

ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO DA INTERFACE ABIS EM REDES DE  
TELEFONIA CELULAR GSM

Caio Márcio Brotas Pinhão

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA.

Aprovada por:

---

Prof. Marcello Luiz Rodrigues de Campos, Ph.D.

---

Prof. Paulo Sergio Ramirez Diniz, Ph.D.

---

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL.

MARÇO DE 2006

PINHÃO, CAIO MÁRCIO BROTAS

Estratégias de otimização da interface Abis  
em redes de telefonia celular GSM

[Rio de Janeiro] 2005

XV, 119 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,  
Engenharia Elétrica, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, COPPE

1. Otimização em sistemas celulares GSM

I. COPPE/UFRJ II. Título ( série )

# Dedicatória

Dedico esta Tese à minha família.

# Agradecimentos

Gostaria de prestar agradecimento a todos que contribuíram com a elaboração deste trabalho: minha esposa Julianna, colegas de trabalho e estudo, minha empresa TIM, meu orientador Marcello e finalmente, Deus.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO DA INTERFACE ABIS EM REDES DE TELEFONIA CELULAR GSM

Caio Márcio Brotas Pinhão

Março/2006

Orientador: Marcello Luiz Rodrigues de Campos

Programa: Engenharia Elétrica

A crescente demanda de tráfego de dados em redes celulares GSM/(E)GPRS se traduz num impacto diretamente proporcional ao consumo de recursos de rede. Especificamente a interface Abis representa, pelo seu volume, um dos pontos críticos nos projetos de redução de custos para as operadoras de telefonia celular.

Este trabalho é um estudo sobre as várias estratégias de otimização da interface Abis disponíveis no mercado com o objetivo de reduzir a banda necessária nesta interface e, conseqüentemente, os custos das operadoras de telefonia celular. Após os capítulos introdutórios para embasamento do estudo, é feita uma descrição detalhada das especificações associadas a este interface, em que é possível verificar claramente os pontos passíveis de sofrerem otimização, e quais os fatores a influenciam. Em seguida são descritas as abordagens mais comuns para a otimização com suas respectivas vantagens e desvantagens. Por último são apresentados resultados práticos obtidos em testes laboratoriais e em redes comerciais de duas das soluções descritas anteriormente.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## ABIS INTERFACE OPTIMIZATION STRATEGIES ON GSM MOBILE NETWORKS

Caio Márcio Brotas Pinhão

March/2006

Advisor: Marcello Luiz Rodrigues de Campos

Department: Electrical Engineering

The continuous growth on the demand of data services over GSM/(E)GPRS mobile networks presents a directly proportional impact on the network resource consumption. Specifically the Abis interface, by its volume, is one of the crucial points regarding the mobile operators' cost reduction projects.

This document is a study about the Abis interface optimization strategies available on the market aiming to reduce the reserved bandwidth on this interface and, as a consequence, the operational costs. After the introductory chapters necessary to support the study, a detailed description of the specifications concerning this interface is made, where it is possible to identify easily the points which can be optimized, and what are the factors that can improve it. Continuing the most common optimization strategies are described with their respective advantages and disadvantages. Finally some practical results gathered on laboratory tests and even on commercial networks are shown concerning two of the strategies described before.

# Sumário

<i>Dedicatória</i> .....	<i>iii</i>
<i>Agradecimentos</i> .....	<i>iv</i>
<i>Sumário</i> .....	<i>vii</i>
<i>Índice de Figuras</i> .....	<i>ix</i>
<i>Glossário de Siglas</i> .....	<i>xii</i>
<b>1. Breve Histórico sobre Telefonía Móvel</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Primeira Geração de Telefones Celulares</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Segunda Geração de Telefones Celulares</b> .....	<b>2</b>
1.3.1 Sistema TDMA.....	4
1.3.2 Sistema CDMA .....	4
1.3.3 Sistema GSM.....	5
<b>1.4 Geração 2,5 de Telefones Celulares</b> .....	<b>7</b>
<b>1.5 Terceira Geração de Telefones Celulares</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Conceitos Básicos dos quadros PCM30</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 A Construção do quadro PCM30</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 O sincronismo do quadro PCM30</b> .....	<b>21</b>
<b>2.4 Os alarmes</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5 A aplicação do quadro PCM30 na interface Abis</b> .....	<b>25</b>
<b>3. Conceitos Básicos do (E)GPRS</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 Introdução</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2 Comutação por pacotes e Comutação por circuitos</b> .....	<b>30</b>
3.2.1 Comutação por circuitos (Circuit Swtiched – CS) .....	31
3.2.2 Comutação por pacotes (Packet Switched – PS).....	31
<b>3.3 Introdução do GPRS nas redes GSM</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4 Estudo da interface aérea</b> .....	<b>34</b>
3.4.1 Estratégias de utilização dos timeslots na interface aérea .....	34
3.4.2 Possíveis definições dos timeslots na interface aérea.....	35
3.4.3 Os esquemas de codificação .....	37
<b>3.5 A evolução para o sistema (E)GPRS</b> .....	<b>38</b>
3.5.1 As diferenças introduzidas no (E)GPRS .....	39
3.5.2 Os esquemas de codificação .....	40

<b>4. A otimização da interface Abis.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Quadros TRAU.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 A Transmissão Descontínua .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Estratégias de Otimização para a Interface Abis .....</b>	<b>50</b>
4.4.1 Abis Parcialmente Dinâmica .....	51
4.4.2 Abis Totalmente Dinâmica.....	54
4.4.3 Otimização a partir da detecção de quadros TRAU ociosos .....	62
4.4.4 Abis sobre IP .....	64
<b>5 Testes das estratégias de otimização da interface Abis .....</b>	<b>71</b>
<b>5.1 Introdução.....</b>	<b>71</b>
<b>5.2 Abis totalmente dinâmica .....</b>	<b>72</b>
5.2.1 Premissas e configurações dos testes. ....	72
5.2.2 Exemplo BTS 1 – alto tráfego .....	73
5.2.3 Exemplo BTS 2 – alto tráfego .....	76
5.2.4 Exemplo BTS 3 – alto tráfego .....	77
5.2.5 Exemplo BTS 4 – médio tráfego .....	79
5.2.6 Exemplo BTS 5 – baixo tráfego .....	80
5.2.7 Exemplo BTS 6 – congestionamento .....	81
5.2.8 Exemplo BTS 7 – congestionamento .....	83
5.2.9 Exemplo BTS 8 – congestionamento .....	84
<b>5.3 Abis sobre IP.....</b>	<b>86</b>
5.3.1 Influência sobre a qualidade de voz. ....	86
5.3.2 Influência sobre a qualidade de voz em situação de congestionamento.....	89
5.3.3 Latência introduzida pela estratégia de otimização Abis sobre IP. ....	92
5.3.4 Influência da latência sobre a performance (E)GPRS. ....	94
5.3.5 Influência do congestionamento sobre a performance (E)GPRS. ....	96
5.3.6 Introdução do cabeçalho da estratégia de otimização. ....	98
5.3.7 Medições da taxa de otimização com tráfego real reproduzido em laboratório.....	100
5.3.8 Medições da taxa de otimização em redes comerciais com interface Abis sobre satélite. ....	106
<b>6 Conclusões .....</b>	<b>112</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>117</b>



# Índice de Figuras

- Figura 1.1 Diferença entre as técnicas de múltiplo acesso.
- Figura 1.2 Topologia básica do sistema GSM.
- Figura 1.3 As taxas de transmissão ao longo da evolução das gerações de telefones celulares.
- Figura 2.1 Densidade Espectral de potência da voz humana.
- Figura 2.2 Ilustração do processo de amostragem do sinal de voz.
- Figura 2.3 Quantização linear do sinal PAM e erro de quantização.
- Figura 2.4 Processo de transmissão do sinal PCM.
- Figura 2.5 Processo de recepção do sinal PCM.
- Figura 2.6 Ilustração do quadro PCM30.
- Figura 2.7 Procedimento de sincronização do quadro PCM30 sem CRC-4.
- Figura 2.8 O método CRC-4 de detecção de erros de transmissão.
- Figura 2.9 Multiquadro de CRC.
- Figura 2.10 Exemplo de topologia para três BTSs compartilhando o mesmo quadro PCM30.
- Figura 2.11 Exemplo de alocação de timeslots em um quadro PCM30 na interface Abis.
- Figura 3.1 Diferença fundamental entre comutação por circuitos e comutação por pacotes.
- Figura 3.2 Ilustração das redes GSM e GPRS.
- Figura 3.3 Ilustração da ampliação do território de dados.
- Figura 3.4 Adoção do esquema de modulação 8-PSK com a introdução do sistema (E) GPRS.
- Figura 4.1 Procedimento de transmissão na funcionalidade de transmissão descontínua.
- Figura 4.2 A demanda associada a cada esquema de codificação dos sistemas GPRS e (E) GPRS.
- Figura 4.3 A alocação dinâmica dos recursos do BDD.

- Figura 4.4 Alocação dinâmica dos recursos da interface Abis.
- Figura 4.5 Exemplo de otimização da interface Abis totalmente dinâmica, considerando apenas o tráfego de voz.
- Figura 4.6 Quadros TRAU concatenados.
- Figura 4.7 Troca de informações de sinalização da interface Abis Totalmente Dinâmica.
- Figura 4.8 A introdução do novo elemento – (a) Abis convencional. (b) Abis otimizada.
- Figura 4.9 Solução de Abis sobre IP
- Figura 4.10 Estratégia de otimização Abis sobre IP.
- Figura 4.11 Possibilidade de transmissão de diferentes tráfegos sobre o mesmo E1 (quadro PCM30).
- Figura 4.12 Abis sobre IP maximizando os ganhos estatísticos com elementos concentradores.
- Figura 5.1 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 1.
- Figura 5.2 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 2.
- Figura 5.3 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 3.
- Figura 5.4 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 4.
- Figura 5.5 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 5.
- Figura 5.6 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 6.
- Figura 5.7 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 7.
- Figura 5.8 Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 8.
- Figura 5.9 Configuração utilizada nos testes de MOS.
- Figura 5.10 Resultados dos Testes de MOS com diferentes algoritmos de codificação de voz.
- Figura 5.11 Configuração necessária para o teste de influência do congestionamento no MOS.
- Figura 5.12 Influência do congestionamento no MOS.
- Figura 5.13 Configuração para teste de latência.

- Figura 5.14 Impacto da latência na performance do sistema (E) GPRS.
- Figura 5.15 Diferença no throughput com a introdução da interface Abis sobre IP.
- Figura 5.16 Configuração para teste de impacto da situação de congestionamento na performance do sistema (E) GPRS.
- Figura 5.17 Influência do congestionamento no throughput (E) GPRS.
- Figura 5.18 Configuração para teste de medição do cabeçalho introduzido pela interface Abis sobre IP.
- Figura 5.19 Medição do cabeçalho introduzido pela interface Abis sobre IP.
- Figura 5.20 Configuração dos testes para medição da taxa de otimização.
- Figura 5.21 Utilização da interface Abis sobre IP com tráfego coletado do site 1.
- Figura 5.22 Utilização da interface Abis sobre IP com tráfego coletado do site 2.
- Figura 5.23 Utilização da interface Abis sobre IP com tráfego coletado do site 3.
- Figura 5.24 Configuração dos testes em rede viva da solução de otimização Abis sobre IP.
- Figura 5.25 Utilização da interface Abis sobre IP e tráfego médio da BTS.
- Figura 5.26 Eficiência de otimização da interface Abis e tráfego médio da BTS.
- Figura 5.27 Relação entre a utilização da interface Abis sobre IP e o tráfego da BTS.

# Glossário de Siglas

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
AMPS	Advanced Mobile Telephones
AMR	Adaptive Multi Rating codec family
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BDD	Banda Dinâmica de Dados
BER	Bit Error Rate
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
BG	Border Gateway
BSC	Base Station Controller
CDMA	Code Division Multiple Access
CIR	Carrier to Interference Ratio
CG	Charging Gateway
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Circuit Switched
CSD	Circuit Switched Data
DNS	Domain Name Server
DPSK	Differential Phase Shift Keying
DTX	Discontinuous Transmission
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution

EFR	Enhanced Full Rate
EM	Estação Móvel
ERB	Estação Rádio-Base
FAS	Frame Alignment Signal
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
FR	Full Rate
HMM	Hora de Maior Movimento
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HLR	Home Location Register
HR	Half Rate codec
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunications in the year 2000
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunications Union
LA	Location Area
LAPD	Link Access Protocol over D-Channel
LIG	Lawful Interception Gateway
MAC	Medium Access Control

MCS	Modulation Coding Schemes
MOS	Mean Opinion Score
MPLS	Multi Protocol Label Switching
MSC	Mobile Switching Center
NFAS	No Frame Alignment Signal
NMT	Nordic Mobile Telephones
NTT	Nippon Telephone and Telegraph
OSI	Open systems interconnection
O&M	Operation & Maintenance
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PCM	Pulse Code Modulation
PCU	Packet Control Unit
PDCH	Packet Data CHannel
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDP	Packet Data Protocol
PESQ	Perceptual evaluation of speech quality
PS	Packet Switched
PSK	Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
QPSK	QuadraturePhase Shift Keying
RA	Routing Area
RLC	Radio Link Control
RTSL	Radio Timeslot

RX	Recepção
SFC	Sub-Frame Counter
SGSN	Serving GPRS Support Node
SID	Silence Descriptor frame
SIR	Signal to Interference Ratio
SMS	Short Message Services
SNR	Signal to Noise Ratio
TBF	Temporary Block Flow
TCH	Traffic Channel
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TLLI	Temporary Logical Link Identity
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
TRX	Transceiver
TX	Transmissão
VAD	Voice Activity Detector
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (3GSM)
VLR	Visitor Location Register
WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wideband CDMA
Wi-Fi	Wireless Fidelity

# Capítulo

## 1. Breve Histórico sobre Telefonia Móvel

### 1.1 Introdução

O primeiro capítulo apresenta um breve histórico com a evolução da telefonia móvel e os principais métodos de múltiplo acesso, com vantagens e desvantagens.

O objetivo deste primeiro Capítulo é situar historicamente o objeto de estudo deste trabalho, mostrando a partir de que momento surge a motivação para a otimização da Interface Abis nas redes que utilizam o sistema GSM.

### 1.2 Primeira Geração de Telefones Celulares

Embora o conceito de telefonia móvel tenha surgido nas décadas de 50 e 60 no AT&T Bell Laboratories [1], foi no final da década de 70 e no início da década de 80 que surgiu a primeira geração de telefonia celular, quando sistemas analógicos foram desenvolvidos, e entraram em operação comercial.

Os sistemas comerciais que ganharam mais destaque foram o Advanced Mobile Phone Service -AMPS (EUA), o Nordic Mobile Telephones - NMT (Escandinávia), além do Japonês lançado pela empresa Nippon Telephone and Telegraph Public Corporation – NTT. A Tabela 1.1 mostra as principais características dos mesmos [2].

Em todos os sistemas supracitados a modulação utilizada foi FM (Frequency Modulation), que é uma modulação analógica, e o método de múltiplo acesso empregado foi FDMA (Frequency Division Multiple Access). Nos sistemas FDMA temos uma portadora dedicada a cada chamada, de modo que os usuários são separados por frequência. É



necessário considerar, entretanto, que um aumento no número de assinantes nestas redes de telefonia celular significa a demanda por mais banda do espectro de frequências, que é um recurso escasso, além de bastante caro.

Tabela 1.1 – características dos principais sistemas comerciais da primeira geração de telefones celulares.

Sistema	Faixa de frequência (MHz)	Largura de banda por canal (kHz)	Modulação	Técnica de múltiplo Acesso
AMPS	800	30	FM	FDMA
NMT	450	25	FM	FDMA
NTT	800	25	FM	FDMA

Dentre os vários sistemas de primeira geração, o que alcançou maior número de assinantes foi o sistema AMPS americano, que chegou a atingir 60% dos assinantes do mundo em 1990[2]. No Brasil, foi adotado o sistema AMPS para a primeira geração de celulares, que opera na faixa de 800 MHz, entre 824MHz e 894 MHz.

Os principais problemas da primeira geração de telefones celulares foram a capacidade limitada, a existência de diversos padrões, que fazia com que cada país tivesse sua rede isolada das demais, e a falta de privacidade, já que as conversas podiam ser facilmente captadas por um receptor FM.

Nesta geração de telefones celulares, não havia qualquer demanda por tráfego de dados em redes móveis, uma vez que somente a possibilidade de chamadas de voz com mobilidade era o grande diferencial da telefonia celular frente à telefonia fixa.

### **1.3 Segunda Geração de Telefones Celulares**

A segunda geração de celulares entrou em operação no início dos anos 90. As operadoras que já usavam o sistema AMPS se animaram com o sistema N-AMPS da Motorola que era ainda analógico, mas alocava 10 kHz para cada usuário, triplicando assim a capacidade das redes, além de serem compatíveis com o sistema AMPS. O sistema N-AMPS

ganhou uma boa fatia do mercado depois que o sistema IS-54, que foi apresentado como a evolução digital do sistema AMPS, falhou devido aos sinais multipercurso que pioravam muito a qualidade da voz [2].

À exceção do sistema N-AMPS, a segunda geração de telefones celulares marcou a introdução dos terminais (ou estações móveis) digitais, com diferentes esquemas de modulação digital e técnicas de múltiplo acesso para aumentar a capacidade das redes. A Tabela 1.2 mostra as principais características dos sistemas celulares desta geração.

Tabela 1.2 – Características dos principais sistemas comerciais da segunda geração de telefones celulares.

Sistema	Largura de banda de cada portadora (KHz)	Modulação	Técnica de múltiplo acesso
GSM	200	GMSK	TDMA / FDMA
IS-95	1250	QPSK	CDMA / FDMA
IS-136	30	DQPSK	TDMA / FDMA

Com relação às técnicas de múltiplo acesso, no sistema CDMA (Code Division Multiple Access) os usuários falam ao mesmo tempo, na mesma faixa de frequência, porém com códigos diferentes. No sistema TDMA (Time Division Multiple Access) os usuários na mesma faixa de frequência, porém em intervalos de tempo diferentes. Por último, no sistema FDMA os usuários falam ao mesmo tempo, porém com faixas de frequências diferentes. A Figura 1.1 mostra graficamente a diferença entre as três técnicas de múltiplo acesso.

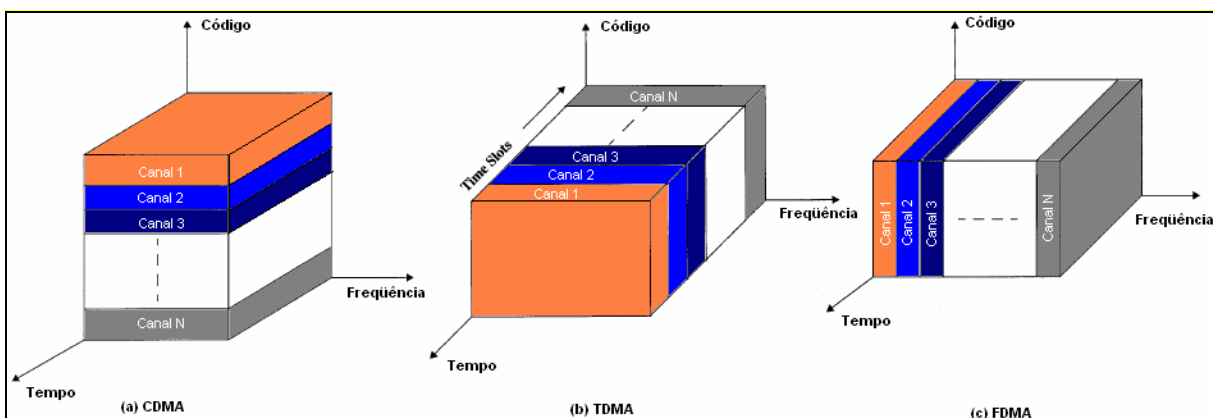


Figura 1.1 – Diferença entre as técnicas de múltiplo acesso. (a) CDMA (b) TDMA (c) FDMA.

É importante destacar que os esquemas de modulação digital apresentados na Tabela 1.2 são descritos com detalhes em [3]. Nas seções a seguir são descritos os três sistemas supracitados com maiores detalhes, dando esclarecimentos sobre as diferentes larguras de banda das portadoras e suas capacidades.

### 1.3.1 Sistema TDMA

Com o fracasso do sistema IS-54, um grupo de pesquisa se dedicou a aprimorá-lo, e utilizando equalizadores adaptativos, conseguiu resolver os problemas de multipercursos do sistema existente, lançando o sistema IS-136. Este sistema utiliza a técnica de múltiplo acesso TDMA combinada com a técnica FDMA, e modulação  $\pi/4$ -DPSK (Differential Phase Shift Keying) [3].

O sistema IS-136 utiliza 30 kHz de banda, em que podem ser alocadas 3 chamadas em um intervalos de tempo (timeslot) dedicados.

### 1.3.2 Sistema CDMA

Paralelamente, outro grupo de pesquisa norte-americano desenvolvia um sistema de múltiplo acesso utilizando códigos ortogonais para fazer a separação entre os usuários, lançando o padrão IS-95. O sistema IS-95 utiliza a técnica de múltiplo acesso CDMA combinada com a técnica FDMA, e modulação QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) [3].

O sistema IS-95 “espalha” o sinal de seus usuários em uma banda de 1.25 MHz utilizando códigos ortogonais de Walsh com um fator de espalhamento 64, atingindo uma capacidade significativamente maior que o sistema AMPS.

O espalhamento do sinal no sistema CDMA faz com que ele tenha algumas características peculiares [4]:

- Ganho de 64 vezes na relação sinal/ruído.
- Proteção contra interferência de multipercurso – para isso basta que os códigos utilizados tenham baixa correlação com versões atrasadas deles mesmos.
- Privacidade – O sinal só pode ser decodificado se o receptor conhecer os códigos utilizados.

Por outro lado, o sistema CDMA depende de um controle de potência muito bem ajustado, uma vez que os sinais transmitidos pelas demais estações móveis representam ruído de fundo na recepção de uma dada estação móvel.

### 1.3.3 Sistema GSM

A Europa, por sua vez, tratava de padronizar o sistema a ser utilizado em seus países, uma vez que a variedade de sistemas analógicos existentes e incompatíveis fazia com que um assinante só pudesse praticamente falar em seu país. Surgiu na Europa então o sistema GSM (Global System for Mobile communications) que aloca 200 kHz para cada portadora, onde podem ser estabelecidas até 8 chamadas (uma em cada timeslot).

A técnica de múltiplo acesso utilizada pelo GSM também é TDMA combinada com o a técnica FDMA e a modulação é GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Os sistemas GSM, por terem sido adotados pela maior parte da população mundial, teve um grande ganho em escala o que permitiu significativas reduções de preço e grandes investimentos em pesquisa de aprimoramento.

A Figura 1.2 mostra a topologia básica de funcionamento das redes GSM com os elementos de rede envolvidos.

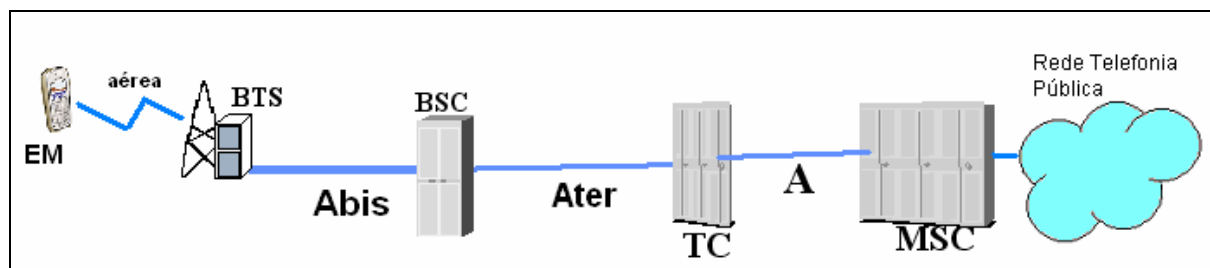


Figura 1.2 - Topologia básica do sistema GSM.

Sendo a interface Abis dos sistemas GSM o objeto de estudo deste trabalho, apresenta-se uma descrição resumida do funcionamento deste sistema. Desta forma, é possível identificar a interface Abis e sua função nos sistemas GSM.

Uma vez estabelecida uma chamada, a estação móvel (EM) se comunica com a BTS (*Base Transceiver Station*) através da interface aérea. A BTS recebe o tráfego da EM e o mapeia na interface Abis, que entrega o tráfego para a BSC (*Base Station Controller*). A BSC gerencia um grupo de BTSs e encaminha a chamada até o transcodificador (TC), através da interface Ater, e daí para a MSC (*Mobile Switching Center*), através da interface A. A MSC realiza a comutação da chamada encaminhando-a à rede de telefonia pública de destino.

Desta forma, a interface Abis é responsável por toda a troca de informações entre as BTSs e as BSCs do sistema GSM. Tais informações podem ser sinalização, tráfego de voz, ou tráfego de dados. O meio físico que transporta a interface Abis são os quadros PCM30 ou E1 (2Mbps), que são explicados detalhadamente no Capítulo 2. Devido à grande quantidade de BTSs nas redes GSM, os quadros PCM30 para a interface Abis são numerosos e representam um alto custo para as operadoras das redes celulares. As estratégias de otimização que são estudadas neste trabalho têm como objetivo principal reduzir este alto custo, utilizando de maneira mais eficiente os recursos dos quadros PCM30.

Destaca-se ainda que a interface Abis é uma interface fechada, ou seja, não existe obrigatoriedade de que uma BSC de um fabricante X possa se comunicar com as BTSs de

outro fabricante Y. Por isso, cada fabricante tem liberdade para desenvolver a sua estratégia de utilização desta interface.

Até a segunda geração de telefones celulares, a interface Abis tinha seus recursos consumidos por tráfego de sinalização e tráfego de voz. Mesmo a introdução de alguns serviços de dados como SMS (*Short Message Services*) e CSD (*Circuit Switched Data*), por serem de baixíssimas taxas de transmissão de dados, não geravam grande impacto no consumo de recursos dos quadros PCM30. Ou seja, a banda de 2Mbps era suficiente, na maioria dos casos, para escoamento do tráfego proveniente na interface aérea.

Conforme vimos acima, a segunda geração de telefones celulares introduz alguns serviços de transmissão de dados em taxas baixas (da ordem de 10 kbps), de acordo com a Tabela 1.3. As taxas de transmissão de dados tão baixas são a maior limitação da segunda geração sendo a principal motivação para o surgimento das gerações 2,5G e 3G.

Tabela 1.3 – Taxas de transmissão de dados nos sistemas celulares de segunda geração.

Sistema	Taxa de transmissão de dados (Kbps)
GSM	14,4
IS-95	14,4
IS-136	9,6

## 1.4 Geração 2,5 de Telefones Celulares

A geração 2,5G é originada a partir de modificações nos sistemas de segunda geração, buscando aumentar a taxa de transmissão de dados, oferecendo alguns novos serviços, sem a necessidade de substituir totalmente as redes existentes. Com isso as redes de telefonia móvel tentam suprir a crescente demanda por serviços de dados cujas taxas de transmissão são cada vez maiores.

As operadoras que adotaram o padrão IS-95 podem migrar para o padrão IS-95B, oferecendo taxas de transmissão de dados de 115.2 kbps, utilizando 8 canais em paralelo, ou seja, 14,4 kbps multiplicados por 8 [2].

Por outro lado, as operadoras que fazem uso do padrão IS-136 podem adotar o padrão IS-136+ capacitando-as a fornecer serviços de até 64 kbps [2].

Finalmente as operadoras do sistema GSM podem adotar o sistema GPRS (*General Packet Radio Service*), utilizando simultaneamente oito timeslots para atingir taxas de transmissão de dados teóricas de até 115.2 kbps (14,4 kbps x 8 timeslots).

Evoluindo ainda mais dentro dos sistemas GSM, tem-se a oportunidade introduzir transceptores que utilizam a modulação 8-PSK juntamente com a já existente GMSK. Conforme pode ser observado em [3], a modulação 8-PSK triplica a taxa de transmissão de dados utilizando a mesma largura de banda na interface aérea em relação à modulação GMSK. Mais precisamente, cada timeslot utilizando a modulação 8-PSK tem a taxa de transmissão máxima de 59.2 kbps. Conforme é detalhado no Capítulo 3, este valor é atingido somente em condições de baixa interferência na interface aérea, em que se podem reduzir os bits alocados para codificação de canal utilizando-os para tráfego de informação do assinante. Multiplicando este valor por 8 timeslots atingimos, teoricamente, taxas de transmissão de dados de até 473,6 kbps. A introdução da modulação 8-PSK aos sistemas GSM é conhecida como EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), ou (E)GPRS, sistema que é estudado com maior detalhe no Capítulo 3.

É importante ressaltar que, a partir do momento em que se utilizam transceptores com modulação 8-PSK, triplica-se a capacidade de transmissão na interface aérea. Para que este aumento na taxa de transmissão seja percebido pelo usuário final, todas as interfaces das redes GSM devem ser redimensionadas de modo a comportar tal aumento. O custo envolvido na

ampliação das taxas de transmissão das interfaces GSM decorrente da introdução do (E)GPRS é diretamente proporcional à penetração dos serviços de dados nas redes GSM existentes.

Especificamente no caso da interface Abis, tem-se um aumento expressivo no consumo da banda dimensionada, de modo que, com frequência muito maior, os quadros PCM30 de 2Mbps não são mais suficientes para o escoamento dos dados gerados na interface aérea. Nos casos em que isto ocorrer, a operadora deve obrigatoriamente investir para a colocação de um segundo quadro PCM30, a não ser que sejam aplicadas estratégias de otimização da interface Abis, que são o tema deste trabalho.

## 1.5 Terceira Geração de Telefones Celulares

A demanda por taxas de transmissão de dados maiores e uso mais eficiente do espectro são as maiores motivações da 3ª Geração de telefones celulares. O ITU (*International Telecommunications Union*) estabelece objetivos para a terceira geração de celulares, seguindo a lista a seguir:

- Altas taxas de dados: 144 kbps em todos os ambientes e 2 Mbps em ambientes "indoor" e de baixa mobilidade.
- Transmissão de dados simétrica e assimétrica.
- Serviços baseados em comutação de circuitos e comutação de pacotes.
- Qualidade de voz comparável à telefonia fixa.
- Melhor eficiência espectral.
- Serviços multimídia.
- Roaming global.
- Arquitetura aberta para a rápida introdução de novos serviços e tecnologias.



Entretanto, a migração de uma operadora para sistemas de 3ª geração demanda grandes investimentos. A escolha do sistema e estratégia de migração depende de uma análise da situação atual da operadora, e deve considerar aspectos como a rede atual, espectro disponível e serviços a serem oferecidos.

De modo a minimizar os custos nesta transição buscou-se desenvolver padrões de 3ª Geração que facilitassem a evolução dos padrões existentes de 2ª Geração. Isto deu origem a duas grandes linhas de evolução de tecnologias: o sistema 3GSM (GSM terceira geração) e o sistema CDMA2000. A primeira é a evolução para as operadoras cujas redes de segunda geração são baseadas no sistema GSM, enquanto que a segunda é associada às operadoras com sistemas CDMA, padrão IS-95.

Destaca-se ainda o fato de que ambos os padrões são baseados na técnica de múltiplo acesso CDMA, tendo por isso o controle de potência como um aspecto fundamental para seu funcionamento adequado, conforme explicado no item 1.3.2.

A Tabela 1.4 mostra algumas diferenças entre as duas tecnologias, destacando que a tecnologia WCDMA (Wide band CDMA) é a tecnologia de múltiplo acesso adotada pelo sistema 3GSM [4].

Tabela 1.4 – Características do 3GSM e o CDMA 2000.

	3GSM	Cdma2000 1x
Banda por portadora	5 MHz	1,25 MHz
Chip rate	3,84 Mcps	1,2288 Mcps
Frequência do controle de potência	1500 Hz	800 Hz

Note que o sistema CDMA2000 manteve a largura de banda de 1,25MHz para manter a compatibilidade com os sistemas IS-95 já existentes. O WCDMA, por outro lado, é um padrão totalmente novo e não teve a mesma preocupação, de modo que a largura de banda de cada portadora foi ampliada para 5 MHz.

O 3GSM prevê ainda a introdução do High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), que é a introdução da modulação 16QAM aos transceptores WCDMA atingindo taxas de transmissão da ordem de 14Mbps.

Resumidamente, a Figura 1.3 mostra a evolução das taxas de dados para as diversas tecnologias de transmissão sem fio disponíveis no mercado.

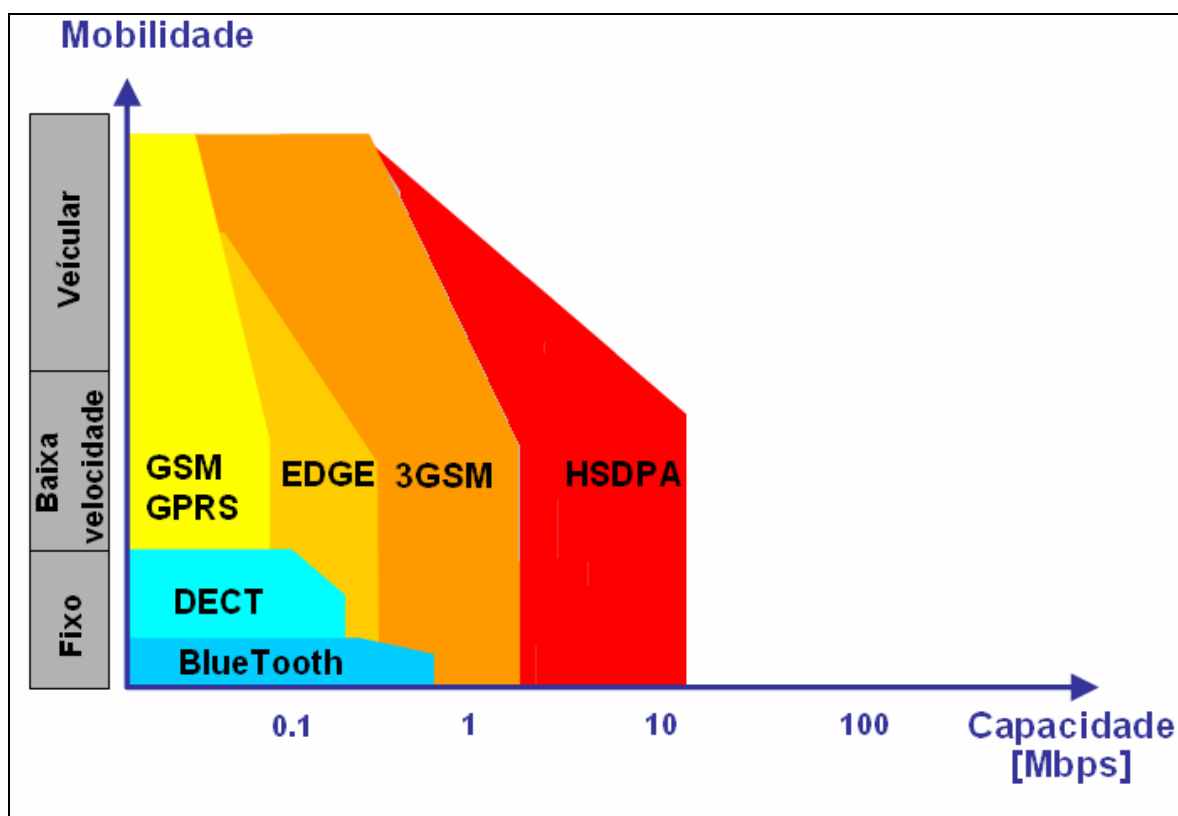


Figura 1.3 – As taxas de transmissão ao longo da evolução das gerações de telefones celulares.

Considerando os pontos destacados até aqui se observa que o crescimento do tráfego GSM e a maior penetração do tráfego de dados (E)GPRS nas redes GSM representam um consumo maior de recursos em todas as interfaces do sistema, em particular na interface Abis, pelo seu grande volume. Tendo em vista que os custos associados à maior utilização de recursos na interface Abis representam um custo altíssimo às operadoras de telefonia celular,

surge a demanda por técnicas que utilizem de maneira mais eficiente os recursos nesta interface. Neste trabalho são estudadas estas técnicas com suas vantagens e desvantagens, explicando como elas conseguem utilizar de maneira mais eficiente os recursos alocados, permitindo com isso, uma redução nos custos. Finalmente são apresentados resultados práticos de algumas destas estratégias de otimização onde pode-se verificar a melhor utilização de recursos e a potencial redução de custos.

No Capítulo 2 é descrita a construção do quadro PCM30, como é feito o seu sincronismo e como é sua utilização típica no transporte da interface Abis. Como continuação, o Capítulo 3 explica o sistema GPRS / (E)GPRS abordando com maiores detalhes os aspectos associados à interface Abis.

O Capítulo 4 inicia com um estudo das especificações que padronizam a informação transmitida na interface Abis. Tendo como base este estudo, são descritas as estratégias de otimização da interface Abis disponíveis no mercado com suas respectivas vantagens e desvantagens. A importância deste estudo comparativo é orientar as operadoras de telefonia celular visando promover uma utilização mais eficiente dos recursos de sua rede de transmissão.

O Capítulo 5 mostra resultados práticos obtidos com as estratégias de otimização explicadas através de testes em laboratório e mesmo em testes em redes GSM comerciais. A análise comparativa do Capítulo 4, bem como os resultados práticos do Capítulo 5 são divulgados pela primeira vez neste trabalho. Finalmente o Capítulo 6 mostra as conclusões do mesmo.

# Capítulo

## 2. Conceitos Básicos dos quadros PCM30

### 2.1 Introdução

Seguindo o modelo de embasamento teórico proposto no Capítulo 1, o objetivo deste Capítulo é fornecer informações sobre a formação e funcionamento dos quadros PCM30. A importância deste estudo está associada ao fato de que os quadros PCM30 compõem a camada física sobre a qual é transmitida a interface Abis, tema deste trabalho. Ao final deste Capítulo, é mostrado o mapeamento dos dados vindos da interface aérea na interface Abis, dentro do quadro PCM30.

Deve-se destacar ainda que estamos adotando a premissa de transmissão da interface Abis sobre quadros PCM30, uma vez que é o mais utilizado pelas operadoras do mundo. Deve ser considerado, entretanto, que o padrão norte-americano com taxa de transferência de 1,544 Mbps pode ser utilizado também, através dos quadros PCM24.

Embora estas interfaces tenham surgido motivadas para transmissão de voz em forma digital, elas podem ser utilizadas para transmitir qualquer tipo de dados, representando apenas a camada física no modelo OSI de sete camadas. Desta forma, tecnologias como ATM, IP ou Frame Relay podem ser utilizadas nas camadas superiores.

Historicamente os quadros PCM surgiram a partir da digitalização da voz para sistemas de telefonia fixa. A digitalização permitiu que os dados de vários assinantes fossem multiplexados no tempo utilizando a multiplexação por divisão no tempo. Todo este processo é estudado neste Capítulo.

## 2.2 A Construção do quadro PCM30

A Figura 2.1 representa a densidade espectral de potência típica de um sinal de voz. Observamos que a grande parte do sinal está concentrado entre 0 e 4 kHz. Desta feita, a amostragem de um sinal de voz deve ser feita no mínimo a 8 kHz, seguindo o teorema de Nyquist [3].

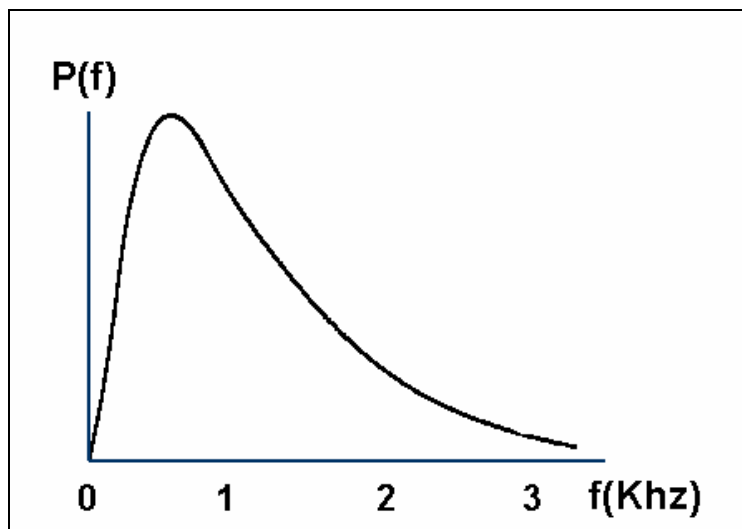


Figura 2.1 – Densidade Espectral de potência da voz humana.

O processo de amostragem é feito conforme mostrado na Figura 2.2 (a), ou seja, a cada  $1/8000$  s, é amostrada a amplitude do sinal de voz. A saída do amostrador é um sinal PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), conforme ilustrado na Figura 2.2 (b).

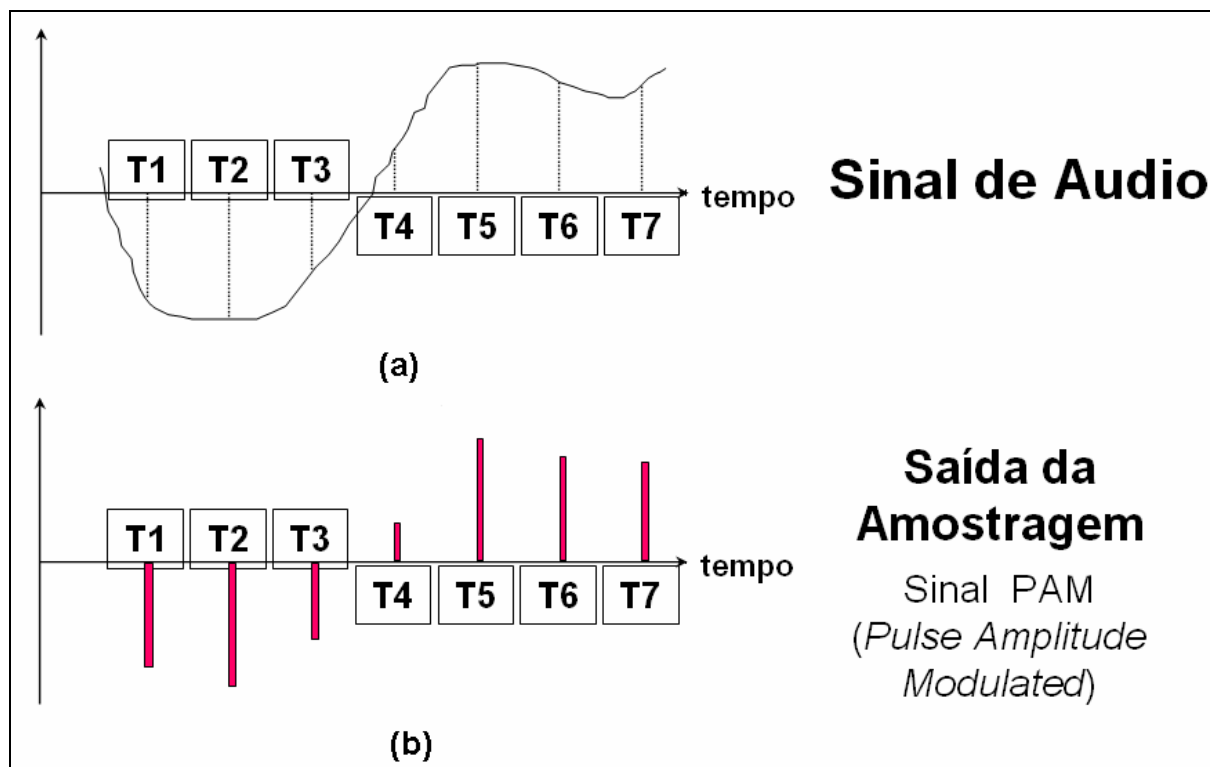


Figura 2.2 – Ilustração do processo de amostragem do sinal de voz.

A próxima etapa da digitalização do sinal de voz é a quantização, ilustrada na Figura 2.3. Resumidamente, a quantização consiste em associar à cada amplitude do sinal PAM um valor numérico, tipicamente binário. Este processo representa, entretanto, a inclusão de um erro de quantização indiretamente proporcional ao número de níveis de quantização utilizados.

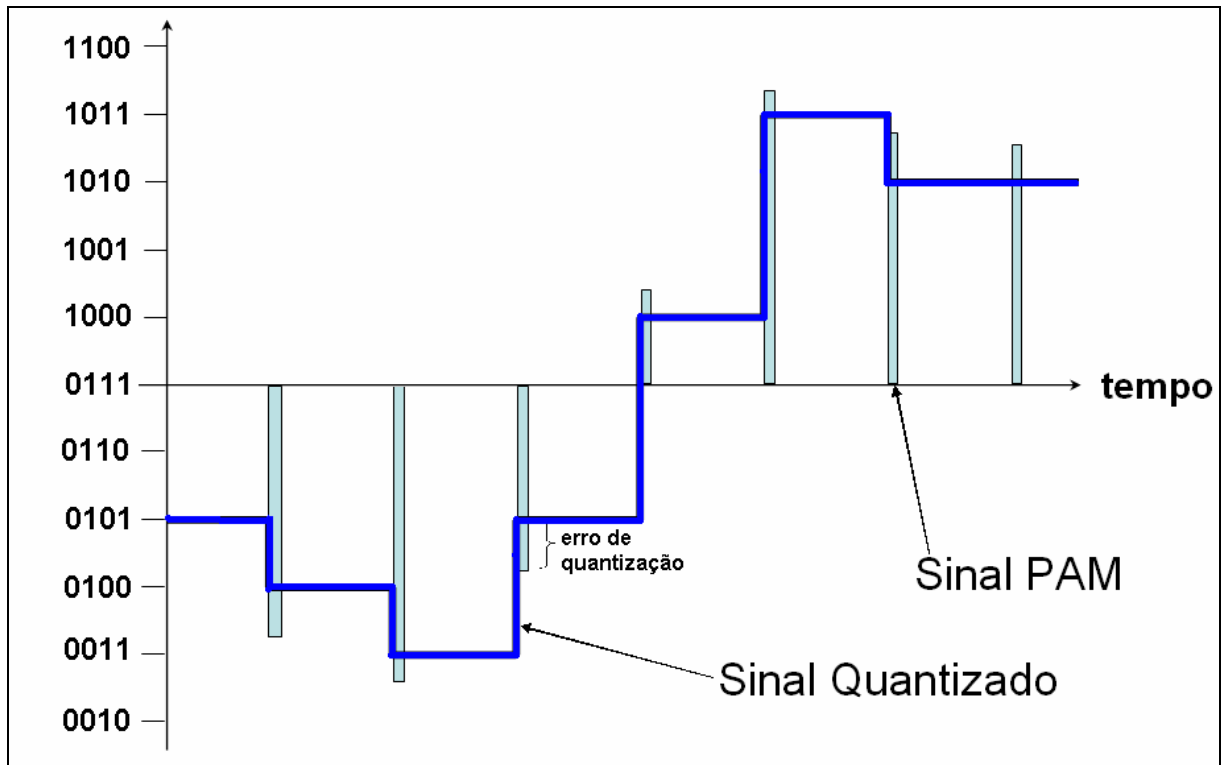


Figura 2.3 – Quantização linear do sinal PAM e erro de quantização.

Uma alternativa para reduzir o erro de quantização consiste no aproveitamento da distribuição estatística da amplitude do sinal, alocando mais níveis de quantização para as amplitudes com maior probabilidade de ocorrer.

Após a quantização tem-se finalmente uma seqüência de bits que deverá ser codificada e então transmitida pelo canal disponível.

Nos sinais PCM são utilizados oito bits para os níveis de quantização, representando assim duzentos e cinquenta e seis níveis. Como temos um período de amostragem de  $1/8000$  s, isto significa que, a cada período, temos oito bits, o que resulta em uma taxa de transmissão de 64 kbps (oito bits multiplicados por 8 kHz) para representar um sinal de voz.

De maneira resumida, o processo de transmissão do sinal PCM pode ser ilustrado na Figura 2.4, a seguir. Após o sinal de onda na entrada ter sido transformado numa seqüência de

bits ele vai passar por um modulador adequado ao canal físico em que o sinal digital será transmitido.

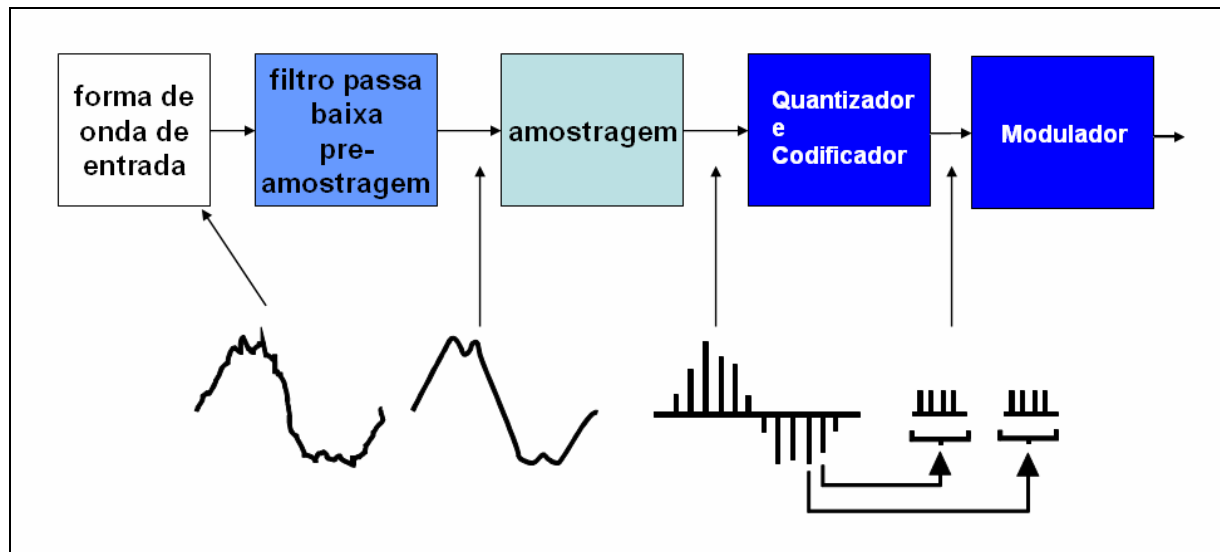


Figura 2.4 – Processo de transmissão do sinal PCM.

Da mesma forma, a recepção do sinal após passar pelo canal físico está resumida na Figura 2.5 abaixo. O demodulador receberá o sinal transmitido, distorcido pelo canal físico e o transformará numa seqüência de bits que, idealmente, é igual à que foi transmitida. Passando então pelo decodificador, temos o sinal PAM novamente, que aplicado na entrada de um filtro passa baixas com largura de banda estreita o suficiente para eliminar as componentes em alta frequência presentes após a amostragem, tem como saída o sinal de entrada original.



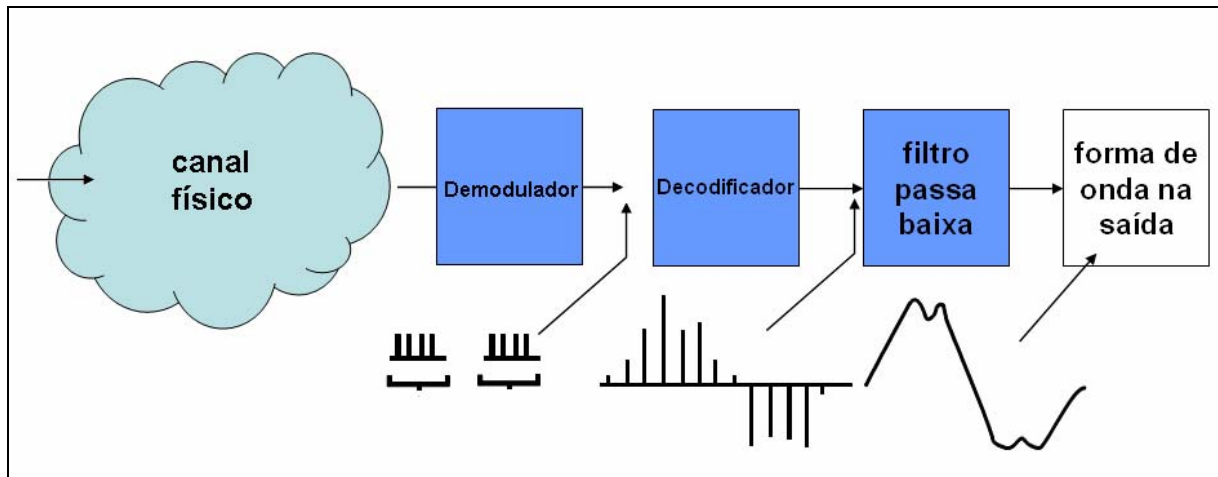


Figura 2.5 – Processo de recepção do sinal PCM.

Conforme vimos até aqui, a taxa de transmissão de dados de um sinal PCM é de 64 kbps. Numa situação em que seja necessária a transmissão de vários sinais PCM entre dois pontos, surge a demanda por uma técnica de multiplexação que permita o envio dos vários sinais PCM pelo mesmo meio físico. Através desta técnica serão construídos os quadros PCM30, que nada mais são do que 32 sinais PCM compartilhando, de alguma forma, o mesmo meio físico. A técnica escolhida para a construção do quadro PCM30 foi a multiplexação no tempo TDM (*time division multiplexing*), ou seja, cada sinal PCM é transmitido em um espaço de tempo.

Considerando que temos 32 sinais com taxa de 64 kbps para serem transmitidos, a multiplexação no tempo reserva um período de tempo, que chamaremos de  $E_0$ , para a transmissão de cada um dos 32 sinais. Desta forma, o multiplexador recebe os primeiros oito bits de cada um dos 32 sinais, monta um quadro e o envia pelo canal físico. Em seguida o multiplexador aloca os segundos oito bits de cada um dos 32 sinais em um segundo quadro, e assim sucessivamente.

Diante disso, o multiplexador deve ser capaz de enviar todos os primeiros 256 bits (32 sinais x 8 bits) antes do nono bit do primeiro sinal. Tendo em vista que cada oito bits são

gerados a cada 1/8000s (período de amostragem), devem ser transmitidos 256 bits neste mesmo espaço de tempo, o que nos leva a uma taxa de 2048 kbps (256 bits x 8000 Hz). A Figura 2.6 ilustra o quadro PCM, em que cada linha representa 8 bits de cada sinal, ou um E0 ou 64 kbps.

E0	bit 1	bit 2	bit 3	bit 4	bit 5	bit 6	bit 7	bit 8
0	<b>SINCRONISMO</b>							
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								

Figura 2.6 – Ilustração do quadro PCM30.

Embora a motivação para o surgimento dos quadros PCM30 tenha sido a digitalização da voz, hoje em dia tais quadros são utilizados para transmissão de quaisquer sinais digitais. A origem do nome PCM30 decorre do fato de que dentre os 32 sinais PCM multiplexados, dois eram perdidos: um para sincronismo e outro para sinalização telefônica. Dependendo da

aplicação do quadro PCM30, o E0 perdido para sinalização telefônica torna-se desnecessário, de modo que restam efetivamente 31E0s para a transmissão de dados da aplicação. O primeiro E0 sempre é utilizado para sincronismo. A aplicação do quadro PCM30 à interface Abis nas redes GSM é descrita no item 2.5 a seguir.

A Tabela 2.1 mostra as principais características do quadro PCM30.

Tabela 2.1 – Características do quadro PCM30

<b>Características</b>	<b>PCM 30</b>
freqüência de amostragem	8 kHz
Nº de amostras do sinal telefônico	8000 por segundo
Duração do quadro PCM30	$1/8000/s = 125 \mu s$
nº de bits em cada E0	8
taxa de bits de cada E0	$8000/s \times 8 \text{ bits} = 64 \text{ kbps}$
nº de sinais PCM por quadro PCM30	32
nº de bits por quadro PCM30	$8 \times 32 = 256 \text{ bits}$
Duração de cada E0	$(125 \mu s \times 8)/256 \approx 3,9 \mu s$
taxa de bits de um quadro PCM30	$8000/s \times 256 \text{ bits} = 2048 \text{ kbps}$

Na hierarquia plesiócrona digital (PDH), a multiplexação de 32 sinais PCM de 64 kbps neste quadro PCM30 descrito acima recebe o nome de E1. De maneira similar, a multiplexação de 4 E1s em um mesmo quadro, recebe o nome de E2, e assim por diante até se formar o E4, com taxa de transmissão de 140 Mbps. A Tabela 2.2 mostra os níveis da hierarquia PDH, com suas respectivas taxas de transmissão de dados.

Tabela 3.2 – Os níveis da hierarquia PDH

-	Taxa de Bits (Kbit/s)
E0	64
E1	2 048
E2	8 448
E3	34 368
E4	139 264

## 2.3 O sincronismo do quadro PCM30

Conforme mencionado no item 2.2, o primeiro E0 do quadro PCM é utilizado para o sincronismo, processo que é explicado nesta seção. O processo de sincronização dos quadros PCM é baseado na detecção por parte do multiplexador dos sinais de FAS e NFAS descritos a seguir.

- “Frame Alignment Signal” (FAS) – É transmitido no timeslot 0 dos quadros pares.

Tem a estrutura mostrada na tabela abaixo:

Tabela 2.3 – Estrutura padrão do sinal FAS.

Número do Bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Valor Binário	Si ou C	0	0	1	1	0	1	1

Observe que o bit 1 pode ser para uso internacional (Si) ou para transportar o resto da divisão CRC-4 (C) (*Cyclic Redundancy Check*), que será explicado posteriormente. Os demais bits do FAS são sempre transmitidos nesta seqüência de bits, ou seja, “0011011”.

- “No Frame Alignment Signal” (NFAS) – É transmitido no timeslot 0 dos quadros ímpares. Tem a estrutura mostrada na tabela 2.4:

Tabela 3.4 – Estrutura padrão do sinal NFAS.

Número do Bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Valor Binário	Si ou M	1	A	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8

No NFAS o bit 1 também pode ser para uso internacional (Si) ou para a transmissão do sinal de alinhamento de multiquadro de CRC, que é explicado mais à frente. O bit 2 é sempre igual a “1” para diferenciar o FAS do NFAS. O bit 3 indica alarme urgente se for igual a “1”. O bit 4, por sua vez, indica alarme não urgente se for igual a “0”. Os bits Sa4 até

Sa6 podem ser utilizados em aplicações específicas ponto-a-ponto. Os bits Sa5 até Sa7 ficam reservados para uso internacional onde não haja aplicações ponto-a-ponto. Finalmente os bits Sa4 até Sa8 devem receber o valor “1” quando não forem utilizados.

A Figura 2.7 ilustra o procedimento de sincronização seguido pelo multiplexador PCM30, quando não é utilizado o código de detecção de erros CRC-4.

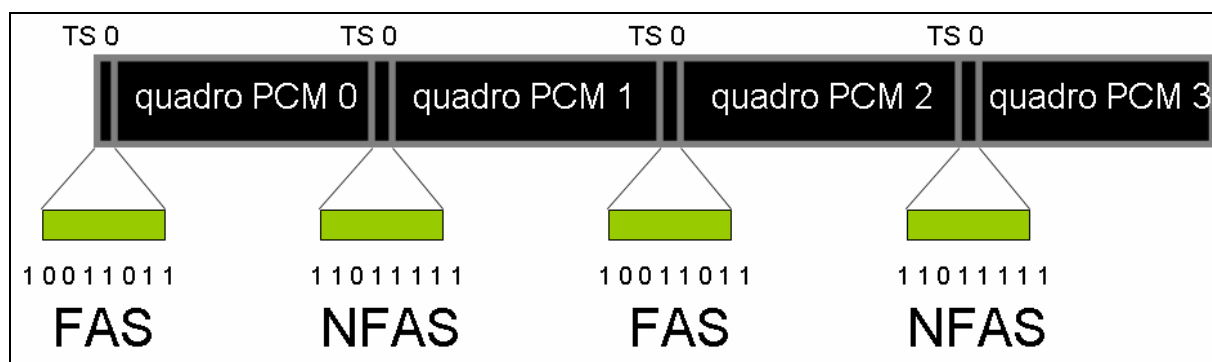


Figura 2.7 – Procedimento de sincronização do frame PCM30 sem CRC-4.

De acordo com a Figura 2.7, para que ocorra o sincronismo do quadro PCM30, o multiplexador deve receber a seqüência abaixo:

- 1 – Recebe um FAS correto no primeiro E0 de determinado quadro.
- 2 – O segundo bit do quadro seguinte é igual a 1.
- 3 – No quadro seguinte recebe novamente o sinal de FAS.

Devemos observar, entretanto, que eventualmente um E0 qualquer pode conter o padrão FAS, fato que aumenta a possibilidade de falha neste procedimento de sincronismo. Com o objetivo de tornar o processo acima mais robusto, é introduzido o *Cyclic Redundancy Check* CRC-4.

Este método consiste em analisar blocos de oito quadros PCM consecutivos, que formam um bloco. Cada bloco é multiplicado pelo polinômio  $X^4$  e dividido pelo

polinômio  $X^4 + X + 1$ . Os quatro bits que representam o resto desta divisão são transmitidos nos bits 1 do FAS do próximo bloco de 8 quadros. Comumente referimo-nos a estes quatro bits como assinatura do bloco. Este processo está mostrado no lado esquerdo da Figura 2.8.

Quando o primeiro bloco chega no receptor é novamente feita a multiplicação por  $X^4$  e divisão por  $X^4 + X + 1$ , levando a um resto de quatro bits. Este último é então comparado com o resto presente nos bits 1 do próximo bloco recebido. Numa transmissão livre de erros, os restos são idênticos. Este processo é ilustrado na parte direita da Figura 2.8.

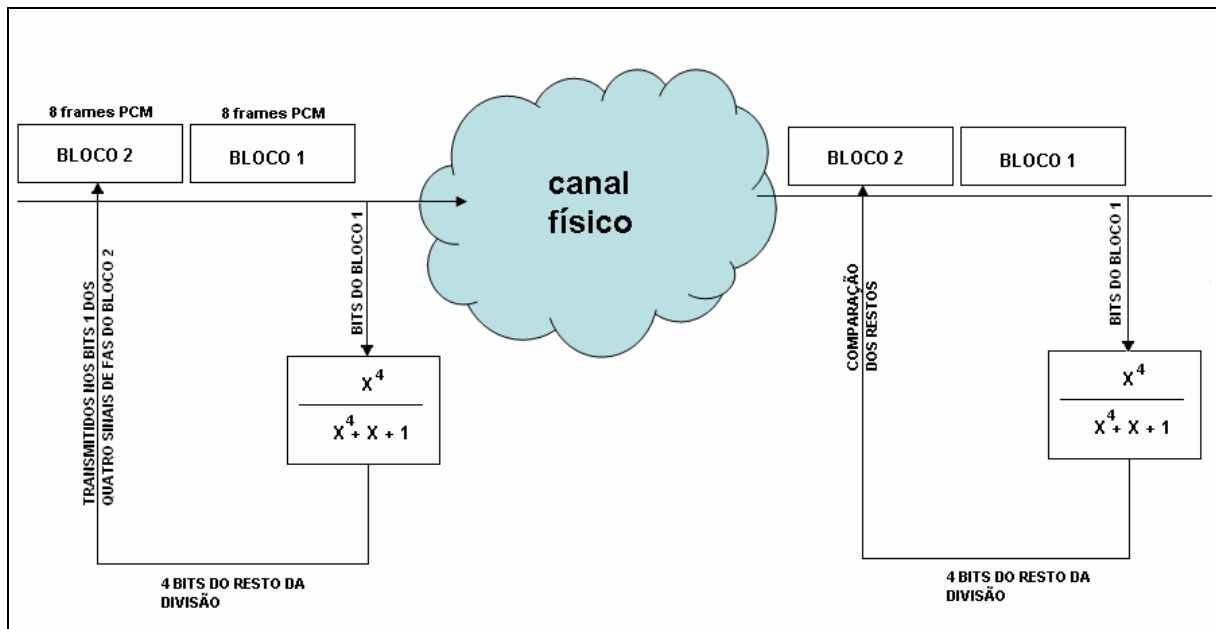


Figura 2.8 – O método CRC-4 de detecção de erros de transmissão.

O sincronismo nos sistemas PCM30 com CRC-4 tem um processo adicional de sincronismo que consiste na utilização do sinal de alinhamento de quadro CRC. Este sinal segue o padrão “001011” e é transmitido nos bits 1 dos NFASs, seguindo a estrutura mostrada na Figura 2.9 abaixo denominada multiquadro de CRC.

Número do quadro	Bits 1 até 8 do quadro							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	C <sub>1</sub>				FAS			
1	0	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>
2	C <sub>2</sub>				FAS			
3	0	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>
4	C <sub>3</sub>				FAS			
5	1	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>
6	C <sub>4</sub>				FAS			
7	0	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>
8	C <sub>1</sub>				FAS			
9	1	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>
10	C <sub>2</sub>				FAS			
11	1	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>
12	C <sub>3</sub>				FAS			
13	E	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>
14	C <sub>4</sub>				FAS			
15	E	1	A	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>

Figura 2.9 – Multiquadro de CRC.

A sincronização dos sistemas PCM com código CRC-4 tem início com o processo tradicional utilizando os sinais de FAS e NFAS. A sincronização do multiquadro de CRC ocorre quando pelo menos dois destes multiquadros são recebidos corretamente em um período de 8ms ou 4 multiquadros CRC. Conforme podemos observar, a utilização do CRC-4 torna o sistema de sincronização mais robusto.

## 2.4 Os alarmes

Outro aspecto que deve ser abordado são os alarmes presentes nos sistemas de comunicação PCM30. Os casos de alarme presentes são os seguintes:

- $BER < 10^{-5}$  - a transmissão não é interrompida.

- $10^{-5} < BER < 10^{-3}$  - a transmissão ainda não é interrompida, entretanto é gerado o sinal de alarme não urgente no bit 4 do NFAS.
- $BER > 10^{-3}$  - a transmissão é interrompida, devido à perda de sincronismo. É gerado ainda o alarme urgente no bit 3 do NFAS, e é enviada uma seqüência de “1” em todos os timeslots exceto o timeslot 0. Este alarme é conhecido como SIA (Sinal Indicativo de Alarme) e permanece ativo até que a  $BER < 10^{-3}$ .

## 2.5 A aplicação do quadro PCM30 na interface Abis

Aplicando o que foi visto até agora aos sistemas GSM, especificamente na interface Abis, tem-se que mapear os dados de cada estação móvel (EM) transmitidos pela interface aérea em um quadro PCM30, de modo que o sinal chegue à BSC, depois à MSC ou SGSN e seja entregue no destino correto. É importante ressaltar que os dados transmitidos pelas EMs podem ser sinalização, voz ou dados através do sistema (E)GPRS, que é estudado no Capítulo 3.

Conforme é explicado em detalhes no Capítulo 4, o mapeamento de um timeslot da interface aérea na interface Abis se dá a partir de quadros TRAU. Quadros TRAU são quadros de duração de 20ms e 320 bits transmitidos através de um quadro PCM30. Com isso temos uma taxa de transmissão de dados de 16 kbps na interface Abis para cada timeslot na interface aérea. Como cada portadora do sistema GSM tem 8 timeslots, concluímos que o mapeamento da mesma na interface Abis ocupa dois E0s, ou seja 128 kbps.

A Figura 2.10 mostra a topologia de transmissão envolvendo três BTSs do sistema GSM. Uma vez que as informações transmitidas pela interface Abis devem ser entregues à BSC, a BTS1 atua apenas como concentradora de transmissão, mapeando os E0s das três



BTSs em E0s de apenas um quadro PCM30. Comumente, diz-se que quando as BTSs estão compartilhando o mesmo quadro PCM, elas estão em *grooming*.

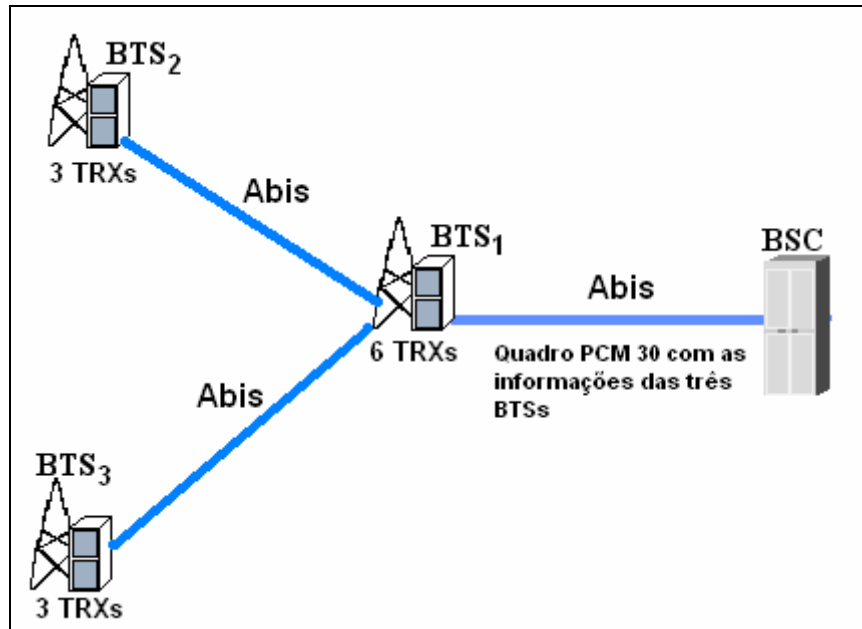


Figura 2.10 – Exemplo de topologia para três BTSs compartilhando o mesmo frame PCM30.

Para o exemplo mostrado acima, uma possível ocupação do quadro PCM30 que sai da BTS1 é ilustrada na Figura 2.11. Conforme esperado vemos os dados de três BTSs transmitidos dentro do mesmo quadro PCM30.

Note ainda que existem E0s reservados para sinalização das BTSs e dos TRXs através do protocolo LAPD (Link Access Protocol over D-Channel). Conforme dito no Capítulo 1, a interface Abis é fechada de modo que o mapeamento da interface aérea na interface Abis pode variar entre os diferentes fabricantes de equipamentos.

0	SINCRONISMO			
1	BTS 1 TRX 1 TSL 0	BTS 1 TRX 1 TSL 1	BTS 1 TRX 1 TSL 2	BTS 1 TRX 1 TSL 3
2	BTS 1 TRX 1 TSL 4	BTS 1 TRX 1 TSL 5	BTS 1 TRX 1 TSL 6	BTS 1 TRX 1 TSL 7
3	BTS 1 TRX 2 TSL 0	BTS 1 TRX 2 TSL 1	BTS 1 TRX 2 TSL 2	BTS 1 TRX 2 TSL 3
4	BTS 1 TRX 2 TSL 4	BTS 1 TRX 2 TSL 5	BTS 1 TRX 2 TSL 6	BTS 1 TRX 2 TSL 7
5	BTS 1 TRX 3 TSL 0	BTS 1 TRX 3 TSL 1	BTS 1 TRX 3 TSL 2	BTS 1 TRX 3 TSL 3
6	BTS 1 TRX 3 TSL 4	BTS 1 TRX 3 TSL 5	BTS 1 TRX 3 TSL 6	BTS 1 TRX 3 TSL 7
7	BTS 1 TRX 4 TSL 0	BTS 1 TRX 4 TSL 1	BTS 1 TRX 4 TSL 2	BTS 1 TRX 4 TSL 3
8	BTS 1 TRX 4 TSL 4	BTS 1 TRX 4 TSL 5	BTS 1 TRX 4 TSL 6	BTS 1 TRX 4 TSL 7
9	BTS 1 TRX 5 TSL 0	BTS 1 TRX 5 TSL 1	BTS 1 TRX 5 TSL 2	BTS 1 TRX 5 TSL 3
10	BTS 1 TRX 5 TSL 4	BTS 1 TRX 5 TSL 5	BTS 1 TRX 5 TSL 6	BTS 1 TRX 5 TSL 7
11	BTS 1 TRX 6 TSL 0	BTS 1 TRX 6 TSL 1	BTS 1 TRX 6 TSL 2	BTS 1 TRX 6 TSL 3
12	BTS 1 TRX 6 TSL 4	BTS 1 TRX 6 TSL 5	BTS 1 TRX 6 TSL 6	BTS 1 TRX 6 TSL 7
13	BTS 2 TRX 1 TSL 0	BTS 2 TRX 1 TSL 1	BTS 2 TRX 1 TSL 2	BTS 2 TRX 1 TSL 3
14	BTS 2 TRX 1 TSL 4	BTS 2 TRX 1 TSL 5	BTS 2 TRX 1 TSL 6	BTS 2 TRX 1 TSL 7
15	BTS 2 TRX 2 TSL 0	BTS 2 TRX 2 TSL 1	BTS 2 TRX 2 TSL 2	BTS 2 TRX 2 TSL 3
16	BTS 2 TRX 2 TSL 4	BTS 2 TRX 2 TSL 5	BTS 2 TRX 2 TSL 6	BTS 2 TRX 2 TSL 7
17	BTS 2 TRX 3 TSL 0	BTS 2 TRX 3 TSL 1	BTS 2 TRX 3 TSL 2	BTS 2 TRX 3 TSL 3
18	BTS 2 TRX 3 TSL 4	BTS 2 TRX 3 TSL 5	BTS 2 TRX 3 TSL 6	BTS 2 TRX 3 TSL 7
19	BTS 3 TRX 1 TSL 0	BTS 3 TRX 1 TSL 1	BTS 3 TRX 1 TSL 2	BTS 3 TRX 1 TSL 3
20	BTS 3 TRX 1 TSL 4	BTS 3 TRX 1 TSL 5	BTS 3 TRX 1 TSL 6	BTS 3 TRX 1 TSL 7
21	BTS 3 TRX 2 TSL 0	BTS 3 TRX 2 TSL 1	BTS 3 TRX 2 TSL 2	BTS 3 TRX 2 TSL 3
22	BTS 3 TRX 2 TSL 4	BTS 3 TRX 2 TSL 5	BTS 3 TRX 2 TSL 6	BTS 3 TRX 2 TSL 7
23	BTS 3 TRX 3 TSL 0	BTS 3 TRX 3 TSL 1	BTS 3 TRX 3 TSL 2	BTS 3 TRX 3 TSL 3
24	BTS 3 TRX 3 TSL 4	BTS 3 TRX 3 TSL 5	BTS 3 TRX 3 TSL 6	BTS 3 TRX 3 TSL 7
25				
26				
27				
28				
29	LAPD - BTS 1			
30	LAPD - BTS 2			
31	LAPD - BTS 3			

Figura 2.11 – Exemplo de alocação de timeslots em um quadro PCM30 na interface Abis.

Finalmente, como pode ser observada neste exemplo, a alocação dos recursos na interface Abis é fixa e determinística, ou seja, existe uma banda reservada para cada timeslot da interface aérea mesmo que nele não esteja nenhum tráfego.

É importante destacar que comumente os quadros PCM30 utilizados pelas operadoras do mundo inteiro tem um alto custo associado, seja pelo aluguel dos quadros PCM30 de provedores ou pela instalação de infra-estrutura própria. No caso da interface Abis, devido ao grande número de BTSs existentes este custo torna-se crítico, de modo que técnicas que utilizem os quadros PCM30 de maneira mais eficiente despertam grande interesse.

Conforme explicado no Capítulo 3, a introdução do (E)GPRS nas redes GSM existentes triplica o throughput de dados na interface aérea. Como reflexo, o impacto na interface Abis é grande, sendo necessário um aumento da banda alocada para cada BTS. Este aumento representa um custo de transmissão adicional para as operadoras.

Conforme é visto no Capítulo 4, existem estratégias de otimização da interface Abis que reduzem o impacto da introdução do (E)GPRS nas redes GSM, na medida em que substituem a alocação fixa e determinística da interface Abis por uma alocação estatística. O preço a ser pago por isso é a necessidade de monitoração desta interface, a fim de evitar os agora possíveis congestionamentos.

# Capítulo

## 3. Conceitos Básicos do (E)GPRS

### 3.1 Introdução

Conforme explicado no Capítulo 1, este Capítulo aborda aspectos básicos relativos à introdução do sistema (E)GPRS (GPRS / EDGE) aos sistemas GSM de segunda geração. São descritos com detalhes todos os aspectos que têm impacto na interface Abis, objeto deste estudo. Diante disso, estamos tratando essencialmente da interface aérea, interface Abis, esquemas de codificação, esquemas de modulação, compartilhamento de timeslots e a evolução para o sistema (E)GPRS.

Não é objetivo deste Capítulo descrever todos os novos elementos introduzidos com o GPRS, detalhes do funcionamento da rede, tais como o procedimento de registro na rede GPRS, o conceito de áreas de roteamento, entre outros.

As redes GSM existentes utilizam comutação por circuitos para as ligações ponto – a – ponto ou ponto – a – multiponto. Esta técnica de comutação é comprovadamente ineficiente para as aplicações de dados presentes nos dias de hoje, tais como navegação pela Internet, ou correio eletrônico. Uma vez que a tarifação ocorre por tempo de conexão, a utilização dos recursos de rede é ineficiente, o que reduz a capacidade, além de apresentar um tempo de estabelecimento de chamadas relativamente longo. A maioria das aplicações de dados hoje em dia utiliza comutação por pacotes, baseada no protocolo IP.

O sistema GPRS foi lançado em 1997 com o objetivo de agregar a comutação por pacotes às redes GSM existentes. O sistema GPRS foi concebido como uma tecnologia de “melhor esforço” que busca somente utilizar os recursos livres da comutação por circuitos

para o tráfego de dados por pacotes. Não existe nenhum compromisso em atingir altas taxas de transmissão com esta tecnologia, embora a estrutura introduzida para o sistema GPRS seja a mesma utilizada pelo sistema (E)GPRS, tecnologia que permite taxas de transmissão de dados em maior velocidade, conforme explicado mais à frente.

## 3.2 Comutação por pacotes e Comutação por circuitos

Conforme dito acima, o sistema GPRS nada mais é do que a introdução dos serviços de dados comutados por pacotes às redes GSM existentes. A Figura 3.1 mostra a diferença fundamental entre a comutação por circuitos e comutação por pacotes, que são explicadas em seguida.

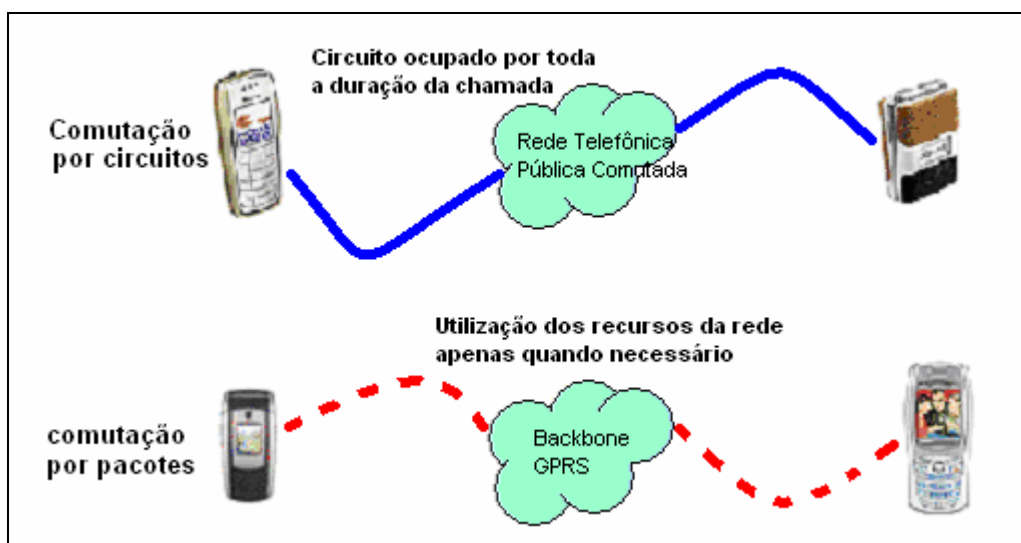


Figura 3.1 – Diferença fundamental entre comutação por circuitos e comutação por pacotes.

Conforme pode ser observado, a comutação por circuitos utiliza um circuito por todo o tempo de duração de uma chamada. Por outro lado a comutação por pacotes promove uma

utilização mais eficiente dos recursos de rede. A seguir temos um resumo das diferenças entre os dois tipos de comutação.

### 3.2.1 Comutação por circuitos (Circuit Switched – CS)

Cada vez que uma conexão é estabelecida, os recursos da rede são alocados e dedicados ao usuário pelo tempo que durar a conexão. A tarifação é feita de acordo com o tempo que durar a conexão, mesmo que ela fique ociosa durante algum tempo.

#### **Vantagens:**

- Conexão dedicada por toda a duração da sessão.
- Adequada para aplicações em tempo real.

#### **Desvantagens**

- Tempo de estabelecimento de chamadas relativamente longo.
- Tarifação por tempo de conexão, que é mais custoso em sessões descontínuas, tal como navegar na Internet.
- Uso ineficiente dos recursos, reduzindo capacidade.

### 3.2.2 Comutação por pacotes (Packet Switched – PS)

Redes de dados, tais como Frame Relay, Internet, X.25 e outras utilizam comutação por pacotes. Nas redes PS, os dados são divididos em pacotes contendo o endereço do seu destino, que é utilizado pelos roteadores para entregar os pacotes ao seu usuário final.

Os recursos somente são reservados quando necessários, e são liberados quando não forem mais necessários. Desta forma, tem-se uma utilização mais eficiente dos recursos da rede.

### **Vantagens**

- Tempo de estabelecimento de chamadas relativamente curto.
- Uso eficiente dos recursos, aumentando a capacidade.
- Tarifação baseada na quantidade de bytes trafegados.

### **Desvantagens**

- Especificamente nas redes GSM, inicialmente o GPRS não é recomendado para aplicações sensíveis a atrasos.
- Dificuldades na implementação da Qualidade-de-Serviço (Quality-of-Service - QoS) nas redes GPRS. Tais dificuldades vem sendo vencidas com o surgimento de tecnologias de QoS mais modernas, oferecidas pelos fabricantes de equipamentos GSM / GPRS.

Devido à maior eficiência na utilização dos recursos de rede da comutação por pacotes, existe uma crescente tendência de adoção da comutação por pacotes para provimento de serviços tradicionalmente atendidos pela comutação por circuitos. Um exemplo típico deste fato está no crescimento dos serviços de voz sobre IP em substituição aos serviços de telefonia fixa tradicionais. Traçando um paralelo com as redes de telefonia móvel, já vemos aplicações de voz sobre IP sobre redes (E) GPRS recebendo grandes investimentos [5]. Daí, conforme já explicado no Capítulo 1, quanto maior a penetração do tráfego de dados (E) GPRS nas redes GSM, maior é o impacto nas interfaces envolvidas, dentre as quais destaca-se a interface Abis, tema deste trabalho.

### 3.3 Introdução do GPRS nas redes GSM

Enquanto a rede GSM foi projetada para aplicações de voz, a rede GPRS tem seu foco nas aplicações de dados, oferecendo acesso a redes externas que utilizam protocolos tais como TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) e X.25. Estas “enxergam” a rede GPRS como mais uma sub-rede de dados, ou seja, todas as informações específicas da rede GPRS ficam ocultas para as redes externas. Este conceito é ilustrado pela Figura 3.2, em que podemos ver também a arquitetura da rede GPRS em paralelo com a rede existente GSM, exceto pela BTS e BSC que são comuns às duas. É importante destacar que na BSC, a unidade que faz o tratamento do tráfego de pacotes é a PCU (*Packet Control Unit*).

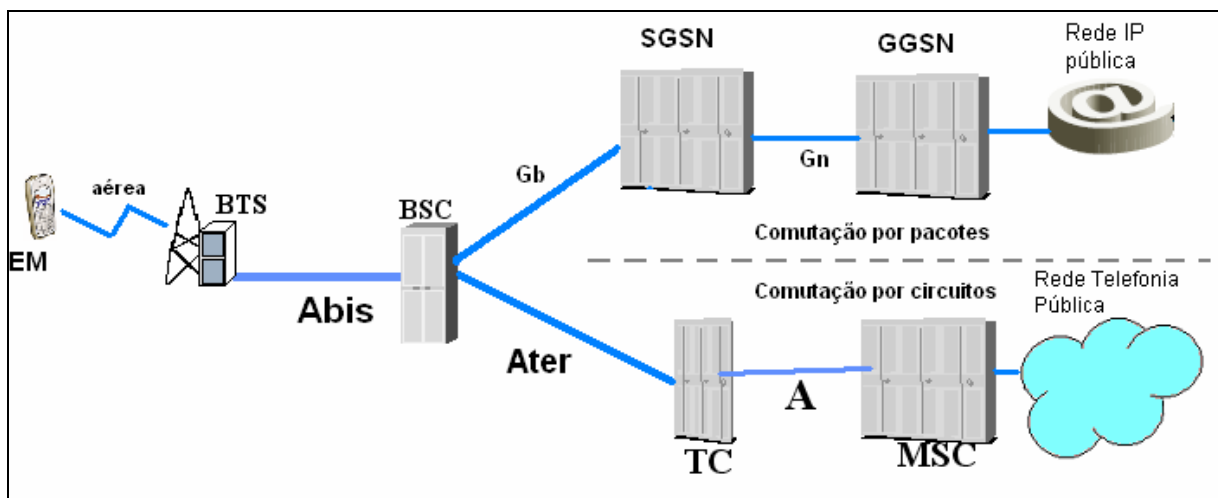


Figura 3.2 – Ilustração da rede GSM e GPRS.

A introdução do sistema GPRS às redes GSM significa a introdução de diversos novos elementos a serem gerenciados pelas operadoras tais como o SGSN (*Serving GPRS Support Node*), GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) entre outros. Dentre as funções do SGSN podemos destacar o gerenciamento de mobilidade, autenticação e cifragem, interface com VLR/HLR, além de gerar os bilhetes de tarifação e coleta de estatísticas. O GGSN, por sua



vez é responsável pelo tunelamento através do protocolo GTP com GSNs, interface segura com redes externas, gerenciamento dos endereços IP, e também por gerar bilhetes de tarifação e coleta de estatísticas.

## **3.4 Estudo da interface aérea**

A importância do estudo da interface aérea reside no fato de que todo o tráfego gerado nesta interface deve ser mapeado e escoado através da interface Abis. Todos os esquemas de codificação, possibilidades de definição e utilização dos timeslots afetam diretamente o consumo de recursos da interface Abis e devem ser bem entendidas antes de prosseguir ao Capítulo 4.

### **3.4.1 Estratégias de utilização dos timeslots na interface aérea**

Uma estação móvel (EM) da rede GPRS transmite pacotes diretamente para redes de dados, tais como Intranets ou Internet. Desta forma, técnicas devem ser empregadas para que os recursos da interface aérea sejam utilizados somente quando existem dados a receber e/ou transmitir. Por isso, o sistema GPRS se adapta bem à natureza descontínua das aplicações de dados.

Na rede GPRS, uma vez que os pacotes já tenham sido transmitidos pela interface aérea, os timeslots podem ser liberados para outras EMs. A possibilidade de tráfego de dados descontínuo faz com que a utilização dos recursos seja mais eficiente, o que permite que as operadoras possam oferecer serviços mais baratos.

Em chamadas de voz nas redes GSM, uma EM utiliza um timeslot para uplink e um timeslot para downlink. Nos sistemas GPRS, por outro lado, uma EM pode utilizar múltiplos timeslots para downlink e uplink. Por exemplo, uma EM pode utilizar 1 timeslot para uplink e

3 timeslots para downlink. Teoricamente, uma rede GPRS, pode alocar até oito timeslots para uma mesma EM, atingindo taxas de dados de até 160 kbps. Na prática, entretanto, esta taxa é limitada pelo tráfego da rede, e pela capacidade das EMs em operar com múltiplos timeslots.

Por outro lado, aplicações de natureza descontínua, abrem a possibilidade de compartilhamento dos timeslots entre várias EMs. Cada EM recebe uma identificação de três bits para acesso ao timeslot utilizando-o quando a aplicação demandar. Devido à identificação de três bits, o número máximo de EMs que podem compartilhar um mesmo timeslot é de 8. Em casos de compartilhamento de timeslots, a BSC, em conjunto com a BTS, define o número de EMs em cada timeslot com o objetivo de balancear as taxas de transmissão de dados obtidas entre cada uma delas.

### **3.4.2 Possíveis definições dos timeslots na interface aérea**

A estrutura do sistema GSM é mantida para a interface aérea do sistema GPRS, ou seja, temos oito timeslots multiplexados no tempo para cada portadora irradiada com uma largura de banda de 200 kHz. Cada timeslot da interface aérea pode ser configurado exclusivamente para dados (comutação por pacotes), exclusivamente para voz (comutação por circuitos), ou ainda de maneira mista sendo utilizado para comutação por circuitos prioritariamente, porém com possibilidade de tráfego de pacotes quando houver recursos disponíveis.

Exceto pelos timeslots dedicados para dados, o tráfego de comutação por circuitos tem prioridade sobre o tráfego de pacotes. Desta forma, caso ocorra congestionamento no tráfego de comutação por circuitos, a EM GPRS não pode trafegar dados, a não ser que existam timeslots dedicados para dados naquela célula.

É possível, entretanto, para uma operadora permitir que os timeslots de comutação por circuitos sejam utilizados para tráfego de dados, de acordo com a estatística de utilização dos timeslots de comutação por circuitos. Esta idéia é mostrada na Figura 3.3, onde vemos que existem seis timeslots no território de comutação por pacotes no segundo transceptor (TRX). Existem algoritmos na PCU que permitem utilizar os dois timeslots de voz deste mesmo TRX para dados, aumentando a taxa de transferência das EMs. Um exemplo prático: considerando três EMs com capacidade de dois timeslots GPRS enviando ou recebendo dados simultaneamente. Em tal situação temos todo o território de dados ocupado. Se outra EM GPRS tenta acessar a rede também, a PCU tem duas alternativas: determina o compartilhamento dos seis timeslots do território de dados entre as quatro EMs (diminuindo o throughput das EMs que já estavam conectadas), ou faz uma ampliação do território de dados, alocando os dois primeiros timeslots para esta última EM (mantendo o throughput das EMs que já estavam conectadas). Note que esta segunda alternativa é escolhida somente se os timeslots de voz estiverem livres, e de acordo com a estatística de utilização dos mesmos, dado que é levantado pela própria PCU.

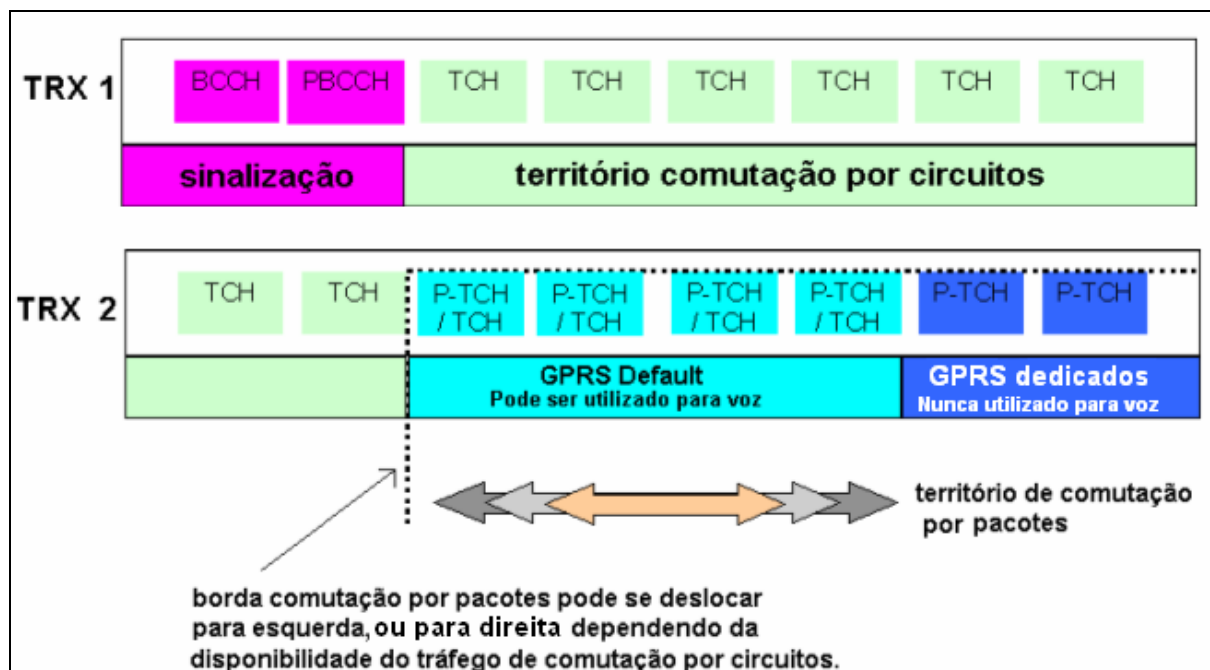


Figura 3.3 – Ilustração da ampliação do território de dados.

### 3.4.3 Os esquemas de codificação

O padrão GPRS permite quatro esquemas de codificação de dados para a interface aérea: CS-1, CS-2, CS-3 e CS-4. A utilização dos diferentes esquemas de codificação está associada à relação de potência entre portadora / interferência (CIR – *Carrier to Interference Ratio*) do link entre a BTS e a EM. O CS-1 é utilizado em piores condições de CIR, sendo necessária a inserção de vários bits para codificação de canal, e conseqüentemente, tem o menor throughput máximo. Já o CS-4 é utilizado quando temos as melhores condições em termos de CIR. O CS-4 utiliza poucos bits para codificação de canal possibilitando o maior throughput máximo na camada de aplicação.

A Tabela 3.1 mostra as taxas de transmissão típicas para os diferentes esquemas de codificação.

Tabela 3.1 – Características básicas dos esquemas de codificação GPRS.

esquema de codificação de dados(Coding Schemes)	Número de bits transmitidos a cada 20ms (quadros TRAU)	Taxa de transmissão (Kbps)
CS-1	160	8
CS-2	240	12
CS-3	288	14,4
CS-4	400	20

O procedimento conhecido como adaptação do enlace (*Link Adaptation*) é responsável pela seleção automática entre os diferentes CS disponíveis de acordo com a CIR medida. As operadoras podem escolher se desejam habilitar o procedimento de adaptação do enlace ou se mantém o CS fixo.

O interesse na utilização dos diferentes CS disponíveis baseia-se no fato de que, quanto maior o CS utilizado, mais recursos da interface Abis serão consumidos, conforme visto no Capítulo 4.

Resultados práticos para uma rede GSM típica com CIR de 15 dB apontam para um throughput médio de 10 kbps por timeslot alternando entre CS-1 e CS-2.

Na verdade, a estratégia do GPRS é utilizar os recursos ociosos da rede de Comutação por Circuitos para transmitir dados, mantendo sempre esta última como serviço prioritário. Por isso, as primeiras aplicações de dados sobre redes celulares tipicamente são de baixo throughput tais como rastreamento de veículos, autenticação de cartão de crédito e telemetria. Somente com a introdução do (E)GPRS e do 3GSM, começam a surgir aplicações celulares que exigem taxas de transmissão maiores tais como vídeo, streaming e outras.

### **3.5 A evolução para o sistema (E)GPRS**

Conforme foi dito nas seções acima, a introdução da comutação por pacotes nas redes GSM ocorreu através do sistema GPRS, tecnologia “melhor esforço”, que não tem como objetivo atingir altas taxas de transmissão.

Como a demanda por serviços de dados com maior capacidade é uma tendência natural em todas as redes de telecomunicações, uma nova tecnologia para as redes GSM, chamada EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), ou (E)GPRS, foi desenvolvida.

### 3.5.1 As diferenças introduzidas no (E)GPRS

A diferença do sistema (E)GPRS para o sistema GPRS está na interface aérea primordialmente, ou seja, toda a estrutura de novos elementos de rede instalados devido ao sistema GPRS é mantida com o sistema (E) GPRS. Deve-se considerar, entretanto, que a introdução do sistema (E)GPRS tem impacto nas demais interfaces do sistema GPRS, tais como Abis, Gb e Gn, na medida em que aumenta significativamente a taxa de transmissão de dados.

Até o sistema GPRS, a modulação utilizada na interface aérea era somente a modulação GMSK, em que cada símbolo da modulação representa um bit de dados [3]. A evolução das redes GPRS para redes (E) GPRS se dá pela introdução da modulação 8-PSK, em que cada símbolo da modulação representa três bits de dados [3]. A Figura 3.4 ilustra o diagrama de constelação do esquema de modulação 8-PSK. Verifica-se que com a mesma banda, em Hertz, atingimos uma taxa de transmissão de dados três vezes maior.

Diante disso, fica claro que o throughput potencialmente triplica com este esquema de modulação, entretanto o preço que é pago está no aumento da probabilidade de erros, devido à distância entre os símbolos deste esquema de modulação ser menor. Através dos diagramas de constelação observa-se que a distância entre os símbolos da modulação 8-PSK é menor do que a distância entre os símbolos da modulação GMSK, assumindo o mesmo nível de recepção [3].

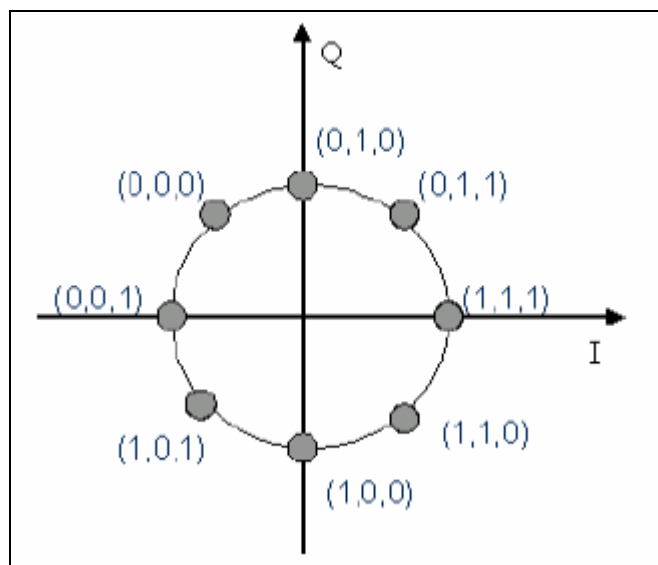


Figura 3.4 – Adoção do esquema de modulação 8-PSK com a introdução do sistema (E)GPRS.

### 3.5.2 Os esquemas de codificação

É importante lembrar que todas as estratégias de utilização e possíveis configurações dos timeslots descritas nos itens 3.4.1 e 3.4.2 são mantidas no sistema (E)GPRS.

Por outro lado, o sistema (E)GPRS introduz uma nova família de esquemas de codificação chamados de Modulation Coding Schemes (MCS) cujas características básicas estão mostradas na Tabela 3.2. De maneira similar ao que ocorre com o sistema GPRS, o MCS utilizado depende da relação CIR avaliada a cada instante.

O procedimento de adaptação do enlace, descrito no item 3.4.3, também está presente nos sistemas (E)GPRS, podendo ser habilitado ou não pelas operadoras.

Tabela 3.2 – Características básicas dos MCS.

<b>MCS</b>	<b>Nº bits dados</b>	<b>Taxa obtida</b>	<b>Modulação</b>
MCS1	176	8,8 kbit/s (176 bit/20 msec)	GMSK
MCS2	224	11,2 kbit/s (224 bit/20 msec)	GMSK
MCS3	296	14,8 kbit/s (296 bit/20 msec)	GMSK
MCS4	352	17,6 kbit/s (420 bit/20 msec)	GMSK
MCS5	448	22,4 kbit/s (448 bit/20 msec)	8-PSK
MCS6	592	29,6 kbit/s (592 bit/20 msec)	8-PSK
MCS7	448+448	44,8 kbit/s (896 bit/20 msec)	8-PSK
MCS8	544+544	54,4 kbit/s (1088 bit/20 msec)	8-PSK
MCS9	592+592	59,2 kbit/s (1184 bit/20 msec)	8-PSK

É importante perceber que o aumento do throughput na interface aérea terá reflexo nas demais interfaces (Abis, Gb e Gn), que devem ser re-dimensionadas de modo a suportar este aumento na ocupação da banda disponível.

Mantendo o foco na interface Abis, a partir do momento em que o sinal com modulação 8-PSK é demodulado, temos uma quantidade de bits três vezes maior para ser entregue à BSC. Considerando que o meio utilizado para a transmissão destes dados representa um alto custo para as operadoras, a introdução do sistema (E)GPRS representa um aumento de custo diretamente proporcional ao aumento na taxa de transmissão de dados.

Com o objetivo de minimizar este impacto, estão mostradas no Capítulo 4 deste trabalho as técnicas desenvolvidas para utilização mais eficiente da banda alocada para a interface Abis. A utilização das técnicas que são mostradas torna a introdução do sistema (E)GPRS mais suave para as operadoras.



# Capítulo

## 4. A otimização da interface Abis

### 4.1 Introdução

Diante do exposto nos Capítulos anteriores, na medida em que ocorre um aumento no tráfego nas redes GSM, as operadoras se vêem com um alto custo de transmissão associado à interface Abis. Este aumento de tráfego pode ter sua origem no crescimento natural da rede GSM comutadas por circuitos, ou no aumento na penetração do tráfego de dados através da rede (E)GPRS.

Conforme explicado no Capítulo 3, o throughput na interface aérea triplica com a entrada do (E)GPRS. Conseqüentemente, tem-se impacto diretamente proporcional na interface Abis. A utilização dos quadros PCM30 aumenta e, com maior frequência, as operadoras são obrigadas a promover ampliações na capacidade de sua rede de transmissão. Para as operadoras estas ampliações representam um alto custo, seja pelo aluguel de novos quadros PCM30, ou pela ampliação da capacidade da rede própria.

Visando minimizar os custos decorrentes do crescimento de tráfego, diversas estratégias de otimização da interface Abis começam a receber atenção em todo o mundo. Neste Capítulo são descritas algumas das estratégias disponíveis no mercado.

As próximas seções deste Capítulo contemplam um estudo realizado sobre as especificações que padronizam a interface Abis e que são pertinentes ao entendimento das estratégias de otimização, que são descritas em seguida.

## 4.2 Quadros TRAU

Nas especificações do sistema GSM [6] e [7], são apresentados os padrões estabelecidos para a transmissão de informação entre a BTS e a BSC. É padronizada a troca de informações de tráfego e sinalização a partir de quadros conhecidos por quadros TRAU (*TRAU frames*). Não existe, entretanto, padronização em relação ao mapeamento destes quadros TRAU nos quadros PCM30. Por isso, cada fabricante de equipamentos pode realizar o mapeamento destes quadros da maneira que lhe for mais apropriada. Estas especificações dizem respeito somente ao tráfego de comutação por circuitos.

O quadro TRAU possui comprimento fixo de 320 bits com duração de 20ms (16 kbps) ou 160 bits também com duração de 20ms (8 kbps). A BSC deve realizar a comutação dos quadros TRAU de forma transparente, enviando-os para o transcoder, que lhes dará o devido tratamento.

A estrutura dos quadros TRAU depende da informação que está sendo transmitida por ele, apresentando as opções de quadros de voz, dados (CSD), ociosos ou O&M (sinalização).

As Tabelas a seguir mostram alguns exemplos das estruturas dos quadros TRAU. Na tabela 4.1 é ilustrado um quadro TRAU com codificação de voz Full Rate ou Enhanced Full Rate. A informação que distingue as duas codificações de voz está nos bits de controle C1 até C5. Na verdade são estes bits que definem o tipo de tráfego que o quadro TRAU contém, conforme apresentado na Tabela 4.4 que segue. Nesta Tabela entende-se por tráfego de dados, o tráfego de dados sobre comutação por circuitos, tecnologia conhecida por CSD (*Circuit Switched Data*).

Tabela 4.1 – TRAU frame 320 bits (FR ou EFR).

Octet no.	Número do Bit							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
4	1	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
5	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
6	1	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22
7	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30
8	1	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37
9	D38	D39	D40	D41	D42	D43	D44	D45
10	1	D46	D47	D48	D49	D50	D51	D52
11	D53	D54	D55	D56	D57	D58	D59	D60
12	1	D61	D62	D63	D64	D65	D66	D67
13	D68	D69	D70	D71	D72	D73	D74	D75
14	1	D76	D77	D78	D79	D80	D81	D82
15	D83	D84	D85	D86	D87	D88	D89	D90
16	1	D91	D92	D93	D94	D95	D96	D97
17	D98	D99	D100	D101	D102	D103	D104	D105
18	1	D106	D107	D108	D109	D110	D111	D112
19	D113	D114	D115	D116	D117	D118	D119	D120
20	1	D121	D122	D123	D124	D125	D126	D127
21	D128	D129	D130	D131	D132	D133	D134	D135
22	1	D136	D137	D138	D139	D140	D141	D142
23	D143	D144	D145	D146	D147	D148	D149	D150
24	1	D151	D152	D153	D154	D155	D156	D157
25	D158	D159	D160	D161	D162	D163	D164	D165
26	1	D166	D167	D168	D169	D170	D171	D172
27	D173	D174	D175	D176	D177	D178	D179	D180
28	1	D181	D182	D183	D184	D185	D186	D187
29	D188	D189	D190	D191	D192	D193	D194	D195
30	1	D196	D197	D198	D199	D200	D201	D202
31	D203	D204	D205	D206	D207	D208	D209	D210
32	1	D211	D212	D213	D214	D215	D216	D217
33	D218	D219	D220	D221	D222	D223	D224	D225
34	1	D226	D227	D228	D229	D230	D231	D232
35	D233	D234	D235	D236	D237	D238	D239	D240
36	1	D241	D242	D243	D244	D245	D246	D247
37	D248	D249	D250	D251	D252	D253	D254	D255
38	1	D256	D257	D258	D259	D260	C16	C17
39	C18	C19	C20	C21	T1	T2	T3	T4

Tabela 4.2 – TRAU frame 160 bits para dados (CSD).

Octet no.	Número do Bit							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2
3	0	1	D3	D4	D5	D6	D7	D8
4	1	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
5	1	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22
6	1	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29
7	1	D30	D31	D32	D33	D34	D35	D36
8	1	D37	D38	D39	D40	D41	D42	D43
9	1	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D50
10	1	D51	D52	D53	D54	D55	D56	D57
11	1	D58	D59	D60	D61	D62	D63	D'1
12	1	D'2	D'3	D'4	D'5	D'6	D'7	D'8
13	1	D'9	D'10	D'11	D'12	D'13	D'14	D'15
14	1	D'16	D'17	D'18	D'19	D'20	D'21	D'22
15	1	D'23	D'24	D'25	D'26	D'27	D'28	D'29
16	1	D'30	D'31	D'32	D'33	D'34	D'35	D'36
17	1	D'37	D'38	D'39	D'40	D'41	D'42	D'43
18	1	D'44	D'45	D'46	D'47	D'48	D'49	D'50
19	1	D'51	D'52	D'53	D'54	D'55	D'56	D'57
20	1	D'58	D'59	D'60	D'61	D'62	D'63	1

Tabela 4.3 – TRAU frame 160 bits AMR codec 6,70 kbps

Octet no.	Número do Bit							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	D1	D2	D3	D4	D5	D5	D7
3	1	C1	C2	C3	D8	D9	D10	D11
4	1	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18
5	1	D19	D	D	D	D	D	D25
6	0	D26	D	D	D	D	D	D32
7	1	D33	D	D	D	D	D	D39
8	D40	D	D	D	D	D	D	D47
9	1	D48	D	D	D	D	D	D54
10	D55	D	D	D	D	D	D	D62
11	1	D63	D	D	D	D	D	D69
12	D70	D	D	D	D	D	D	D77
13	1	D78	D	D	D	D	D	D84
14	D85	D	D	D	D	D	D	D92
15	1	D93	D	D	D	D	D	D99
16	D100	D	D	D	D	D	D	D107
17	1	D108	D	D	D	D	D	D114
18	D115	D	D	D	D	D	D	D122
19	1	D	D	D	D	D	D	D129
20	D130	D	D	D	D	D	D	D137

É importante ressaltar que no caso do quadro TRAU ocioso, todos os bits de dados (Di's) são enviados como "1".

As referências [6] e [7] podem ser utilizadas para maiores detalhes sobre a utilização dos bits de controle e outras possíveis estruturas dos quadros TRAU. O objetivo neste ponto é ilustrar que a padronização dos quadros TRAU permite identificar o tipo de tráfego cursado, inclusive os quadros TRAU ociosos, que são os principais alvos das estratégias de otimização da interface Abis.

Tabela 4.4 – Exemplos de identificação do tipo de tráfego no TRAU frame a partir dos bits de controle.

Tráfego	Quadro TRAU	Bits de controle C1..C5	
		Uplink	Downlink
FR	320 bits	00010	11100
EFR	320 bits	11010	11010
O&M	320 bits	00101	11011
	160 bits	0101Y	010XY
Dados	320 bits	01000	10110
	160 bits	0011Y	001XY
Ocioso	320 bits	10000	01110
Extended Data Frame	320 bits	11111	11111
HR	320 bits	00011	111101
	160 bits	0001Y	000XY
AMR FR	320 bits	00110	00110

X = uplink frame error  
X = 0 para frame uplink corrompido  
X = 1 para frame uplink correto  
Y = paridade ímpar de C1 até C4

Maiores informações sobre os algoritmos de codificação de voz FR, EFR, HR e AMR podem ser encontradas em [8], [9], [10] e [11]. Não é escopo deste trabalho a descrição dos diferentes algoritmos de codificação de voz utilizados nos sistemas GSM.

## 4.3 A Transmissão Descontínua

O estudo da funcionalidade de transmissão descontínua (*Discontinuous Transmission* – DTX) é importante, na medida em que potencializa a transmissão de quadros TRAU ociosos na interface Abis, conforme explicado a seguir. Na seção 4.4 veremos que algumas das estratégias de otimização da interface Abis fazem uso da eliminação dos quadros TRAU ociosos para reduzir a utilização dos quadros PCM30.

Atuando na interface aérea, esta funcionalidade permite que, a partir da detecção do silêncio durante uma conversação, a EM suspenda a transmissão da voz. Esta suspensão na transmissão contribui para a economia de bateria e redução dos níveis de interferência da rede. Nestes momentos de silêncio, é gerado um ruído de conforto para que o outro interlocutor não tenha a falsa impressão de que a chamada foi desconectada.

O funcionamento da transmissão descontínua depende dos seguintes fatores:

- Presença de um detector de atividade de voz (*Voice Activity Detector* – VAD) no lado da EM transmissora.
- Avaliação do ruído de fundo do lado da EM transmissora para transmitir os parâmetros corretos a EM receptora, através do quadro SID (*Silence Descriptor Frame*).
- No lado da EM receptora gerar o ruído de conforto, de acordo com os parâmetros recebidos no quadro SID.

O funcionamento da transmissão descontínua ocorre da seguinte maneira: a saída do VAD será “1” quando houver atividade de voz, e “0” caso contrário. No momento em que há a transição do VAD de “1” para “0”, tem início o chamado período de *hangover*. Durante este período, são avaliados os N próximos quadros de modo a coletar os dados para geração do ruído de conforto no receptor. Desta forma, o ruído de conforto é baseado no ruído de fundo no transmissor. Os dados para geração do ruído de conforto são então enviados ao receptor

através de um quadro chamado SID. A Figura 4.1 ilustra o procedimento descrito. Maiores detalhes podem ser obtidos em [12].

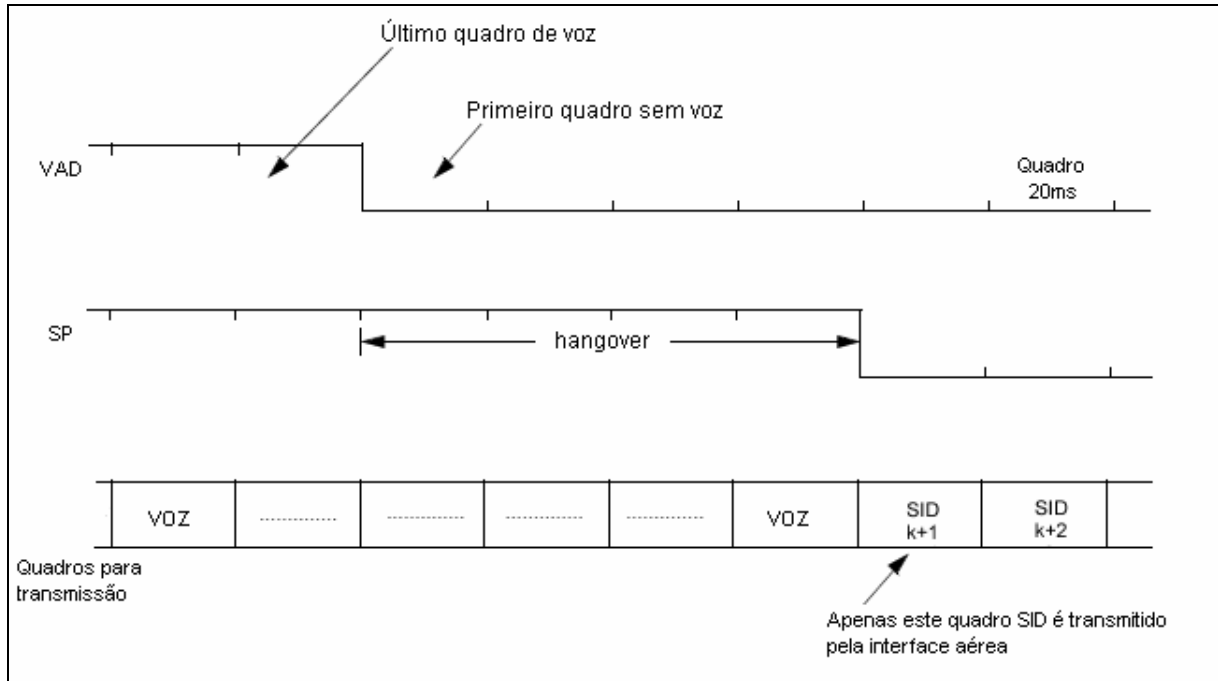


Figura 4.1 – Procedimento de transmissão na funcionalidade de transmissão descontínua.

Para que o procedimento de transmissão da funcionalidade DTX esteja completo, se faz necessária a utilização de um bit de controle SP. O bit de controle SP vem associado a cada quadro, identificando-o como quadro de voz ( $SP=1$ ) ou como quadro SID ( $SP=0$ ). A EM envia pela interface aérea todos os quadros marcados com  $SP=1$  e o primeiro quadro marcado com  $SP=0$  após um quadro marcado com  $SP=1$ . Todos os demais quadros durante o período de silêncio não são transmitidos pela interface aérea, o que representa na interface Abis a transmissão de quadros TRAU ociosos.

Conforme observado na Figura 4.1, os quadros SID com informações sobre o ruído de fundo no transmissor continuam sendo gerados, embora não sendo transmitidos. Isto ocorre, pois devem ser enviados quadros SID atualizados com a periodicidade descrita na Tabela 4.5 abaixo. De posse destes dados, o receptor pode manter o ruído de fundo atualizado.

Tabela 4.5 – Frequência de atualização dos quadros SID.

Algoritmo de codificação de voz	Periodicidade de atualização do quadro SID
FR	A cada 480ms (24 quadros)
EFR	A cada 480ms (24 quadros)
AMR FR	A cada 160ms (8 quadros)
HR	A cada 240ms (12 quadros)
AMR HR	A cada 240ms (12 quadros)

Observe que entre os quadros SID que são efetivamente transmitidos, temos na interface Abis quadros TRAU ociosos. Desta forma, nos momentos de silêncio de uma chamada ativa, os quadros TRAU ociosos são maioria.

Algumas das estratégias de otimização da interface Abis fazem uso da detecção (e posterior não transmissão) dos quadros TRAU ociosos para reduzir a utilização dos quadros PCM30, como fica mais claro nas próximas seções. Com isso conclui-se que a utilização da funcionalidade de transmissão descontínua maximiza os ganhos de otimização da interface Abis.

No lado da EM receptora, teremos o elemento responsável pela geração do ruído de conforto para o ouvinte. Os dados necessários para a geração do ruído de conforto, são transmitidos exatamente no quadro SID. Entretanto, caso algum quadro SID chegue ao receptor corrompido, o gerador de ruído deve considerar o último quadro SID válido como entrada.

Considerando dados típicos de silêncio durante uma conversação como 50%, concluímos que a ativação da funcionalidade de transmissão descontínua pode contribuir significativamente na redução da ocupação dos recursos da interface Abis alocados mesmo durante uma chamada ativa.



## 4.4 Estratégias de Otimização para a Interface Abis

Conforme visto no Capítulo 2, originalmente a alocação dos recursos da interface Abis era fixa e determinística, ou seja, cada BTS recebia uma banda super dimensionada para a interface Abis, mapeando todos os timeslots da interface aérea na interface Abis. Desta feita, não havia nenhuma probabilidade de congestionamento no transporte das informações até a BSC. Mesmo que os E0s reservados não estivessem transmitindo informações, a banda ficava ociosa e reservada.

De maneira geral todas as estratégias de otimização da interface Abis passam por uma permissão de probabilidade de congestionamento maior do que zero nesta interface. Daí retira-se um ganho estatístico que é inversamente proporcional ao tráfego das BTSs. A seguir são mostradas algumas das estratégias de otimização da banda alocada para a interface Abis. Algumas delas são desenvolvidas pelos próprios fabricantes dos equipamentos, ao passo que outras funcionam como elementos externos à BTS e a BSC, sendo desenvolvidas por um segundo fabricante.

Deve-se considerar, entretanto, o fato de que a interface Abis é uma interface fechada. Deste modo, qualquer estratégia de otimização deve ser testada em conjunto com o fabricante dos equipamentos, visando garantir o perfeito funcionamento da mesma na versão de software atual e nas futuras versões de software disponíveis.

### 4.4.1 Abis Parcialmente Dinâmica

Esta estratégia de otimização foi desenvolvida pelo fabricante de equipamentos de BTS e BSC Nokia, a partir da versão de software S10.5 ED. Sua idéia é atuar somente na banda alocada para o tráfego de comutação por pacotes. Considerando que a introdução do sistema (E)GPRS é realmente o principal consumidor de banda na interface Abis, faz sentido nos concentrarmos inicialmente neste tipo de tráfego.

A estratégia de otimização consiste na reserva de uma banda na interface Abis exclusivamente para o tráfego de dados, chamada de Banda Dinâmica para Dados (BDD). Os recursos da BDD são alocados de maneira totalmente dinâmica, ou seja, uma vez que qualquer timeslot da interface aérea necessite de uma banda maior para comutação por pacotes, os recursos da BDD são utilizados.

A Figura 4.2, mostra a demanda de recursos na Abis para cada esquema de codificação do GPRS e (E)GPRS. Ou seja, de acordo com o esquema de codificação utilizado por um determinado timeslot, temos uma banda consumida na interface Abis.

Modulação	Esquema de codificação	Taxa de transmissão (bps)	Mapeamento na Abis
GMSK	CS-1	8,000	■ □ □ □ □
	CS-2	12,000	■ ■ □ □ □
	CS-3	14,400	■ ■ ■ □ □
	CS-4	20,000	■ ■ ■ ■ □
GMSK	MCS-1	8,800	■ □ □ □ □
	MCS-2	11,200	■ ■ □ □ □
	MCS-3	14,800	■ ■ ■ □ □
	MCS-4	17,600	■ ■ ■ ■ □
8-PSK	MCS-5	22,400	■ ■ ■ ■ □
	MCS-6	29,600	■ ■ ■ ■ ■ □
	MCS-7	44,800	■ ■ ■ ■ ■ ■ □
	MCS-8	54,400	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ □
	MCS-9	59,200	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ □

■ Alocação estática  
 ■ Alocação dinâmica da BDD

Figura 4.2 – A demanda associada a cada esquema de codificação dos sistemas GPRS e (E) GPRS.

A Figura 4.3 mostra o funcionamento da BDD em um TRX dedicado ao tráfego de dados. Tomemos como exemplo o timeslot 4, que está utilizando o MCS-9: de acordo com a Figura 4.2, este timeslot consome 80 kbps (ou cinco subcanais de 16 kbps) na interface Abis. Como existem recursos disponíveis na BDD, a PCU (*Packet Control Unit*) reserva um subcanal na área de alocação estática, e quatro subcanais da BDD para esta aplicação. Mais tarde estes mesmos subcanais da BDD podem atender a qualquer outro timeslot que esteja demandando banda adicional para tráfego de dados.

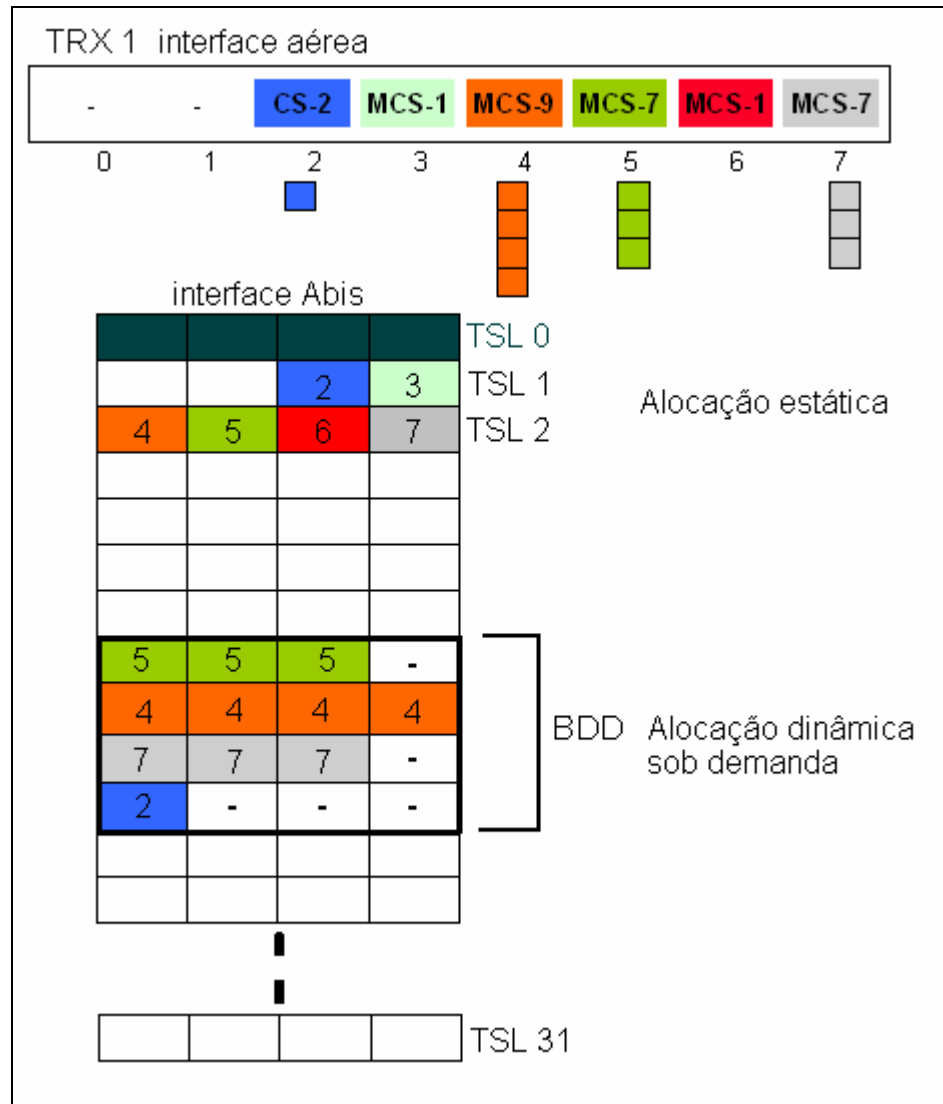


Figura 4.3 – A alocação dinâmica dos recursos da BDD.

O gerenciamento dos recursos da BDD é feito através de algoritmos de controle na PCU, unidade responsável pelo tráfego de dados na BSC.

A vantagem da utilização dos recursos de modo dinâmico reside no ganho estatístico de que podemos nos valer para reduzir a banda alocada para o BDD. Entretanto, a utilização de um ganho estatístico para a redução da banda do BDD pressupõe uma probabilidade de congestionamento dos recursos, ainda que de maneira controlada.

De qualquer maneira existem medidas que podem ser tomadas para evitar casos de congestionamento, tais como redução do throughput dos usuários de dados, reduzindo a demanda por recursos da BDD, ou ainda forçar uma re-seleção de célula de algumas EM para BTSs vizinhas. Claramente tais medidas dependem da intervenção direta da PCU.

A Tabela 4.6 abaixo mostra as principais vantagens e desvantagens desta estratégia de otimização.

Tabela 4.6 – Vantagens e desvantagens da Abis parcialmente dinâmica.

Vantagens	Desvantagens
Ganho estatístico oriundo da utilização do BDD.	Ganho estatístico limitado ao tráfego de pacotes (PS).
Em caso de iminência de congestionamento do BDD, podem ser tomadas contramedidas em conjunto com a BSC e a BTS.	Impossibilidade de utilização da banda otimizada para prover outros tráfegos de dados.

#### 4.4.2 Abis Totalmente Dinâmica

Esta estratégia de otimização foi desenvolvida pelo fabricante de equipamentos BTS e BSC SIEMENS, a partir da versão de software BR7.0. Esta estratégia pode ser vista como uma aplicação do conceito de Abis dinâmica para os dois tipos de tráfego presentes na interface Abis: o tráfego de voz e o tráfego de pacotes. Expressivo ganho pode ser obtido desconsiderando a alocação fixa dos recursos na interface Abis. Esta estratégia de otimização assume que deve ser alocada uma **Banda Abis** para cada BTS, e não mais apenas para o tráfego de pacotes. Os recursos da Banda Abis, os subcanais de 16 kbps, podem ser alocados de acordo com a demanda instantânea, ou seja, de maneira totalmente dinâmica.

A Banda Abis pode ser utilizada para tráfego de voz (CS) e de dados (PS). A alocação dos subcanais da interface Abis é gerenciada pela BSC, podendo ser definidos serviços prioritários sobre outros. Na maioria dos casos práticos é definida a maior prioridade para os serviços de voz.

A Figura 4.4 mostra a estratégia de alocação dinâmica dos recursos da Abis.

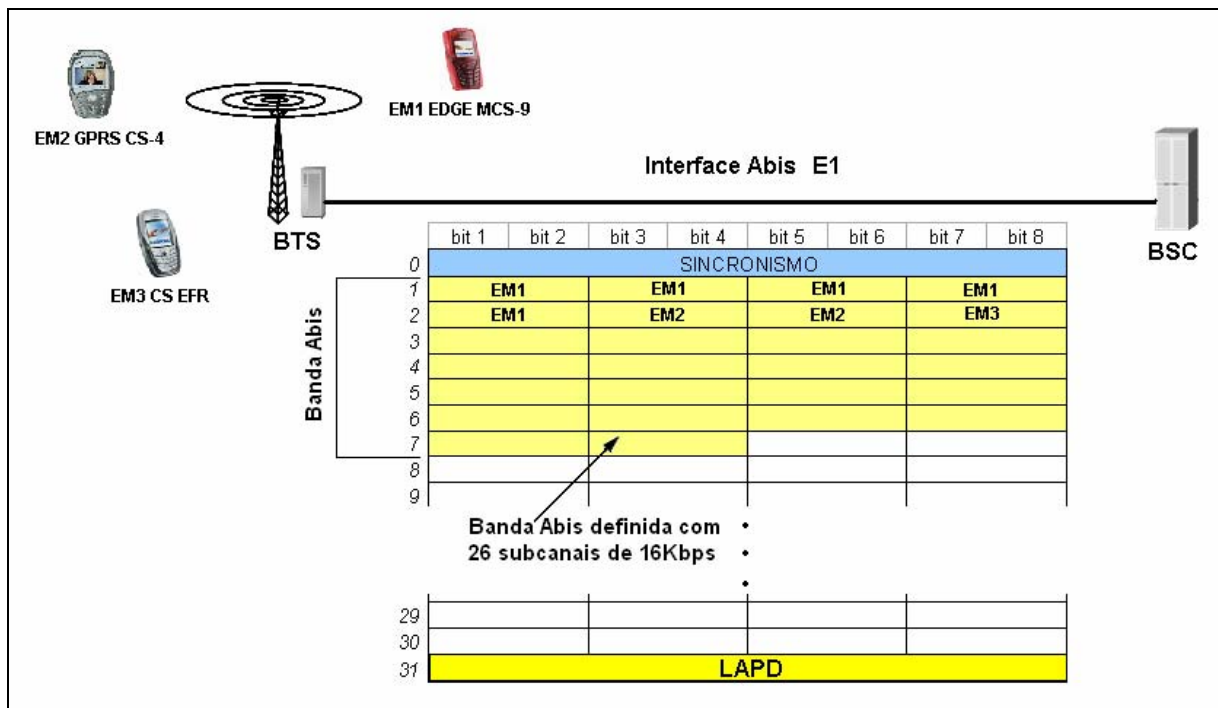


Figura 4.4 – Alocação dinâmica dos recursos da interface Abis.

Neste exemplo têm-se três estações móveis demandando serviços à rede GSM / (E) GPRS. Uma delas (EM3) está realizando chamada de voz com o algoritmo EFR (*Enhanced Full Rate*) consumindo 1 subcanal da Banda Abis. Ao mesmo tempo EM1 e EM2, realizam chamada de dados (E)GPRS e GPRS, consumindo 5 e 2 subcanais respectivamente. Os subcanais reservados na Banda Abis para estas EMs são alocados sob demanda, conforme ilustrado na Figura 4.4. Após o encerramento da chamadas, os subcanais da Banda Abis são liberados e podem ser utilizados por quaisquer outras EMs realizando chamadas de voz ou dados.

Adotando a Abis totalmente dinâmica, podemos reduzir a banda alocada para cada BTS, considerando um ganho estatístico e admitindo uma probabilidade de congestionamento maior do que zero.

Esta possibilidade de alocação reduz bastante o impacto da introdução dos novos serviços de dados baseados na tecnologia (E)GPRS. Considerando que o tráfego de voz é altamente descorrelacionado do tráfego de dados durante as 24 horas do dia, podemos obter um ganho ainda mais significativo.

Outro ganho que não pode ser desprezado diz respeito simplesmente ao tráfego de voz. Mesmo que a BTS não possua nenhum timeslot na interface aérea habilitado para trafegar dados, existe ainda um ganho estatístico inerente ao fato da mesma Banda Abis ser compartilhada por todos os setores da BTS.

Vejamos o simples exemplo na Figura 4.5: temos um site com 3 TRXs por setor, sendo dois timeslots alocados para sinalização em cada setor. Considerando ainda dois timeslots dedicados para dados em cada setor de um total de 24 timeslots, chegamos a um total de 20 timeslots por setor em que temos somente tráfego de voz. Considerando uma probabilidade de congestionamento de 2% na interface aérea, chegamos a um tráfego de 13,18 Erlangs por setor, o que nos leva a 39,54 Erlangs de tráfego no site como um todo.

Este tráfego deve ser escoado pela interface Abis com probabilidade de bloqueio de 0,5%, o que, aplicando a fórmula de Erlang, nos leva a uma necessidade de 55 subcanais nesta interface. Como temos ainda 4 subcanais para sinalização LAPD entre BTS e BSC, chegamos a um total de 59 subcanais de 16 kbps reservados na interface Abis.

Caso a alocação dos recursos na interface Abis fosse estática, teríamos 24 subcanais de 16 kbps por setor, somados aos 4 subcanais de sinalização. Logo, deveríamos ter 76 subcanais de 16 kbps reservados na interface Abis.

Com esta análise verificamos uma otimização de 22% para o tráfego de voz com alocação totalmente dinâmica.

		setor 1	setor 2	setor 3
<b>Entradas</b>	Número de TRX's	3	3	3
	Timeslots de sinalização (interface aérea)	2	2	2
	Timeslots de tráfego PS (interface aérea)	2	2	2
	Timeslots de tráfego CS (interface aérea)	20	20	20
	Probabilidade de bloqueio (interface aérea)	0,02	0,02	0,02
	Tráfego de cada setor (erlang)	13,18	13,18	13,18
	Tráfego total do site (Erlang)	39,54		
	Número Total de canais Abis para LAPD (16Kbps)	4		
Probabilidade de bloqueio (interface Abis)	0,005			
<b>Resultados</b>	Número de canais Abis necessários com Abis totalmente dinâmica(16 Kbps)	59		
	Número de canais Abis necessários com Abis convencional (16 Kbps)	76		
	Otimização de banda para CS	22%		

Figura 4.5 – Exemplo de otimização da Abis totalmente dinâmica, considerando apenas o tráfego CS.

A alocação totalmente dinâmica dos recursos da Banda Abis juntamente com o procedimento de adaptação do enlace descrito no Capítulo 3 são procedimentos que devem ocorrer de maneira sincronizada, uma vez que a alteração do MCS utilizado influencia diretamente na quantidade de subcanais a serem alocados na Banda Abis.

A Tabela 4.7 a seguir mostra a quantidade de subcanais de 16 kbps que devem ser alocados no pool de Abis de acordo com a aplicação da EM.

Observa-se que para as aplicações de dados eventualmente é necessário mais do que um subcanal na Banda Abis. Diante disso, o transporte de pacotes da BTS para a BSC é feito através da definição de quadros TRAU concatenados. Os quadros TRAU concatenados são uma seqüência de N quadros TRAU, idênticos aos explicados no item 4.2, com o valor de N variando de acordo com a Tabela 4.7.



Tabela 4.7 – Número de subcanais de acordo com a aplicação na interface aérea.

<b>Aplicação PS</b>	<b>Número de <i>subcanais na Banda Abis para cada timeslot na interface aérea</i></b>	<b>Aplicação CS</b>	<b>Número de <i>subcanais na Abis para cada timeslot na interface aérea</i></b>
GPRS CS-1	1	Half Rate CS	0,5
GPRS CS-2	1	AMR Half Rate CS	0,5
GPRS CS-3	2	Full Rate CS	1
GPRS CS-4	2	Enhanced Full Rate CS	1
(E)GPRS MCS-1	1	AMR Half Rate CS	1
(E)GPRS MCS-2	2	Circuit Switched Data (CSD)	1
(E)GPRS MCS-3	2		
(E)GPRS MCS-4	2		
(E)GPRS MCS-5	2		
(E)GPRS MCS-6	3		
(E)GPRS MCS-7	4		
(E)GPRS MCS-8	5		
(E)GPRS MCS-9	5		

Nos casos dos quadros TRAU concatenados, cada quadro TRAU (ou subcanal) recebe um índice (Sub-frame Counter - SFC) que varia de 1 até 5. Esta indexação permite que o receptor possa montar a seqüência correta dos subcanais, recuperando a informação original. Note que a existência SFC permite que os quadros TRAU não precisem estar em posições consecutivas no quadro PCM30.

Em casos em que o mesmo timeslot seja compartilhado por EMs utilizando diferentes esquemas de codificação, temos diferentes demandas de banda mapeadas sobre o mesmo subcanal, ou seja, sobre os mesmos SFCs. Nesta situação, nos bits de controle do primeiro subcanal quadro TRAU concatenado, tem-se a informação do esquema de codificação utilizado. Com disso pode ser feito o preenchimento dos subcanais, de acordo com a ilustração da Figura 4.6. Obviamente, quando o quadro TRAU concatenado estiver sendo

utilizado por uma EM com MCS-9, ele tem todos os seus subcanais preenchidos. Por outro lado, no momento em que a utilização estiver associada a uma EM com MCS-5 (de um outro assinante ou não), temos subcanais preenchidos com os bits de enchimento, seguindo o padrão “1111111...111”, caracterizando os quadros TRAU ociosos.

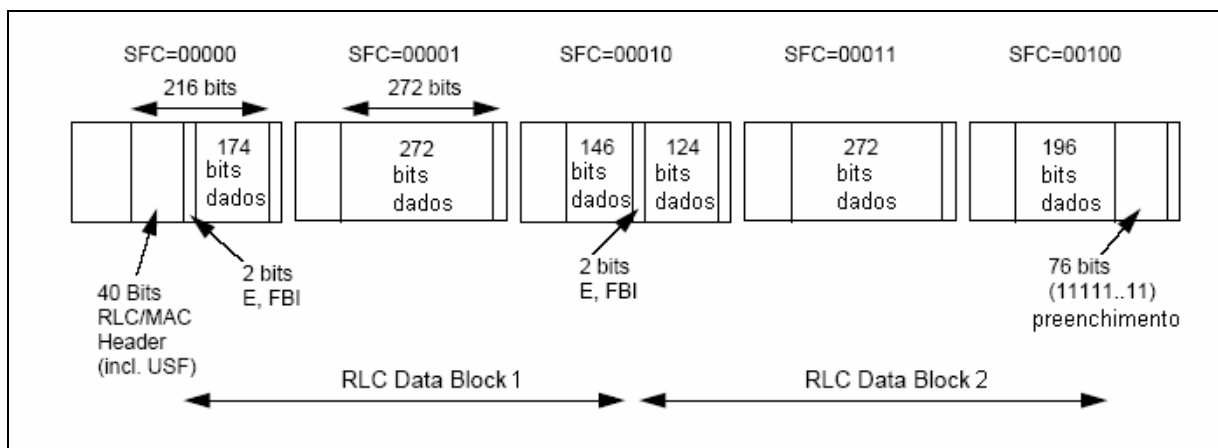


Figura 4.6 – Quadros TRAU concatenados.

Numa situação em que uma EM esteja utilizando MCS-9 e sofra uma redução para MCS-5 (procedimento de adaptação do enlace), os recursos da Banda Abis não são imediatamente descartados, uma vez que o procedimento de adaptação do enlace é relativamente rápido comparado ao trabalho de liberação de recursos na Banda Abis.

Basicamente existem duas mensagens de sinalização associadas a essa estratégia de otimização. A primeira diz respeito ao momento da ativação do quadro TRAU concatenado. A mensagem de ativação do canal da BSC para a BTS contém as informações da interface aérea (portadora e timeslot) e da interface Abis (número de subcanais na Banda Abis). Informação adicional considerando a lista dos subcanais de 16 kbps utilizados no E1, além da informação do SFC utilizado em cada um deles, também é informada. A informação do SFC alocado para uma chamada não pode ser modificada durante a mesma.

A segunda mensagem é associada às alterações na quantidade de subcanais alocados durante a chamada, o que pode ocorrer com o procedimento de adaptação do enlace, ou em uma situação de congestionamento da Banda Abis. Nos casos em que o número de subcanais deva ser reduzido, inicialmente as taxas dos blocos RLC são ajustadas e somente após um certo tempo (configurável), os recursos da Banda Abis são liberados. Por outro lado, nos casos em que o número de subcanais da Banda Abis deva ser aumentado, inicialmente é verificada a disponibilidade dos mesmos. Caso existam, reservados, entrando na lista dos subcanais daquela chamada e recebendo o seu respectivo SFC, conforme ilustrado na Figura 4.7 abaixo.

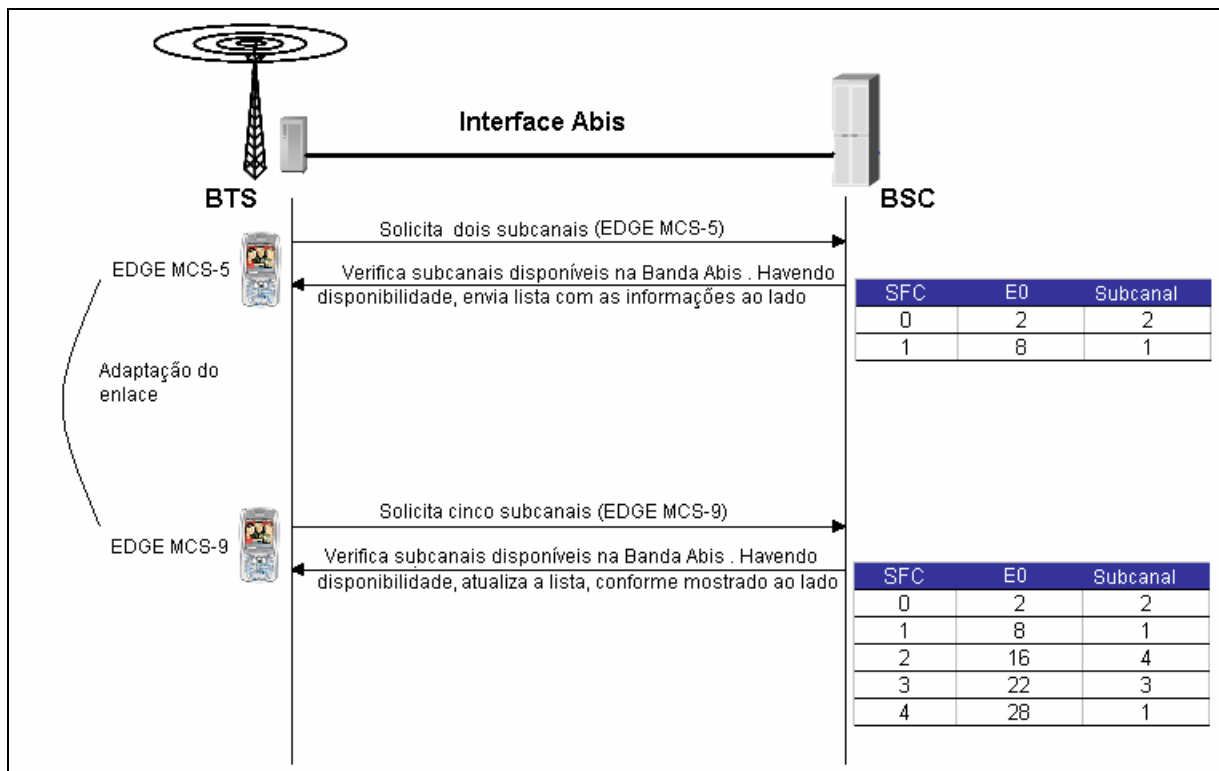


Figura 4.7 – Troca de informações de sinalização da Abis Totalmente Dinâmica.

Diante do que foi visto até aqui, esta estratégia de otimização permite uma redução de banda alocada para a interface Abis, considerando que estatisticamente é improvável que todos os recursos desta interface estejam alocados ao mesmo tempo.

Entretanto, podemos ter uma situação que a redução da banda tenha sido exagerada. Neste caso, no momento em que ocorrer um pico de tráfego, os controladores da BSC são capazes de identificar o momento em que a ocupação da Banda Abis está se aproximando da capacidade máxima e enviar um comando, por exemplo, forçando alguns assinantes a fazerem uma re-seleção de célula para uma BTS vizinha que tenha capacidade ociosa.

Outra estratégia para evitar o congestionamento na Banda Abis seria reduzir o MCS ou CS dos usuários (E)GPRS ou GPRS, ou ainda de maneira mais drástica, descartar os pacotes de dados, priorizando os serviços de voz.

Observe na Tabela 4.8 abaixo as principais vantagens e desvantagens desta estratégia de otimização.

Tabela 4.8 – Vantagens e desvantagens da Abis totalmente dinâmica.

Vantagens	Desvantagens
Maior ganho estatístico oriundo da utilização da Banda Abis compartilhado entre tráfego PS e CS.	Impossibilidade de utilização da banda otimizada para prover outros tráfegos de dados.
Em caso de iminência de congestionamento da Banda Abis, podem ser tomadas contramedidas em conjunto com a BSC e a BTS.	

### 4.4.3 Otimização a partir da detecção de quadros TRAU ociosos

Diante do que foi explicado nos itens 4.2 e 4.3, outra estratégia de otimização da interface Abis, passa pela identificação dos quadros TRAU ociosos. A Figura 4.8 ilustra a inserção de um novo elemento na saída da BTS e na entrada da BSC. Diversas empresas, tais como a Alcatel, desenvolveram estratégias de otimização seguindo esta abordagem.

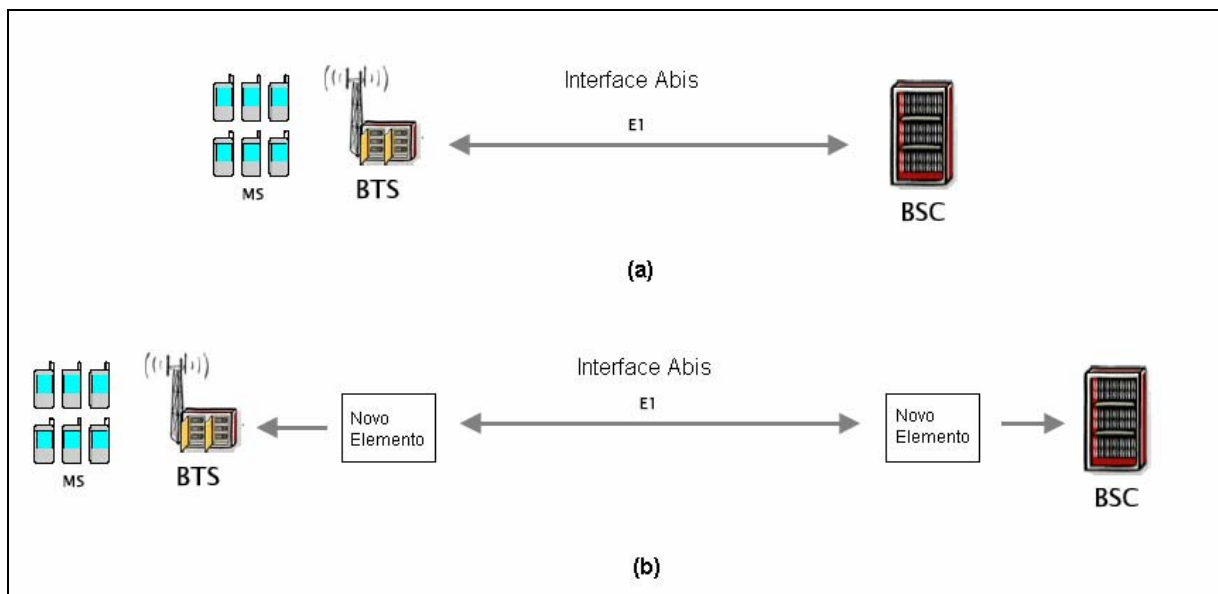


Figura 4.8 – A introdução do novo elemento – (a) Interface Abis convencional. (b) Interface Abis otimizada.

A função do novo elemento é detectar a presença dos quadros TRAU ociosos, através dos bits de controle, conforme explicado no item 4.2, e não transmiti-los pela interface Abis. O novo elemento na outra extremidade remonta os quadros TRAU ociosos entregando-os de maneira transparente à BTS ou BSC.

Com esta estratégia evitamos um consumo desnecessário de E0s da interface Abis, de modo que a redução da banda ocorre, fazendo-se valer de um ganho estatístico. Obviamente, quanto maior o tráfego na BTS, menor o ganho estatístico.

Os quadros TRAU ociosos que são transmitidos pela interface Abis são originados em dois momentos:

- Quando um timeslot na interface aérea está ocioso.
- Nos momentos de silêncio durante uma chamada ativa, o que só é possível através da habilitação da funcionalidade de DTX.

Os quadros TRAU ociosos são descartados e é adicionado um cabeçalho de comunicação entre os equipamentos, de modo a garantir que o receptor seja capaz de reconstruir de forma totalmente transparente a informação gerada na fonte transmissora.

Deve-se considerar ainda que a utilização destes novos elementos traz consigo a introdução de um atraso cujo impacto afeta diretamente a performance do tráfego (E)GPRS (ver Capítulo 5) e torna mais lentos os procedimentos de download de software das BSCs para as BTSs remotamente.

Visto que a esta estratégia de otimização tenta ser transparente para o BSS, em casos de iminência de congestionamento da interface Abis otimizada, existem contramedidas que podem ser tomadas como priorização do canal de sinalização LAPD, seguido do tráfego de voz, dando baixa prioridade ao tráfego de dados. Fica claro, entretanto, que tais medidas são bem mais limitadas do que as soluções apresentadas nos itens 4.4.1 e 4.4.2.

Abaixo seguem as principais vantagens e desvantagens desta estratégia de otimização resumidas na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Vantagens e desvantagens da redução de banda pela detecção dos quadros TRAU ociosos.

Vantagens	Desvantagens
Ganho estatístico oriundo da supressão dos quadros TRAU ociosos .	Impossibilidade de utilização da banda otimizada para prover outros tráfegos de dados.
Ganho estatístico adicional durante as conversações oriundo da supressão dos quadros TRAU ociosos com a feature DTX ativa.	A princípio, não existe interação da solução com a BSC e BTS, logo as contramedidas para evitar congestionamento são mais limitadas.
	Atraso introduzido pelo novo elemento resulta em queda de performance para o tráfego (E)GPRS.

#### 4.4.4 Abis sobre IP

Uma outra estratégia de otimização para a interface Abis considera a adoção de pequenos roteadores nas BTSs e roteadores com maior capacidade em um ponto concentrador, tipicamente a BSC. Ambos os roteadores são de fabricação Cisco.

A idéia por trás desta estratégia consiste em detectar os padrões transmitidos pela interface Abis, codificá-los, encapsulá-los em um pacote IP e enviá-los pela interface Abis sobre IP. Conforme detalhes mais adiante, esta estratégia de otimização atua estritamente na camada física, eliminando todas as seqüências de bits repetidas. Desta feita, esta abordagem não considera a identificação dos quadros TRAU a partir de bits de controle, nem qualquer outra informação de camadas superiores.

A Figura 4.8 mostra a topologia básica da estratégia de otimização proposta.

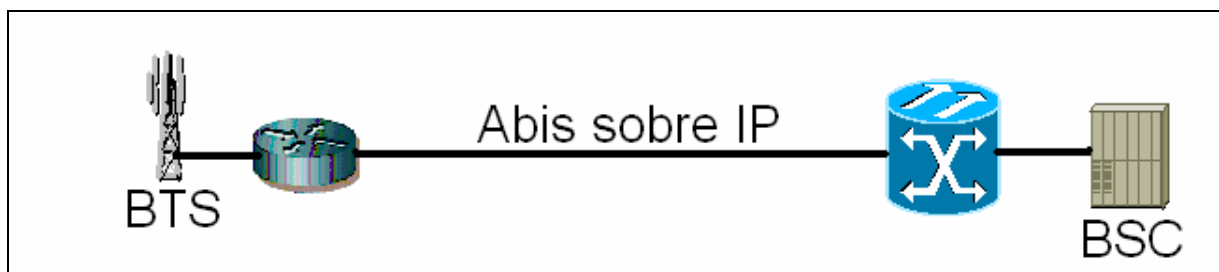


Figura 4.8 – Estratégia de otimização de Abis sobre IP

Conforme explicado no item 4.2, a cada 20ms é transmitido na interface Abis um quadro TRAU de 320 bits (ou 160 bits), o que representa uma taxa de 16 kbps (ou 8 kbps). Os roteadores realizam a amostragem dos bits dos quadros TRAU a cada 2ms. Por simplicidade daqui em diante consideramos nas explicações os quadros TRAU de 320 bits.

O roteador faz então uma cópia de todos os 10 primeiros blocos de 32 bits armazenados em sua memória, encapsula-os com o protocolo IP e finalmente transmite-os pela interface Abis sobre IP. O quadro TRAU seguinte também é quebrado em 10 blocos de 32 bits, os quais são comparados com os blocos armazenados na memória do roteador. Todos os blocos que forem iguais aos transmitidos no quadro TRAU anterior são descartados, sendo transmitidos pela interface Abis sobre IP somente os blocos diferentes, conforme ilustrado na Figura 4.9.

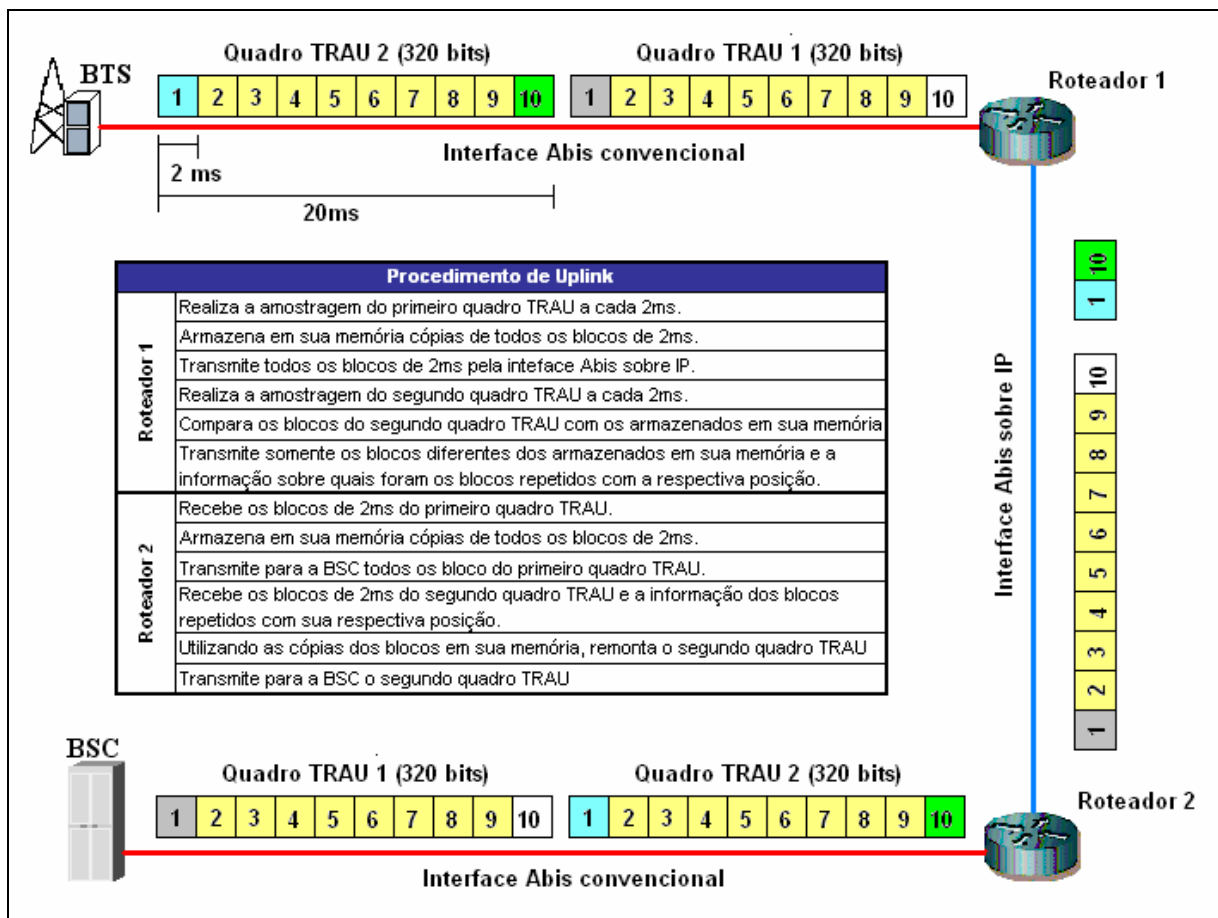


Figura 4.9 – Estratégia de otimização Abis sobre IP.



Entretanto, deve ser destacado que para que o roteador de recepção seja capaz de reconstruir os quadros TRAU de maneira totalmente transparente para a BSC e a BTS, ele também armazena uma cópia dos primeiros 10 blocos de 2ms em sua memória. Finalmente a informação sobre quais blocos foram descartados é enviada em protocolo específico de comunicação dos roteadores para o roteador de recepção. Este então é capaz de reconstruir os quadros TRAU originais, entregando-os de maneira transparente à BSC. A desvantagem deste procedimento está na introdução de um atraso na entrega dos quadros TRAU, que tem consequência na performance da rede (E) GPRS, conforme comprovado no Capítulo 5.

Note que esta estratégia de otimização não faz uso de nenhuma informação nos bits de controle dos quadros TRAU, atuando apenas na camada física da interface Abis. Esta última característica traz consigo a vantagem adicional tornar a estratégia de otimização independente de futuras evoluções e alterações na interface Abis que possam ser desenvolvidas pelos fabricantes de equipamentos.

O processo descrito acima considerou apenas um subcanal de 16kbps, entretanto o processo ocorre paralelamente para todos os subcanais do E1. A diferença desta estratégia de otimização para a apresentada no item 4.4.3 é que esta não depende da detecção dos quadros TRAU ociosos a partir dos bits de controle dos mesmos, embora indiretamente estes quadros TRAU sejam descartados por representarem padrões repetidos.

A primeira impressão é de que esta estratégia de otimização atinja ganhos menores do que as descritas anteriormente, uma vez que é introduzido o cabeçalho do protocolo IP, o que aumenta a banda utilizada na interface Abis. Na verdade, esta redução de ganho ocorre, embora existam algumas estratégias tais como compressão de cabeçalho e outras associadas ao protocolo IP que podem ser empregadas para minimizar este efeito. O cabeçalho

introduzido por esta estratégia de otimização gira em torno de 192 kbps (3 x 64 kbps), conforme verificado no Capítulo 5.

Outra grande motivação na introdução da interface Abis sobre IP é permitir o tráfego de outros tipos de dados sobre o mesmo quadro PCM30 da interface Abis. Podemos introduzir, por exemplo, tráfego de um *hot-spot* Wi-Fi, ou câmaras de vigilância utilizando a banda otimizada. A figura 4.10 mostra esta idéia.

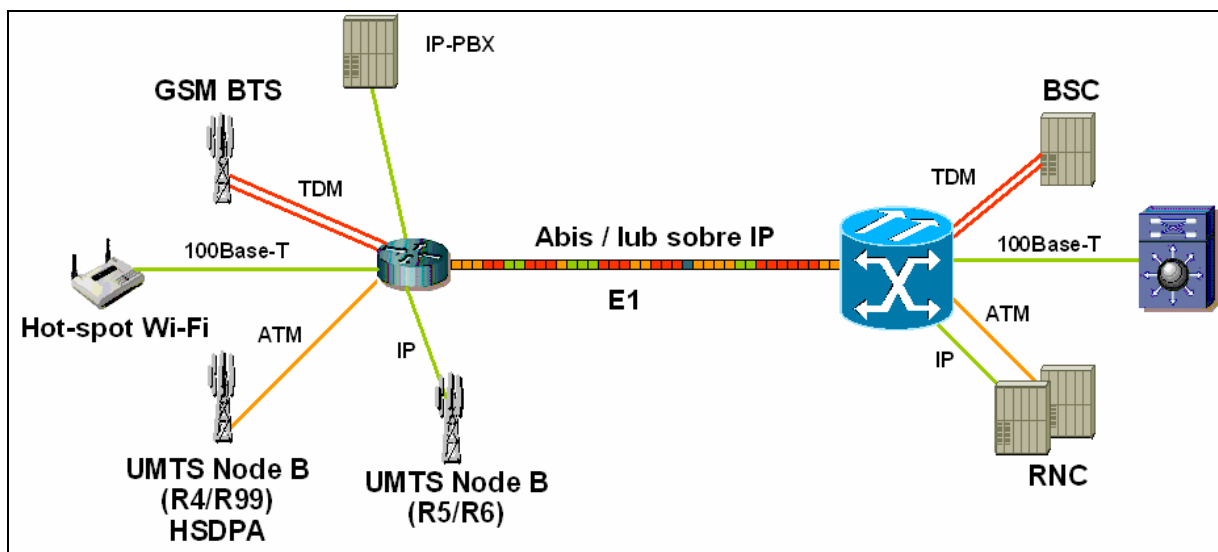


Figura 4.11 – Possibilidade de transmissão de diferentes tráfegos sobre o mesmo E1 (quadro PCM30).

Com esta vantagem surge também a necessidade de priorização entre os diferentes serviços, o que deve ser possível nos roteadores instalados. Considerando o emprego desta estratégia de otimização em larga escala em uma rede de transmissão, podemos vir a ter uma topologia complexa de roteadores até que os quadros TRAU cheguem à BSC. Por isso espera-se que o roteador seja compatível com o protocolo MPLS (*Multi Protocol Label Switching*), o que garanta entrega dos pacotes com políticas de QoS bem definidas. Isto é ainda mais

importante se considerarmos a utilização de uma rede IP multi-serviços já existente para o transporte da interface Abis sobre IP.

Dependendo da penetração da estratégia de otimização, talvez a re-filiação de BTSs entre BSCs dependa apenas de configurações de roteamento, não sendo necessária a solicitação de um outro E1 a um provedor, que pode representar um atraso indesejado.

Outro ponto relevante mostrado na Figura 4.10 mostra a utilização do mesmo quadro PCM30 para tráfego da interface lub nos sites da terceira geração de celulares (3GSM). A versão atual do 3GSM (R4) estabelece uma interface lub sobre ATM, de modo que o roteador deve ser capaz de tratar este protocolo também. De qualquer maneira, as versões R5 e R6 do 3GSM estabelecem a adoção da interface lub sobre o padrão IP, o que representa uma outra vantagem para esta estratégia de otimização.

Outra aplicação para esta estratégia de otimização da interface Abis, está na concentração de todas as BTSs de uma cidade em um nó, a partir do qual são escoadas as interfaces Abis otimizadas para a BSC. A Figura 4.12 ilustra esta idéia. Quanto mais BTSs concentramos em um ponto, maior é o ganho estatístico atingido pela otimização. Neste exemplo, a banda Abis sobre IP está dimensionada para o alto tráfego durante o dia no centro desta cidade, e para o alto tráfego durante a noite em regiões dormitório. Devido à decorrelação entre os tráfegos das BTSs filiadas ao nó concentrador estamos utilizando a rede de transmissão da forma bem mais eficiente.

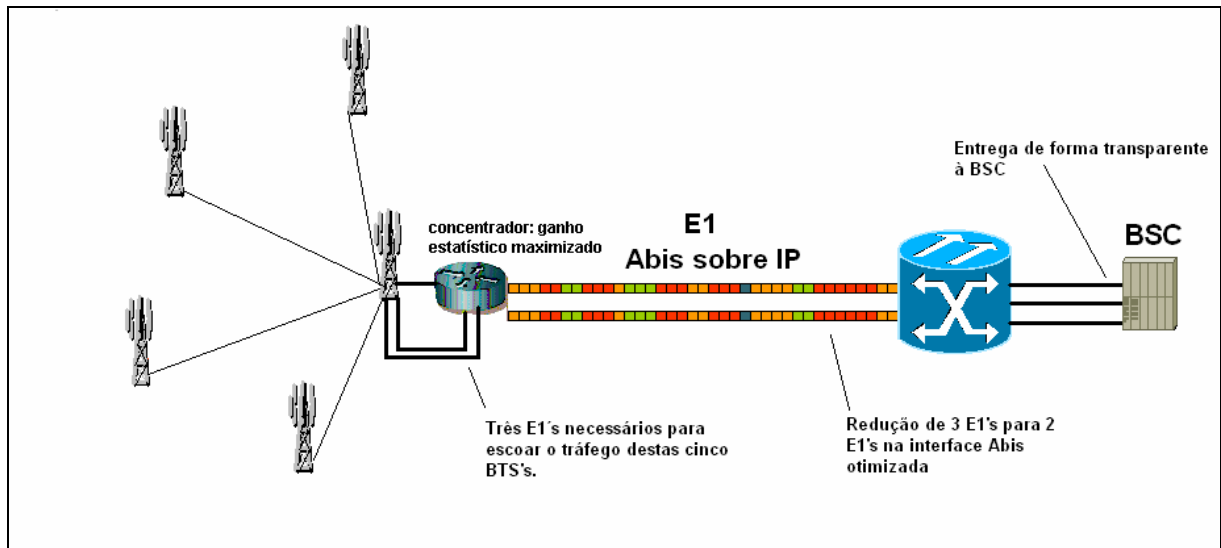


Figura 4.12 – Abis sobre IP maximizando os ganhos estatísticos com elementos concentradores.

Visto que a esta estratégia de otimização também tenta ser transparente para a BSC e para a BTS, em casos de iminência de congestionamento da interface Abis sobre IP, existem contramedidas limitadas que podem ser tomadas. Uma vez que o roteador seja “inteligente” o suficiente para detectar e priorizar os tráfegos de cada quadro TRAU, deve ser estabelecida uma maior prioridade para o canal de sinalização LAPD, sem o qual a BTS perde toda a sua funcionalidade de geração de chamadas, controle remoto entre outras. Em seguida, devem ser priorizados os quadros TRAU contendo tráfego de voz (CS), visto que estes são sensíveis a atraso. Em terceiro lugar priorizam-se os quadro TRAU associados às redes (E)GPRS , e finalmente os outros tráfegos IP, que só devem trafegar quando houver banda disponível.

Fica claro, entretanto, que tais medidas são bem mais limitadas do que as soluções apresentadas nos itens 4.4.1 e 4.4.2, que fazem uso das informações da rede GSM para minimizar os problemas de congestionamento na interface Abis.

A Tabela 4.10 resume as principais vantagens e desvantagens desta estratégia de otimização da interface Abis.

Tabela 4.10 – Vantagens e desvantagens da estratégia de otimização Abis sobre IP.

Vantagens	Desvantagens
Ganho estatístico oriundo da supressão dos quadros TRAU ociosos.	A princípio, não existe interação da solução com a BSC e a BTS, logo as contramedidas para evitar congestionamento são mais limitadas.
Ganho estatístico adicional durante as conversações oriundo da supressão dos TRAU frames com a feature DTX ativa.	Atraso introduzido pelo novo elemento resulta em queda de performance para o tráfego (E)GPRS.
Possibilidade de utilização da banda otimizada para prover outros tráfegos de dados.	
Preparado para o UMTS (R5) e (R6)	
Por atuar na camada física, é imune a futuras alterações na interface Abis dos diferentes fabricantes.	
Infra-estrutura de rede IP da operadora pode ser utilizada para o tráfego Abis	

Todas as estratégias de otimização apresentadas até aqui têm como objetivo reduzir a banda reservada para a interface Abis, reduzindo também os custos operacionais para as operadoras de telefonia celular. No próximo Capítulo são mostrados resultados obtidos em testes de laboratório e em redes comerciais das estratégias de otimização descritas nos itens 4.4.2 e 4.4.4. Nele verificam-se os ganhos e impactos introduzidos com estas estratégias de otimização.

# Capítulo

## 5 Testes das estratégias de otimização da interface Abis

### 5.1 Introdução

O objetivo deste Capítulo é mostrar resultados práticos obtidos com algumas das estratégias de otimização da interface Abis descritas no Capítulo 4. A abordagem dos resultados é basicamente nos ganhos de otimização obtidos em casos reais, considerando, entretanto, os impactos na introdução destas soluções nas redes GSM das operadoras.

Inicialmente são apresentados resultados da estratégia de otimização interface Abis totalmente dinâmica desenvolvida pela Siemens através de medições de tráfego comercial coletados em BTSs com diferentes perfis de tráfego.

A outra estratégia de otimização da interface Abis testada foi Abis sobre IP da Cisco. São apresentados diversos resultados de testes em laboratório que mostram os ganhos de otimização obtidos, mas também os impactos associados à introdução de elementos externos à rede GSM. Por último são apresentados resultados obtidos com esta estratégia de otimização após cerca de 42 horas de monitoração em uma BTS comercial.

## 5.2 Abis totalmente dinâmica

### 5.2.1 Premissas e configurações dos testes.

Fazendo uso de contadores disponíveis na versão de software BR7.0 do BSS Siemens, foi possível chegarmos a alguns resultados práticos para esta estratégia de otimização. É importante destacar que os resultados obtidos dizem respeito ao tráfego de uma rede GSM comercial. São mostrados diversos exemplos que permitem conclusões a respeito do comportamento da utilização dos recursos da interface Abis totalmente dinâmica.

Nos gráficos que se seguem três curvas são mostradas. A primeira delas, diz respeito ao número de subcanais que efetivamente foram alocados (utilizados) na Hora de Maior Movimento (HMM) da interface Abis ao longo dos dias, ou seja, representa o tráfego realmente cursado pela Abis totalmente dinâmica. A segunda curva ilustra o número de subcanais definidos (configurados) na Banda Abis, enquanto que a terceira curva demonstra o número de subcanais que seriam necessários caso a alocação de recursos na interface Abis fosse totalmente estática.

O método utilizado para o dimensionamento da interface Abis estática segue os seguintes parâmetros para cada setor:

- O número de timeslots na interface aérea dedicados para dados é igual ao número de TRXs menos uma unidade.
- O número de timeslots na interface aérea definidos como dados, mas prioridade para voz é igual a dois para um setor com um TRX, igual a um para um setor com dois TRXs e igual a zero para setores com mais do que dois TRXs.
- O MCS de referência foi o MCS-9, que consome cinco subcanais na interface Abis, conforme ilustrado no Capítulo 4.

- O número de subcanais alocados para o link de sinalização LAPD não está considerado nestas contas. Entretanto como referência o número de subcanais alocados na interface Abis para LAPD é recomendado como sendo igual a 4 caso o número de TRXs dos três setores somados seja menor do que 15, e igual a 8 caso contrário.

Destaca-se, entretanto, que este método de dimensionamento da interface Abis estática serve apenas como referência para o cálculo do ganho que pode ser obtido com a utilização da estratégia de otimização interface Abis totalmente dinâmica. Conforme será observado nas próximas páginas, este critério de dimensionamento pode não atender à demanda de algumas BTSs cujo perfil de tráfego de dados (E)GPRS seja bem maior do que previsto nos parâmetros descritos acima.

Na verdade, com a interface Abis totalmente dinâmica, a tendência é de que os projetistas deixem todos os timeslots da interface aérea configurados para dados, porém com prioridade para voz (CS). A garantia é de que o próprio algoritmo da interface Abis totalmente dinâmica defina a prioridade para o tráfego de voz (CS), embora toda a banda restante possa ser utilizada para tráfego de dados (PS).

### **5.2.2 Exemplo BTS 1 – alto tráfego**

Tomando como exemplo uma BTS com 13 TRXs instalados, ou seja, com alto tráfego, temos o gráfico mostrado na Figura 5.1, que mostra a ocupação dos subcanais de 16 kbps alocados na interface Abis desta BTS. Por convenção, daqui para frente quando for mencionado subcanais, entenda-se subcanais de 16 kbps.



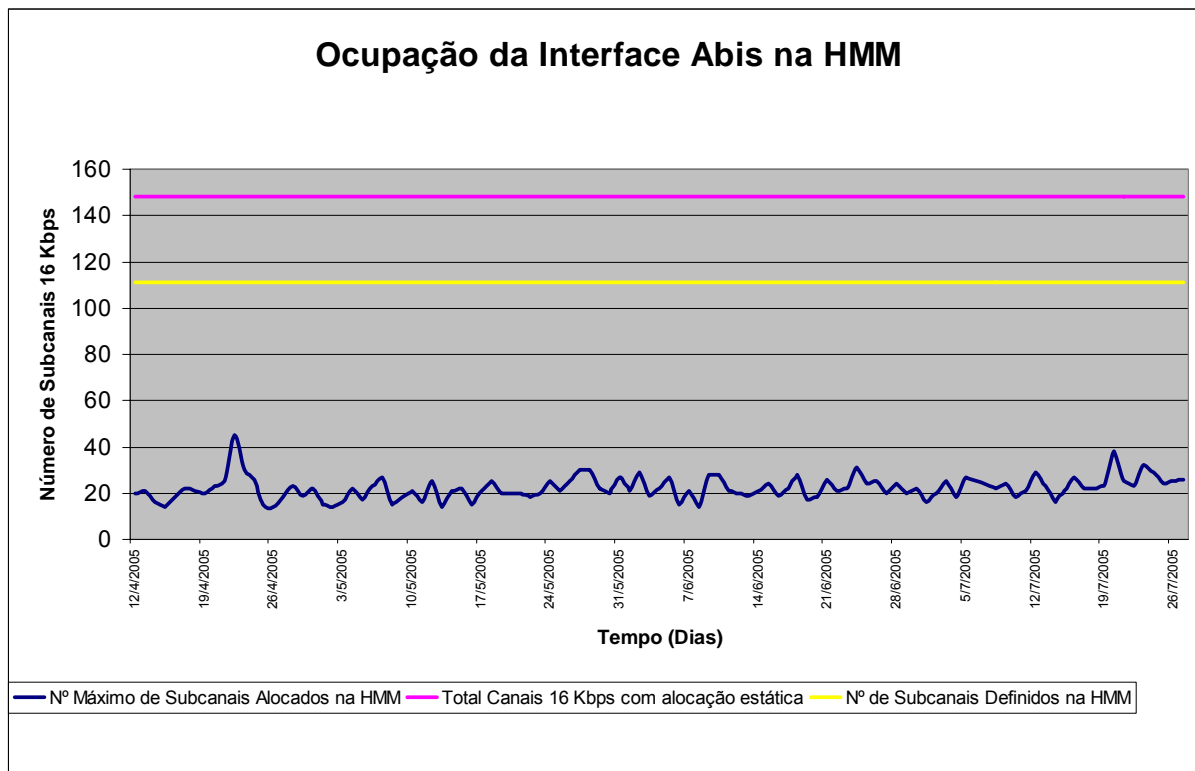


Figura 5.1 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 1.

É importante destacar que na configuração estática esta BTS deveria ser configurada com 148 subcanais de 16 kbps, ou uma banda de 2,4 Mbps. Tal banda faria com que fosse necessária a utilização de um segundo quadro PCM30 para atendimento a esta BTS, o que é evitado através do ganho estatístico proporcionado pela interface Abis totalmente dinâmica, em que vemos que efetivamente a banda máxima alocada foi de 0,7Mbps. Note que o ganho mínimo obtido com a introdução da interface Abis totalmente dinâmica apresentado neste caso são de expressivos 71%. Se considerarmos, por outro lado, a banda média de utilização da interface Abis totalmente dinâmica, como 353 kbps, obtemos um ganho médio de 85%.

Deve-se ressaltar ainda que o número de subcanais definidos para a interface Abis totalmente dinâmica está super dimensionado neste caso, com 111 subcanais, ou seja, 1,8 Mbps de banda. Pelas medições vemos que o máximo de tráfego ocorrido registrou uma

utilização máxima de 45 subcanais. Considerando um quadro PCM30 dedicado a esta BTS temos um total de 124 subcanais livres para tráfego. Como 8 deles são destinado ao protocolo LAPD, restam ainda 116 subcanais para tráfego. Ora, como a BTS em questão consome no máximo 45 subcanais, temos ainda 71 subcanais de banda ociosa.

Note que a banda ociosa pode ser utilizada para atender a interface Abis de qualquer outra BTS que tenha demanda de banda menor do que a disponível. Obviamente deve ser considerada a previsão de crescimento de tráfego das BTSs envolvidas para que os recursos não falem quando necessários.

Finalmente outro dado que ajuda a esclarecer a pouca utilização da banda dimensionada pode ser obtido através de outro contador que mostra a utilização dos recursos da interface Abis para voz e dados. No caso da BTS mostrada na Figura 5.1, temos uma utilização de 76% dos subcanais para voz e 24% para dados. Entretanto, detalhando um pouco mais a informação vemos que todos os subcanais alocados para dados foram oriundos de conexões de dados utilizando CS ou MCS baixos, ou seja, que consumiam poucos subcanais na interface Abis, conforme ilustrado na Tabela 5.1. A relação entre o número de subcanais e os esquemas de codificação utilizados está mostrada na Tabela 4.7.

Tabela 5.1 – Utilização dos subcanais na interface Abis da BTS 1.

Número de subcanais	%
1 subcanal para CS	76,24%
1 subcanal para PS	3,97%
2 subcanais para PS	19,79%
3 subcanais para PS	0,00%
4 subcanais para PS	0,00%
5 subcanais para PS	0,00%

### 5.2.3 Exemplo BTS 2 – alto tráfego

A Figura 5.2 mostra outro exemplo de uma BTS com 14 TRXs, ou seja, também com alto tráfego. Novamente a configuração estática na interface Abis levaria à necessidade de utilização de um segundo quadro PCM30, entretanto a Abis totalmente dinâmica posterga a necessidade da utilização deste quadro adicional.

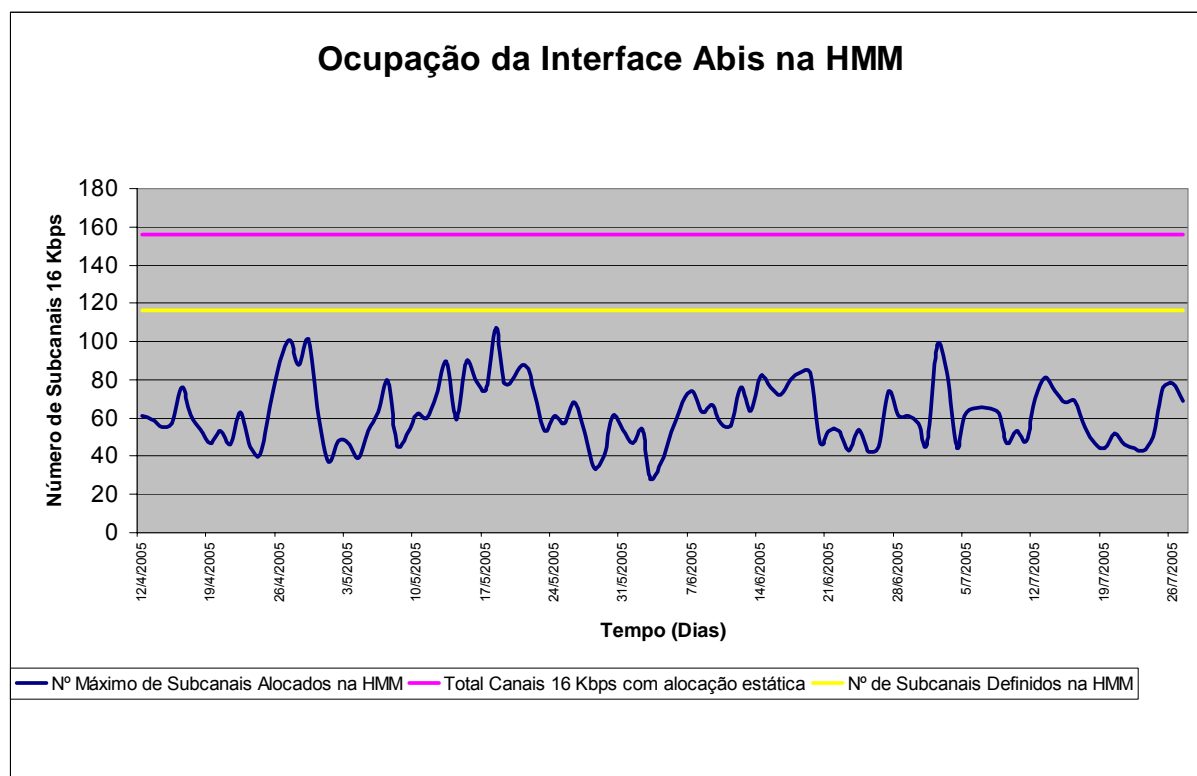


Figura 5.2 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 2.

A alocação estática levaria a um consumo de banda de 2,5 Mbps (ou 156 subcanais), enquanto observamos que a alocação máxima de banda na interface Abis totalmente dinâmica leva é de 1,7 Mbps (ou 107 subcanais). Diante de tais números verificamos um ganho mínimo de 31% com a utilização desta estratégia de otimização dos recursos da interface Abis.

Considerando a média de utilização da interface Abis totalmente dinâmica ao longo dos dias de amostragem, chegamos a um ganho médio de 60%.

Embora os ganhos deste exemplo sejam expressivos, estão bem abaixo dos registrados no exemplo do item 5.2.2. Os dados que podem ser utilizados para explicar esta diferença estão mostrados na Tabela 5.2, em que verificamos que a utilização dos subcanais para tráfego de dados (E)GPRS e GPRS é maior nesta BTS, havendo inclusive utilização de MCS altos.

Tabela 5.2 – Utilização dos subcanais na interface Abis da BTS 2.

Número de subcanais	%
1 subcanal para CS	73,39%
1 subcanal para PS	1,88%
2 subcanais para PS	23,29%
3 subcanais para PS	1,16%
4 subcanais para PS	0,12%
5 subcanais para PS	0,18%

#### 5.2.4 Exemplo BTS 3 – alto tráfego

O último exemplo interessante para sites que tem alto tráfego (13 TRXs) está mostrado na Figura 5.3 em que verificamos que o método utilizado para o dimensionamento estático nesta BTS resultaria em um sub dimensionamento.

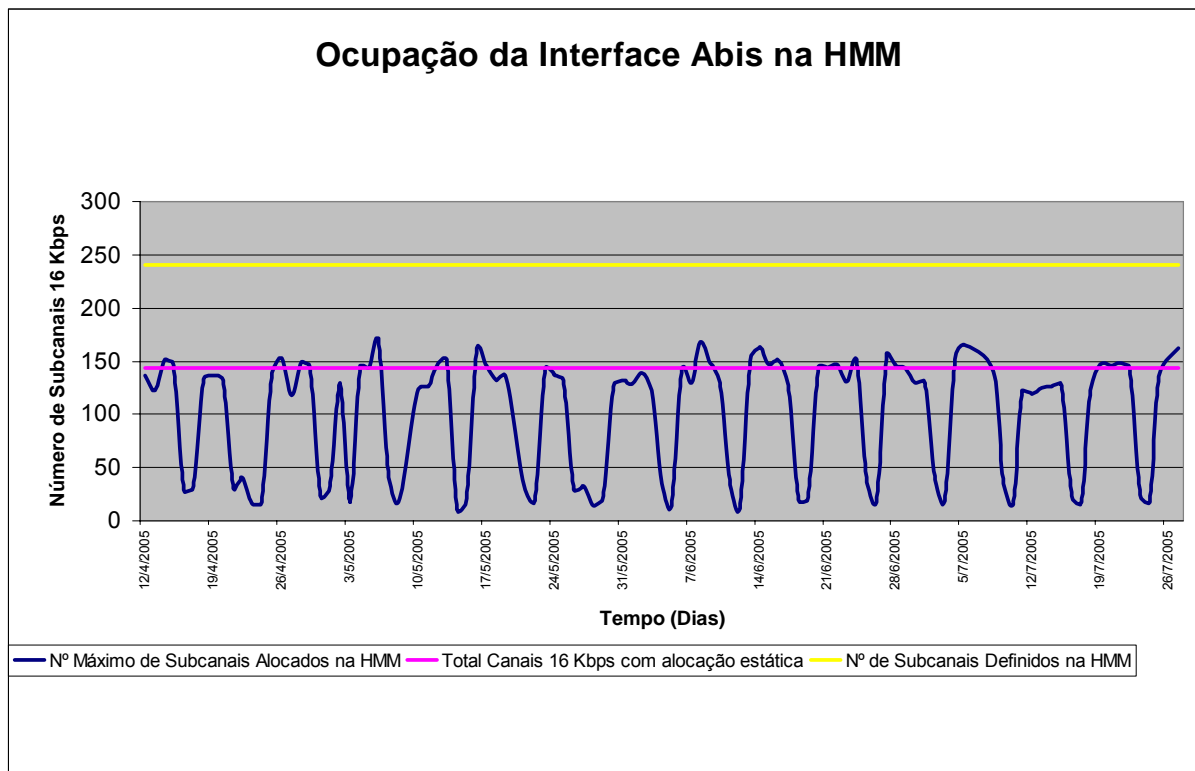


Figura 5.3 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 3.

Na verdade, esta BTS apresenta uma alta utilização dos subcanais da interface Abis totalmente dinâmica para dados, conforme verificado pela Tabela 5.3. Nota-se a presença de expressivos 7,29% de utilização dos subcanais para MCS-8 ou MCS-9, que são os esquemas de codificação que mais consomem recursos na interface Abis. Isso explica a altíssima utilização de subcanais na interface Abis totalmente dinâmica desta BTS.

Observe ainda que esta BTS efetivamente necessita de dois quadros PCM30 para a interface Abis, mesmo sendo ela totalmente dinâmica. O número de subcanais definidos na Banda Abis fica próximo de 240, o que só é possível com a presença de um segundo quadro PCM30.

Tabela 5.3 – Utilização dos subcanais na interface Abis da BTS 3.

Número de subcanais	%
1 subcanal para CS	73,33%
1 subcanal para PS	0,76%
2 subcanais para PS	15,13%
3 subcanais para PS	3,00%
4 subcanais para PS	0,49%
5 subcanais para PS	7,29%

Outro aspecto interessante que podemos observar na Figura 5.3 é o comportamento cíclico com alto tráfego durante os dias úteis e baixo tráfego durante os finais de semana, o que nos leva a concluir que esta BTS situa-se em uma zona comercial, como de fato ocorre.

### 5.2.5 Exemplo BTS 4 – médio tráfego

Outro exemplo interessante pode ser verificado através da Figura 5.4, em que temos uma BTS com 6 TRXs instalados, classificado portanto na categoria de médio tráfego.

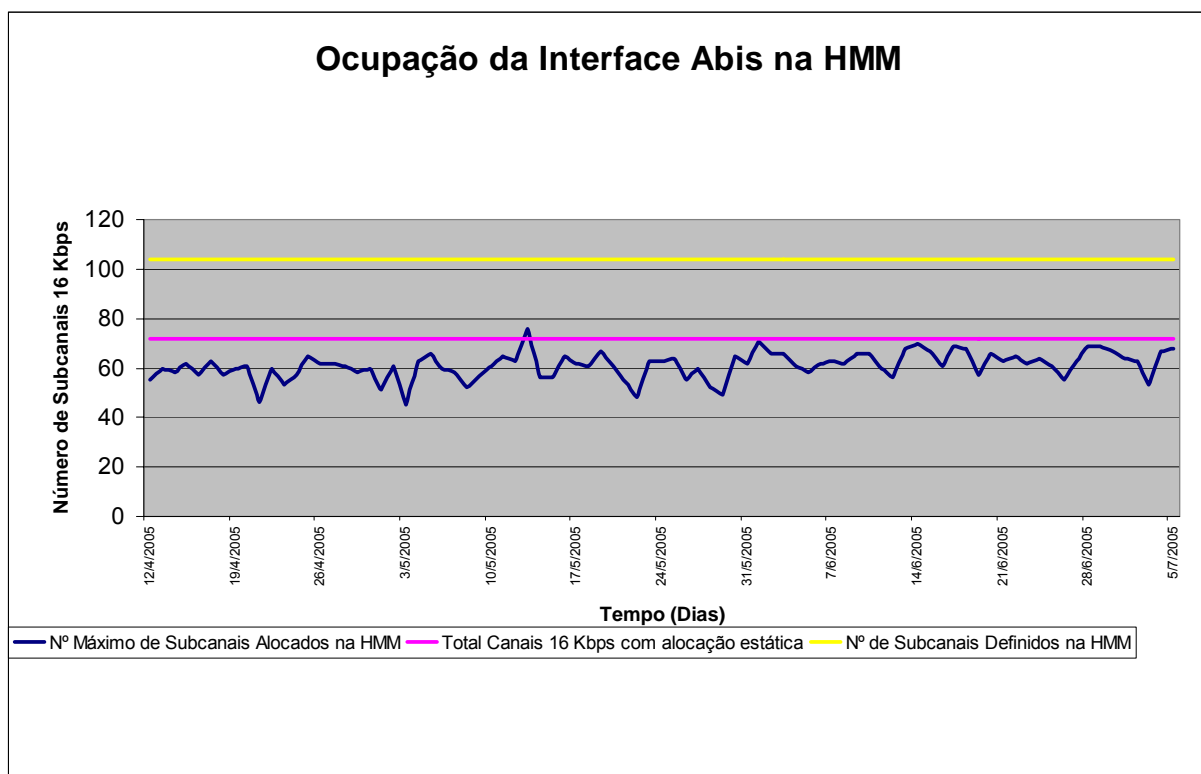


Figura 5.4 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 4.

O ganho médio em relação à alocação estática é de apenas 15%, sendo que em um dos dias teríamos novamente um caso de congestionamento, em que a demanda por subcanais seria maior do que a disponibilizada.

Mais uma vez, a alta utilização dos subcanais para o tráfego de dados explica a alta utilização dos recursos e o conseqüente baixo valor para o ganho médio obtido. A particularidade neste caso é os 35,40% de utilização dos subcanais para o tráfego (E)GPRS, através dos CS-3 e CS-4 ou MCS-2 até MCS-5 na maior parte dos casos.

Tabela 5.4 – Utilização dos subcanais na interface Abis da BTS 4.

Número de subcanais	%
1 subcanal para CS	58,77%
1 subcanal para PS	3,99%
2 subcanais para PS	35,40%
3 subcanais para PS	1,81%
4 subcanais para PS	0,01%
5 subcanais para PS	0,02%

## 5.2.6 Exemplo BTS 5 – baixo tráfego

Tomando agora como exemplo uma BTS com apenas 1 TRX instalado, conforme ilustrado na Figura 5.5, caracterizando uma BTS de baixo tráfego.

Analisando a Figura 5.5 observa-se um ganho médio de 42%, além de um ganho mínimo de 25% com a utilização da interface Abis totalmente dinâmica. É importante ressaltar, conforme ilustrado na Tabela 5.5, que uma vez que esta BTS possui apenas 1 TRX instalado, não existe nenhum timeslot na interface aérea dedicado ao tráfego de dados. Diante de tal restrição esta BTS praticamente não tem seus subcanais utilizados para o tráfego de dados, sendo 96% dos subcanais utilizados para tráfego de voz.

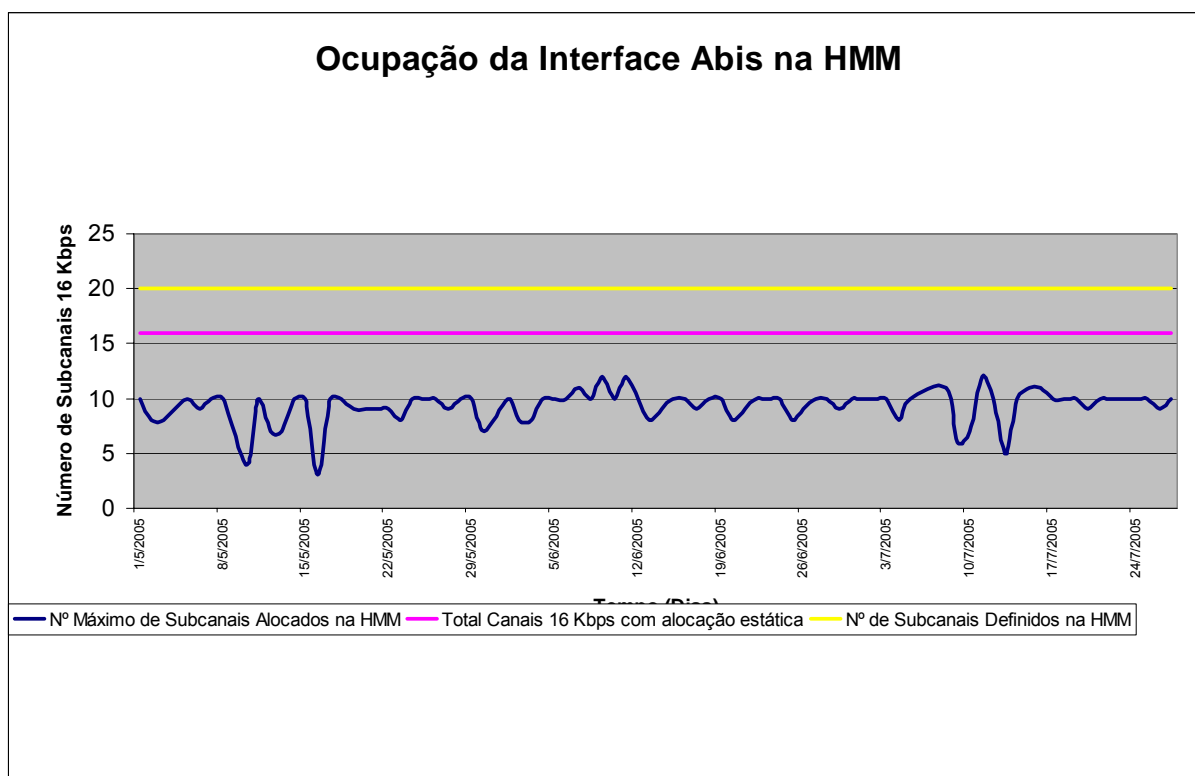


Figura 5.5 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 5.

Tabela 5.5 – Utilização dos subcanais na interface Abis da BTS 5.

Número de subcanais	%
1 subcanal para CS	96,58%
1 subcanal para PS	0,27%
2 subcanais para PS	3,15%
3 subcanais para PS	0,00%
4 subcanais para PS	0,00%
5 subcanais para PS	0,00%

### 5.2.7 Exemplo BTS 6 – congestionamento

O exemplo que segue na Figuras 5.6 ilustra caso de congestionamento devido ao sub dimensionamento da interface Abis.



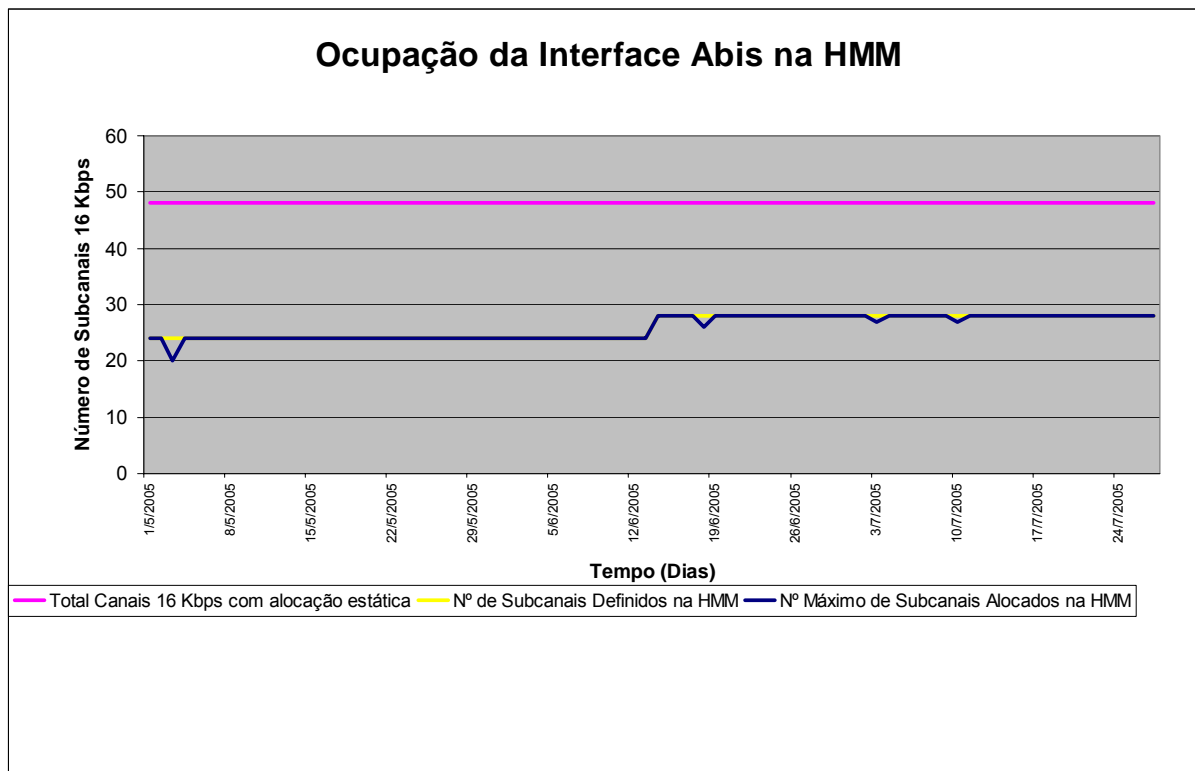


Figura 5.6 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 6.

A Figura 5.6 ilustra o caso de uma BTS de 3 TRXs e que, por isso, deveria ter 48 subcanais alocado na interface Abis estática, seguindo as premissas de dimensionamento descritas no item 5.2.1. Entretanto, por haver outras BTSs compartilhando o mesmo quadro PCM30 com esta, inicialmente foram reservados somente 24 subcanais na Banda Abis para o tráfego da mesma. Conforme verificado no gráfico da Figura, tal dimensionamento mostrou-se insuficiente, de modo que foram adicionados mais 4 subcanais para esta BTS. Em um típico caso de demanda de tráfego reprimida, observa-se que, ainda com a ampliação, a banda alocada não foi suficiente para o atendimento desta BTS.

Esta caso representa um mau dimensionamento da interface Abis totalmente dinâmica, que nestas condições não atingiu ganho suficiente para escoamento de todo o tráfego da BTS. A melhor solução neste caso seria a contratação de outro quadro PCM30 para que não mais

houvesse compartilhamento do quadro PCM30 existente, ou ainda a utilização de uma solução que promovesse a otimização da interface Abis mesmo durante as chamadas ativas, como por exemplo, a interface Abis sobre IP. Neste último caso deveria ser feito um planejamento detalhado para prever se a otimização adicional obtida durante as chamadas ativas seria suficiente para não haver mais congestionamento da interface Abis.

### 5.2.8 Exemplo BTS 7 – congestionamento

A BTS da Figura 5.7 apresenta outro caso de congestionamento da interface Abis totalmente dinâmica. Em meados de Junho de 2005, esta BTS sofreu uma ampliação de TRX, porém a interface Abis não foi redimensionada de acordo. Por isso, percebe-se um intenso congestionamento na interface Abis desta BTS.

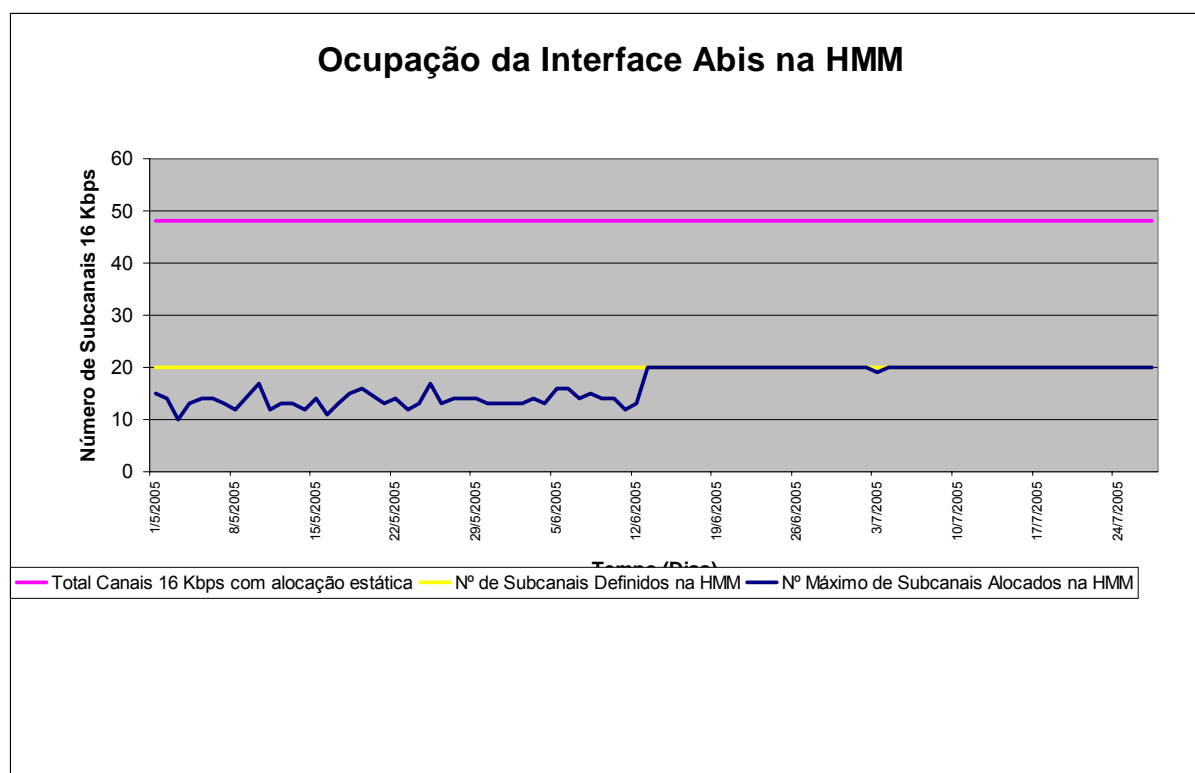


Figura 5.7 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 7.

Analisando a Figura 5.7 concluímos que até meados de Junho, havia um congestionamento na interface aérea, que foi corrigido com a instalação de um novo TRX. Entretanto, como esta instalação ocorreu sem ampliação na interface Abis totalmente dinâmica, o congestionamento foi transferido para esta interface. Conclui-se que o planejamento da interface aérea deve ocorrer em conjunto com o planejamento da interface Abis totalmente dinâmica obrigatoriamente.

### **5.2.9 Exemplo BTS 8 – congestionamento**

A BTS da Figura 5.8 mostra o caso de uma BTS em que havia um congestionamento da interface Abis totalmente dinâmica quase diário. Até que, em meados de Junho, tivemos uma ampliação do número de subcanais definidos na Banda Abis da mesma, de modo que o congestionamento não mais ocorreu.

Conforme podemos verificar, a ampliação feita, foi muito além da necessária, de modo que, caso seja necessário o compartilhamento deste quadro PCM30 por uma outra BTS, pode-se reduzir a banda alocada para o primeiro.

A partir da Figura 5.8 podemos supor que esta BTS, até meados de Junho estava compartilhando o quadro PCM30 com outra(s) BTS, de modo que não era possível a ampliação da Banda Abis. Percebendo o congestionamento da Banda Abis, a operadora solicitou um outro quadro PCM30, que fez com que a Banda Abis pudesse ser ampliada, eliminando o congestionamento.

Desta feita, concluímos que a decisão de compartilhamento de um quadro PCM30 entre duas ou mais BTSs deve passar pelo estudo de crescimento de tráfego de cada uma das BTS, para que situações como a da Figura 5.8 sejam evitadas.

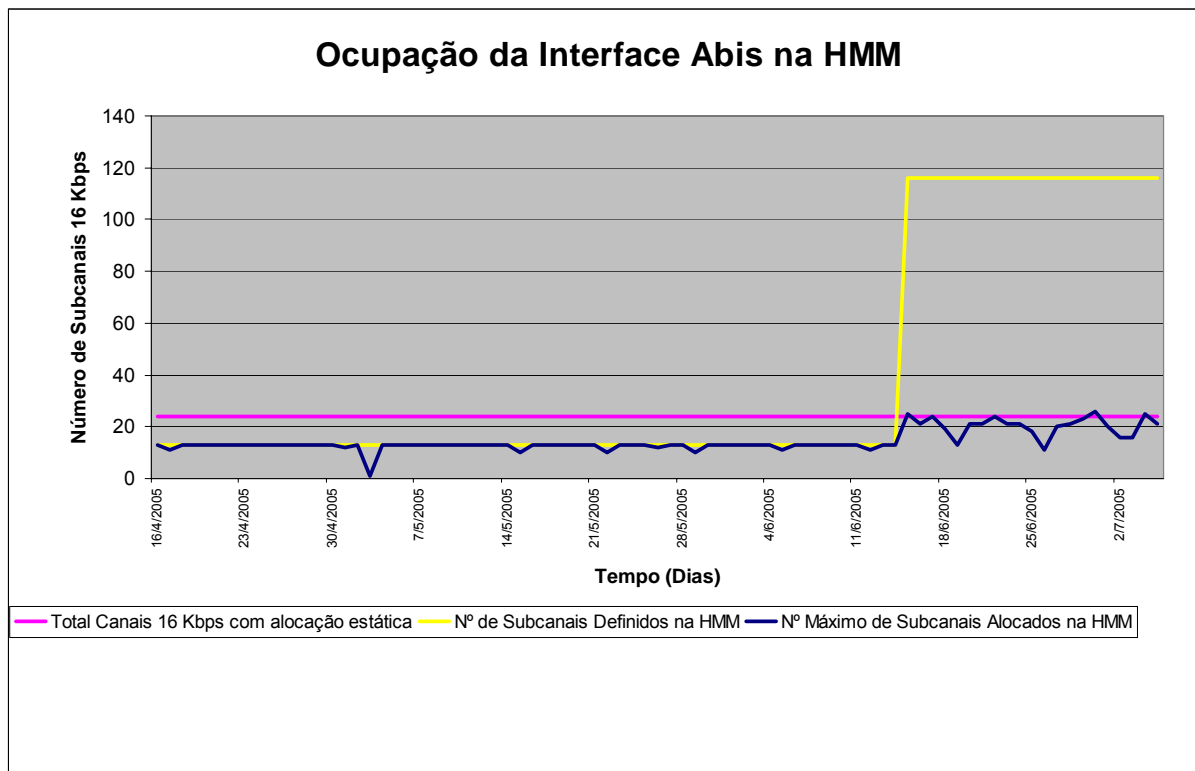


Figura 5.8 – Ocupação dos subcanais na interface Abis totalmente dinâmica da Siemens da BTS 8.

## **5.3 Abis sobre IP**

Os resultados que são mostrados a seguir foram obtidos a partir de testes em laboratório simulando algumas situações práticas que podem ser enfrentadas pela adoção da estratégia de otimização Abis sobre IP desenvolvida pela Cisco através de seus roteadores modelos MWR-1941. O laboratório utilizado dispunha de BSSs completos dos fabricantes Nokia e Siemens.

Em seguida foi feita a instalação dos roteadores em uma BTS comercial, monitorando a utilização e o funcionamento da interface Abis sobre IP por 42 horas. A seguir são mostrados os resultados destes testes.

### **5.3.1 Influência sobre a qualidade de voz.**

#### **5.3.1.1 Descrição**

Um dos pontos que devem ser abordados na introdução desta estratégia de otimização, diz respeito à qualidade de voz percebida pelo assinante. Espera-se que a introdução dos roteadores, conforme explicado detalhadamente no Capítulo 4, deva ocorrer de maneira totalmente transparente para o BSS e conseqüentemente para o usuário final.

#### **5.3.1.2 Configuração do teste**

Para verificar tal transparência foram feitos alguns testes utilizando medidor de MOS (*Mean Opinion Score*). Os métodos para medição do MOS são padronizados pelo ITU-T, conforme [13]. Para este teste foi utilizada a configuração mostrada na Figura 5.9.

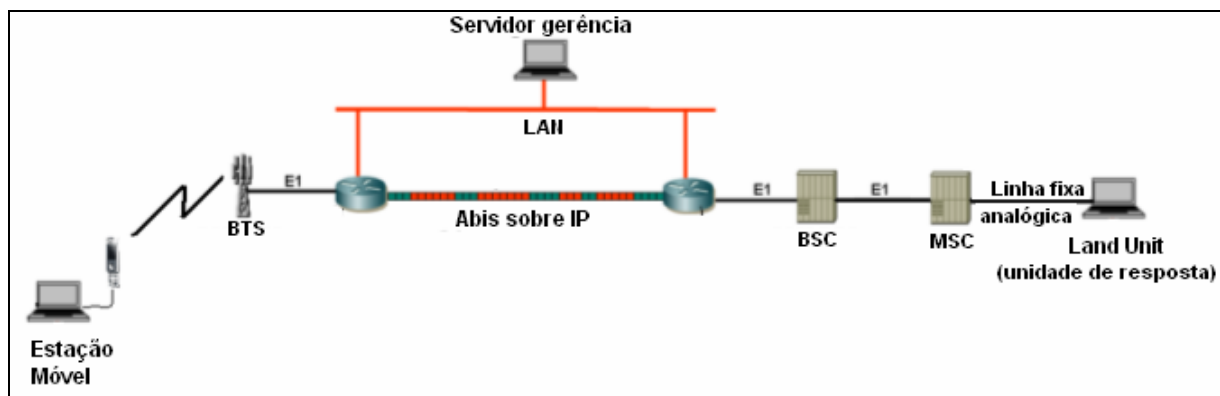


Figura 5.9 – Configuração utilizada nos testes de MOS.

Um arquivo padrão .WAV é armazenado na unidade de resposta e no computador conectado à EM. Inicialmente é necessária uma chamada para sincronismo entre a unidade de resposta e o computador conectado à EM. Uma vez sincronizados cabe ao computador reproduzir o arquivo padrão, que é recebido pela EM como se fosse um sinal de voz humana, logo, analógico. A EM então realiza a codificação, de acordo com o algoritmo de codificação de voz (CODEC) disponível, e envia o sinal codificado através dos elementos da rede GSM. A saída da MSC tem disponível uma linha analógica, que é conectada à unidade de resposta. Esta, por sua vez, digitaliza o sinal analógico recebido e compara-o ao arquivo padrão .WAV, dando uma nota cuja variação vai de 1 (péssimo) à 5 (excelente).

O primeiro teste foi realizado apenas considerando a influência de todo o processo de otimização da interface Abis desempenhado pelos roteadores nos resultados de MOS de acordo com a variação dos CODECs GSM Half Rate, Full Rate e Enhanced Full Rate. Foram feitos testes de MOS, inicialmente sem os roteadores para uma base de comparação. Tais testes foram então repetidos com a atuação dos roteadores.

### 5.3.1.3 Resultados

Os resultados estão mostrados na Figura 5.10, em que podemos ver que em uma situação normal não existe influência significativa no MOS com a introdução dos roteadores. É importante ressaltar que os resultados obtidos são médias de, pelo menos, 15 amostras do sinal padrão transmitido.

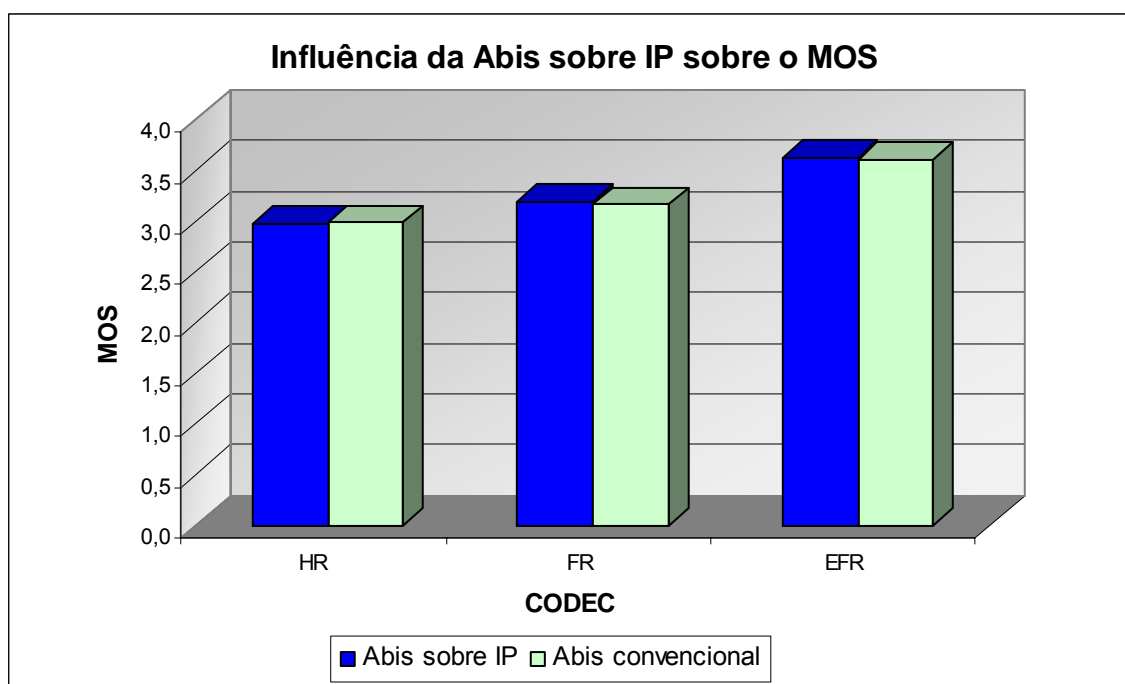


Figura 5.10 – Resultados dos Testes de MOS com diferentes algoritmos de codificação de voz (CODECs).

## **5.3.2 Influência sobre a qualidade de voz em situação de congestionamento.**

### **5.3.2.1 Descrição**

Outro teste realizado diz respeito à influência sobre o MOS de uma situação de congestionamento na interface Abis sobre IP.

O preço que pagamos pela otimização da banda alocada para a interface Abis é a necessidade do acompanhamento da ocupação desta, a fim de evitarmos situação de congestionamento. A estratégia de desenvolvimento deste produto considera que as aplicações das redes GSM são sensíveis ao atraso. Não existe qualquer buffer que armazene os pacotes e transmita-os depois. Desta feita, diante de uma situação de congestionamento na interface Abis sobre IP, os roteadores efetivamente descartam os pacotes que chegam e não podem ser enviados imediatamente. Claramente este descarte tem efeito direto na qualidade de voz, conforme verificado nos resultados dos testes a seguir.



### 5.3.2.2 Configuração do teste

Para atingirmos uma situação de congestionamento em laboratório, fez-se necessária a utilização de um gerador de tráfego (GLComm), conforme ilustrado na Figura 5.11.

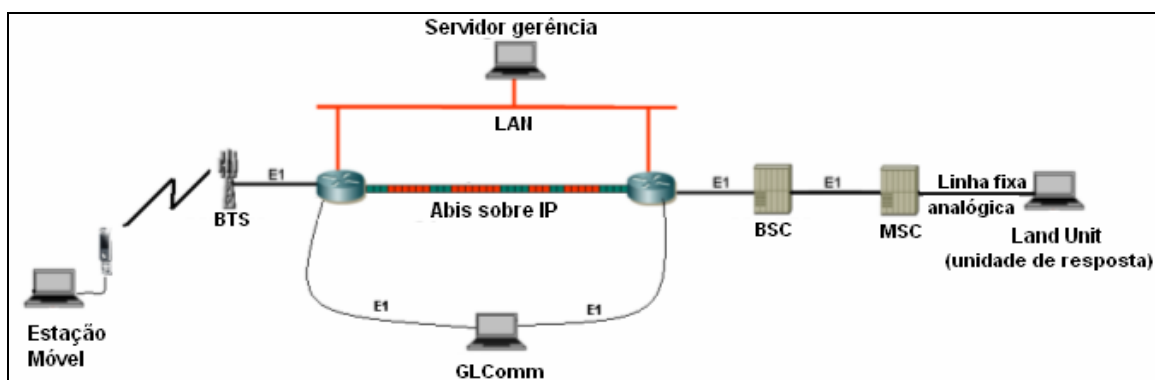


Figura 5.11 – Configuração necessária para o teste de influência do congestionamento no MOS.

Da mesma maneira que no teste 5.3.1, após o sincronismo entre o computador conectado à EM e a unidade de resposta, cabe ao primeiro reproduzir o arquivo padrão, que é recebido pela EM como se fosse um sinal de voz humana, logo, analógico. A EM então realiza a codificação, de acordo com o algoritmo de codificação de voz EFR, e envia o sinal codificado através dos elementos da rede GSM. A saída da MSC tem disponível uma linha analógica, que é conectada à unidade de resposta. Esta, por sua vez, digitaliza o sinal analógico recebido e compara-o ao arquivo padrão, dando uma nota cuja variação vai de 1 (péssimo) à 5 (excelente).

Utilizando o equipamento GLComm, a carga de utilização da Abis sobre IP foi gradativamente aumentada, observando-se a influência nas medições de MOS feitas pela unidade de resposta. O algoritmo de codificação de voz utilizado foi o Enhanced Full Rate.

### 5.3.2.3 Resultados

O resultado deste teste é mostrado na Figura 5.12, em que vemos que, a partir do momento em que começa a ocorrer congestionamento na interface Abis sobre IP temos uma queda no MOS, conforme esperado. Os resultados apresentados são médias de, pelo menos, 15 medições feitas pela unidade de resposta.

Este resultado é importante para delimitação do limite de congestionamento a partir do qual o usuário final começa a sentir a degradação no serviço ofertado.

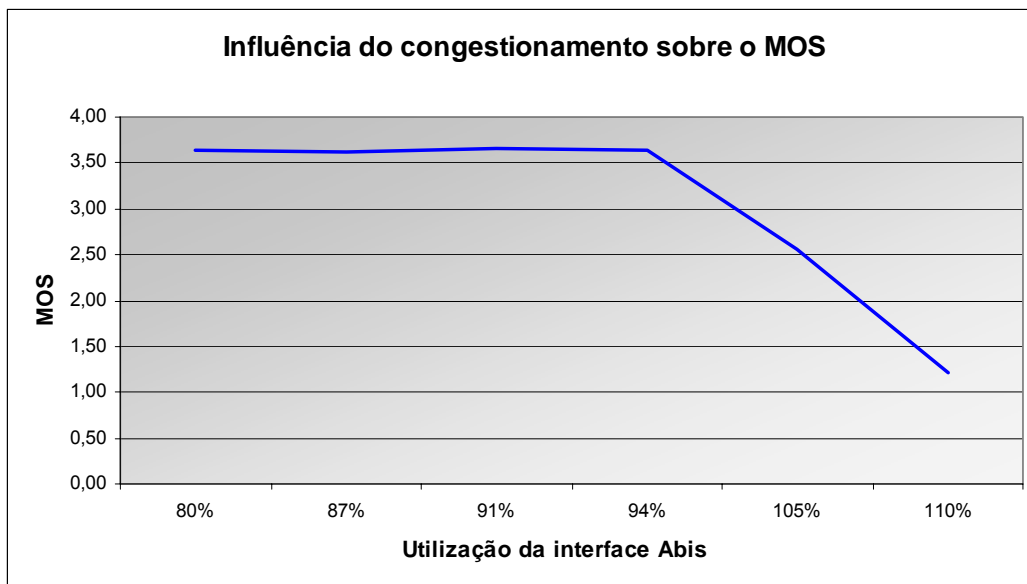




Figura 5.12 – Influência do congestionamento no MOS.

A Tabela 5.6 mostra três amostras de áudio colhidas durante estes testes, em que é possível observar a degradação da qualidade da voz (MOS) em função do descarte de pacotes promovido pelos roteadores em função do congestionamento da interface Abis sobre IP.

Tabela 5.6 – Influência do congestionamento no MOS.

94% de utilização da interface Abis sobre IP	105% de utilização da interface Abis sobre IP	110% de utilização da interface Abis sobre IP
 EFR call 94% backhaul utilization	 EFR call 105% backhaul utilization	 EFR call 110% backhaul utilization
MOS nesta amostra 3,69	MOS nesta amostra 2,80	MOS nesta amostra 1,16

### 5.3.3 Latência introduzida pela estratégia de otimização Abis sobre IP.

#### 5.3.3.1 Descrição

Outro ponto de interesse diz respeito à introdução de uma latência associada ao algoritmo de otimização executado pelos roteadores. Este dado é importante na medida em que, dependendo da aplicação que está sendo trafegada mesmo sobre a rede GSM / (E)GPRS, podemos afetar sua performance. Os resultados sobre este impacto são os objetivos dos testes realizados no item 5.3.4.

### 5.3.3.2 Configuração do teste

A configuração apresentada na Figura 5.13 foi utilizada para este teste.

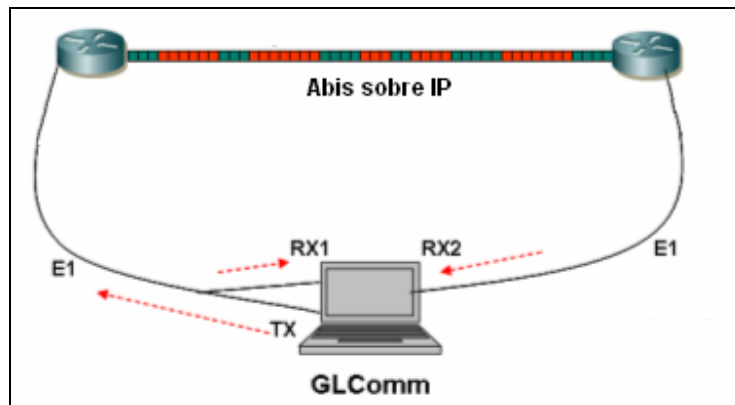


Figura 5.13 – Configuração para teste de latência.

Novamente utilizando o equipamento GLComm é gerada em uma de suas portas de saída (TX) uma amostra de tráfego coletado em uma rede GSM. O mesmo sinal é replicado na porta RX1 e RX2 através de um cabo “Y”. A diferença é que o sinal de RX2 passa pela interface Abis sobre IP antes de ser recebido pelo equipamento GLComm. Então, através do software do equipamento GLComm, é possível identificar o mesmo dado nas duas portas de recepção, com suas respectivas marcações de tempo. Calculando a diferença de tempo entre eles, chegamos ao valor de latência introduzida pela estratégia de otimização Abis sobre IP.

### 5.3.3.3 Resultados

Os resultados obtidos mostram uma latência introduzida de 14,75ms com precisão de 0,01ms. O efeito desta latência para o usuário final é mais aprofundado no teste 5.3.4.

## 5.3.4 Influência da latência sobre a performance (E)GPRS.

### 5.3.4.1 Descrição

Espera-se que a latência obtida no teste 5.3.3 seja inversamente proporcional ao throughput obtido em conexões (E)GPRS. O objetivo deste teste é mensurar este impacto.

### 5.3.4.2 Configuração do teste

Utilizando a configuração descrita na Figura 5.14, foram feitos testes de download de um arquivo de 1Mbyte em um servidor de FTP conectado diretamente à saída do GGSN. Para este teste foi utilizada uma EM Nokia 6230, que é compatível com o sistema (E)GPRS, podendo utilizar até 4 timeslots simultâneos no downlink.

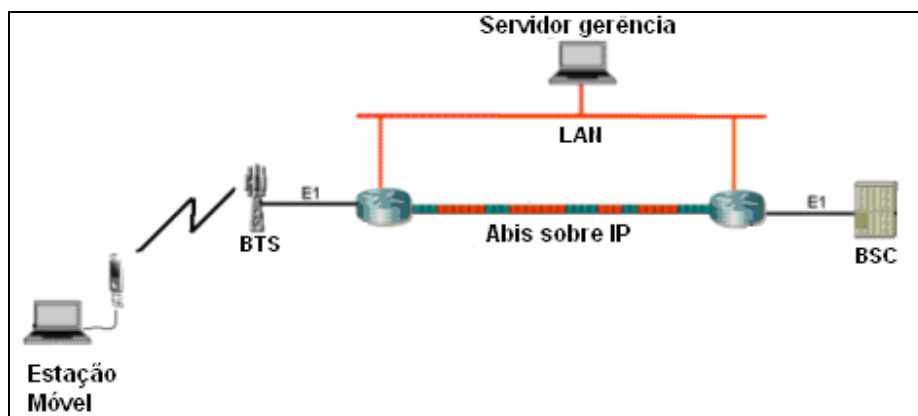


Figura 5.14 – Impacto da latência na performance do sistema (E) GPRS.

### 5.3.4.3 Resultados

Após a média do FTP de dez amostras do arquivo de 1Mbyte, verifica-se que a latência introduzida pelos roteadores levou a uma redução aproximada de 5% no throughput da Abis sobre IP em relação à Abis convencional. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 5.15. O valor de throughput foi medido na camada de aplicação FTP.

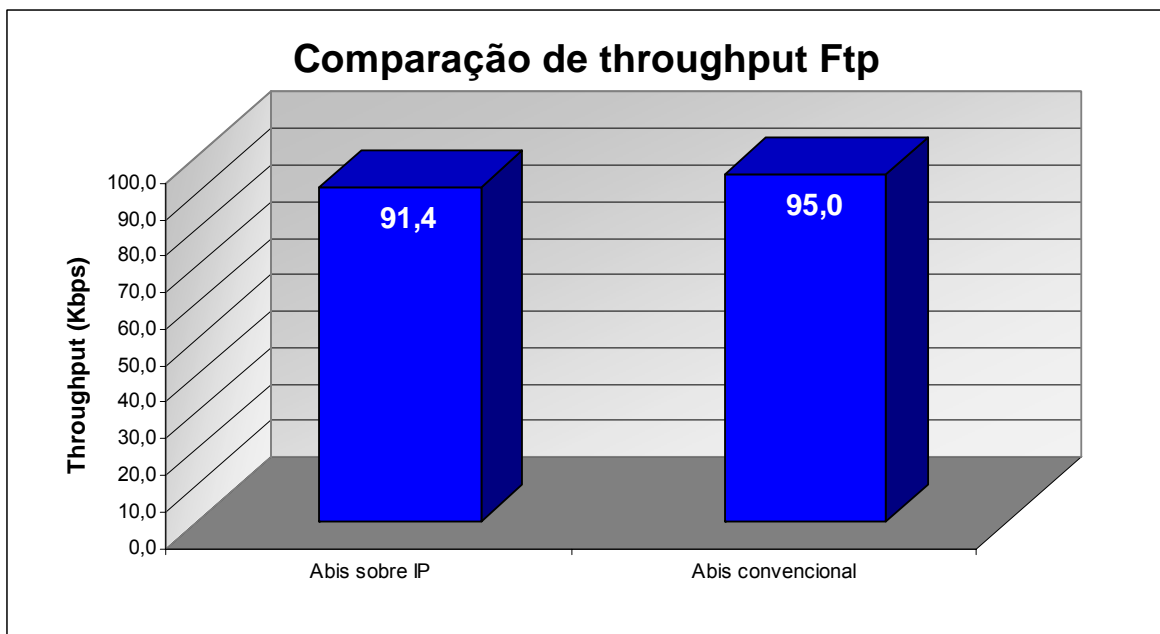


Figura 5.15 – Diferença no throughput com a introdução da Abis sobre IP.

## 5.3.5 Influência do congestionamento sobre a performance

### (E)GPRS.

#### 5.3.5.1 Descrição

O objetivo deste teste é verificar o impacto de uma situação de congestionamento na interface Abis sobre IP sobre a performance (E)GPRS. Conforme explicado no item 5.3.2, a situação de congestionamento na interface Abis sobre IP leva a descartes de pacotes, de modo a performance (E)GPRS deve ser afetada diretamente.

#### 5.3.5.2 Configuração do teste

A configuração necessária para este teste está mostrada na Figura 5.16 em que vemos mais uma vez a utilização do equipamento GLComm para simular o congestionamento na interface Abis sobre IP.

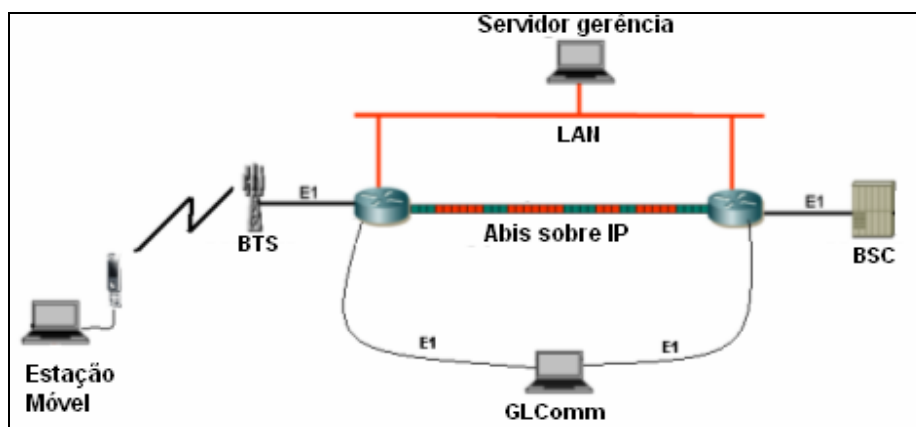


Figura 5.16 – Configuração para teste de impacto da situação de congestionamento na performance do sistema (E) GPRS.

### 5.3.5.3 Resultados

Conforme esperado os roteadores realizam o descarte dos pacotes que não podem ser transmitidos imediatamente pela interface Abis sobre IP. Para um usuário de uma aplicação de FTP, o impacto sentido é uma redução no throughput proporcional ao grau de ocupação da interface Abis sobre IP. Os resultados obtidos estão mostrados na Figura 5.17.

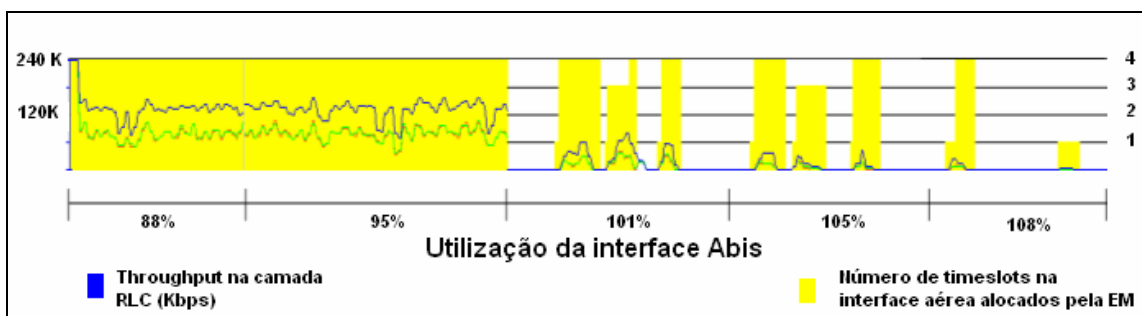


Figura 5.17 – Influência do congestionamento no throughput do sistema (E) GPRS.

Utilizando uma EM de fabricação Nokia modelo 6230, inicia-se um FTP cujo throughput é monitorado. Gradativamente a utilização da interface Abis sobre IP é incrementada através do equipamento GLComm, verificando-se então o impacto no throughput. A Figura 5.17 mostra o throughput medido na camada RLC durante este teste.

Os testes têm início com uma ocupação da interface Abis de 88%, sendo logo aumentada para 95%. Até este ponto, não temos congestionamento e conseqüentemente, o throughput medido não é afetado. A partir do momento em que a utilização da interface Abis sobre IP se aproxima de 100%, os roteadores iniciam o descarte de pacotes. Neste ponto percebe-se uma redução significativa no throughput medido, uma vez que os pacotes enviados pela EM 6230 e os pacotes gerados pelo equipamento GLComm iniciam uma disputa pela banda da interface Abis sobre IP.



## **5.3.6 Introdução do cabeçalho da estratégia de otimização.**

### **5.3.6.1 Descrição**

Conforme descrito no Capítulo 4, existe um cabeçalho introduzido referente ao protocolo de comunicação entre os roteadores. O objetivo deste teste é medir qual a banda da interface Abis sobre IP é consumida com este cabeçalho.

Este dado é importante no dimensionamento da interface Abis, quando utilizada a estratégia de otimização em questão.

### **5.3.6.2 Configuração do teste**

Utilizando o sistema de gerenciamento dos roteadores é possível verificar quanto da banda da interface Abis é consumida pelo cabeçalho da estratégia de otimização Abis sobre IP.

A configuração necessária para este teste está mostrada na Figura 5.18. Sabendo que a única EM atendida pela BTS era a utilizada pelos testes, foram gerados alguns testes de chamadas de dados e voz, entre os quais não há tráfego na interface Abis sobre IP. Nestes intervalos de tempo as únicas informações que trafegam pela interface Abis sobre IP são as referentes ao cabeçalho introduzido pela estratégia de otimização e as referentes à sinalização entre BTS e BSC. Neste caso, entretanto, a utilização da interface Abis sobre IP para sinalização é desprezível, na medida em que no ambiente do laboratório a BTS estava configurada com apenas 1 TRX , e existia somente 1 EM atendida por esta ela.

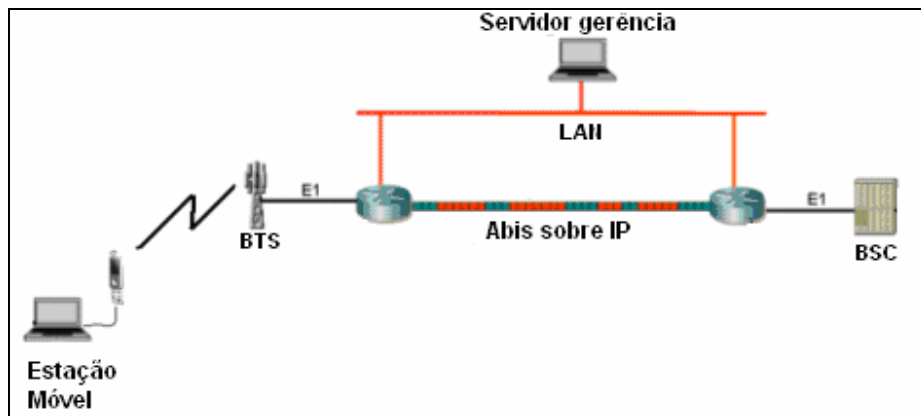


Figura 5.18 – Configuração para teste de medição do cabeçalho introduzido pela interface Abis sobre IP.

### 5.3.6.3 Resultados

Na Figura 5.19 vemos a utilização da interface Abis sobre IP ao longo do tempo. São mostradas algumas chamadas de dados e outras chamadas de voz. Nos momentos em que não há tráfego na interface Abis sobre IP, vemos a utilização de 8% do mesmo. Como se trata de um quadro PCM30 ou 2Mbps, 8% representam uma banda de 160 kbps consumida pelo cabeçalho da estratégia de otimização Abis sobre IP.

Este resultado está de acordo com o esperado, uma vez que realmente existe um consumo adicional de banda na interface Abis associado a esta estratégia de otimização. Entretanto os ganhos de otimização esperados são muito maiores do que o consumo adicional, conforme comprovado nos testes 5.3.7 e 5.3.8.

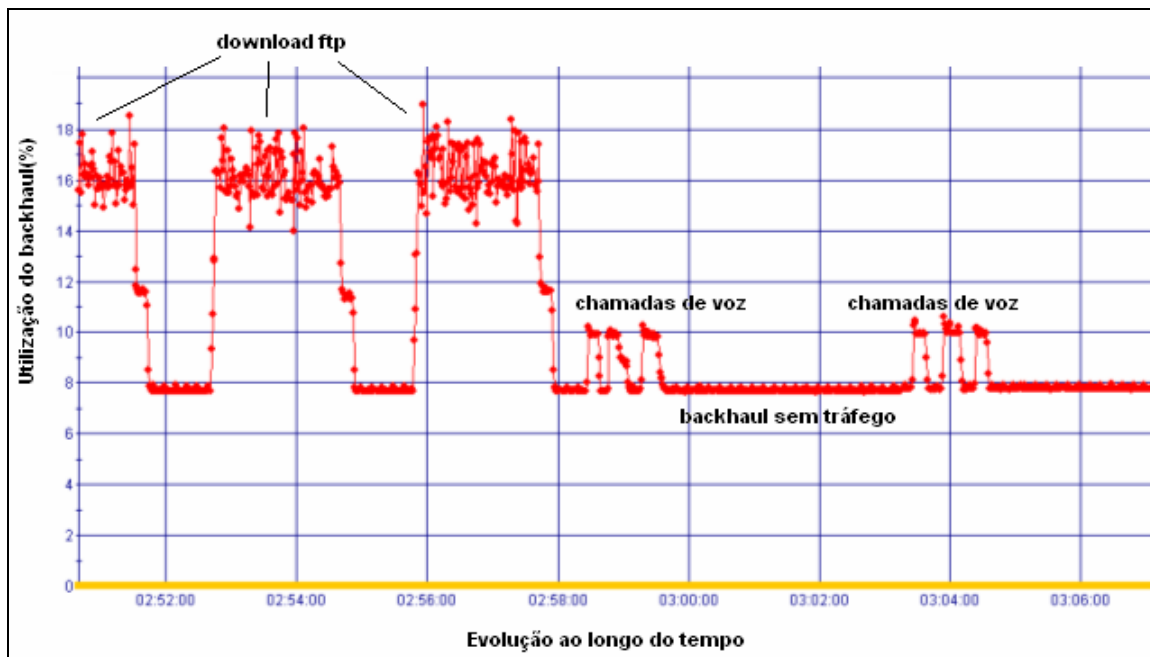


Figura 5.19 – Medição do overhead introduzido pela interface Abis sobre IP.

### 5.3.7 Medições da taxa de otimização com tráfego real reproduzido em laboratório.

#### 5.3.7.1 Descrição

Este teste tem como objetivo avaliar as taxas de otimização que podem ser obtidas em redes comerciais utilizando esta estratégia de otimização. Esta avaliação ocorreu ainda em laboratório, fazendo-se valer de tráfegos reais coletados em redes comerciais.

#### 5.3.7.2 Configuração dos testes

Utilizando o equipamento GLComm foram feitas coletas do tráfego na interface Abis de algumas BTSs de uma rede comercial em suas HMMs. Com o mesmo equipamento

tais tráfegos foram reproduzidos em laboratório sobre a interface Abis sobre IP. A Figura 5.20 mostra a configuração utilizada para estes testes.

Através do sistema de gerenciamento dos roteadores, foi possível obtermos a utilização da interface Abis sobre IP ao longo do tempo. Por último, comparamos esta utilização à que teríamos com a alocação estática, de modo a termos uma estimativa de ganho. As regras para obtenção da banda necessária com a alocação de recursos estática seguiram as premissas descritas nos testes do item 5.2.

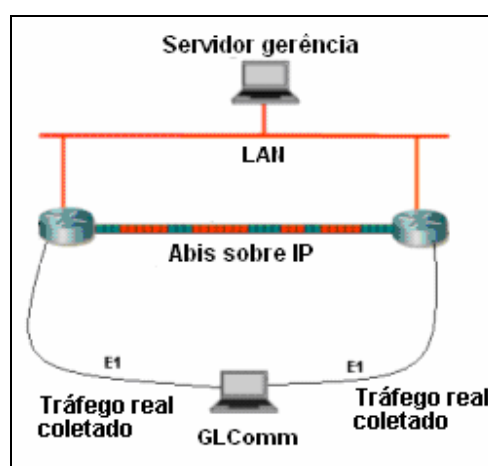


Figura 5.20 – Configuração dos testes para medição da taxa de otimização.

Neste teste, devido à limitações de espaço para armazenamento das coletas, foram coletadas amostras de cerca de 10 minutos na HMM de cada BTS nas direções de downlink e uplink. Em média verificou-se que a utilização da interface Abis sobre IP em ambas as direções era similar, embora nas análises feitas a seguir tenhamos considerado o pior caso para cada BTS.

### 5.3.7.3 Resultados

A primeira BTS cujo tráfego foi coletado possuía oito TRXs configurados. Os dados foram coletados às 18:00, ou seja, na hora de maior movimento da interface Abis desta BTS.

Com esta configuração de TRXs, a alocação estática de recursos na interface Abis conduziria a uma utilização de 1,47Mbps de banda, ou 74% de utilização da banda total da interface Abis, de 1,98Mbps (31 E0s).

Conforme pode ser observado na Figura 5.21, a estratégia de otimização atuou de maneira a reduzir a banda efetivamente ocupada na interface Abis em cerca de expressivos 53% no pior caso. Este percentual é obtido comparando a utilização máxima da interface Abis sobre IP (35%) com a estimativa de utilização estática (74%).

Por outro lado, utilizando o valor médio de utilização da interface Abis sobre IP (28%) comparado à ocupação de 74% da interface Abis estática, temos uma redução de banda de 62% em média.

Obviamente o ganho efetivamente obtido deve variar de acordo com a proporção do tráfego de dados versus o tráfego de voz, conforme já constatado nos resultados associados à interface Abis totalmente dinâmica detalhados no item 5.2.

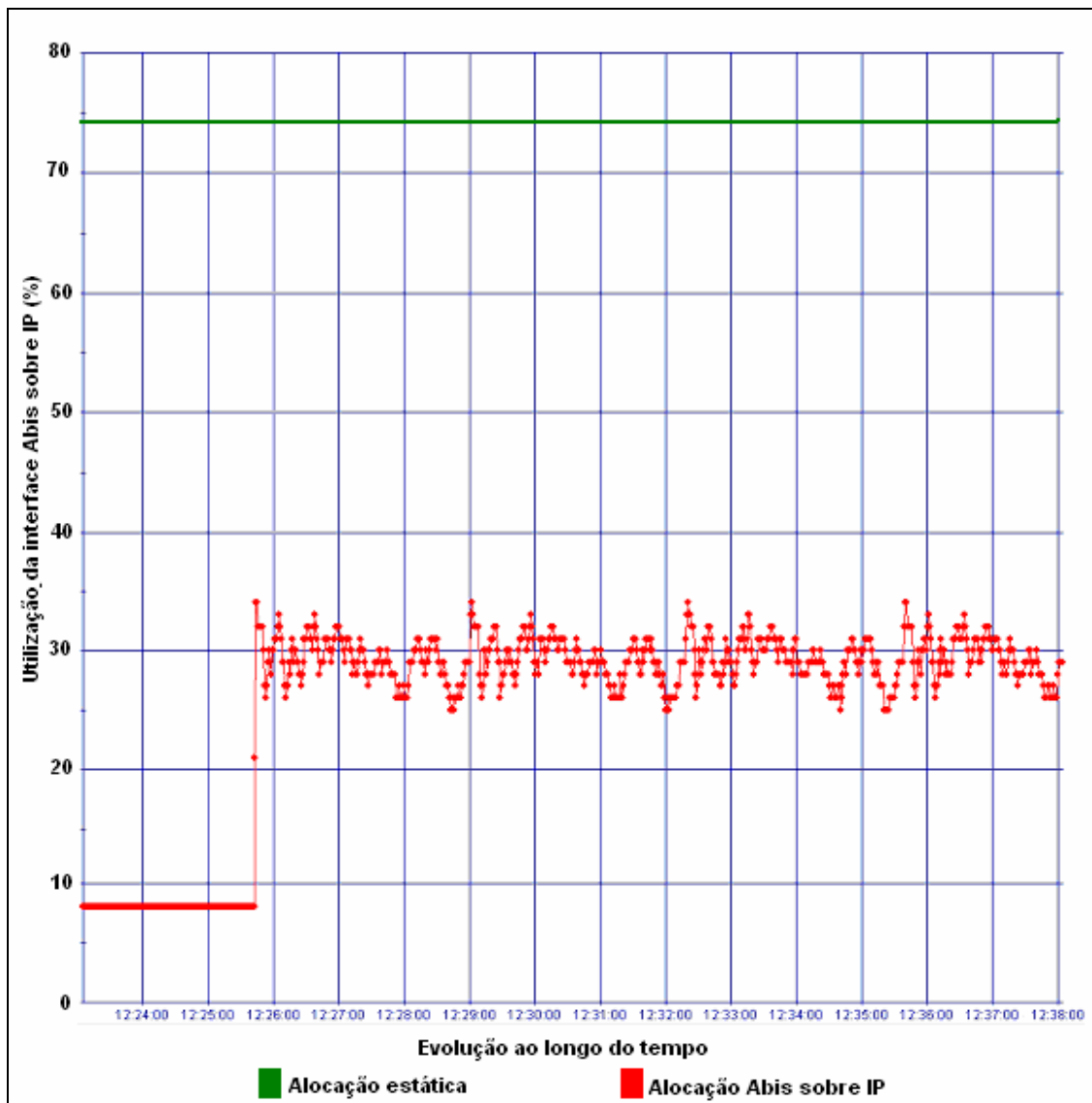


Figura 5.21 – Utilização da interface Abis sobre IP com tráfego coletado do site 1.

Tomando outra coleta de tráfego, chegamos a mais uma BTS com oito TRXs configurados. A coleta de dados se deu às 18:00, também na HMM da interface Abis desta BTS. Como a configuração de TRXs é idêntica ao exemplo anterior, temos novamente 74% de utilização da interface Abis considerando a alocação estática de recursos.

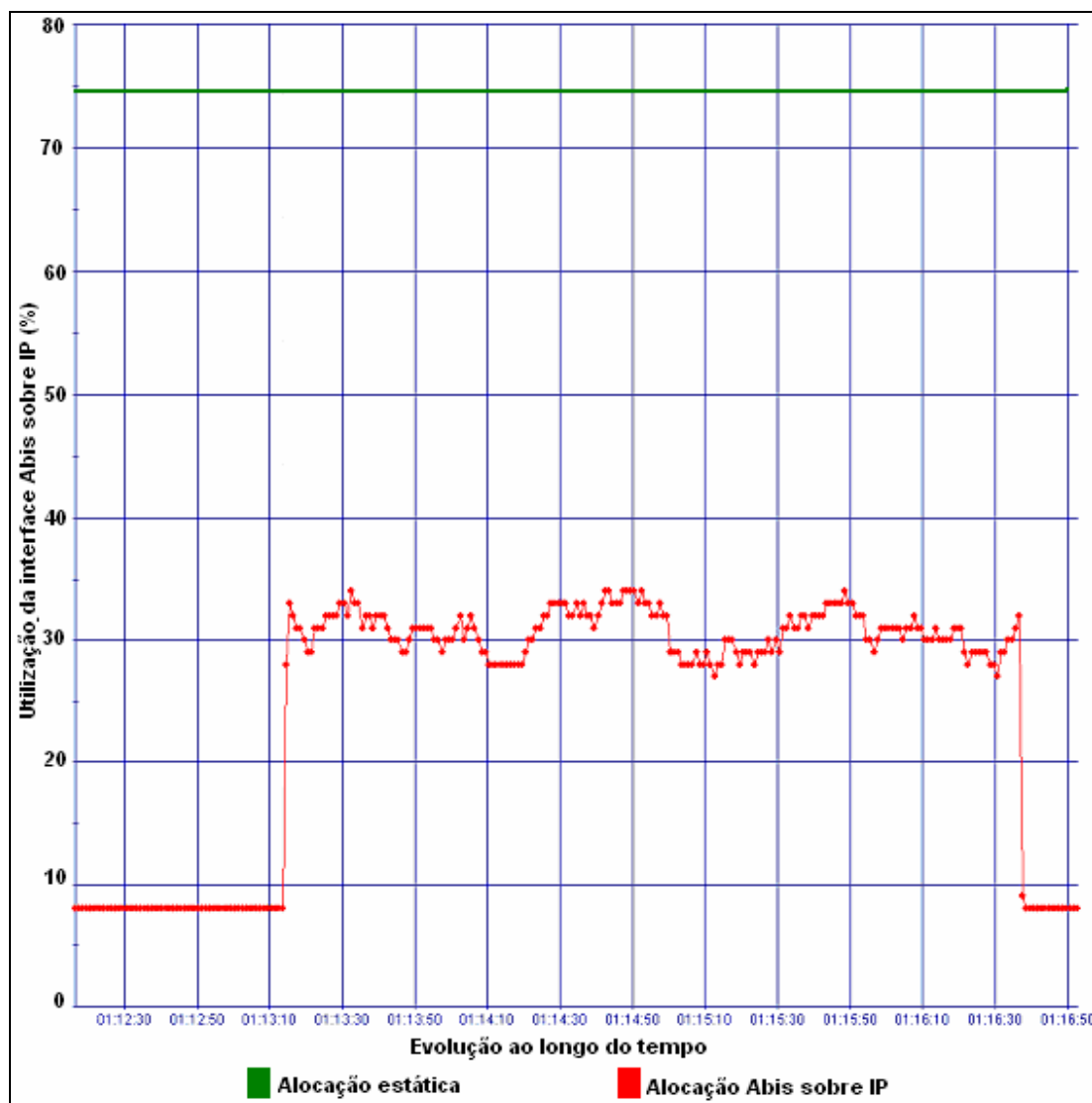


Figura 5.22 – Utilização da interface Abis sobre IP com tráfego coletado do site 2.

A utilização máxima da interface Abis sobre IP coincidentemente também ficou em 35%, de modo que o ganho mínimo obtido ficou em 53%. O ganho médio neste caso ficou um pouco menor, na casa de 56%, uma vez que a utilização média da interface Abis sobre IP foi de 33%.

Por último o gráfico da Figura 5.23 mostra os resultados obtidos na otimização do tráfego coletado em uma BTS com sete TRXs configurados. A utilização máxima da interface Abis sobre IP ficou em 30%, contra 68% da alocação estática. Comparando os

dois valores chegamos a uma otimização mínima de 56% e média de 63%. Os dados coletados também se deram na hora de maior movimento da interface Abis.

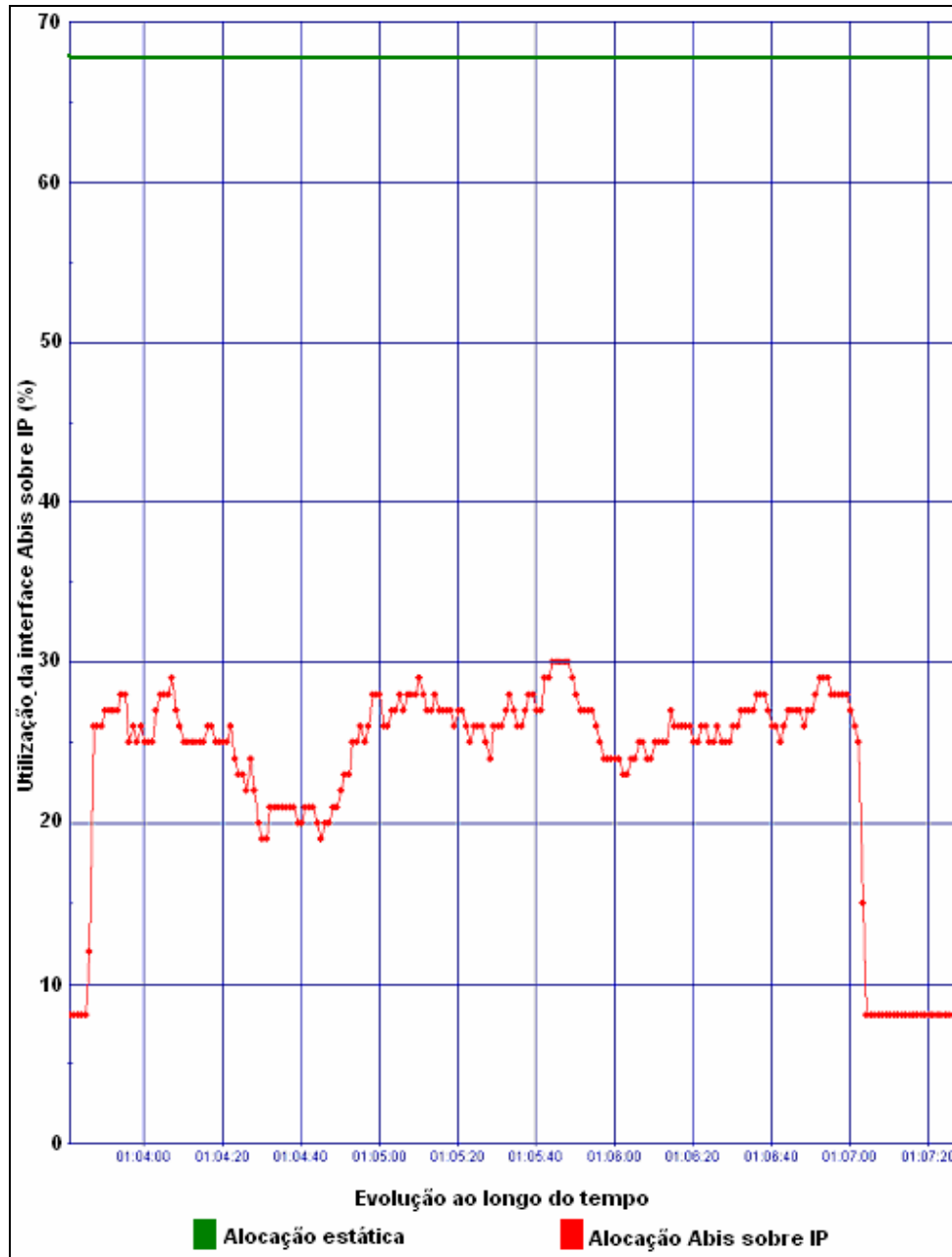


Figura 5.23 – Utilização da interface Abis sobre IP com tráfego coletado do site 3..



Apenas a título de informação foi coletado o tráfego na interface Abis de mais dois sites, estes com seis TRXs configurados. Os ganhos mínimos obtidos ficaram em torno de 51% e 54%, seguindo o mesmo raciocínio empregado para os três sites acima.

Diante dos resultados obtidos nestes testes, verifica-se que esta estratégia de otimização da interface Abis pode proporcionar reduções significativas na utilização dos recursos de transmissão das operadoras GSM, minimizando, por isso o impacto do crescimento de tráfego de voz e dados. Adicionalmente pode-se estimar a banda que estaria disponível para a oferta de novos serviços de dados em cada exemplo.

Outra possível utilização para a banda reduzida seriam alterações na topologia de transmissão, de modo a compartilhar entre várias BTSs o mesmo quadro PCM30 otimizado.

### **5.3.8 Medições da taxa de otimização em redes comerciais com interface Abis sobre satélite.**

#### **5.3.8.1 Descrição**

O objetivo deste teste é verificar o comportamento da interface Abis sobre IP em redes comerciais, avaliando os ganhos que podem ser obtidos. Uma vez que os custos associados às BTSs que utilizam Abis sobre satélite são os mais altos, foi escolhida uma BTS que apresentasse com este tipo de transmissão. Desta forma, tempo de retorno de investimentos para a aquisição dos roteadores seria menor.

Adicionalmente é feita uma comparação entre a eficiência de otimização da interface Abis sobre IP e o tráfego em Erlang medido na BTS, com o objetivo de estabelecer uma orientação ao dimensionamento da interface Abis sobre IP.

### 5.3.8.2 Configuração dos testes

Para a realização deste teste foi feita a instalação dos roteadores em uma BTS comercial localizada em Santarém e na BSC, localizada em Belém. A Figura 5.24 ilustra a configuração destes testes. Os equipamentos do BSS em questão são do fabricante Nokia, com versão de software S11.5.

Uma vez instalados os roteadores, foi agendada a introdução dos mesmos na interface Abis durante o horário de menor tráfego da BTS.

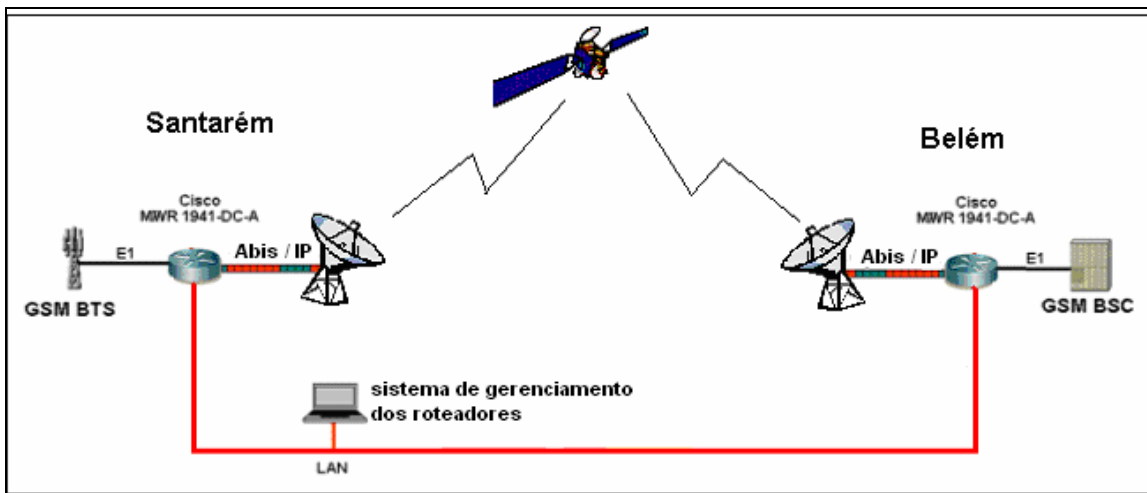


Figura 5.24 – Configuração dos testes em rede viva da estratégia de otimização Abis sobre IP.

A interface Abis sobre IP ficou em funcionamento por 42 horas, período em que o sistema de gerenciamento dos roteadores realizou a coleta dos dados. Posteriormente foram obtidas nos contadores do BSS as medições de tráfego cursado nesta BTS durante o mesmo período de avaliação.

Nesta BTS a banda alocada para a transmissão da interface Abis sobre satélite é de 1,53Mbps, ou 24DS0s. Desta forma, todas as medições obtidas pelo sistema de gerenciamento dos roteadores utiliza esta referência, assim como os resultados a seguir.

### 5.3.8.3 Resultados

Após as 42 horas de monitoração e coleta das medições de tráfego da BTS em questão, chegamos ao resultado mostrado na Figura 5.25. Nela podemos observar que a utilização da interface Abis sobre IP não chegou a 45%, o que representa uma eficiência de otimização mínima de 55%.

Outro aspecto interessante a ser observado na Figura 5.25 é que a curva de utilização da interface Abis otimizada acompanha a curva de tráfego da BTS. Este resultado está conforme o esperado, na medida em que quanto maior o tráfego da BTS, maior é o número de pacotes a serem transmitidos pela interface Abis sobre IP.

Apresentando a mesma informação de forma diferente, a Figura 5.26 mostra a curva de tráfego da BTS juntamente com a curva de eficiência de otimização obtida pela interface Abis sobre IP. Conforme esperado, as curvas são defasadas de 180°, uma vez que à medida que o tráfego na BTS reduz, os roteadores podem reduzir a transmissão dos pacotes pela interface Abis sobre IP.

Observa-se na Figura 5.26 que nos momentos em que o tráfego se aproxima de zero, a eficiência de otimização atinge seu valor máximo, em torno de 80%. Desta forma a utilização da interface Abis sobre IP tem o valor mínimo de 20% associados à sinalização LAPD e ao cabeçalho da estratégia de otimização Abis sobre IP.

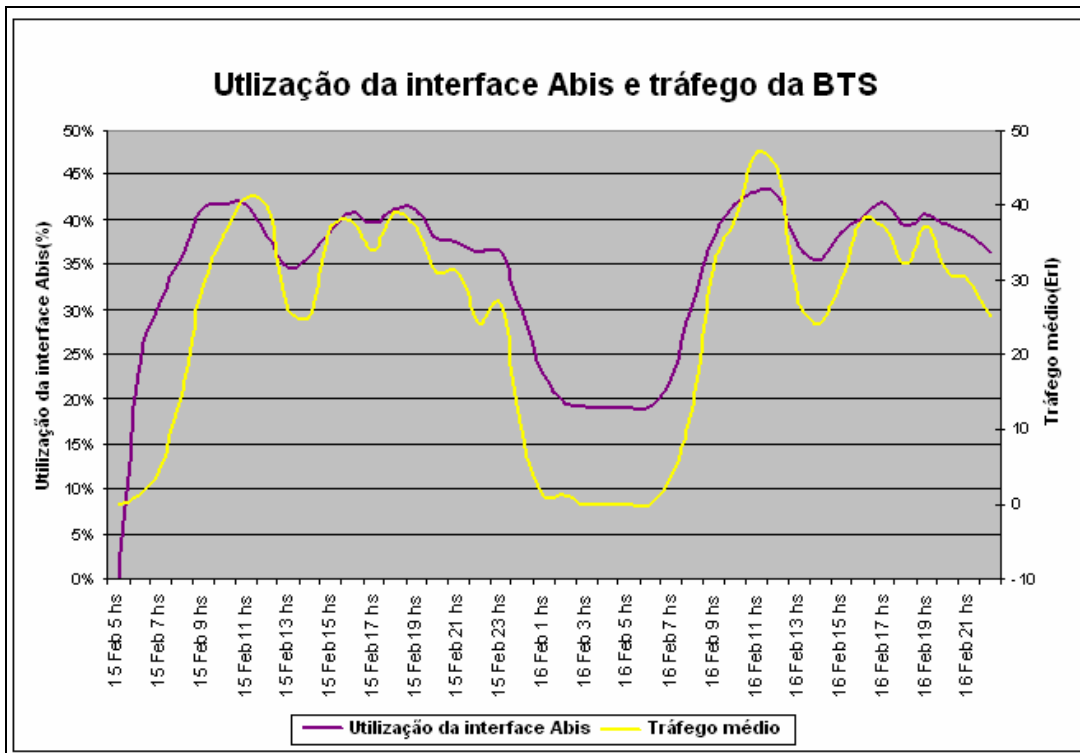


Figura 5.25 – Utilização da interface Abis sobre IP e tráfego médio da BTS.

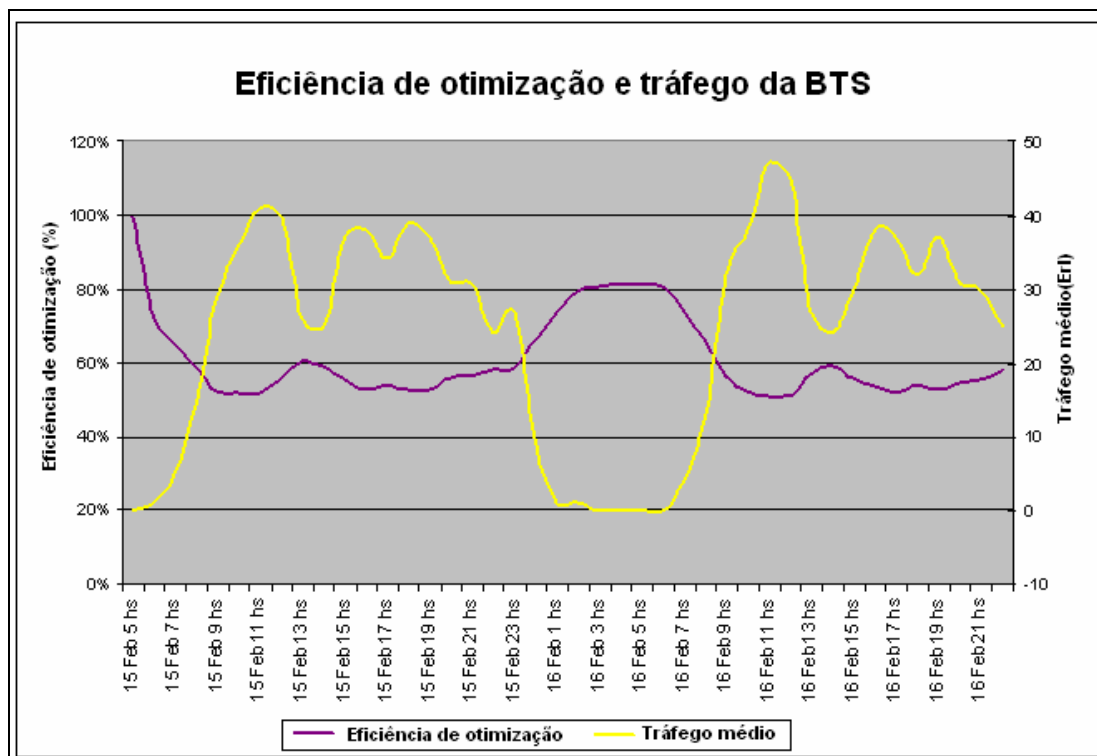


Figura 5.26 – Eficiência de otimização da interface Abis e tráfego médio da BTS.

A Figura 5.27 mostra a relação entre a utilização média da interface Abis em kbps e o tráfego médio da BTS. Conforme esperado a utilização média da interface Abis sobre IP é diretamente proporcional ao tráfego oferecido.

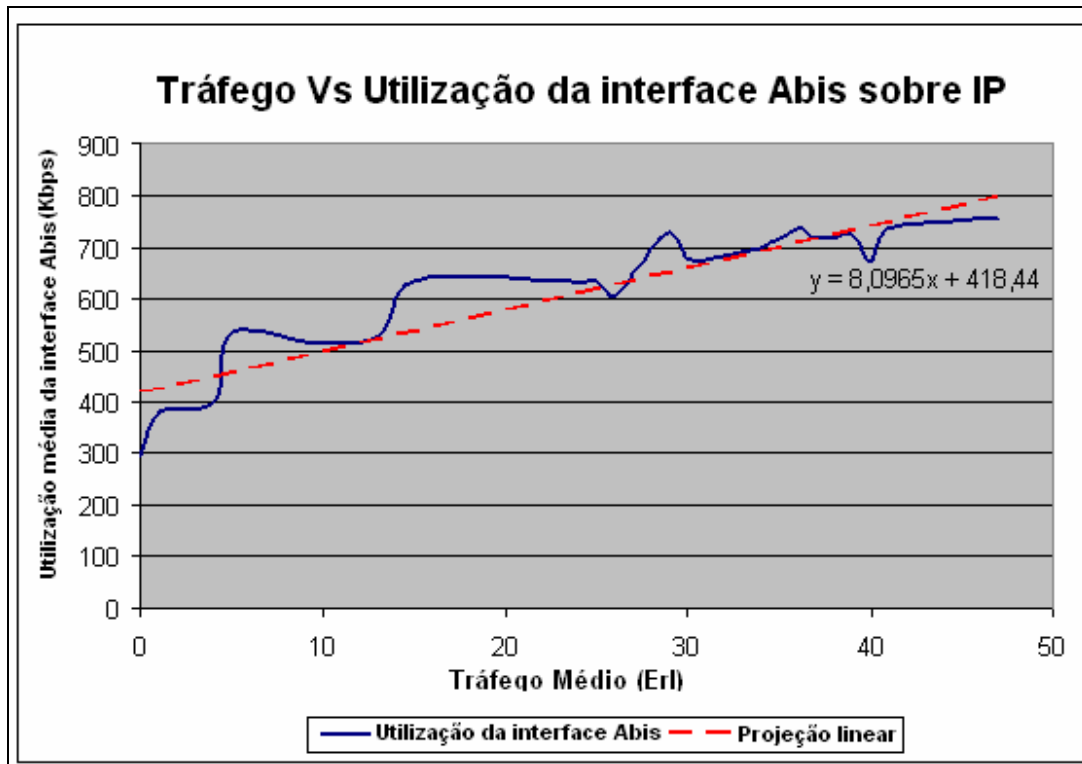


Figura 5.27 – Relação entre a utilização da interface Abis sobre IP e o tráfego da BTS.

Este resultado é particularmente importante como um guia para dimensionamento da interface Abis sobre IP. Uma vez que o tráfego numa dada BTS seja conhecido, podemos estimar a utilização da interface Abis sobre IP através da projeção linear da Figura 5.27. Obviamente esta projeção é resultado da amostra de apenas uma BTS, entretanto outras medições similares podem ser realizadas de modo a obter um modelo mais confiável.

Comparando a solução de otimização Abis sobre IP com a interface Abis totalmente dinâmica, estima-se que os ganhos sejam maiores na primeira, uma vez que nela existe otimização durante as chamadas ativas, o que não ocorre na segunda. Com isso, mesmo operadoras que possuem BSS Siemens, e conseqüentemente a interface Abis totalmente dinâmica, devem obter ganhos de otimização adicionais na interface Abis com a introdução da solução Abis sobre IP. Obviamente os ganhos obtidos nesse BSS são inferiores aos obtidos, por exemplo, no BSS Nokia, que possui a interface Abis parcialmente dinâmica.

# Capítulo

## 6 Conclusões

As estratégias de otimização da interface Abis têm despertado interesse ao redor do mundo em função do seu grande potencial de redução de custos associados à utilização de meios de transmissão alugados, ou mesmo próprios.

A introdução do novo esquema de modulação na interface aérea 8-PSK, através do sistema (E)GPRS, pode ser considerada a maior responsável pelo aumento da utilização dos meios de transmissão das redes GSM, na medida em que triplica o tráfego de dados a serem escoados pela interface Abis, objeto deste estudo. Associado à introdução dos sistemas (E)GPRS, tem-se o crescimento natural do tráfego de voz como outro consumidor dos recursos de transmissão das redes GSM.

Claramente o impacto da introdução do sistema (E)GPRS nas redes GSM está diretamente associado à penetração do tráfego de dados. Seguindo as tendências de outras redes de telecomunicações, a tendência é que tal penetração tenha crescimento expressivo. Desta forma, a introdução de mecanismos de otimização da interface Abis tem a motivação de minimizar estes impactos, absorvendo gradativamente o inevitável incremento de tráfego. Os diferentes mecanismos de otimização da interface Abis são o objeto de estudo deste trabalho.

Conforme pôde ser verificado no Capítulo 2, a alocação de recursos na interface Abis estática e determinística, representa grandes desperdícios, uma vez que os subcanais são reservados mesmo quando não há demanda para transmissão de dados. Adicionalmente

tem-se o silêncio durante as conversações, que também representa alocação de recursos desnecessariamente.

Dentre as estratégias de otimização da interface Abis no Capítulo 4 foram descritas as principais abordagens disponíveis no mercado. Inicialmente foi descrita a estratégia de alocação dinâmica dos recursos para a interface Abis somente associados ao tráfego de dados, uma vez que nestes a demanda por recursos é expressivamente maior. Estendendo esta idéia para toda a interface Abis temos a segunda estratégia de otimização desta interface. A alocação totalmente dinâmica dos recursos da interface Abis nos leva a um ganho estatístico ainda maior.

As duas estratégias acima foram desenvolvidas pelos próprios fabricantes dos BSSs, entretanto existem soluções alternativas que podem atingir ganhos ainda maiores, com a introdução de outros benefícios. A idéia é introduzir novos equipamentos entre a BSC e a BTS cuja função é identificar os quadros TRAU referentes a silêncio, canais ociosos ou padrões repetidos, eliminá-los da transmissão pela interface Abis e reconstruí-los para entrega transparente aos elementos do BSS (BTS e BSC). Considerando os momentos de silêncio durante as conversações, estas estratégias de otimização potencializam ainda mais o ganho que pode ser obtido. Conforme explicado com detalhes no Capítulo 4, os bits de controle dos quadros TRAU podem ser utilizados para identificação do tipo de tráfego presente.

Destacou-se ainda o papel da funcionalidade de transmissão descontínua (DTX), que faz com que em momentos de silêncio de uma chamada sejam transmitidos quadros TRAU frames referentes a canais ociosos, os quais não precisam ser transmitidos pela interface Abis. Com isso concluímos que a ativação desta funcionalidade potencializa a otimização da interface Abis.



Em termos de aplicações práticas para as operadoras, pode-se pensar na introdução destas estratégias de otimização em casos de BTSs cuja solução de transmissão seja mais cara, como por exemplo sites com interface Abis sobre satélite. Outro caso típico está na introdução de estratégias de otimização da interface Abis para evitar a necessidade de contratação de quadros PCM30 adicionais, devido ao crescimento de tráfego na interface aérea.

Outros benefícios que devem ser considerados nestas estratégias é a possibilidade de tráfego de outros serviços de dados compartilhando a mesma banda disponível. Uma aplicação deste benefício considera a utilização da mesma estrutura de transmissão para escoamento do tráfego de uma BTS GSM, uma BTS 3GSM e mesmo um *hot spot* Wi-Fi que estejam no mesmo local. Esta alternativa torna mais suave a migração das redes GSM (2G) para 3GSM (3G), em que a demanda por recursos de transmissão é ainda maior.

Expandindo esta aplicação para toda a rede de transmissão existente, podemos pensar em um grande *backbone* de acesso, pelo qual trafegam diversos serviços. Deve-se considerar ainda que esta implementação depende da disponibilidade de uma política de QoS para garantir alocação de recursos de acordo com as prioridades definidas pelas operadoras.

Por outro lado, conforme pôde ser visto ao longo do Capítulo 5, existem impactos associados à introdução deste ganho estatístico que devem ser considerados. O principal deles está no surgimento da necessidade de acompanhamento da ocupação da interface Abis para garantia de que não haja congestionamento do meio de transmissão, o que representaria perda de receita para a operadora. Em casos extremos, em que efetivamente ocorra congestionamento na interface Abis, deve haver alguma estratégia de priorização dos serviços identificados pela operadora como primordiais.

Outros impactos que devem ser considerados estão associados à introdução de uma latência adicional na interface Abis, o que representa redução na performance de dados (E)GPRS.

Ainda no Capítulo 5 foram mostrados resultados práticos obtidos com duas das estratégias de otimização da interface Abis apresentadas: Abis totalmente dinâmica e Abis sobre IP. A solução de otimização interface Abis totalmente dinâmica já é utilizada em todas as redes comerciais do fabricante Siemens com versão de software BR7.0 ou superior. Diante disso foram feitas coletas de dados associados aos contadores da interface Abis totalmente dinâmica de diversas BTSs, em que se pôde tirar conclusões sobre seu funcionamento e sua eficiência de otimização. Já a solução de otimização Abis sobre IP é recente (lançada em 2005) e os testes em laboratório foram antes de seu lançamento comercial. Em seguida foram realizados testes em uma BTS comercial utilizando a versão já comercial. Através destes testes foi possível verificar o grande potencial de otimização da solução e seus respectivos impactos. Comparando as duas soluções em termos de eficiência de otimização a tendência é de que a solução de Abis sobre IP seja superior na medida em que faz a eliminação dos quadros TRAU referentes à silêncio durante as conversações, o que não é considerado na interface Abis totalmente dinâmica.

A partir dos resultados apresentados no Capítulo 5, pode-se concluir que as estratégias de otimização da interface Abis são alternativas viáveis e fundamentais para minimizar o impacto decorrente da maior penetração de serviços de dados sobre redes GSM. Adicionalmente surge a possibilidade de oferta de novos serviços de dados compartilhando o mesmo meio de transmissão otimizado.

Por outro lado, deve-se destacar que a introdução de qualquer uma das estratégias de otimização da interface Abis traz consigo a necessidade de dimensionamento e monitoração da utilização dos recursos ali disponíveis.

# Referências Bibliográficas

[1] Rappaport, T. S., *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall PTR, 1996.

[2] d'Ávila, C. K., “Visão Geral sobre Redes Celulares”, Versão 2.0, Centro de Desenvolvimento Profissional e Tecnológico – Fundação Getúlio Vargas.

[3] Haykin, S., “Digital Passband Transmission”. In, *Communication Systems*, 3 ed. Chapter 8, New York, USA, John Wiley & Sons, Inc, 1994.

[4] Prasad, R., “An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA”, *IEEE Communications Surveys*, Fourth Quarter 1998, vol.1 no. 1.

[5] Schülke, A., Kovacs, E., Stüttgen, H., Akkawi, A., Kuhnen, M., Riu, A., Winkler, F., “Creating New Communication Services Efficiently“, *NEC Journal of Advanced Technology*, Vol2, No. 2, 2005.

[6] ETSI TS 100 737 V8.2.1, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); In-band control of remote transcoders and rate adaptors for Enhanced Full Rate (EFR) and full rate traffic channels” (3GPP TS 08.60 version 8.2.1 Release 1999)

[7] ETSI TS 100 979 V8.1.0, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); In-band control of remote transcoders and rate adaptors for half rate traffic channels” (3GPP TS 08.61 version 8.1.0 Release 1999).

[8] 3GPP TS 06.10 V8.2.0, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Full rate speech; Transcoding” (Release 99).

[9] 3GPP TS 06.51 V8.2.0, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Enhanced Full Rate (EFR) speech processing functions; General description” (Release 1999).

[10] ETSI EN 300 969 V8.0.1, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Half rate speech; Half rate speech transcoding” (GSM 06.20 version 8.0.1 Release 1999).

[11] ETSI EN 301 703 V7.0.2, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Adaptive Multi-Rate (AMR); Speech processing functions; General description” (GSM 06.71 version 7.0.2 Release 1998).

[12] ETSI EN 300 964 V8.0.1. “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Full rate speech; Discontinuous Transmission (DTX) for full rate speech traffic channels” (GSM 06.31 version 8.0.1 Release 1999).

[13] ITU\_T P.862. “Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs” (02/01).