562 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:34:00.609 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:34:25.370 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 10.21.44.52: using 20
35/11/01 10:39:00.146 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) continued session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 10:44:13.670 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 10.21.44.52: using 20
35/11/01 10:44:13.671 Acct from 10.21.44.17 - vip@vivozap.com.br (111111196194389) stopped session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 11:33:31.029 Auth from 10.21.44.17 - gbusada@telespcelular.com.br (1196194389) on 200.142.130.226: login ok
35/11/01 11:33:31.524 Acct from 10.21.44.17 - gbusada@telespcelular.com.br (111111196194389) start session on 200.142.130.226:10.9;
35/11/01 11:33:31.677 Acct from 10.21.44.17 - gbusada@telespcelular.com.br (111111196194389) start session on 10.21.44.52: using 20

```

FIGURA 29 - Medição extraída do log do AAA



**FIGURA 30 - Medição por logs do AAA**

Comparando os resultados medidos no dial up com o medido nas interfaces I/O do AAA, verifica-se que os cabeçalhos envolvidos geram um pequeno desvio.

**TABELA 23 - Comparativo das medições *dial up* x log AAA**

	<i>Dial Up</i>	AAA	Desvio
Tempo (segundos)	1773	1788	0,8%
Pacotes Enviados (Bytes)	860.694	822.026	4,49%
Pacotes Recebidos (Bytes)	13.740.945	13.694.022	0,34%

Como os resultados, medidos por dois modos, apresentaram valores com desvios toleráveis e considerando que a medição por *dial up* apresentar valores de

cabeçalho que superam o volume dos pacotes, será utilizado os valores do AAA para o cálculo do *throughput* na interface aérea.

Analisando os dados dos logs da interface I/O do AAA, medidos de acordo com as aplicações, nos tempos e frequência de utilizações e tamanhos de pacotes, obtem-se o TU bps (64948,76) através da relação entre a quantidade de bits trafegados (116128384 bits) pelo tempo da sessão (1788 seg.). A taxa é comumente apresentada em Kbps, bastando dividir 64948,76 bps por 1000, obtendo-se TU (kbps) de 64,95 kbps. A relação medida de *bytes* foi multiplicada por oito (8) para obter-se em *bits*.

**TABELA 24 - Resumo das medições com cálculo do TU kbps**

Tráfego	Bytes	Bits
Upstream	822026	6576208
Downstream	13694022	109552176
<b>Total</b>	<b>14516048</b>	<b>116128384</b>
Tempo da sessão (seg.):		1788
Taxa de dados (kbps):		64,95

O *throughput* medido na interface aérea foi de 64,95 Kbps, com um desvio de 1,46% quando comparado como os 64 Kbps atribuídos como *throughput* do usuário. Isto se deve as aproximações nos cálculos e aos fatores previstos de interferência na interface aérea para a tecnologia *wireless* 1xEVDO (previsto 2,5%).

Com isso concluímos que o modelo de tráfego e o dimensionamento na interface aérea corresponderam aos testes realizados em campo.

## 6 MODELO DE SIMULAÇÃO PARA AVALIAR O DESEMPENHO DE TRÁFEGO EM UMA ÁREA DE COBERTURA

Nesta simulação será considerada a BS como sendo o centro de controle e as estações móveis (os terminais dos usuários ou AT) sendo controladas por esta BS. As considerações práticas serão as mesmas adotadas no Capítulo 5. Isto permitirá a continuidade do raciocínio sob a aplicabilidade do modelo de dimensionamento proposto.

Desta forma, a situação de pior caso para a área de cobertura de uma BS (condição de operação extrema<sup>15</sup>) foi verificada no *downlink* (da ERB para a AT), onde se obteve:

- 18 usuários sob a cobertura de uma BS;
- 18 usuários utilizando 5 aplicações, gerando as chamadas ao que chamaremos agora de tipos de tráfego (*i = streaming, download, web, e-mail e small transaction*) dos provedores de serviço que estão na Internet. Este tráfego *i* será gerado de forma idêntica por todos os usuários, assim como foi caracterizado o modelo de tráfego dos usuários, sob a cobertura

---

<sup>15</sup> Essa situação de pior caso poderia ter sido obtida de outra maneira, por meio de um modelo de bloqueio (ou de perda) no nível mais alto, de conexão. No entanto, isso não significa que haveria uma melhora no modelo e pode ser deixado em aberto para futuros trabalhos.

de uma BS (TAB. 22 do Capítulo 5 – modelo de tráfego para um usuário, repetida abaixo);

<b>Modelo de Tráfego para 1 Usuário:</b>			
<b>Aplicação</b>	<b>Tamanho (kbytes)</b>	<b>Tempo de Leitura (segundos)</b>	<b>Qtde de utilização na sessão</b>
<b>Download</b>	2000	180	1
<b>Web Browsing</b>	54	40	20
<b>Email</b>	10	60	10
<b>Stream</b>	2400	-	1
<b>Small Transaction</b>	0,52	5,5	2

O tempo de leitura trata-se do intervalo em que o usuário, uma vez aberto o arquivo, pagina ou outra informação disponibilizada visualmente, o estará lendo, não devendo ser confundida com o tempo de serviço  $\tau_i$  que será calculado para cada tipo de tráfego  $i$ ;

- Devido aos usuários entrarem em *dormant* após 10 segundos sem atividade, desenvolvido no item 5.6.3 do Capítulo 5, a variável percentual de atividade na sessão deve ser considerada:

	Stream	Download	Web Br	Email	Small T
Percentual de Atividade na Sessão (%)= PAS(i)	100%	60%	36%	18%	100%



A tabela anterior nos mostra que as aplicações *stream* e *small T* ocuparão a interface aérea 100% do tempo (devido ao tempo de leitura < tempo de *dormant*).

- BS contendo uma portadora.

A partir das considerações acima, um modelo de simulação por eventos discretos (a ser descrito em seguida), fornece uma avaliação aproximada referente aos requisitos de atraso para os diversos tipos de tráfego.

A idéia deste modelo é a modelagem dos principais aspectos do tráfego em uma dada área de cobertura (área atendida por uma BS). Para isso, a capacidade de cada canal (*throughput FL*) depende da tecnologia adotada. Para o sistema 1xEVDO Rev0, que adotamos a ser modelado, o *throughput FL* é 600 kbps.

Os parâmetros do modelo para cada tipo *i* de tráfego será caracterizado por dois parâmetros principais: a taxa de chegadas ( $\lambda_i$ ), e o tempo médio de serviço ( $\tau_i$ ). Além disso, é importante que se conheça a distribuição de probabilidade, tanto para a chegada, quanto para o serviço, para cada tipo *i* de tráfego. Outro fator fundamental é a disciplina de atendimento das chegadas, por exemplo: *FIFO* (*first in, first out*) *random order* (em ordem aleatória), com diversas filas de prioridade, etc.

Os tipos de tráfego  $i$  gerados pelos usuários são as conexões (chamadas) que estes realizarão para as aplicações. Estes tipos de tráfego  $i$  serão a seguir detalhados em suas considerações e parâmetros do modelo taxa de chegadas ( $\lambda_i$ ), e o tempo médio de serviço ( $\tau_i$ ):

- Tráfego de *streaming*

Considerando-se que o vídeo utilizará a compressão mpeg5 e haverá uma chegada de imagem a cada 2 seg., a taxa de chegadas *streaming* será

$\lambda_s = \frac{60}{2} \text{imagem/min}$  (do AT para a BS e vice versa – BS para o AT), ou seja,

$$\lambda_s = 30 \text{imagem/min} .$$

A quantidade de informação de cada imagem de vídeo é de 2400 kbytes,  $2400 \text{kbytes} = 2400 * 1000 * 8 = 19200000 \text{bits}$ , o tempo de serviço *streaming* será

$$\tau_s = \frac{19200000}{\text{ThroughputFL} * 60} \text{min/imagem} \quad , \quad \text{ou seja,} \quad \tau_s = \frac{19200000}{600000 * 60} \text{min/imagem} \quad ,$$

$$\tau_s = 0,533 \text{min/imagem} .$$

- Tráfego de *Download*

Considerando que os arquivos de dados compreendem valores a serem recebidos (da BS para o AT) e que serão solicitados no período compreendido na RT (razão de tráfego), ou seja, nas 6 horas que compõe a BH. A cada BH (6 horas), a taxa de chegadas *download* será  $\lambda_D = \frac{18}{6\text{horas} * 60\text{min}} \text{arquivos} / \text{min}$ , ou seja,  $\lambda_D = 0,05 \text{arquivos} / \text{min}$  (BS para AT).

Para uma quantidade máxima de informação de cada arquivo de 2 Mbytes, supondo uma distribuição constante para o tamanho dos arquivos de dados para todos os usuários, o tamanho de cada arquivo será  $2 * 1000000 * 8 = 16000000 \text{bits} / \text{arquivo}$ . Desta forma, o tempo de serviço *download* para o tratamento dos arquivos será  $\tau_D = \frac{16000000}{\text{ThroughputFL} * 60} \text{min} / \text{arquivo}$ , ou seja,

$$\tau_D = \frac{16000000}{600000 * 60} \text{min} / \text{arquivo}, \tau_D = 0,4444 \text{min} / \text{arquivo}$$

Analisando os dados de entrada, verifica-se que o percentual de atividade na sessão (PAS(i)) é de 60%, que será aberto uma sessão para um tempo de leitura TL=180 seg = 3 min e que a interface aérea colocará em *dormant* a portadora em 10 segundos, sem aguardar os 3 minutos do TL.

O fato de ser aberto apenas uma sessão para enviar os 2 Mbytes, não havendo nenhum outro pacote a ser enviado, ocorre uma **espera**, após o  $\tau_D$  de 10

segundos. Tempo este que será mantida a portadora ativa, ou seja,

$$\frac{10}{60} = 0,16666 \text{ min.}$$

#### - Tráfego de *Web Browsing*

Cada vez que um usuário muda de página, ele recebe através da BS um pacote de dados de 54 kbytes, ou (x8000) 432000 bits. Este processo se repete 20 vezes com um tempo de leitura de 40 segundos. Para receber os pacotes as 20 vezes, em uma dada área de cobertura, considerando que a interface aérea colocará em *dormant* em 10 segundos (antes dos 40 segundos do TL), a taxa de chegadas desses pacotes é

$$\lambda_w = \frac{20}{40 * 60} = 0,00833 \text{ pacotes / min (BS para AT).}$$

Cada pacote tem 432000 bits e o tempo para processamento de cada pacote é

$$\tau_w = \frac{432000}{\text{Throughput}_{FL} * 60} \text{ min/ pacote}, \quad \tau_w = \frac{432000}{600000 * 60} = 0,012 \text{ min/ pacote}$$

Como o TL de 40 segundos é maior que o *dormant* da rede de 10 segundos, a portadora colocará o usuário neste estado (DOR) às 20 vezes menos uma, igual a

19, após os respectivos 10 segundos em que o usuário estará iniciando os 25% (10/40) de seu tempo de leitura. Isto implicará que a portadora ficará ativa, em **espera**, por  $19 * 10 \text{seg} = 190 \text{segundos}$  (3,16667 minutos) além do tempo de transmissão de todos os pacotes de *web* no *downlink*.

#### - Tráfego de *e-mail*

Cada vez que um usuário recebe a confirmação de uma transação realizada, ele recebe através da BS um pacote de dados de 10 kbytes, ou (x8000) 80000 bits. Este processo se repete 10 vezes com um tempo de leitura de 60 segundos. Para receber os pacotes as 10 vezes, em uma dada área de cobertura, considerando que a interface aérea colocará em dormant em 10 segundos (antes dos 60 segundos do TL), a taxa de chegadas desses pacotes é

$$\lambda_E = \frac{10}{60 * 60} = 0,002777 \text{ pacotes / min}$$

Cada pacote tem 80000 bits e o tempo para processamento de cada pacote é

$$\tau_E = \frac{80000}{\text{Throughput}_{FL} * 60} \text{ min / pacote}, \tau_E = \frac{80000}{600000 * 60} = 0,0022 \text{ min / pacote}$$

Como o TL de 60 segundos é maior que o *dormant* da rede de 10 segundos, a portadora colocará o usuário neste estado (DOR) às 60 vezes menos uma, igual a 59, após os respectivos 10 segundos em que o usuário estará iniciando os 16,6% (10/60) de seu tempo de leitura. Isto implicará que a portadora ficará ativa, em **espera**, por  $59 * 10 \text{seg} = 590 \text{segundos}$  (9,8333 minutos) além do tempo de recepção de todos os pacotes de Email.

#### - Tráfego de *small transaction*

Cada vez que um usuário recebe a confirmação de uma transação realizada, ele recebe através da BS um pacote de dados de 0,52 Kbytes, ou (x8000) 4160 bits. Este processo se repete 2 vezes com um tempo de leitura de 5,5 segundos. Para receber os pacotes as 2 vezes, em uma dada área de cobertura, considerando que a interface aérea iria colocar em dormant em 10 segundos (a portadora não entrará em dormant), a taxa de chegadas desses pacotes é

$$\lambda_{ST} = \frac{2}{5,5 * 60} = 0,0060606 \text{ pacotes / min}$$

Cada pacote tem 4160 bits e o tempo para processamento de cada pacote é

$$\tau_{ST} = \frac{4160}{\text{Throughput}_{FL} * 60} \text{ min/ pacote}, \tau_{ST} = \frac{4160}{600000 * 60} = 1,1555 * 10^{-4} \text{ min/ pacote}$$

Como o TL de 5,5 segundos é menor que o *dormant* da rede de 10 segundos, a portadora não colocará o usuário neste estado (DOR) nenhuma das vezes, ou seja, isto implicará que a portadora ficará ativa 100% do tempo, não havendo **espera** além do tempo de recepção de todos os pacotes de *small transaction* (idem cenário de *streaming*).

## 6.1 CARACTERÍSTICAS DO MODELO (filas de prioridades)

Se a tecnologia permitisse QoS<sup>16</sup> na entrega dos pacotes, por serviço, o modelo poderia suportar uma fila com prioridades. As seguintes prioridades poderiam ser consideradas (sendo “0” a prioridade mais alta<sup>17</sup>):

Fila 1 com Prioridade “0”: para o tráfego de *Streaming*;

Fila 2 com Prioridade “1”: para o tráfego de *Download*;

---

<sup>16</sup> Um modelo de filas pode ser feito em diversos níveis. Isso vai depender da precisão requerida, dos dados disponíveis, etc. Por exemplo, se o modelo fosse desenvolvido no nível de pacotes (transporte), o servidor (processador) teria que ser avaliado para cada tipo de serviço, com seus correspondentes pacotes (ou rajada de pacotes). É importante se partir de modelos mais simples e ir aumentando sua complexidade na medida da necessidade. No presente modelo, optou-se pelo nível dos serviços ou de sessão.

<sup>17</sup> Embora se reconheça que os serviços têm prioridades diferentes, como esta versão do equipamento não dispõe da possibilidade de QoS, todos os serviços, embora com características diferentes, acabam pertencendo a uma única fila, e são atendidos de acordo com o seu momento de chegada (*FIFO*).

Fila 3 com Prioridade “2”: para o tráfego de *web*;

Fila 4 com Prioridade “3”: para o tráfego de *e-mail*;

Fila 5 com Prioridade “4”: para o tráfego de *small transaction*.

O modelo obedeceria à disciplina HOL (“*head of the line priority*”, prioridade para o topo da linha). Em cada uma das cinco filas, descritas anteriormente, a disciplina é “FIFO”, primeiro a chegar, primeiro a ser servido (abaixo). O modelo HOL é, na verdade, um conjunto de filas atendidas de acordo com sua prioridade.

O padrão RevA (que possui QoS) está pronto (conforme visto no Capítulo 2) porém os fabricantes ainda não disponibilizaram os equipamentos e softwares no mercado.

Se fossemos realizar uma simulação sobre a RevA, esta deveria considerar toda a teoria de suporte, conceitos de utilização do VoIP, tráfego que não foi considerado até então.

O desenvolvimento desta teoria e simulação (com QoS e priorização de pacotes), além dos testes de campo, ficam como proposta a novas dissertações.

No caso deste estudo, estamos utilizando a tecnologia 1xEVDO Rev0, onde esta ainda não possui QoS.

A tecnologia 1xEVDO Rev0, por ser uma rede “*best effort*” não possui a capacidade de priorizar os pacotes que serão entregues aos usuários.



Para que fosse possível a complementaridade dos capítulos anteriores desta dissertação, com uma simulação, o modelo apresentado simulará uma BS que recebe do *Core* o tráfego das cinco aplicações (*streaming, download, web, e-mail, small transaction*) processará esse tráfego e entregará aos 18 usuários previstos no pior caso de *downlink*.

- Processo de chegada (tráfego  $i$  da BS para o AT):

Nas filas 2, 3, 4 e 5 as chegadas acontecem de forma exponencial (completamente aleatória vindas dos provedores na internet e passando pelo *Core* envolvendo tempo de leitura e *dormant*) e na fila 1 (*streaming*) as chegadas são determinísticas (aberta uma sessão com TL e DOR=0). Supomos que há uma chegada a cada 3 minutos para a fila 1 (*streaming*).

- Processo de atendimento (distribuição do serviço)

As distribuições de serviço das filas 1, 2, 3, 4 e 5 foram consideradas constantes (ou uniformes), em uma avaliação geral de suas características, em primeira aproximação e dependem apenas do número de bits a serem tratados. Por exemplo, se houvesse tráfego de voz (VoIP com QoS), este possuiria um tempo serviço exponencial (negativa) com média de segundos a ser considerada como primeira prioridade e precisaria ser fundamental se considerar esse tipo de distribuição de serviço como exponencial e não determinístico ou constante.

## 6.2 RESULTADOS DO MODELO

O modelo foi testado a partir de uma portadora de *throughputFL* de 600 kbps (Capítulo 5) para a tecnologia 1xEVDO Rev0 contendo 18 usuários utilizando os tráfegos dos serviços descritos anteriormente.

Utilizando o software Arena, foi desenvolvido um simulador para gerar o tempo de fila em minutos nos cenários propostos.

A tecnologia 1xEVDORev0 possui um canal apenas, que na realidade é sua própria portadora. Dentro desta portadora é possível se colocar até 56 usuários por setor (limite de códigos Walsh). As taxas que são disponibilizadas para cada usuário dependem dos limites de cada tecnologia. Uma característica importante, em qualquer tecnologia *wireless*, é a proximidade com que os usuários estão da BS. No CDMA o conceito de “respiração” (quanto maior a solicitação de tráfego na BS, menor será o seu raio de cobertura eficiente e vice-versa) será possível de ser visualizado, assim como a característica da proximidade.

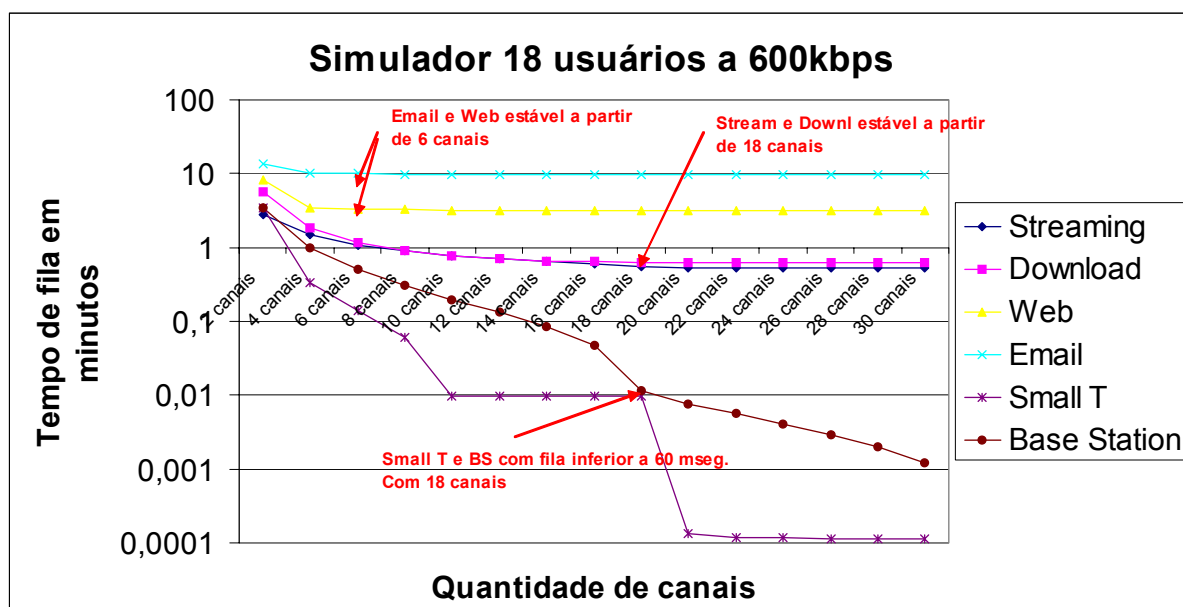
Considerando os conceitos de canais e as particularidades da tecnologia 1xEVDORev0 descrita, somente para o melhor entendimento das simulações que estão por vir, ao aumentarmos o uso da BS estaremos utilizando seus “pseudo canais”, ou seja, supostos canais.

Utilizando o simulador e aumentando os pseudo canais na portadora, obtemos a TAB. 25, que contém os tempos de fila em minutos por tráfego gerado nos serviços:

**TABELA 25 - Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 18 usuários com *throughput* médio de 600 kbps para tráfego gerado nos services**

Serviços	2 canais	4 canais	6 canais	8 canais	10 canais	12 canais	14 canais	16 canais	18 canais	20 canais	22 canais	24 canais	26 canais	28 canais	30 canais
Streaming	2,7816	1,524	1,0913	0,90534	0,78288	0,72087	0,66041	0,60045	0,54082	0,53801	0,53632	0,53521	0,5344	0,53388	0,53357
Download	5,727	1,8105	1,1547	0,90189	0,7761	0,70395	0,6628	0,64059	0,6315	0,62744	0,62449	0,62205	0,61986	0,61793	0,61618
Web	8,1914	3,5075	3,3224	3,2405	3,2033	3,1939	3,1911	3,1894	3,1883	3,1805	3,1794	3,179	3,1788	3,1787	3,1787
Email	13,472	10,163	9,962	9,8555	9,837	9,8358	9,8356	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355
Small T	3,4838	0,33381	0,13781	0,06103	0,00965	0,00959	0,00957	0,00957	0,00957	0,000131	0,000119	0,000116	0,000114	0,000114	0,000113
BS	3,4835	0,98484	0,50313	0,3059	0,19211	0,13327	0,08644	0,04651	0,01135	0,0076	0,0056	0,00414	0,00294	0,00198	0,00121

A seguir, para a visualização da continuidade, desenvolveram-se as curvas provenientes dos dados da tabela:



**FIGURA 31 - Curva de tempo de fila por canais a 600kbps**

Observa-se que para o tráfego dos serviços *e-mail* e *web*, o tempo de fila fica estável a partir da inserção de 6 canais (a partir deste ponto utilizaremos canais como sendo os pseudo canais). Para o tráfego do serviço de *small T*, apesar de não ter encontrado o ponto de estabilização total, verifica-se que a partir de 18 canais o tempo de fila é de 0,00957 minutos, ou 57 msec., muito baixo para ser considerado como impactante na entrega de tráfego por uma BS. Para o tráfego dos serviços *streaming* e *download*, observam-se que a estabilização do tempo de fila vem a partir dos 18 canais, ou seja, mesmo inserindo mais canais na BS o tempo de fila não se altera. Esta primeira análise permite verificarmos o limite de capacitação da BS, a partir dos dados de entrada que estamos considerando desde o Capítulo 5.

O número de canais necessários na BS será uma composição entre 6 e 18 canais, dependendo da proporcionalidade do tamanho da fila por tráfego (i).

### 6.3 REFINAMENTO DO MODELO

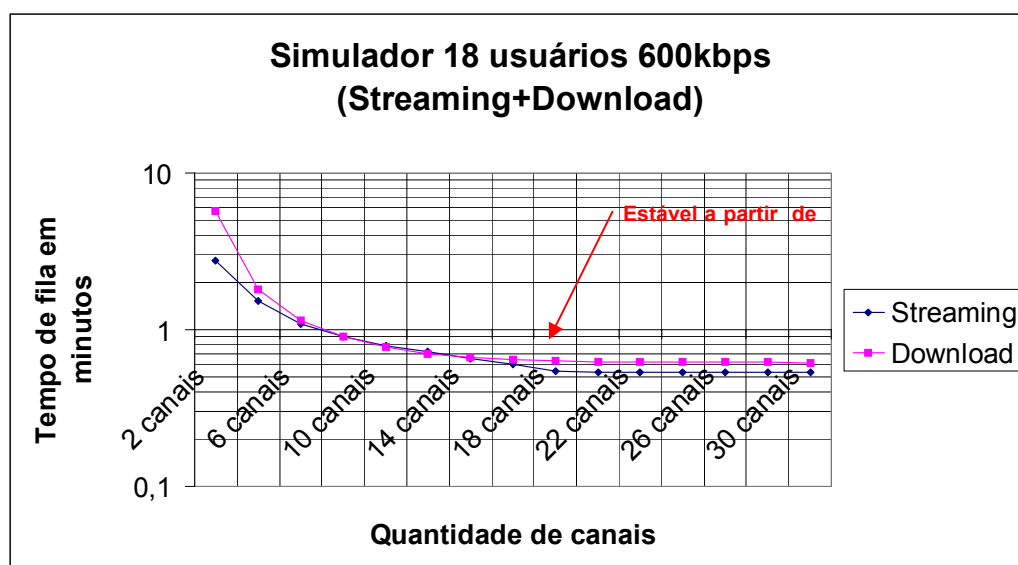
Para a análise de *downlink* (BS >> AT), verificou-se o quanto que cada tráfego por serviço gera percentualmente de fila na BS:

**TABELA 26 - Análise personalizada com os tráfegos de maior peso (88,25%) na interface aérea: *streaming* e *download*.**

Serviço	Tempo de fila simulado (em min.)	% de fila
Streaming	12.060	53,56
Download	7812	34,69
Web	1386	6,16
Email	414	1,84
Small T	846	3,76
Total	22518	100,00

Os tráfegos de *streaming* e *download*, considerando proporcionalidade de solicitação dos tráfegos pelos usuários e suas características de volume de pacotes com pouco tempo de leitura, geram uma fila na BS correspondente a 88,25% da fila.

Esta análise é complementar a decisão de quantos canais (pseudo canais) serão necessários para suportar o tráfego proposto. Devemos considerar que foram encontrados os valores de 6 e 18 canais, dependendo da aplicação.



**FIGURA 32 - Curva quantidade de canais por tempo de fila (*streaming* e *download* para 600kbps)**

Neste caso, devido ao peso da fila gerada pelos tráfegos dos serviços de *streaming* e *download* (>88%), consideraremos que 18 canais seriam necessários.

A FIG. 32 permite uma melhor visualização da estabilidade obtida a partir dos 18 canais, passando a obtermos praticamente uma reta (mesmo aumentando-se o número de canais, a fila mantém-se constante).

## 6.4 EVOLUÇÃO ANALÍTICA DO MODELO

### 6.4.1 UTILIZANDO O SIMULADOR PARA VALIDAR OS CONCEITOS DE “RESPIRAÇÃO” NO CDMA E PROXIMIDADE NAS TECNOLOGIAS WIRELESS

Para validarmos os conceitos de “respiração” do CDMA e eficiência de *throughput FL* por proximidade (quanto mais próximo da BS, melhor a possibilidade de *throughput FL*) nas tecnologias *wireless*, pode-se através deste simulador obter-se esta validação.

No sentido AT>>> BS, ou seja, *uplink* (avaliação que não estamos realizando por ser menos crítica nesta explanação), temos que  $\text{Canais} = \text{throughput FL} / \text{constante}$ . Quanto mais aumentamos o *throughput FL*, mais canais na BS são necessários para atender a demanda de *throughput* solicitada pelo usuário.

Considerando-se que no sentido BS >> AT, (*downlink*), temos que os  $\text{Canais} = \text{Constante} / \text{throughput FL}$ . Quanto mais aumentamos o *throughput FL*

disponibilizado ao usuário pela BS, menos canais nesta BS são necessários para transportar o mesmo tráfego (aumenta o *throughput* realizado, diminui a quantidade de canais necessários).

Ao simular-se o tempo de fila em minutos, mantidos os 18 usuários agora com *throughput FL* médio elevado a 900 kbps para os mesmos tráfegos gerado nos serviços, obtém-se a tabela a seguir:

**TABELA 27 - Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 18 usuários com *throughput* médio de 900 kbps para tráfego gerado nos serviços**

Serviços	2 canais	4 canais	6 canais	8 canais	9 canais	10 canais	12 canais	14 canais	16 canais	18 canais	20 canais	22 canais	24 canais	26 canais	28 canais	30 canais
Streaming	1,8148	1,0042	0,72231	0,60049	0,5411	0,5199	0,47881	0,43887	0,39911	0,35933	0,3579	0,35699	0,35642	0,35603	0,35579	0,35564
Download	2,7439	1,1336	0,77964	0,63342	0,58978	0,55786	0,51509	0,4901	0,47677	0,47177	0,47007	0,4688	0,46778	0,4669	0,46612	0,46546
Web	4,0609	3,3117	3,2381	3,2036	3,1995	3,1843	3,1805	3,179	3,178	3,1773	3,175	3,1748	3,1747	3,1747	3,1747	3,1747
Email	10,65	9,9446	9,8558	9,8386	9,8384	9,8354	9,8349	9,8348	9,8348	9,8348	9,8347	9,8347	9,8347	9,8347	9,8347	9,8347
Small T	0,82998	0,12489	0,06567	0,02303	0,02301	0,0038	0,00377	0,00376	0,00375	0,00375	8,22E-05	7,76E-05	7,63E-05	7,58E-05	7,55E-05	7,52E-04
BS	1,6734	0,59478	0,3126	0,19258	0,14537	0,12123	0,08414	0,05399	0,02801	0,00493	0,00329	0,00235	0,00169	0,00117	0,000769	0,00046

A seguir, para a visualização da continuidade, desenvolveram-se as curvas provenientes dos dados da TABELA 27:

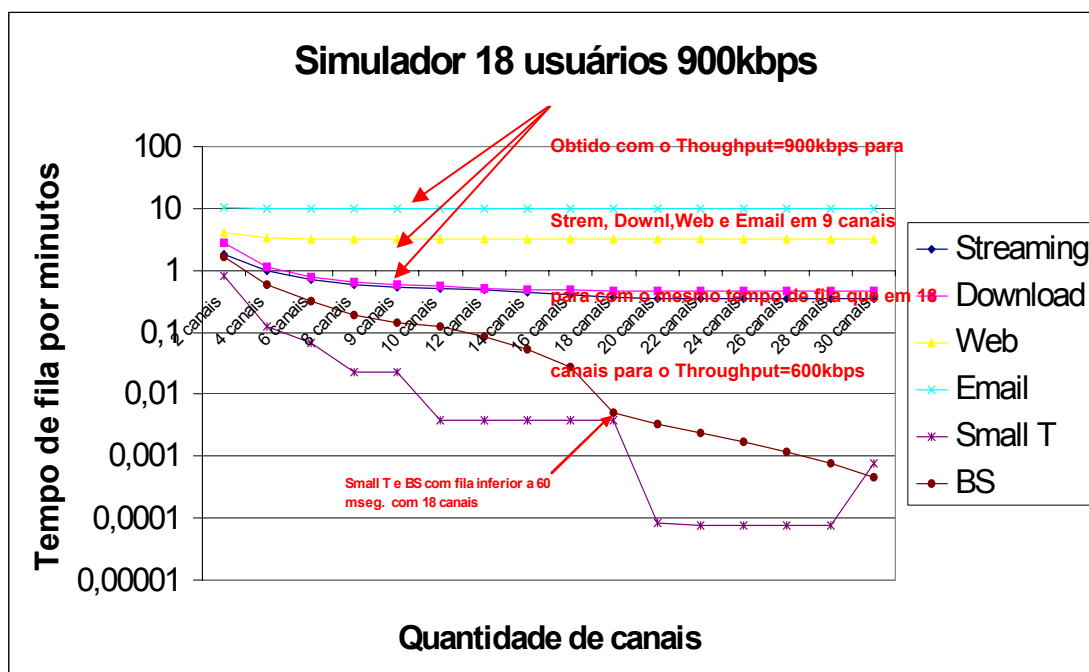


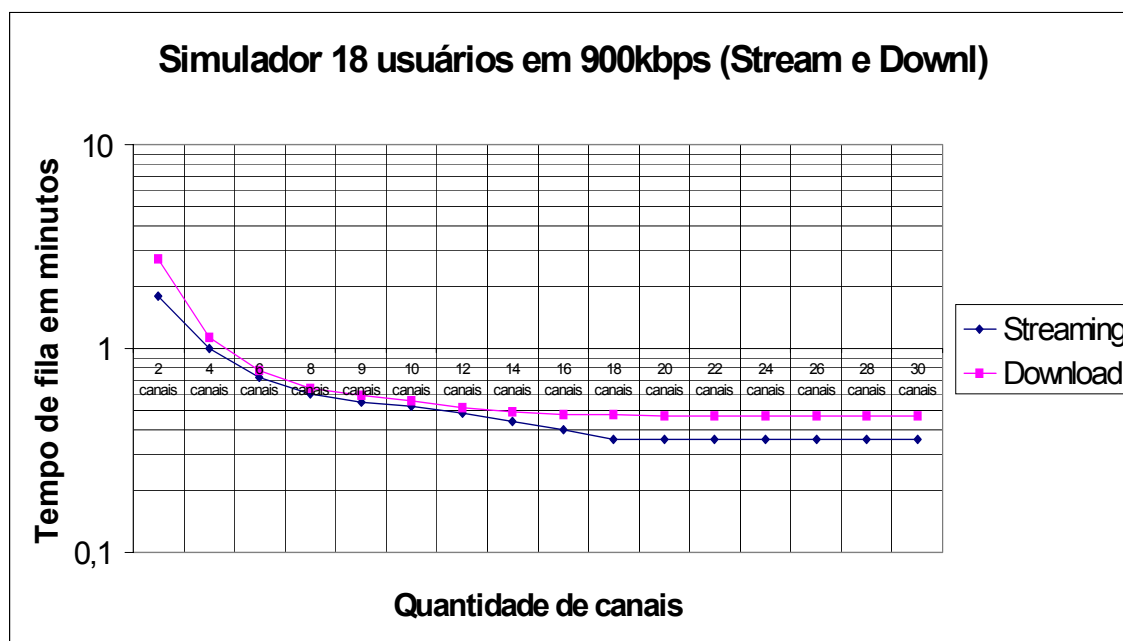
FIGURA 33 - Curva de tempo de fila por canais a 900kbps

Confirmando a expectativa verifica-se que com o *throughput FL* de 600kbps, onde antes eram necessários 18 canais, agora são necessários 9 canais, com *throughput FL* de 900kbps, considerando os mesmos tempos de fila (aproximado).

Se a BS for fixada nos 18 canais, os tempos de fila ficam reduzidos, como pode ser visto na TAB. 27.

A análise personalizada com os tráfegos de maior peso (>88%) na interface aérea: *streaming* e *download* permite visualizarmos:





**FIGURA 34 - Curva Quantidade de canais por tempo de fila (*Streaming* e *download* para 900kbps)**

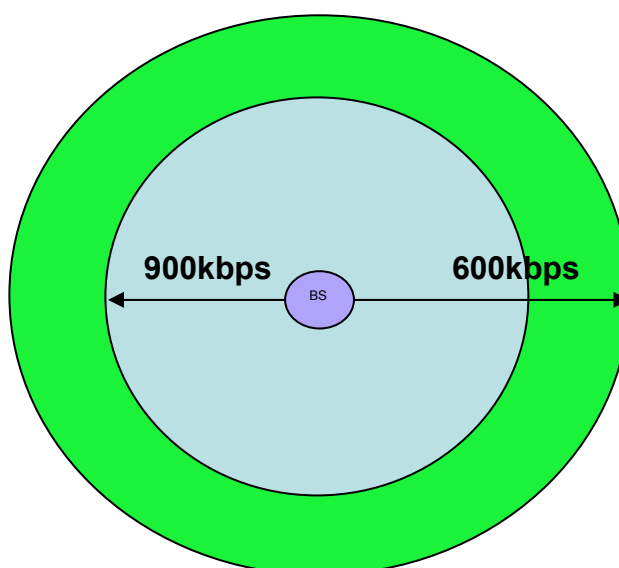
Apesar da estabilidade no tempo de espera ocorrer após os 18 canais, a diferença no tempo de espera entre os 9 e 18 canais não justificaria a inserção do dobro de canais numa *base station*.

Esta análise é importante, pois a operadora que possui usuários com o perfil descrito e com uma quantidade de usuários estáveis, pode disponibilizar um melhor *throughput* aos seus usuários (de 600kbps para 900kbps), sem investimento de *downlink* na rede.

Esta afirmação possui um fator teórico, pois existem os limites de cada tecnologia e outras variáveis que devem ser consideradas (“respiração” no CDMA e proximidade).

Estes limites demonstram que quanto mais próximas forem as BS, ou seja, quanto melhor for a qualidade de RF disponível para o usuário (promovendo um bom *throughput* ao usuário >> altas taxas), mais usuários consegue-se colocar na BH (mantidos os mesmos tempos de fila), todos com alta taxa.

A FIGURA 35, permite uma visualização das variáveis “respiração” e proximidade, movimentando o raio de cobertura da BS pelo *throughput FL* disponibilizado:



**FIGURA 35 - Relação de proximidade da BS versus o *throughput FL***

Se foi possível (mantidos os mesmos 18 usuários), aumentar a taxa (*throughput* de 600kbps para 900kbps) e diminuir a quantidade de uso de canais necessários na BS (de 18 para 9 >> 50%), isto só será plausível até o limite de cada tecnologia. Uma boa simulação será chegarmos até o limite do *throughput* = 2,4

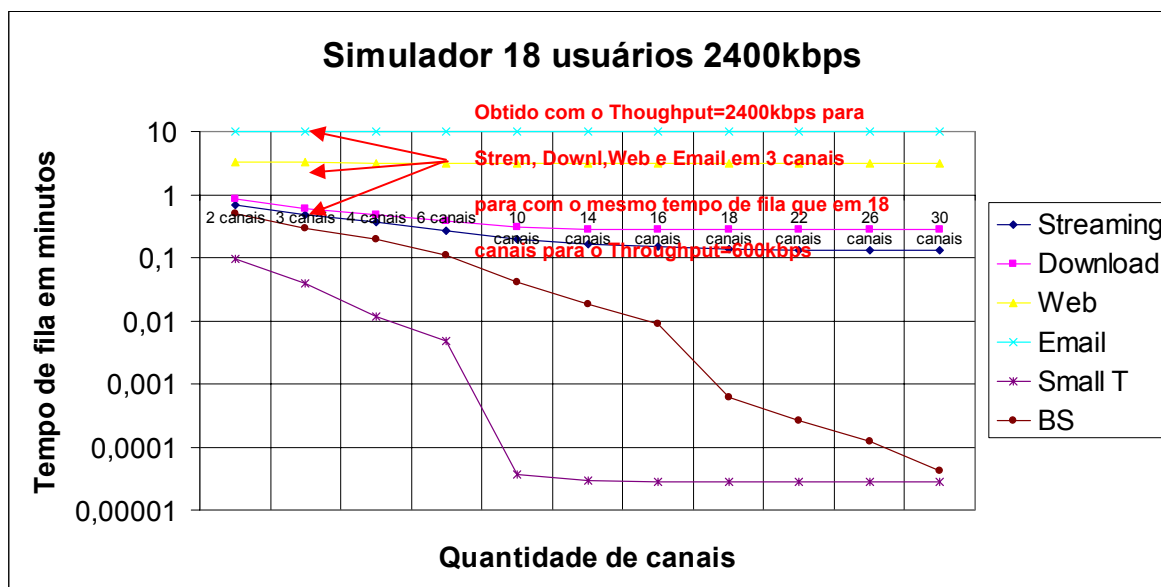
Mbps para o 1xEVDO para visualizarmos a tendência de diminuição de uso de canais e quantos serão necessários para suportar este cenário.

A simulação de tempo de fila em minutos, mantidos os 18 usuários com *throughput* FL médio de 2400 kbps para tráfego gerado nos serviços, obteve-se a TABELA 28

**TABELA 28 - Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 18 usuários com throughput médio de 2400 kbps para tráfego gerado nos serviços**

Serviços	2 canais	3 canais	4 canais	6 canais	10 canais	14 canais	16 canais	18 canais	22 canais	26 canais	30 canais
Streaming	0,67213	0,47026	0,37326	0,26897	0,19378	0,16371	0,14885	0,13401	0,13354	0,13339	0,13334
Download	0,84065	0,59029	0,47806	0,37493	0,30473	0,28403	0,28031	0,27898	0,27873	0,27856	0,27841
Web	3,2623	3,2116	3,1919	3,179	3,1715	3,1699	3,1697	3,1697	3,1697	3,1696	3,1696
Email	9,8845	9,8461	9,8347	9,8342	9,8339	9,8338	9,8338	9,8338	9,8338	9,8338	9,8338
Small T	0,09487	0,03898	0,01195	0,00468	3,67E-05	2,95E-05	0,000028505	2,81E-05	2,81E-05	2,81E-05	0,00002812
BS	0,49388	0,29298	0,19965	0,10694	0,04167	0,01828	0,00901	6,03E-04	2,60E-04	0,00012188	0,00004174

A seguir, para a visualização da continuidade, desenvolveram-se as curvas provenientes dos dados da TAB. 28:



**FIGURA 36 - Curva de tempo de fila por canais a 2400kbps**

Confirmou-se a expectativa, ou seja, serão necessários apenas 3 canais para o cenário de 18 usuários a 2.400kbps, executando o tráfego proposto e mantidos os tempos de fila de 600kbps.

Destaca-se novamente que o tamanho da célula (cobertura de RF) ficará agora extremamente reduzida, todos os 18 usuários estarão ao lado da antena de TX, recebendo os respectivos tráfegos dos serviços, alternadamente.

#### 6.4.2 UTILIZANDO O SIMULADOR PARA VALIDAR, A PARTIR DO TEMPO DE FILA, O MODELO PROPOSTO VERSUS AS MEDIÇÕES DE CAMPO (CAPÍTULO 5)

Nos dados de entrada do Capítulo 5 foram consideradas 6 horas de BH ao dia, onde foram obtidos 18 usuários / 6 horas = 3 usuários / hora realizando os tráfegos alternadamente (totalizando o tempo de utilização).

O resultado, 3 usuários por hora, é o mesmo que afirmar que 3 usuários gastam 60 minutos para realizar o tráfego, ou seja, um usuário gasta 20 minutos para realizar os tráfegos com os serviços propostos.

Por outro lado, a medição realizada sob a cobertura de uma BS (Capítulo 5), foram gastos 29,8 minutos para realizar na prática (contando *up* e *downlink*) o mesmo tráfego que o simulado.

Para extrair o *downlink* de 29,8 minutos, realizamos o cálculo detalhado na TABELA 29:

**TABELA 29 - Extração do tempo de *downlink***

	PACOTES	% DE USO	TEMPO (MIN)
<b>UPLINK</b>	822026	5,66	1,69
<b>DOWNLINK</b>	13694022	94,34	28,11
<b>TOTAL</b>	14516048	100,00	29,80

O tempo correspondente ao *downlink* foi de 28,11 minutos, nas medições realizadas em campo.

A diferença entre os 20 minutos teóricos e os 28,11 minutos medidos deve-se a utilização de cabeçalhos previstos nos protocolos envolvidos somados à utilização da portadora da BS, onde no momento da coleta de dados supõe-se que estava sob utilização por um número maior de usuários que 18 usuários.

Como esta medição (de quantos usuários estavam ativos no momento da coleta em campo) não foi realizada, esta suposição deve ser comprovada.

Para isto utilizaremos o simulador para demonstrar a tendência, quanto mais aumentamos os usuários, mantidos as demais variáveis, mais aumentamos a fila de espera e conseqüentemente o tempo de *throughput FL* (justificar a diferença entre 20 e 28,11 minutos).

Para esta simulação, considerando todos os usuários sob a mesma uma BS com 18 canais e a taxa de 600kbps (solicitação do usuário a BS), aumentaremos o número de usuários de 18 até que se obtenha um tempo de fila maior (em proporção significativa). Este aumento do número de usuários promoverá um tempo de utilização da portadora maior, devido a manutenção das taxas de entrega previstas (600kbps), o tempo de fila deverá ficar necessariamente maior.

Devido à limitação de capacidade de processos da versão deste simulador, estaremos simulando (aumentando o número de usuários) apenas os tráfegos dos serviços de *streaming* e *download*. Os demais tráfegos (dos serviços de *web*, *e-mail* e *small T*) estarão mantendo 18 usuários sendo atendidos.

**TABELA 30 - Variação de usuários para obtenção de tempo de fila em evolução**

Serviços	18 usuários	19 usuários	20 usuários	Diferença (20 e 18)
Streaming	0,53333	0,5614	0,58667	0,05334
Download	1,0334	1,026	1,0411	0,0077
Web	3,1826	3,1826	3,1826	0
Email	9,8352	9,8352	9,8352	0
Small T	0,57383	0,69619	0,7198	0,14597
Total				0,20701

Apesar de atingirmos o limite de processos no Arena (versão estudante), conseguimos confirmar a tendência que era esperado, ou seja, ao aumentarmos a quantidade de usuários e mantidos as demais variáveis, aumentamos o tempo de fila em minutos, o que justifica a diferença entre os 20 e 28,11 minutos.

Por reversibilidade, se aumentamos o tempo de fila, mantidas as demais variáveis, isto só pode ter ocorrido devido ao aumento de usuários sob a mesma portadora.

## 7 CONCLUSÃO

Esta dissertação foi iniciada com o propósito de apresentar um modelo de dimensionamento de uma rede de dados. O foco apresentado foi o dimensionamento na interface aérea por se tratar do ponto limitante ao dimensionamento, quanto se busca dar capacidade de vazão de tráfego a uma rede e também por ser o ponto inicial de um projeto de rede de comunicação.

A expectativa é que ao final pudéssemos obter além de um modelo, a aplicação prática com medições de resultados que pudessem sustentar e validar a proposta.

Analisando expectativas iniciais pelos os resultados que foram alcançados, conclue-se a seqüência de valor agregado da dissertação:

**- Modelo matemático de dimensionamento de tráfego de dados na interface aérea desenvolvido, proposto e aplicado (case).**

Esta expectativa foi alcançada com a elaboração da teoria, buscada e fundamentada através dos conceitos obtidos pela bibliografia, que segue anexa, e que suportou a elaboração do modelo matemático. Além da expectativa inicial que foi cumprida, adicionalmente, foi também realizado o resgate dos conceitos de dimensionamento de uma rede a circuito (Erl) comparando estas varáveis com as correspondentes de uma rede de dados (*bits*), de forma a facilitar os projetistas que venham deste campo de aplicação e se vêem condicionados a se desenvolverem neste novo modo de dimensionar as redes do futuro.



Pela importância do resgate dos conceitos de tráfego, que vinham sendo aplicados nas últimas décadas de forma repetitiva, comparando-as com as redes do futuro, entende-se que no decorrer desta dissertação ocorreu, sem uma pretensão antecipada, uma superação sobre as expectativas iniciais.

A aplicação do modelo em uma das tecnologias de terceira geração, que suporta os serviços de dados – 1xEVDO Rev0, serviu para por em prática e se verificar a aplicabilidade do modelo proposto.

O programa desenvolvido no MatLab, para a rede de acesso, possibilitou o suporte a aplicação do modelo proposto (anexo da tese), possibilitando simulações de acordo com as entradas dos respectivos provedores de serviço (variáveis previstas).

Considerando as diferentes realidades tecnológicas e premissas de cada projetista, o programa no MatLab suporta estas diferentes entradas (variáveis) e provê os resultados de acordo com as premissas que forem inseridas.

O exemplo aplicado a rede de acesso 1xEVDO REv0, utilizando as fórmulas matemáticas do modelo proposto e o programa desenvolvido no MatLab, gerou-se o dimensionamento de uma rede de dados.

- **Utilização de um modelo aplicado (case) validado, ou seja, executar medições em campo que pudessem validar o modelo proposto e aplicado:**

Esta expectativa foi alcançada através da aplicação do “case” (inserção de valores práticos nas variáveis) e medição em campo, de forma a confrontar o medido com o projetado e confirmar a aplicabilidade confiabilidade do modelo proposto.

As medições realizadas em campo, para o “case” utilizado, apresentaram resultados que sustentam o modelo proposto.

Como um “case” trata uma situação pontual, ficou faltando à validação do modelo simulado em seus pontos de saturação e capacidade (ponto ótimo).

- **Modelo de simulação para avaliar o desempenho de tráfego em uma área de cobertura**

Esta expectativa foi alcançada através do desenvolvimento de um programa que simula cenários de aplicação. Para que fosse beneficiado o entendimento, utilizaram-se os mesmos dados de entrada do “case” anterior e simulou-se uma *Base Station* em sua situação de maior criticidade, que atendesse o mais importante cenário de tráfego das aplicações, ou seja, o *throughput* no *downlink*.

O *software* utilizado para esta simulação foi o Arena. O programa está anexo a esta dissertação, de forma a subsidiar futuros projetistas que tenham interesse em viabilizarem seus projetos de redes *wireless*.

Os resultados foram, de alguma forma, surpreendentes, pois o modelo prevê o caminho a ser seguido (considerando os requisitos que lhe são conferidos), um “case” valida uma situação pontual para o modelo apresentado, mas com uma simulação permite-se valorizar ainda mais o modelo proposto, suportá-lo a aplicação de uma melhora no seu desenvolvimento, ou mesmo projetar a visão do projetista a novas formas de aplicação que não se tinha visto (todas antes limitadas por falta de se extremar o modelo, fato somente possível através da simulação).

A simulação da entrega pela BS ao AT proporcionou as três possibilidades descritas anteriormente.

O fato de ter se obtido o número de “pseudo canais”, para os tempos de fila que eram esperados em 600kbps, valorizou e validou ainda mais o modelo proposto, pois agora a visão em simulação tornou-se mais alargada.

Este fato também contribuiu a visualização da possibilidade de uma operadora, com ajustes em seu plano de cobertura, visualizar a proporcionalidade com que é possível atender os usuários com melhor qualidade sem custos adicionais. Ou seja, atender com melhores taxas e um menor número de “pseudo canais”, otimizando-se a cobertura (para uma cobertura e volume de usuários e respectivo perfil de aplicação conhecidos).

A variação do *throughput* da BS para o AT e do número de usuários sob a cobertura, permitiram a validação, antes hipotética, do impacto dos cabeçalhos dos protocolos sob o tempo de fila (20 para 28 minutos), somados aos usuários (superior a 18) que estavam sob a cobertura no momento dos testes de campo do Capítulo 5.

A visão que foi obtida neste caso é singular sob o ponto de vista de priorização de pacotes, frente ao advento da QoS na interface aérea e conseqüentemente a aplicação de VoIP sob estas redes de 3G.

#### **TRABALHOS FUTUROS:**

O futuro, ou seja, a proposta de continuidade desta dissertação pode ser o acompanhamento da evolução da interface aérea, considerando os padrões recém lançados, por exemplo, pelo ITU (ainda sem produtos disponíveis no mercado) que suportam QoS.

A priorização de pacotes nos links direto e reverso, considerando a entrada da aplicação de voz (VoIP), que será o grande volume proporcional de tráfego no futuro, deverá ser considerado no modelo proposto. O simulador construído no Arena (nesta dissertação) já está montado de forma a suportar a priorização de pacotes.

É possível que nos releases futuros, devido a priorização de pacotes, as variáveis que influenciam no dimensionamento da rede de acesso devam ser revisadas.

Outra proposta de continuidade desta dissertação é o dimensionamento do AN e do PDSN, AAA e/ou demais elementos do Core em estudo, que utilizam o cálculo da rede de acesso para o seu dimensionamento.

A interface “terra” é fundamental para que se obtenha a rede (*end to end*) *all IP*. Padrões como o IMS (*IP multimedia system*) que permite que a sessão tenha acesso a múltiplas aplicações simultâneas com vários usuários em conferência, são exemplos das possibilidades disponíveis.

### **CONSIDERAÇÕES:**

Este modelo de dimensionamento de tráfego para uma rede de dados foi desenvolvido para ser disponibilizada a sociedade em geral. Dentre as possíveis áreas de interesse que utilizam e/ou que virão a necessitar de um modelo para implantação de suas redes, estão as operadoras que operaram e/ou operarão sistemas de terceira geração e provedores de acesso que utilizam os padrões 802.x. (que também chamamos de terceira geração).

O correto dimensionamento de redes desta natureza, de terceira geração, que possui usuários muito mais exigentes, possibilita atender o público proposto com qualidade e a um custo adequado, evitando-se desperdícios ou custos extras (financeiros e de imagem) de ampliações emergenciais ou com excesso de investimento inicial (imobilizando-se o investimento em demasia).

Devido o modelo proposto utilizar variáveis que são comuns nas redes de 3G, ou seja, os serviços de *download*, *streaming*, *web*, *e-mail*, *small transactions*, e utilizando-se para isso os conceitos de sessão, *throughput*, dentre outros, que também são comuns para os cálculos de qualquer rede 3G, esta dissertação pode ser aplicado e/ou servir de base comparativa a outros estudos como exemplo os demais padrões ITU e IEEE.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGACHE, P.; PADOVANI, R. **Simulation results for diversity reception of cdma2000 1x forward traffic channel**. [S.I.]: World wireless congress, 2002.

AIR interface specification (HAI). 1xEV, [S.I.], Qualcomm, n. 80-54421-1, rev. X3.

ATTAR, R. On the peak-to-average (PAR) ratio of an IS-856 forward link. **Proceedings of MWCN 2001**, Recife, p. 194-200, Aug. 2001.

ATTAR, R.; ESTEVES, E. A reverse outer-loop power control algorithm for cdma2000. 1xEV systems. **Proceedings of ICC**, New York, Apr. 2002.

AYDIN, L.; ESTEVES, E.; PADOVANI, R. Reverse link capacity and coverage improvement for CDMA cellular systems using polarization diversity and spatial diversity. **Proceedings of ICC**, New York, Apr. 2002.

BLACK, P.J.; GURELLI, M.I. Capacity simulation of cdma2000 1xEV wireless internet access system. **Proceedings of MWCN 2001**, Recife, p. 90-96, Aug. 2001.

CLOUTIER, J.; SINHA, R.; WANG, X. **Recommendations for service provider backhaul**, [S.I.], Sept. 3, 2003.

ERICSSON White Papers. Disponível em:  
<<http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/>>. Acesso em: 2006

EVDO engineering guideline. 1xEV-DO. **RF engineering guidelines**, v.2, 15 Jul. 2002.

IEEE Education. Disponível em:  
<<http://www.ieee.org/web/education/home/index.html>>. Acesso em: 2006

ITU-T Activities. Disponível em: <<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/index.html>>. Acesso em: 2006

KNOPP, R.; HUMBLET, P. Information capacity and power control in single-cell multiuser communications. **Proceedings of ICC**, Seattle, p. 331-335, Jun. 1995.

RECOMMENDED minimum performance standards for cdma2000 high rate packet data access network. Dec. 2001. Disponível em: <[http://www.3gpp2.org/Public\\_html/specs/C.S0032-0\\_v2.0\\_121503.pdf](http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0032-0_v2.0_121503.pdf)>. Acesso em: 2006.

RF engineering diretrizes para 1xEV-DO sistemas. Doc. Lucent, n. 401-614-323. [S.I.]

TIA: advancing global communications. Disponível em: <[http://www.tiaonline.org/standards/search\\_n\\_order.cfm](http://www.tiaonline.org/standards/search_n_order.cfm)> Acesso: 2006.

YANG, Samuel. CDMA RF system engineering. Norwood: Artech house mobile communications library, [s.d].



## FERRAMENTAS E SOFTWARES UTILIZADOS

1. MICROSOFT Office. [S.I.]: Microsoft Cooperation, [s.d]. 1CD-ROM.
2. MatLab 6.5
3. NetPerSec
4. DialUp
5. Comunicador AAA
6. Lap Top de teste
7. Placa PCMCIA habilitada em 1XEVDO Rev0
8. Arena – Softwre de Simulação

# ANEXOS

## ANEXO A – PROGRAMA ABERTO DE DIMENSIONAMENTO DE REDE NO MATLAB

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

### DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE CDMA1xEVDO

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

### Throughput na BH (Busy Hour)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
CM=1250          % Consumo mensal (MB/m) - megabytes por mes
```

```
RT=0.25         % Razao de trafego na BH (%)
```

```
DM=22          % Dias por mês
```

```
FA=0:0.017:1   % Fator de atividade na BH
```

```
TBH=CM*8000*RT./(DM*FA*3600)
```

```
figure(1)
```

```
plot(FA,TBH)
```

```
grid on
```

```
XLABEL('Fator de Atividade')
```

```
YLABEL('BH Throughput (kbps)')
```

```
TITLE ('BH Throughput x Fator de atividade')
```

%%%

%%%

Throughput na BH por Aplicacao

%%%

TP\_Do=2000                    % Tamanho do pacote (kbyte) - Download

TP\_Web=54                    % Tamanho do pacote (kbyte) - Web Browser

TP\_Email=10                 % Tamanho do pacote (kbyte) - Email

TP\_Str=2400                 % Tamanho do pacote (kbyte) - Streaming

TP\_ST=0.52                 % Tamanho do pacote (kbyte) - Small Transaction

PS\_Do=1:0.5:30             % Pacotes por sessao de dados - Download

PS\_Web=1:0.5:30            % Pacotes por sessao de dados - Web Browser

PS\_Email=1:0.5:30         % Pacotes por sessao de dados - Email

PS\_Str=1:0.5:30            % Pacotes por sessao de dados - Streaming

PS\_ST=1:0.5:30            % Pacotes por sessao de dados - Small Transaction

RDU\_Do=20                   % Razao entre Downlink e Uplink - Download

RDU\_Web=10                 % Razao entre Downlink e Uplink - Web Browser

RDU\_Email=5                % Razao entre Downlink e Uplink - Email

RDU\_Str=100                % Razao entre Downlink e Uplink - Streaming

RDU\_ST=1                    % Razao entre Downlink e Uplink - Small Transaction

TL_Do=180	% Tempo de leitura (segundos) - Download
TL_Web=40	% Tempo de leitura (segundos) - Web Browser
TL_Email=60	% Tempo de leitura (segundos) - Email
TL_Str=0	% Tempo de leitura (segundos) - Streaming
TL_ST=5.5	% Tempo de leitura (segundos) - Small Transaction
PercAp_Do=0.2	% Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo - Download
PercAp_Web=0.3	% Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo - Web Browser
PercAp_Email=0.3	% Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo - Email
PercAp_Str=0.1	% Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo - Streaming
PercAp_ST=0.1	% Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo - Small Transaction

Users=1                      % Quantidade de usuarios

$TU\_Do=(TP\_Do*PS\_Do*Users)*2.22*0.001$                       % Trafego de um Usuario ativo na BH (BH\_Throughput)

$TU\_Web=(TP\_Web*PS\_Web*Users)*2.22*0.001$                       % Trafego de um Usuario ativo na BH (BH\_Throughput)

$TU\_Email=(TP\_Email*PS\_Email*Users)*2.22*0.001$  % Trafego de um Usuario ativo na BH (BH\_Throughput)

$TU\_Str=(TP\_Str*PS\_Str*Users)*2.22*0.001$                       % Trafego de um Usuario ativo na BH (BH\_Throughput)

$TU\_ST=(TP\_ST*PS\_ST*Users)*2.22*0.001$                       % Trafego de um Usuario ativo na BH (BH\_Throughput)

% BH Throughput varia em função de Pacotes por sessao de dados.

figure(2)



$PS\_FixWeb=20$                       % Pacotes por sessao de dados - Web Browser  
 $PS\_FixEmail=10$                       % Pacotes por sessao de dados - Email  
 $PS\_FixStr=1$                       % Pacotes por sessao de dados - Streaming  
 $PS\_FixST=2$                       % Pacotes por sessao de dados - Small Transaction  
  
 $FAFix=0.5$   
  
 $TBHFix=CM*8000*RT./(DM*FAFix*3600)$  % Valor de BH Throughput fixado para um fator de atividade (FA) igual a 0,5  
  
  
 $EA\_FixDo=(TP\_Do*8)/TBHFix$                       % Estado Ativo por Aplicacao - Download  
 $EA\_FixWeb=(TP\_Web*8)/TBHFix$                       % Estado Ativo por Aplicacao - Web Browser  
 $EA\_FixEmail=(TP\_Email*8)/TBHFix$                       % Estado Ativo por Aplicacao - Email  
 $EA\_FixStr=(TP\_Str*8)/TBHFix$                       % Estado Ativo por Aplicacao - Streaming  
 $EA\_FixST=(TP\_ST*8)/TBHFix$                       % Estado Ativo por Aplicacao - Small Transaction  
  
  
 $DC\_FixDo=EA\_FixDo+DOR$                       % Duracao da Conexao (segundos) Fixo - Download  
 $DC\_FixWeb=EA\_FixWeb+DOR$                       % Duracao da Conexao (segundos) Fixo - Web Browser  
 $DC\_FixEmail=EA\_FixEmail+DOR$                       % Duracao da Conexao (segundos) Fixo - Email  
 $DC\_FixStr=EA\_FixStr+DOR$                       % Duracao da Conexao (segundos) Fixo - Streaming  
 $DC\_FixST=EA\_FixST+DOR$                       % Duracao da Conexao (segundos) Fixo - Small Transaction  
  
  
 $DS\_FixDo=(EA\_FixDo*PS\_FixDo)+(TL\_Do*(PS\_FixDo-1))+DOR$                       % Duracao da Sessao (segundos) Fixo - Download  
 $DS\_FixWeb=(EA\_FixWeb*PS\_FixWeb)+(TL\_Web*(PS\_FixWeb-1))+DOR$                       % Duracao da Sessao (segundos) Fixo -  
Web Browser

$DS\_FixEmail=(EA\_FixEmail*PS\_FixEmail)+(TL\_Email*(PS\_FixEmail-1))+DOR$  % Duracao da Sessao (segundos) Fixo - Email

$DS\_FixStr=(EA\_FixStr*PS\_FixStr)+(TL\_Str*(PS\_FixStr-1))+DOR$  % Duracao da Sessao (segundos) Fixo - Streaming

$DS\_FixST=(EA\_FixST*PS\_FixST)+(TL\_ST*(PS\_FixST-1))+DOR$  % Duracao da Sessao (segundos) Fixo - Small Transaction

$TUA\_FixDo=(TP\_Do*8/DC\_FixDo)$  % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) Fixo - Download

$TUA\_FixWeb=(TP\_Web*8/DC\_FixWeb)$  % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) Fixo - Web Browser

$TUA\_FixEmail=(TP\_Email*8/DC\_FixEmail)$  % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) Fixo - Email

$TUA\_FixStr=(TP\_Str*8/DC\_FixStr)$  % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) Fixo - Streaming

$TUA\_FixST=(TP\_ST*8/DC\_FixST)$  % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) Fixo - Small Transaction

$NUA\_FixDo=(ThFLSingle)/TUA\_FixDo$  % Numero de Usuarios Ativos por Aplicacao Fixo - Download

$NUA\_FixWeb=(ThFLSingle)/TUA\_FixWeb$  % Numero de Usuarios Ativos por Aplicacao Fixo - Web Browser

$NUA\_FixEmail=(ThFLSingle)/TUA\_FixEmail$  % Numero de Usuarios Ativos por Aplicacao Fixo - Email

$NUA\_FixStr=(ThFLSingle)/TUA\_FixStr$  % Numero de Usuarios Ativos por Aplicacao Fixo - Streaming

$NUA\_FixST=(ThFLSingle)/TUA\_FixST$  % Numero de Usuarios Ativos por Aplicacao Fixo - Small Transaction

$PAS\_FixDo=((EA\_FixDo+\min(TL\_Do,DOR))/(EA\_FixDo+TL\_Do))$  % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Download

$PAS\_FixWeb=((EA\_FixWeb+\min(TL\_Web,DOR))/(EA\_FixWeb+TL\_Web))$  % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Web Browser

$PAS\_FixEmail=((EA\_FixEmail+\min(TL\_Email,DOR))/(EA\_FixEmail+TL\_Email))$  % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Email

$PAS\_FixStr=((EA\_FixStr+\min(TL\_Str,DOR))/(EA\_FixStr+TL\_Str))$  % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Streaming



$PAS\_FixST = ((EA\_FixST + \min(TL\_ST, DOR)) / (EA\_FixST + TL\_ST))$	% Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Small Transaction
$TUA\_RevFixDo = ((TP\_Do * 8 / RDU\_Do) / DC\_FixDo)$	% Throughput de um Usuario Ativo Reverse (kbps) Fixo - Download
$TUA\_RevFixWeb = ((TP\_Web * 8 / RDU\_Web) / DC\_FixWeb)$	% Throughput de um Usuario Ativo Reverse (kbps) Fixo - Web Browser
$TUA\_RevFixEmail = ((TP\_Email * 8 / RDU\_Email) / DC\_FixEmail)$	% Throughput de um Usuario Ativo Reverse (kbps) Fixo - Email
$TUA\_RevFixStr = ((TP\_Str * 8 / RDU\_Str) / DC\_FixStr)$	% Throughput de um Usuario Ativo Reverse (kbps) Fixo - Streaming
$TUA\_RevFixST = ((TP\_ST * 8 / RDU\_ST) / DC\_FixST)$	% Throughput de um Usuario Ativo Reverse (kbps) Fixo - Small Transaction
$NUA\_RevFixDo = (ThRL) / TUA\_RevFixDo$	% Numero de Usuarios Ativos por aplicacao Reverse Fixo - Download
$NUA\_RevFixWeb = (ThRL) / TUA\_RevFixWeb$	% Numero de Usuarios Ativos por aplicacao Reverse Fixo - Web Browser
$NUA\_RevFixEmail = (ThRL) / TUA\_RevFixEmail$	% Numero de Usuarios Ativos por aplicacao Reverse Fixo - Email
$NUA\_RevFixStr = (ThRL) / TUA\_RevFixStr$	% Numero de Usuarios Ativos por aplicacao Reverse Fixo - Streaming
$NUA\_RevFixST = (ThRL) / TUA\_RevFixST$	% Numero de Usuarios Ativos por aplicacao Reverse Fixo - Small Transaction
$EA\_Do = (TP\_Do * 8 * \text{ones}(\text{size}(\text{TBH}))) / \text{TBH}$	% Estado Ativo por Aplicacao - Download
$EA\_Web = (TP\_Web * 8 * \text{ones}(\text{size}(\text{TBH}))) / \text{TBH}$	% Estado Ativo por Aplicacao - Web Browser
$EA\_Email = (TP\_Email * 8 * \text{ones}(\text{size}(\text{TBH}))) / \text{TBH}$	% Estado Ativo por Aplicacao - Email

EA\_Str=(TP\_Str\*8\*ones(size(TBH)))./TBH % Estado Ativo por Aplicacao - Streaming

EA\_ST=(TP\_ST\*8\*ones(size(TBH)))./TBH % Estado Ativo por Aplicacao - Small Transaction

%%%

%%%

Procedimentos de calculo de capacidade do link direto (FL - Forward Link)

%%%

DC\_Do=EA\_Do+DOR % Duracao da Conexao (segundos) - Download

DC\_Web=EA\_Web+DOR % Duracao da Conexao (segundos) - Web Browser

DC\_Email=EA\_Email+DOR % Duracao da Conexao (segundos) - Email

DC\_Str=EA\_Str+DOR % Duracao da Conexao (segundos) - Streaming

DC\_ST=EA\_ST+DOR % Duracao da Conexao (segundos) - Small Transaction

figure(3)

loglog(FA,DC\_Do,'b',FA,DC\_Web,'g',FA,DC\_Email,'k',FA,DC\_Str,'c',FA,DC\_ST,'r')

legend('Download','Web Browser','Email','Streaming','Small Transaction',0)

grid on

XLABEL('Fator de Atividade')

YLABEL('Duração da Conexao (seg.)')

TITLE ('Duracao da Conexao x Fator de atividade')

DS\_Do=(EA\_Do\*PS\_FixDo)+(TL\_Do\*(PS\_FixDo-1))+DOR % Duracao da Sessao (segundos) - Download

$DS\_Web=(EA\_Web*PS\_FixWeb)+(TL\_Web*(PS\_FixWeb-1))+DOR$       % Duracao da Sessao (segundos) - Web Browser

$DS\_Email=(EA\_Email*PS\_FixEmail)+(TL\_Email*(PS\_FixEmail-1))+DOR$       % Duracao da Sessao (segundos) - Email

$DS\_Str=(EA\_Str*PS\_FixStr)+(TL\_Str*(PS\_FixStr-1))+DOR$       % Duracao da Sessao (segundos) - Streaming

$DS\_ST=(EA\_ST*PS\_FixST)+(TL\_ST*(PS\_FixST-1))+DOR$       % Duracao da Sessao (segundos) - Small Transaction

figure(4)

loglog(FA,DS\_Do,'b',FA,DS\_Web,'g',FA,DS\_Email,'k',FA,DS\_Str,'c',FA,DS\_ST,'r')

legend('Download','Web Browser','Email','Streaming','Small Transaction',0)

grid on

XLABEL('Fator de Atividade')

YLABEL('Duração da Sessao (seg.)')

TITLE ('Duracao da Sessao x Fator de atividade')

$PAS\_Do=((EA\_Do+\min(TL\_Do,DOR))/(EA\_FixDo+TL\_Do))$       % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Download

$PAS\_Web=((EA\_Web+\min(TL\_Web,DOR))/(EA\_FixWeb+TL\_Web))$       % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Web Browser

$PAS\_Email=((EA\_Email+\min(TL\_Email,DOR))/(EA\_FixEmail+TL\_Email))$       % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Email

$PAS\_Str=((EA\_Str+\min(TL\_Str,DOR))/(EA\_FixStr+TL\_Str))$       % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Streaming

$PAS\_ST=((EA\_ST+\min(TL\_ST,DOR))/(EA\_FixST+TL\_ST))$       % Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Small Transaction

figure(5)

```
plot(FA,(PAS_Do*100),'b',FA,(PAS_Web*100),'g',FA,(PAS_Email*100),'k',FA,(PAS_Str*100),'c',FA,(PAS_ST*100),'r')
```

```
legend('Download','Web Browser','Email','Streaming','Small Transaction',0)
```

```
grid on
```

```
XLABEL('Fator de Atividade')
```

```
YLABEL('Percentual de Atividade de Forward (%)')
```

```
TITLE ('Percentual de Atividade de Forward x Fator de atividade')
```

```
TUA_Do=(TP_Do*(FA+(1-FAFix))*8/DC_FixDo) % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) - Download
```

```
TUA_Web=(TP_Web*(FA+(1-FAFix))*8/DC_FixWeb) % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) - Web Browser
```

```
TUA_Email=(TP_Email*(FA+(1-FAFix))*8/DC_FixEmail) % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) - Email
```

```
TUA_Str=(TP_Str*(FA+(1-FAFix))*8/DC_FixStr) % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) - Streaming
```

```
TUA_ST=(TP_ST*(FA+(1-FAFix))*8/DC_FixST) % Throughput de um Usuario Ativo (kbps) - Small Transaction
```

```
figure(6)
```

```
plot(FA,(TUA_Do),'b',FA,(TUA_Web),'g',FA,(TUA_Email),'k',FA,(TUA_Str),'c',FA,(TUA_ST),'r')
```

```
legend('Download','Web Browser','Email','Streaming','Small Transaction',0)
```

```
grid on
```

```
XLABEL('Fator de Atividade')
```

```
YLABEL('Throughput de Conexao Ativa (kbps)')
```

```
TITLE ('Throughput de Conexao Ativa x Fator de atividade')
```

```
NUA_Do=(ThFLSingle*ones(size(TUA_Do)))./TUA_Do % Numero de Usuarios Ativos por
Aplicacao - Download
```

```

NUA_Web=(ThFLSingle*ones(size(TUA_Do)))./TUA_Web          % Numero de Usuarios Ativos por
Aplicacao - Web Browser

NUA_Email=(ThFLSingle*ones(size(TUA_Do)))./TUA_Email      % Numero de Usuarios Ativos por
Aplicacao - Email

NUA_Str=(ThFLSingle*ones(size(TUA_Do)))./TUA_Str          % Numero de Usuarios Ativos por
Aplicacao - Streaming

NUA_ST=(ThFLSingle*ones(size(TUA_Do)))./TUA_ST           % Numero de Usuarios Ativos por
Aplicacao - Small Transaction

```

```
figure(7)
```

```
loglog(FA,NUA_Do,'b',FA,NUA_Web,'g',FA,NUA_Email,'k',FA,NUA_Str,'c',FA,NUA_ST,'r')
```

```
legend('Download','Web Browser','Email','Streaming','Small Transaction',0)
```

```
grid on
```

```
XLABEL('Fator de Atividade')
```

```
YLABEL('Usuarios Ativos')
```

```
TITLE ('Usuarios Ativos x Fator de atividade')
```

```

SsDurDo=PercAp_Do*DS_FixDo*PAS_Do                        % Percentual de aplicacao pelo perfil do
usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Download

```

```

SsDurWeb=PercAp_Web*DS_FixWeb*PAS_Web                    % Percentual de aplicacao pelo perfil do
usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Web Browser

```

```

SsDurEmail=PercAp_Email*DS_FixEmail*PAS_Email           % Percentual de aplicacao pelo perfil do
usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Email

```

```

SsDurStr=PercAp_Str*DS_FixStr*PAS_Str                   % Percentual de aplicacao pelo perfil do
usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Streaming

```

SsDurST=PercAp\_ST\*DS\_FixST\*PAS\_ST % Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) - Small Transaction

SomaTotalSsDur=SsDurDo+SsDurWeb+SsDurEmail+SsDurStr+SsDurST

PUS\_Do=rot90((rot90(rot90(rot90(SsDurDo)))\*(FA+(1-FAFix)))/SomaTotalSsDur) % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao - Download

PUS\_Web=rot90((rot90(rot90(rot90(SsDurWeb)))\*(FA+(1-FAFix)))/SomaTotalSsDur) % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao - Web Browser

PUS\_Email=rot90((rot90(rot90(rot90(SsDurEmail)))\*(FA+(1-FAFix)))/SomaTotalSsDur) % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao - Email

PUS\_Str=rot90((rot90(rot90(rot90(SsDurStr)))\*(FA+(1-FAFix)))/SomaTotalSsDur) % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao - Streaming

PUS\_ST=rot90((rot90(rot90(rot90(SsDurST)))\*(FA+(1-FAFix)))/SomaTotalSsDur) % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao - Small Transaction

figure(8)

plot(FA,PUS\_Do\*100,'b',FA,PUS\_Web\*100,'g',FA,PUS\_Email\*100,'k',FA,PUS\_Str\*100,'c',FA,PUS\_ST\*100,'r')

legend('Download','Web Browser','Email','Streaming','Small Transaction',0)

grid on

XLABEL('Fator de Atividade')

YLABEL('Percentual da Sessao por Tipo de Aplicacao (%)')

TITLE ('Percentual da Sessao por Tipo de Aplicacao x Fator de atividade')

$SsDurFixDo = PercAp\_Do * DS\_FixDo * PAS\_FixDo$  % Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) Fixo - Download

$SsDurFixWeb = PercAp\_Web * DS\_FixWeb * PAS\_FixWeb$  % Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) Fixo - Web Browser

$SsDurFixEmail = PercAp\_Email * DS\_FixEmail * PAS\_FixEmail$  % Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) Fixo - Email

$SsDurFixStr = PercAp\_Str * DS\_FixStr * PAS\_FixStr$  % Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) Fixo - Streaming

$SsDurFixST = PercAp\_ST * DS\_FixST * PAS\_FixST$  % Percentual de aplicacao pelo perfil do usuario ativo (%) x Duracao da Sessao (segundos) x Percentual de Atividade na Sessao por aplicacao (%) Fixo - Small Transaction

$SomaTotalSsDurFix = SsDurFixDo + SsDurFixWeb + SsDurFixEmail + SsDurFixStr + SsDurFixST$

$PUS\_FixDo = SsDurFixDo / SomaTotalSsDurFix$  % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao Fixo - Download

$PUS\_FixWeb = SsDurFixWeb / SomaTotalSsDurFix$  % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao Fixo - Web Browser

$PUS\_FixEmail = SsDurFixEmail / SomaTotalSsDurFix$  % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao Fixo - Email

$PUS\_FixStr = SsDurFixStr / SomaTotalSsDurFix$  % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao Fixo - Streaming

$PUS\_FixST = SsDurFixST / SomaTotalSsDurFix$  % Percentual de Uso da Sessao por tipo de aplicacao Fixo - Small Transaction

$NUA\_MixDo = PUS\_FixDo / NUA\_FixDo$  % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Download

$NUA\_MixWeb = PUS\_FixWeb / NUA\_FixWeb$  % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Web Browser

$NUA\_MixEmail = PUS\_FixEmail / NUA\_FixEmail$                       % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Email  
 $NUA\_MixStr = PUS\_FixStr / NUA\_FixStr$                                       % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Streaming  
 $NUA\_MixST = PUS\_FixST / NUA\_FixST$                                       % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Small Transaction

$NTUA = (1 / (NUA\_MixDo + NUA\_MixWeb + NUA\_MixEmail + NUA\_MixStr + NUA\_MixST))$

figure(9)

plot(FA, NTUA\*(FA+(1-FAFix)))

grid on

XLABEL('Fator de Atividade')

YLABEL('Usuarios Ativos com a Mistura das Aplicacoes')

TITLE ('Usuarios Ativos com a Mistura das Aplicacoes x Fator de atividade')

%%%

%%%

Procedimentos de calculo de capacidade do link reverso (RL - Reverse Link)

%%%

$TUA\_RevDo = ((TP\_Do * 8 / RDU\_Do) * (FA + (1 - FAFix))) / DC\_FixDo$                       % Throughput de um Usuario Ativo Reverse (kbps)  
 - Download

$TUA\_RevWeb = ((TP\_Web * 8 / RDU\_Web) * (FA + (1 - FAFix))) / DC\_FixWeb$                       % Throughput de um Usuario Ativo Reverse (kbps)  
 - Web Browser



$TUA\_RevEmail = ((TP\_Email * 8 / RDU\_Email) * (FA + (1 - FAFix))) / DC\_FixEmail$       % Throughput de um Usuario Ativo  
Reverse (kbps) - Email

$TUA\_RevStr = ((TP\_Str * 8 / RDU\_Str) * (FA + (1 - FAFix))) / DC\_FixStr$       % Throughput de um Usuario Ativo  
Reverse (kbps) - Streaming

$TUA\_RevST = ((TP\_ST * 8 / RDU\_ST) * (FA + (1 - FAFix))) / DC\_FixST$       % Throughput de um Usuario Ativo  
Reverse (kbps) - Small Transaction

figure(10)

plot(FA, TUA\_RevDo, 'b', FA, TUA\_RevWeb, 'g', FA, TUA\_RevEmail, 'k', FA, TUA\_RevStr, 'c', FA, TUA\_RevST, 'r')

legend('Download', 'Web Browser', 'Email', 'Streaming', 'Small Transaction', 0)

grid on

XLABEL('Fator de Atividade')

YLABEL('Throughput de Conexao Ativa no Link Reverso (kbps)')

TITLE ('Throughput de Conexao Ativa no Link Reverso x Fator de atividade')

$NUA\_RevDo = (ThRL * ones(size(TUA\_RevDo))) / TUA\_RevDo$       % Numero de Usuarios Ativos por  
aplicacao Reverse - Download

$NUA\_RevWeb = (ThRL * ones(size(TUA\_RevWeb))) / TUA\_RevWeb$       % Numero de Usuarios Ativos por  
aplicacao Reverse - Web Browser

$NUA\_RevEmail = (ThRL * ones(size(TUA\_RevEmail))) / TUA\_RevEmail$       % Numero de Usuarios Ativos por aplicacao Reverse  
- Email

$NUA\_RevStr = (ThRL * ones(size(TUA\_RevStr))) / TUA\_RevStr$       % Numero de Usuarios Ativos por  
aplicacao Reverse - Streaming

$NUA\_RevST = (ThRL * ones(size(TUA\_RevST))) / TUA\_RevST$       % Numero de Usuarios Ativos por  
aplicacao Reverse - Small Transaction

figure(11)

```
plot(FA,NUA_RevDo,'b',FA,NUA_RevWeb,'g',FA,NUA_RevEmail,'k',FA,NUA_RevStr,'c',FA,NUA_RevST,'r')
```

```
legend('Download','Web Browser','Email','Streaming','Small Transaction',0)
```

```
grid on
```

```
XLABEL('Fator de Atividade')
```

```
YLABEL('Usuarios Ativos no Link Reverso')
```

```
TITLE ('Usuarios Ativos no Link Reverso x Fator de atividade')
```

```
NUA_RevMixDo=PUS_FixDo/NUA_RevFixDo           % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Download
```

```
NUA_RevMixWeb=PUS_FixWeb/NUA_RevFixWeb        % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Web Browser
```

```
NUA_RevMixEmail=PUS_FixEmail/NUA_RevFixEmail  % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Email
```

```
NUA_RevMixStr=PUS_FixStr/NUA_RevFixStr        % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Streaming
```

```
NUA_RevMixST=PUS_FixST/NUA_RevFixST          % Numero de Usuarios Ativos (mix) - Small Transaction
```

```
NTUA_RL=(1/(NUA_RevMixDo+NUA_RevMixWeb+NUA_RevMixEmail+NUA_RevMixStr+NUA_RevMixST))
```

figure(12)

```
plot(FA,NTUA_RL*(FA+(1-FAFix)))
```

```
grid on
```

```
XLABEL('Fator de Atividade')
```

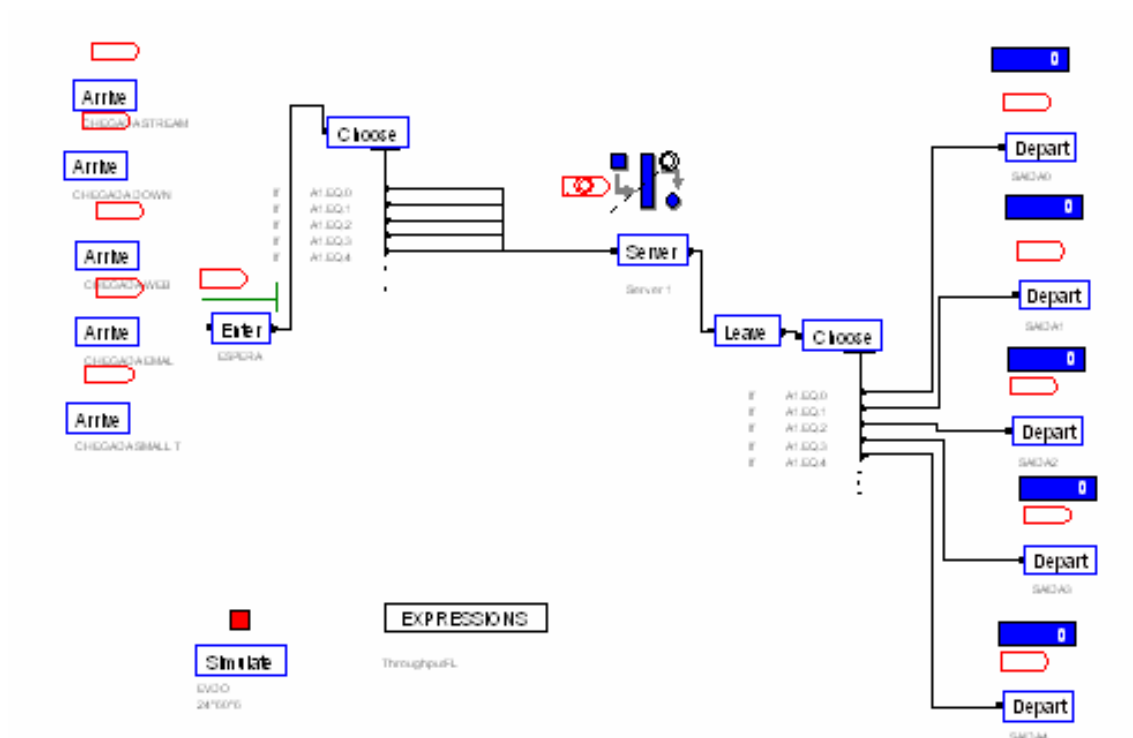
```
YLABEL('Usuarios Ativos com a Mistura das Aplicacoes')
```

```
TITLE ('Usuarios Ativos com a Mistura das Aplicacoes x Fator de atividade')
```



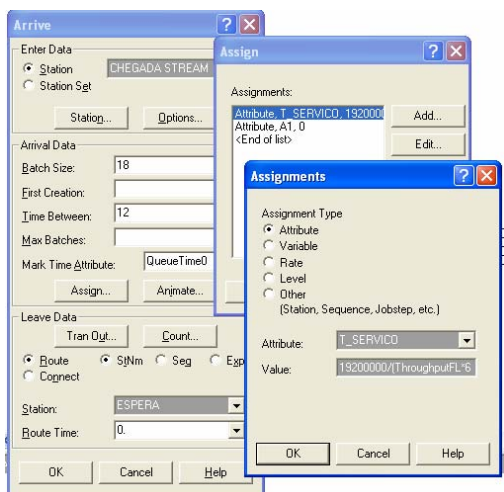
## ANEXO B – SIMULADOR DE UMA REDE 1XEVD0 NO SOFTWARE ARENA

### Arquitetura do Simulador:

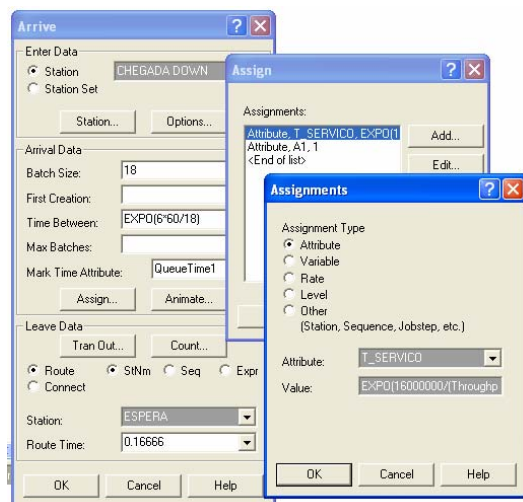


### Programações:

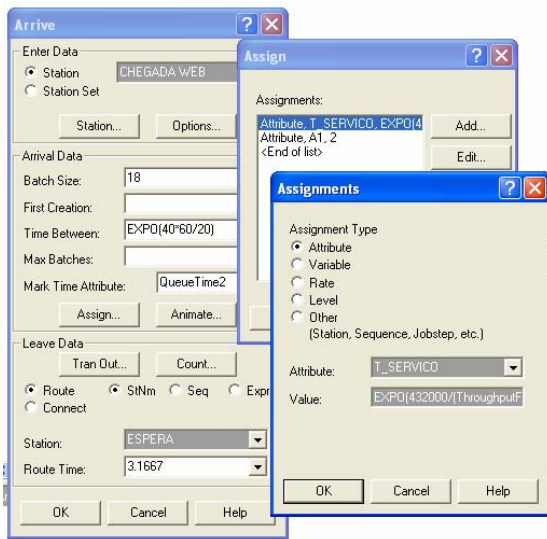
#### Arrive Stream:



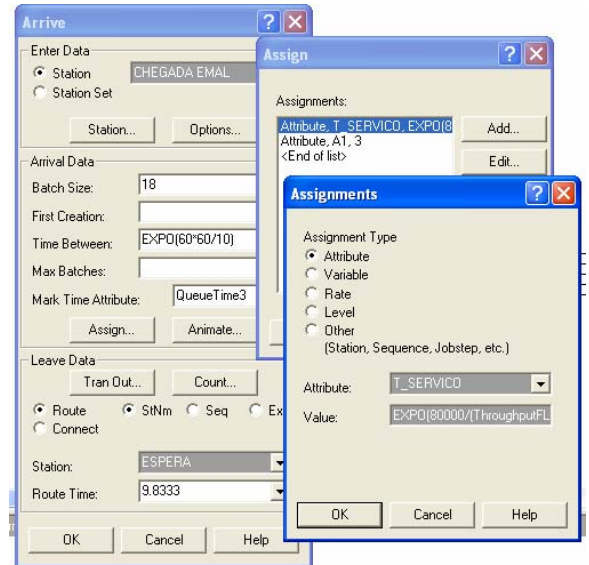
#### Arrive Download:



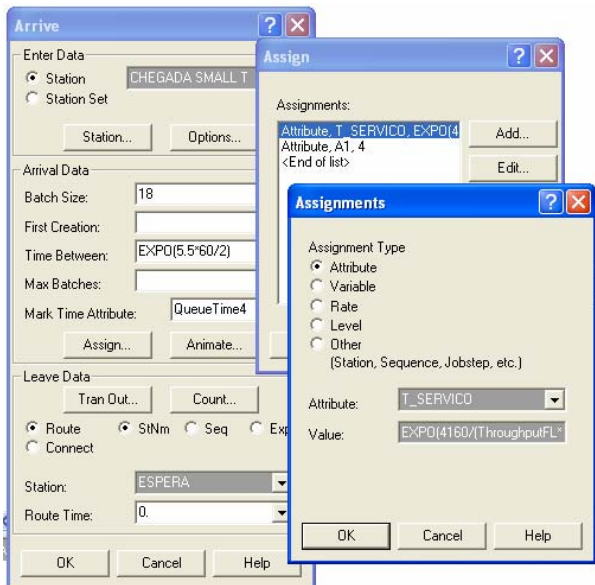
**Arrive Web:**



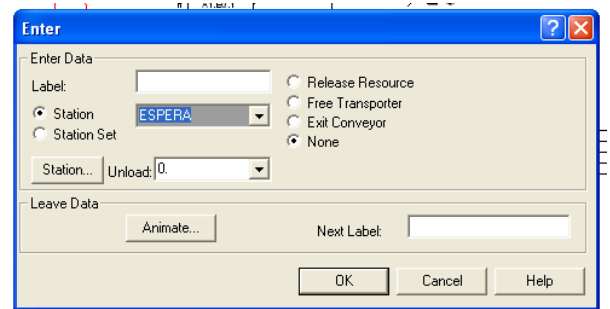
**Arrive Email:**



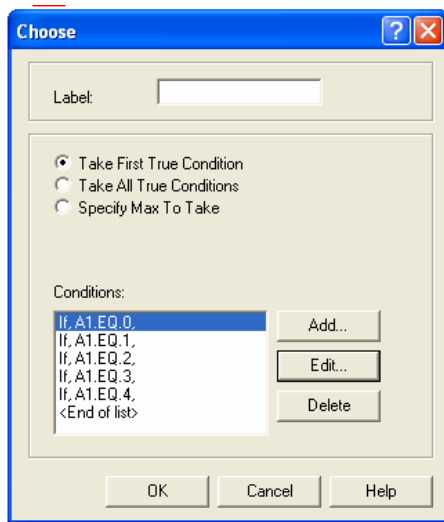
**Arrive Small T:**



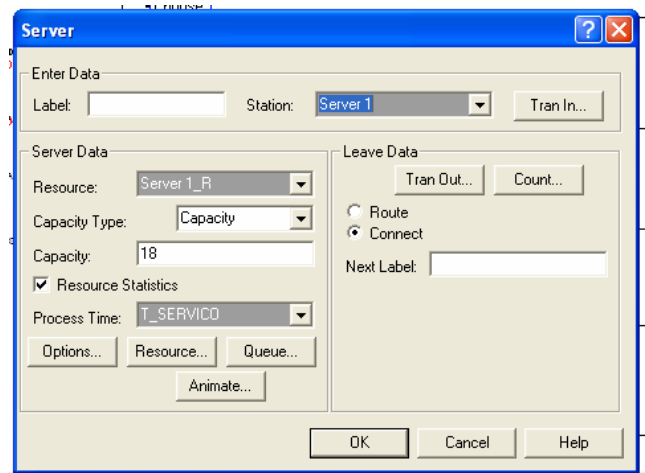
**Enter:**



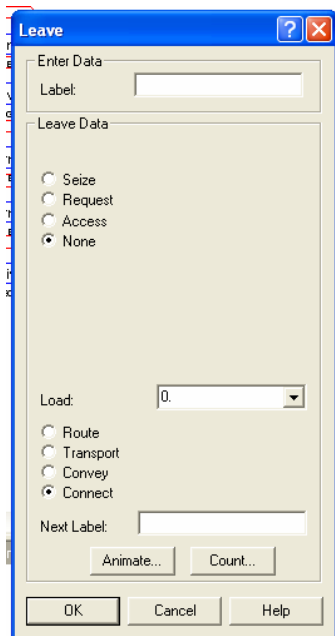
**Choose 1:**



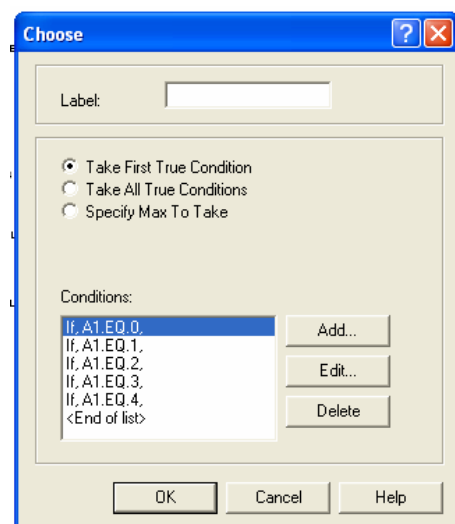
**Server:**



**Leave:**



**Choose 2:**



**Depart (saída 0):**

The 'Depart' dialog box for 'saída 0' is configured with the following settings:

- Enter Data:** Station: SAIDA0
- Count:** Individual Counter selected; Counter: SAIDA0\_C; Increment: 1
- Tally:** Individual Tally selected; Tally: SAIDA0\_Ta
- Type of Statistics:** Interval selected; Attribute: QueueTime0

**Depart (saída 1):**

The 'Depart' dialog box for 'saída 1' is configured with the following settings:

- Enter Data:** Station: SAIDA1
- Count:** Individual Counter selected; Counter: SAIDA1\_C; Increment: 1
- Tally:** Individual Tally selected; Tally: SAIDA1\_Ta
- Type of Statistics:** Interval selected; Attribute: QueueTime1

Todos os departs seguintes seguirão a mesma sequência, ajustando-se apenas o attribute (Queue Time 0, 1, 2, 3 e 4).

**Expression:**

The 'Expressions Element' dialog shows 'ThroughputFL' selected in the list. The 'Expressions' dialog shows the configuration for this expression:

- Number:** (empty)
- Name:** ThroughputFL
- 1-D Array Index:** (empty)
- 2-D Array Index:** (empty)
- Expression Values:** 600000

**Simulate:**

The 'Simulate' dialog box is configured with the following settings:

- Project:** Title: EVDD; Analyst: MENON; Date: 18/02/2006
- Replicate:** Number of Replications: 1; Beginning Time: 0.0; Length of Replication: 24\*60\*6
- Terminating Condition:** (empty)
- Between Replications...:**  Initialize System;  Initialize Statistics
- Warm-Up Period:** 600

Os valores de *ThroughputFL*, *Length of Replications* e *Warm-Up period* são alterados conforme as simulações a serem feitas.

## ANEXO C – SUGESTÃO DE RECEITUÁRIO

1 – De posse dos dados de entrada que constituem os requisitos do usuário: CM, DM, RT e FA, calcula-se TU Kbps;

2 – De posse dos dados de entrada que constituem os requisitos do provedor: TP, RDU, TL, PS e das sessões que serão abertas pelos usuários (SBH) calcula-se TA Kbps;

3- De posse dos dados de entrada que constituem o perfil do usuário  $q(i)$  e das características da rede *wireless* a ser dimensionada: DOR, *Throughput FL e RL*, SPP e EV, calcula-se para o link direto: DC(i), DS(i), PAS(i), TUA FL(i), NUA FL(i), PUS(i), NTUA FL(i) e para o link reverso: TUA RL(i), NUA RL(i) e NTUA RL (i).

4 – De posse dos dados de entrada dos links direto e reverso, calculados no item 3, calcula-se o número de usuários ativos NA, o número de usuários ativos, em *dormant* e desconectados NADD e a quantidade de portadoras necessárias PN para suportar a demanda de usuários com os perfis adotados.