Inatel

Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

TP305 – Sistemas de Comunicações Móveis

Sistema GSM/GPRS/EDGE

Sistema WCDMA/HSDPA e LTE

Prof. MS. Daniel Andrade Nunes

danielnunes@inatel.br

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Conteúdo do curso

- Capítulo 1: Introdução ao sistema GSM/GPRS/EDGE
- Capítulo 2: Interface Rádio GSM/GPRS/EDGE
- Capítulo 3: Evolução do sistema GSM/GPRS/EDGE: WCDMA, HSDPA e LTE

Inatel

Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

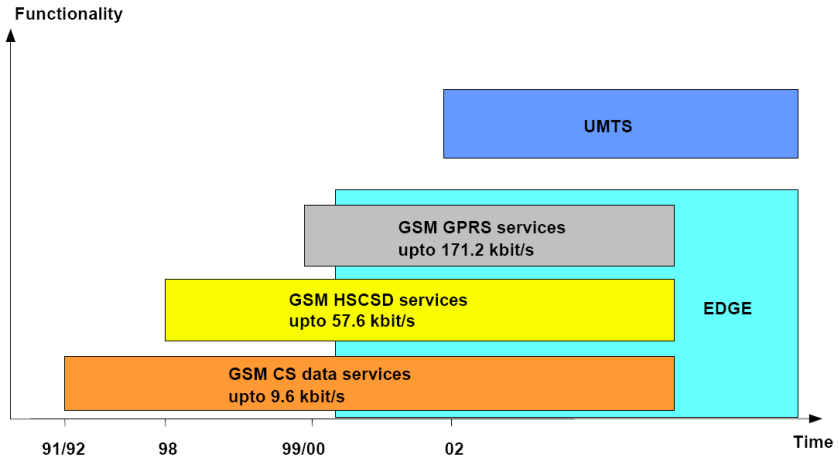
Capítulo 1

Introdução ao sistema GSM/GPRS/EDGE

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

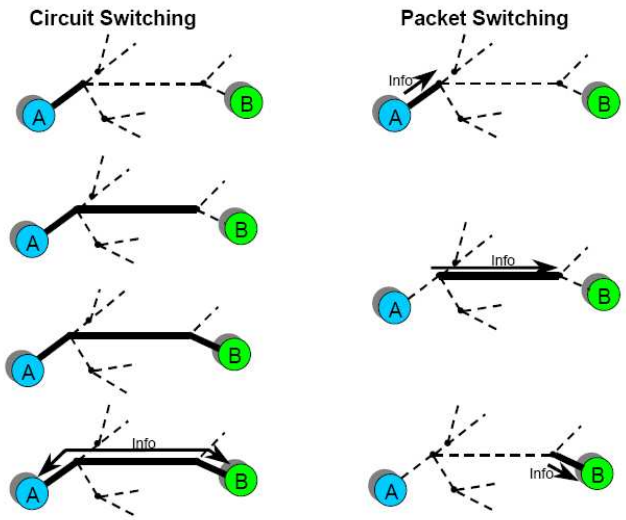
Evolução do sistema GSM



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Comutação por circuito e por pacotes



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Vantagens do GPRS/EDGE

- Uso eficiente dos recursos de radio
- Serviço flexível, tarifação por volume de dados
- Acesso e set-up rápidos
- Transporte eficiente de pacotes na rede GSM
- Coexistência com o sistema GSM
- Conectividade total com redes IP/X25

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Aplicações do GPRS/EDGE

Horizontal

- e-mail
- World Wide Web browsers
- WAP browsers
- Internet chats
- file transfer using File Transfer Protocol (FTP)

Other examples are:
- point of sale (credit card readers)
- database searches
- two-way messaging

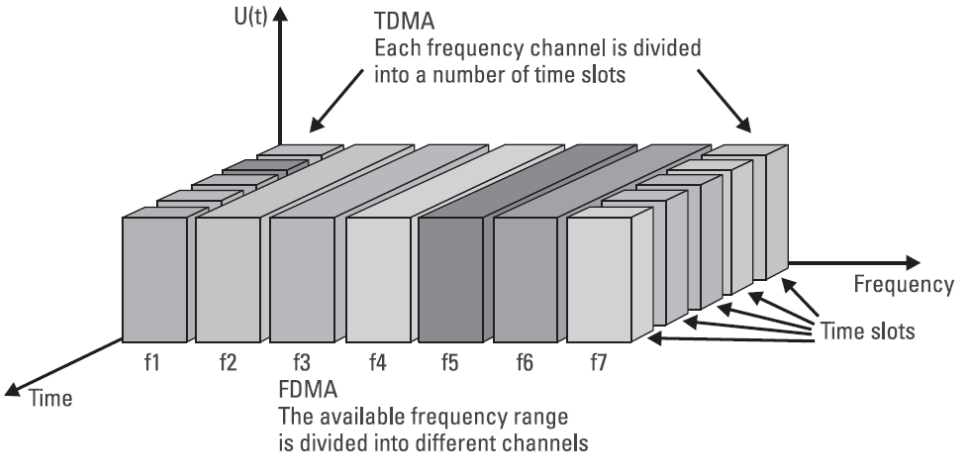
Vertical

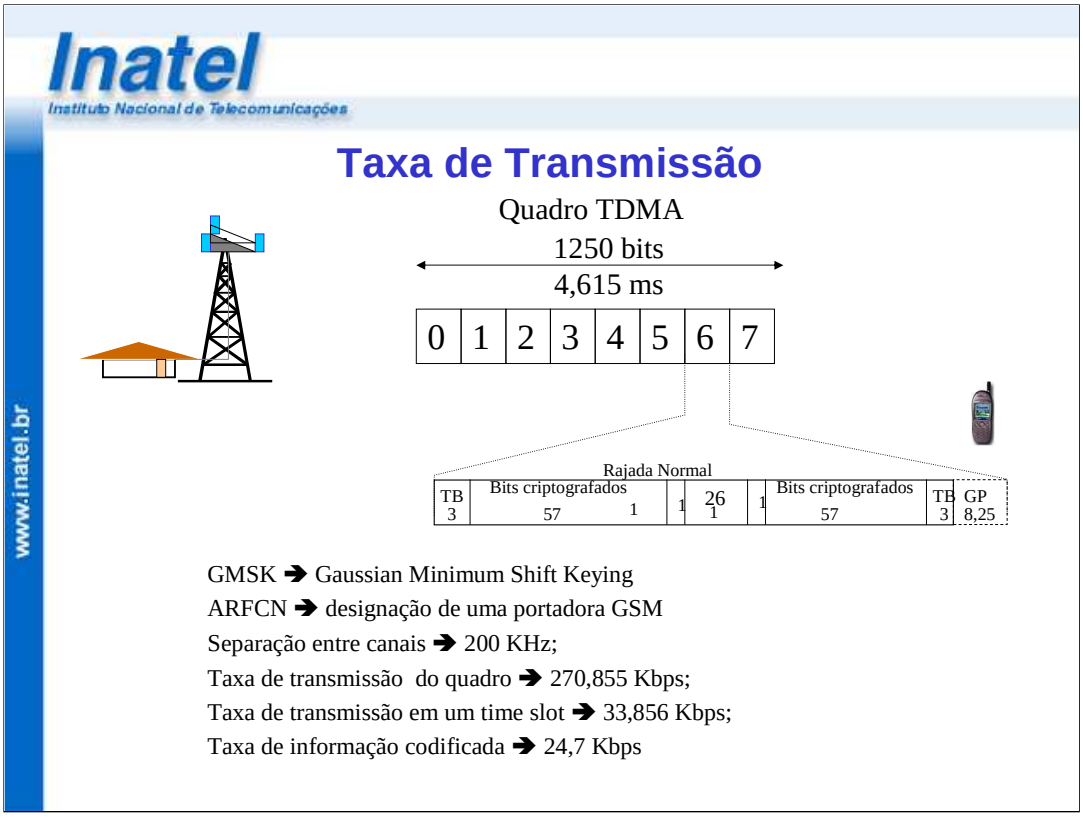
- field sales
- bank applications
- telemetry applications (vendor machines, power meter readers)
- distribution system optimization (supply services, invoices)
- dispatch services (police, courier, taxi, etc.)

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Técnica de múltiplo acesso



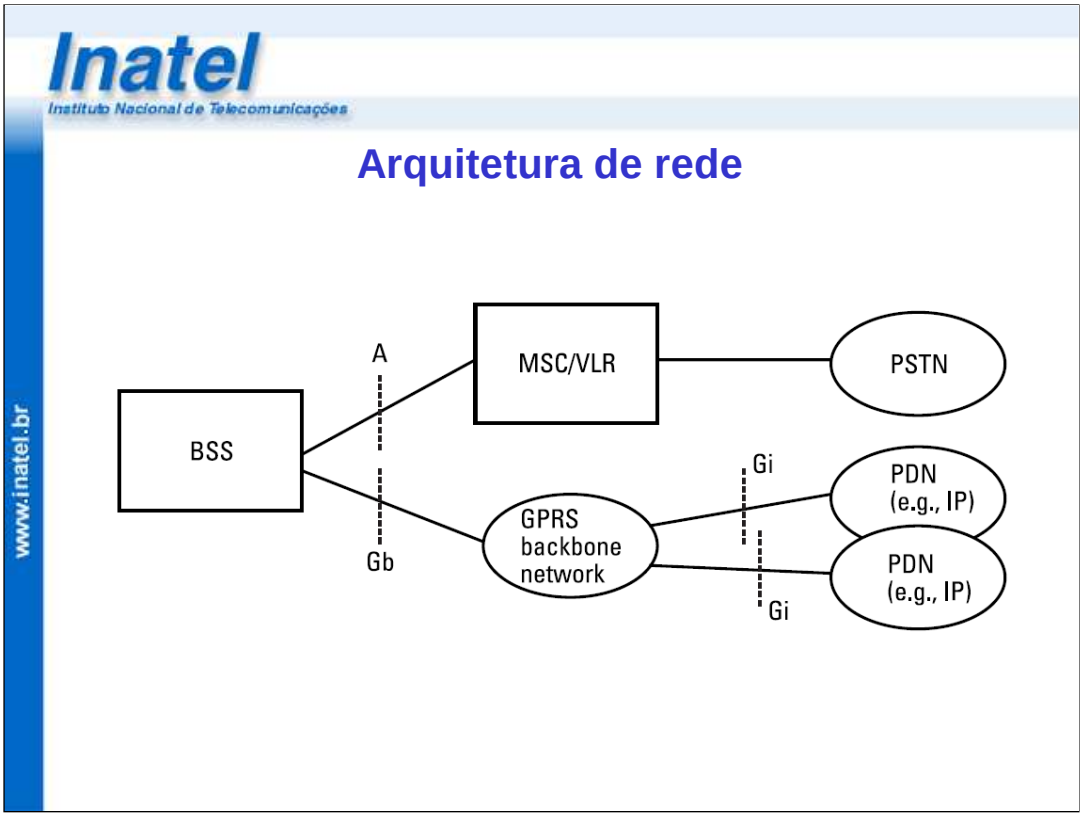


A tecnologia GSM utiliza múltiplo acesso por divisão no tempo (TDMA), composto por oito intervalos de tempo, e uma portadora que ocupa um canal de 200 KHz,, que pode ser alocado fixa ou dinamicamente, sendo este último devido à utilização do slow frequency hopping, onde os saltos são efetuados a cada quadro.

O quadro neste padrão possui duração de 4,615 ms, onde são transmitidos 1250 bits, resultando um débito binário de quadro de 1250bits/ 4,615ms = **270,085 Kbps.**

Já a taxa apresentada em um canal, ou seja a combinação de um ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number) e um intervalo de tempo, que apresenta uma taxa de 1250 / 8 / 4,615 ms = **33,856 Kbps**.

Entretanto a taxa apresentada por um intervalo de tempo está incluindo overhead necessários para o funcionamento adequado de um sistema TDMA. Assim, a taxa de informação codificada deve ser analisada somente nos bits presentes na rajada que transportam informações codificadas, ou seja, dois blocos de 57 bits, resultando uma taxa de 2 * 57/4,615 ms = **24,7Kbps.**



As especificações técnicas para o GSM definem as diferentes entidades que formam sua rede, definindo suas funções e interfaces.

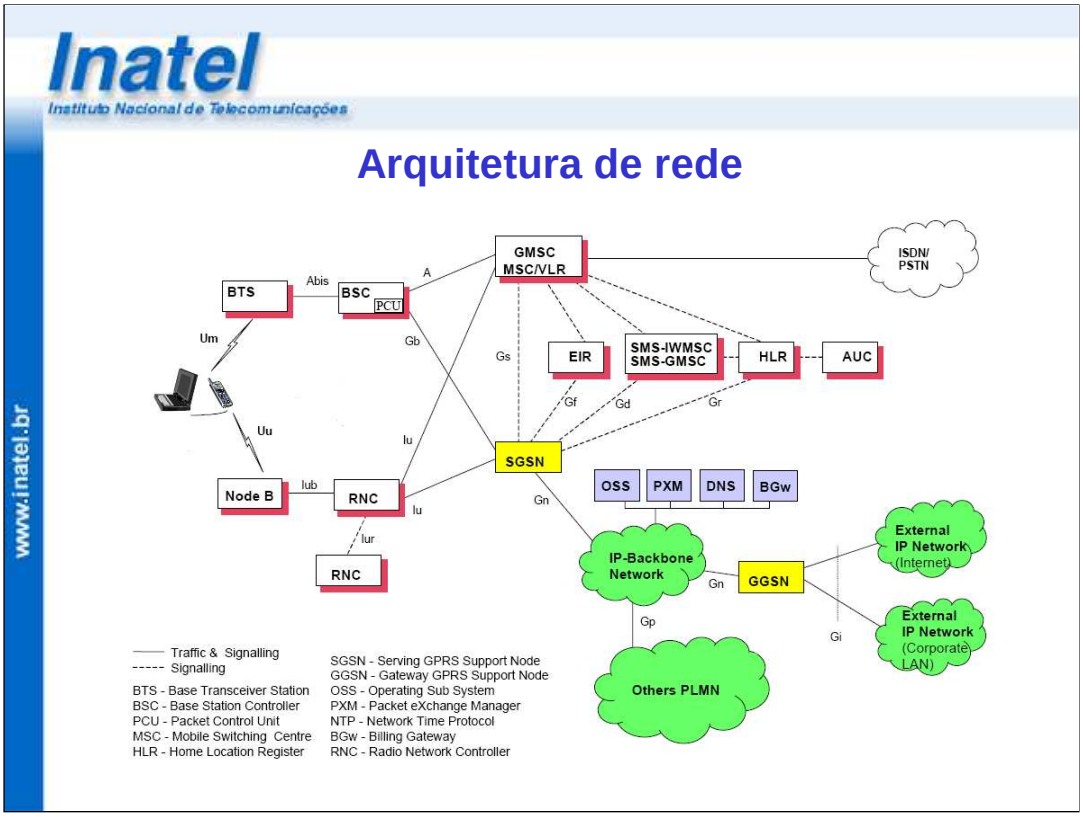
A rede GSM pode ser dividida em quatro partes principais:

•Subsistema de comutação e rede(NSS)

•Subsistema das Estações Base (BSS)

•Estação móvel(MS)

•Subsistema de operação e suporte (OSS)



O sistema de comutação (NSS) do GSM é composta pela central de comutação e controle (MSC, GMSC) e seus banco de dados temporários (VLR), um banco de dados com todos os assinantes (HLR), serviços de autenticação das assinaturas (AUC)e um banco de dados com as identidades dos equipamentos (EIR).

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Base Station Subsystem
BSS

BSC, BTS e PCU

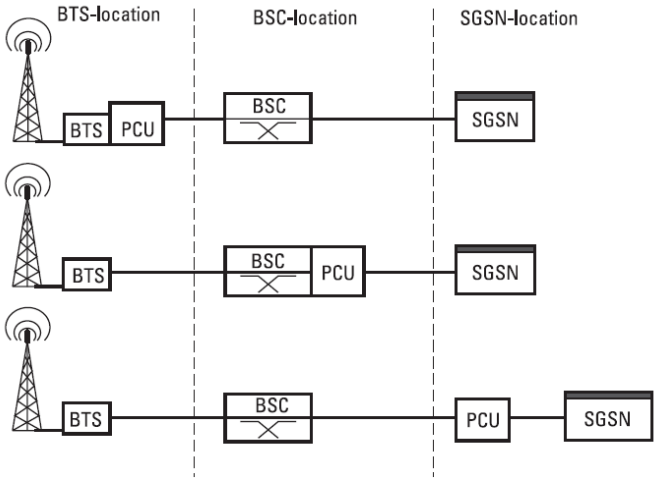
- PCU provavelmente localizada junto à BSC. Responsável pelo controle e da alocação de recursos de rádio, PDCH's
- Interface Gb – baseada em Frame Relay até o SGSN
- Manipulação da busca GPRS
- Broadcast de informações GPRS
- Novos protocolos e melhorias no RLC/MAC

O BSS é atualizado com novos protocolos GPRS para a interface Gb (entre a BSC e o SGSN) e melhorias no protocolo de camada 2 (RLC/MAC – Radio link control layer e medium access control) para a interface ar. A interface Gb conecta o BSS e o SGSN, permitindo a troca de informações de sinalização e dados de usuários. Tanto a interface ar quanto a interface Gb permitem que muitos usuários serem multiplexados nos mesmo recursos físicos. O BSS aloca os recursos que um usuário necessita enviar ou receber dados, e os re-aloca imediatamente após a transferência ter ocorrido. A interface Gb é baseada em frame relay, no qual é utilizado para sinalização e transferência de dados. O BSSGP (base station subsytem GPRS protocol) disponibiliza informações relacionado a radio, QoS e roteamento que são necessárias para a transferência de dados entre o BSS e o SGSN.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

PCU – Packet Control Unit



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

SGSN - Serving GPRS Support Node

- A plataforma SW/HW é de um roteador de rede de dados;
- Serve MS's na área SGSN
- Funções de GMM(atualização de localização, Attach, Paging)
- Controle de acesso e segurança (autenticação, estabelecimento de criptografia)
- Gerenciamento de tráfego e roteamento;
- Dados para tarifação;

O SGSN é o principal componente da rede GPRS, responsável pela manipulação das funções de gerenciamento de mobilidade, autenticações e registros. É conectado à BSC e seu ponto de acesso aos serviços da rede GPRS para as MS's GPRS. Possui a função de conversão do protocolo IP utilizado no backbone da rede para o SNDCP (Sub network Dependent e convergence protocol) e LLC (Logical Link control) utilizados entre o SGSN e a MS. EStes protocolos manipulam compressões e criptografia. O SGSN também manipula as autenticações das MS's GPRS e quando estas são bem sucedidas, o SGSN manipula o registro da MS na rede GPRS tomando conta de seu gerenciamento de mobilidade. Quando uma Ms necessita enviar (receber) dados para (de) redes externas, o SGSN re-encapsula os dados entre o SGSN e GGSN relevante (e vice versa).

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

GGSN - Gateway GPRS Support Node

- A plataforma SW/HW é de um roteador de rede de dados;
- Interfaces Gi e Gn: interworking PLMN PDN;
- Roteamento de informações para MS's conectadas;
- Filtragem e screeming;
- Dados para tarifação

O GGSN é conectado a redes externas como a internet e X-25. Do ponto de vista destas redes externas, o GGSN é um roteador para subredes, pois o GGSN esconde a infraestrutura da rede GPRS das redes externas. Quando o GGSN recebe dados endereçados para um usuário específico, este verifica se seu endereço está ativo. Se estiver, o GGSN encaminha os dados para o SGSN servidor da MS, mas se o endereço estiver inativo, os dados são descartados. Os pacotes originados pelos móveis são roteados para a rede apropriada pelo GGSN. O GGSN conhece, com a precisão do SGSN, qual a localização da MS.

Interface Gc

Esta interface se apresenta entre o GGSN e o HLR. O GGSN pode requisitar informações de localização para que requisições de ativação de diálogo somente através desta interface. O padrão define também o uso de GSN proxy, no qual é utilizado no protocolo de tunelamento GPRS (GTP – GPRS Tunneling Protocol) convertendo no protocolo de parte de aplicação móvel (MAP – Mobile Aplication Part), e assim evitando a implementação do MAP no GGSN.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Co-existência GSM-GPRS

- Serviço GPRS é implantado sobre uma rede GSM;
- Serviços GSM e GPRS compartilham e *disputam* os recursos rádio disponíveis:
  - canal físico (*time-slot*)
- É geralmente aceita a prioridade do serviço de voz (GSM) sobre o de dados por pacotes (GPRS)

Estratégias de compartilhamento de recursos:

- *Alocação sob demanda:* alocar ao GPRS recursos rádio *não utilizados* no GSM
- *Alocação Fixa:* alocar ao GPRS recursos rádio exclusivos

Co-existência GSM-GPRS

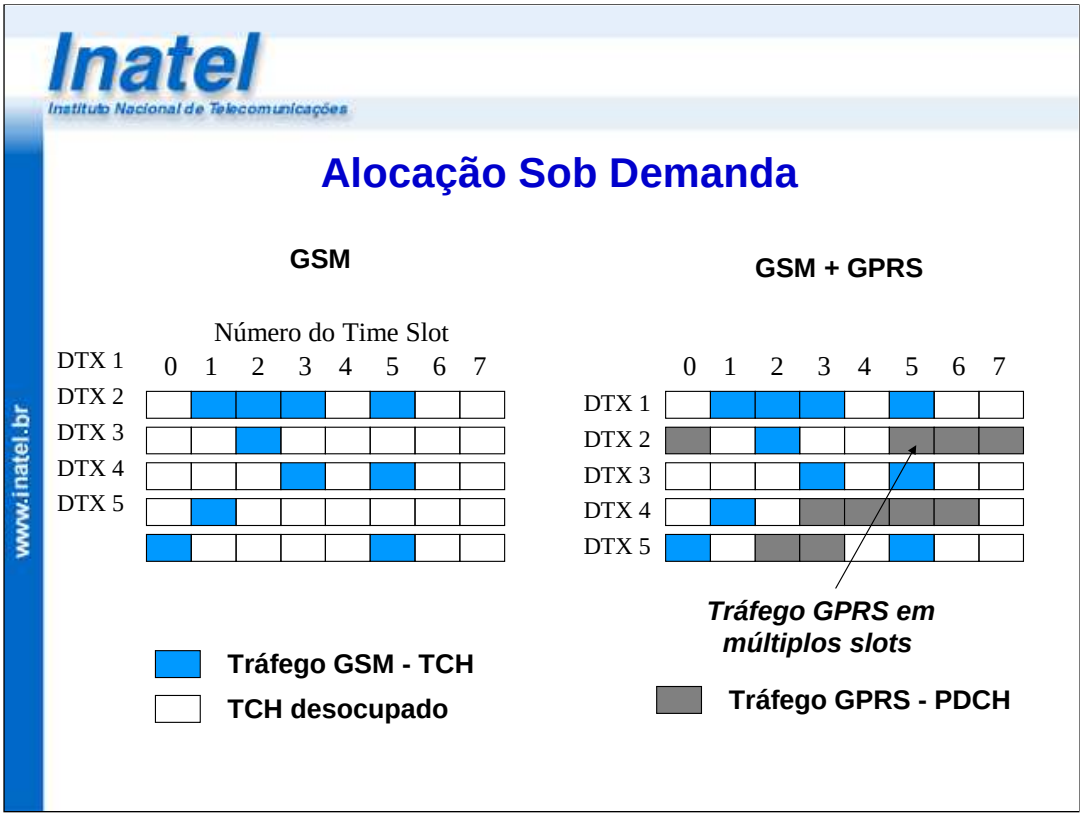
Alocação de canais

Sob demanda: canais são alocados quando necessário e quando houver canal disponível no sistema GSM.

> *Estudos mostram que, quando taxa de bloqueio do GSM é baixa, a capacidade excedente de escoamento de tráfego é suficiente para o serviço GPRS, pelo menos para os primeiros anos de operação do serviço.*

Fixa: Alguns canais são alocados permanentemente como PDCH.

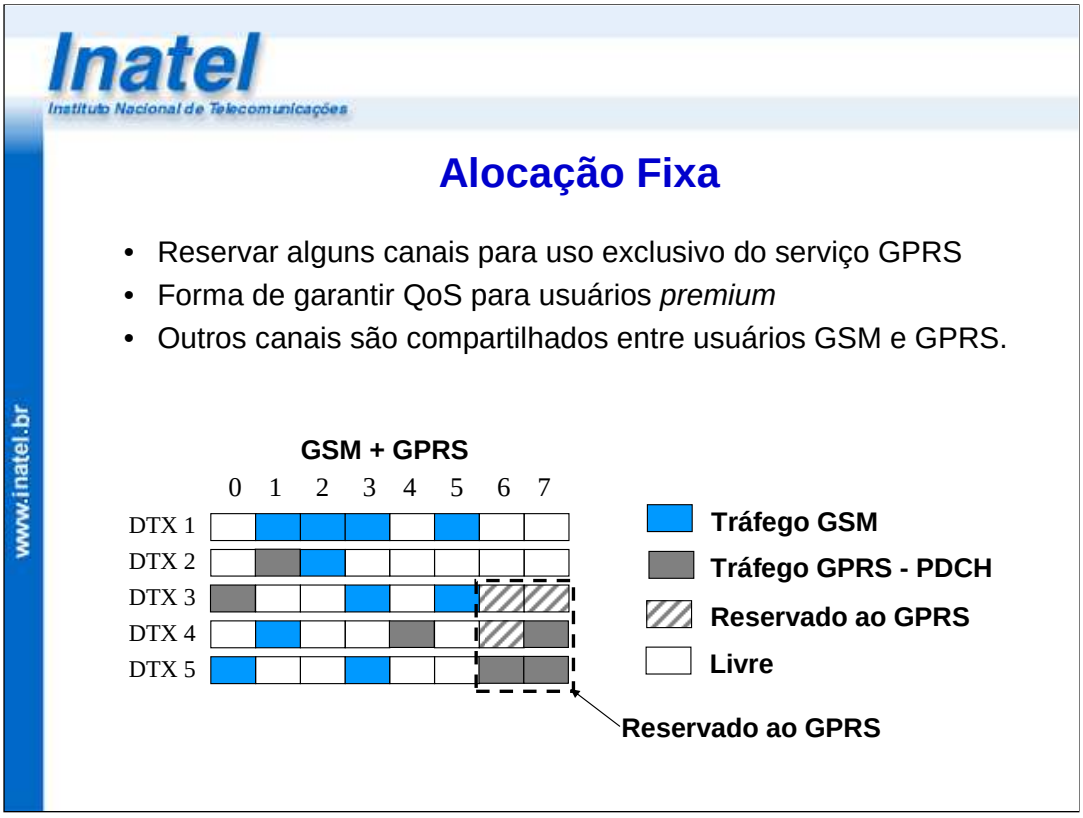
> *Apesar de não melhorar significativamente o desempenho do GPRS (comparado ao esquema "sob demanda"), a alocação fixa pode permitir a garantia de QoS.*



Alocação dos Recursos de Rádio

Uma célula suportando GPRS pode alocar os recursos em um ou vários canais físicos de modo a suportar o tráfego GPRS. Os canais físicos (PDCH), compartilhados pelas MS's GPRS são disponibilizados de um conjunto de canais físicos disponíveis na célula. A alocação de canais físicos para serviços de comutação de circuitos e GPRS é feito dinamicamente de acordo com a demanda.

Sinalização de controle comuns necessárias pelo GPRS em uma fase inicial para a transferência de pacotes é transportada no PCCH, quando alocado, ou no CCCH. Isto permite ao operador somente alocar recursos para GPRS quando necessário, ou seja, quando da necessidade de transferência de pacotes.



Conceito de Capacidade sobre demanda

O GPRS não necessita de alocação de PDCH permanente. A alocação de recursos para o GPRS pode ser baseada na necessidade para a transferência de pacotes atuais, ou referida como princípio de capacidade sobre demanda. O operador pode decidir em dedicar recursos físicos permanentes ou temporários.

Quando os PDCH estiverem congestionados devido a tráfego GPRS, e mais recursos estão disponíveis na célula, a rede pode alocar mais canais físicos como PDCH's. A existência de PDCH's não implica na obrigatoriedade da existência de PCCCH. Quando os PCCCH não foi alocado em uma célula, todas as MS's devem acampar no CCCH.

Uma única identidade de assinante móvel internacional (IMSI – International Mobile Subscriber Identity) deve ser alocada para cada assinante de um sistema GSM.

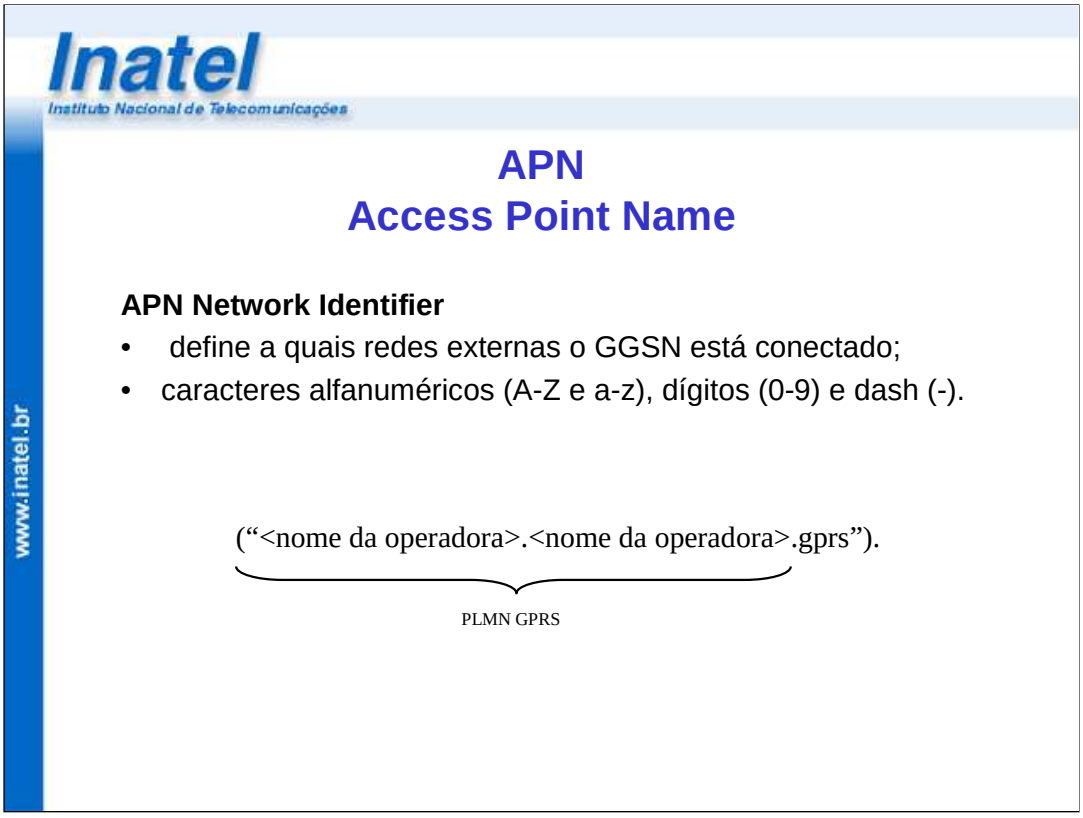
NOTA: Este IMSI é o mesmo conceito definido pelo CCITT como “International Mobile Station Identity”.

A fim de garantir confidencialidade da identidade do assinante os VLR’s e SGSN’s podem alocar Temporary Mobile Subscriber Identities (TMSI) para assinantes móveis visitantes às áreas controladas por estas entidades. Ambos, VLR e SGSN devem ser capazes de correlacionar o TMSI com o IMSI da MS na qual o TMSI tenha sido alocado.

Para uma MS podem ter sido alocados dois TMSI’s, sendo um destes disponibilizado pelo VLR através da MSC e o outro pelo SGSN (P-TMSI).

Para o endereçamento dos recursos utilizados no GPRS, um Temporary Logical Link Identifier (TLLI) é usado. O TLLI para uso é determinado pela MS , podendo ser em função do P-TMSI ou definido diretamente (TLLI aleatório).

De modo a agilizar o processo de busca para dados de assinantes no VLR, uma identidade suplementar, Local Mobile Station Identity(LMSI) é definida. Este pode ser definido pelo VLR na atualização de localização e é enviada ao HLR junto ao IMSI. O HLR não utiliza esta identidade para nenhum uso, mas a envia contida com o IMSI em todas as mesagens enviadas ao VLR relacionadas àquela MS.



No GPRS, um APN é uma referência a um GGSN. Para suportar roaming entre PLMN's, a funcionalidade GPRS DNS (Domain Name Server) interna é usada para traduzir o APN em endereço IP do GGSN.

Estrutura do APN

É composto de duas partes, como segue:

•O APN Network Identifier que define a quais redes externas o GGSN está conectado. Esta parte do APN é obrigatória;

•APN Operator Identifier, que define em qual backbone PLMN GPRS o GGSN está localizado. Esta parte é opcional.

O identificador de operador APN é colocado após o identificador de de rede APN. Um APN consistindo de ambos identificadores corresponde a um nome DNS do GGSN e possui um comprimento de máximo de 100 octetos.

O APN consiste de um ou mais rótulos. Seguindo recomendação RFC 1035, os rótulos devem consistir somente de caracteres alfanuméricos (A-Z e a-z), dígitos (0-9) e dash (-).

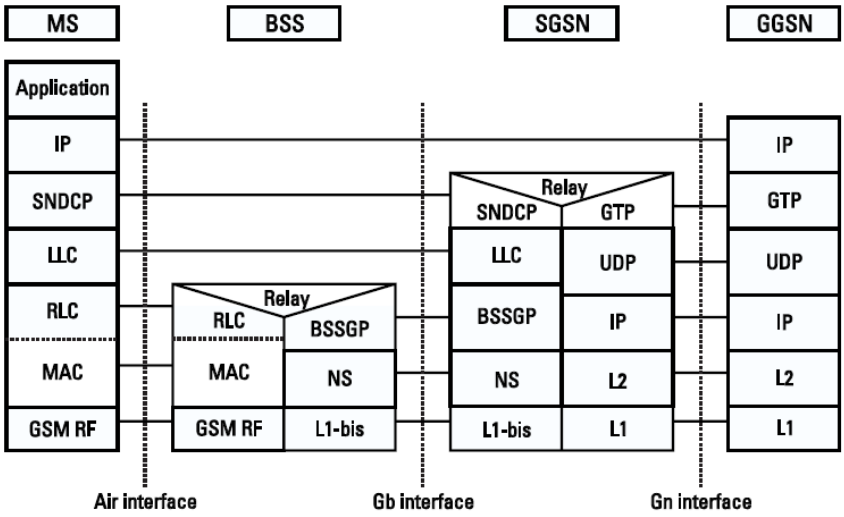
Para o propósito de apresentação, um APN é usualmente mostrado com uma seqüência na qual os rótulos são separados por pontos ("rótulo1.rótulo2.rótulo3").

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Protocolos empregados pelo GPRS/EDGE

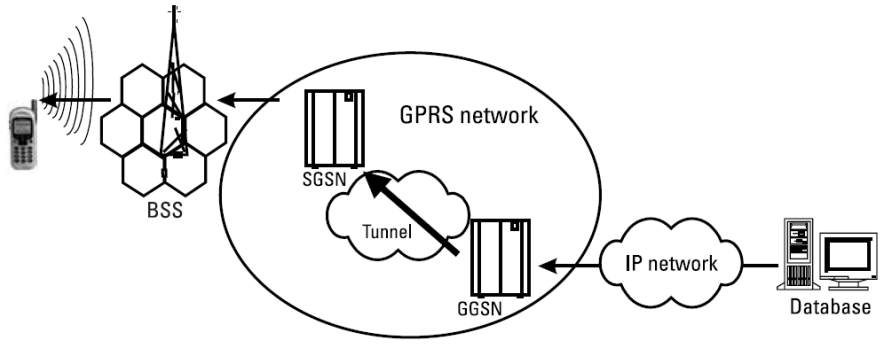
Plano de transmissão



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

GTP – GPRS Tunneling Protocol



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

GTP – GPRS Tunneling Protocol

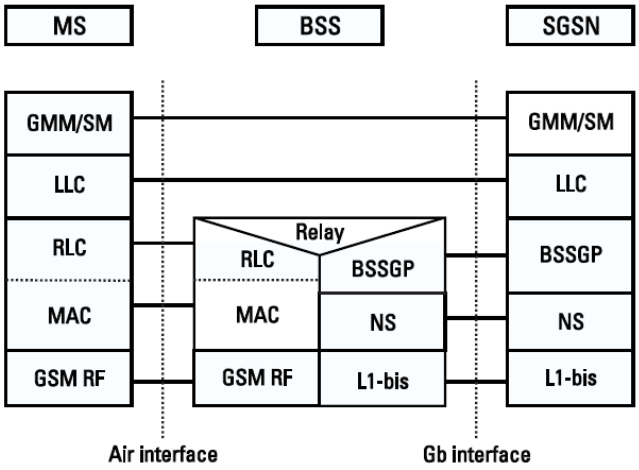
- Provê transporte de pacotes e de sinalização entre os nos da rede de pacotes
- Conexão PtP bidirecional
- Identificado por: TEID (Tunnel Endpoint Identifier), IP adress e UDP port
- Suportam os contextos PDP de mesmo endereço e APN.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Protocolos empregados pelo GPRS/EDGE

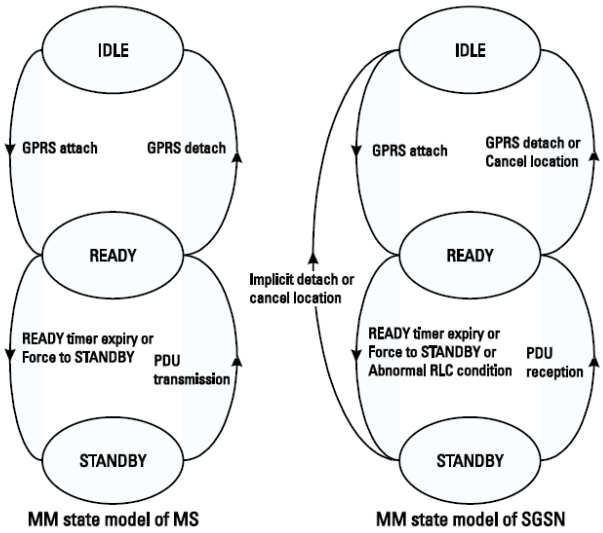
Plano de sinalização



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Estados GMM



MM state model of MS

MM state model of SGSN

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Modos de operação de rede

- Modo I – A rede envia paging para móveis GSM e GPRS pelo mesmo canal lógico de paging (PCH ou PPCH)
- Modo II - A rede envia paging para móveis GSM e GPRS pelo canal lógico de paging PCH
- Modo III - A rede envia paging para móveis GSM pelo PCH e pelo PPCH para os moveis GPRS

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Gerenciamento da mobilidade

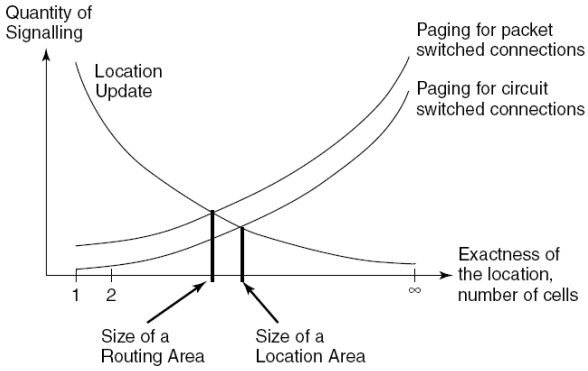
- IMSI Attach
- IMSI Detach
- LA Update
- Periodic registration
- GPRS Attach
  - Normal GPRS Attach
  - Combined attach procedure (MS classe A/B em redes modo I)
- GPRS Detach
  - Normal GPRS detach
  - Combined detach procedure (MS classe A/B em redes modo I)

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Gerenciamento da mobilidade

- RA Update
  - Normal RA Update (MS classe A/B em redes modo II ou III)
  - Periodic RA Update (todas as MS)
  - Combined LA/RA update (MS classe A/B em redes modo I)
  - Combined RA Update and IMSI attach (MS classe A/B em redes Modo III)



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Gerenciamento da mobilidade

- PDP Context Activation
  - Caracteriza conexão com PDN (Packet Data Network) externa
  - Contem o endereço do GGSN – APN
  - Iniciado pela rede ou pela MS
  - Atribuição de endereço IP da MS (estático ou dinâmico)
- PDP Context Modification
  - Mudança de QoS
- PDP context Deactivation

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

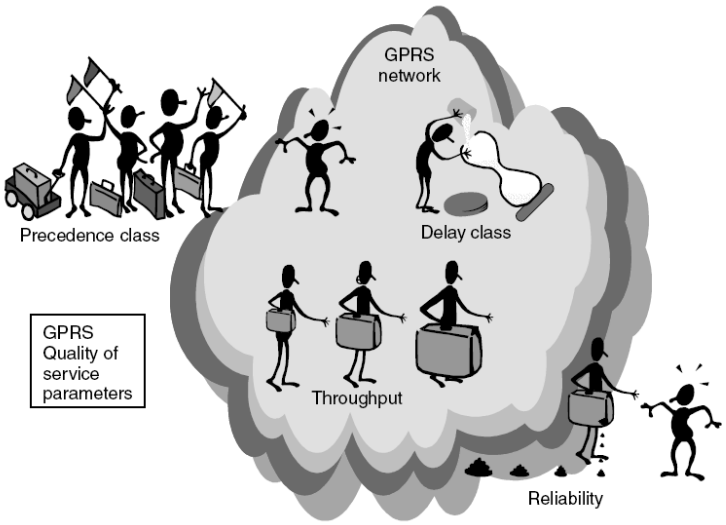
Classes de estações móveis

- MS=ME+TE (Mobile Equipment + Terminal Equipment)
- Classe A – suporta tráfego CS e PS simultaneamente
- Classe B – suporta tráfego CS e PS mas não simultaneamente
- Classe C – suporta tráfego CS ou PS

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

QoS em redes GPRS



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

QoS em redes GPRS

- Classe de precedência
  - Alta
  - Normal
  - Baixa
- Classe de confiabilidade (reliability)

Reliability class	Lost SDU probability (a)	Duplicate SDU probability	Out-of-sequence SDU probability	Corrupt SDU probability (b)	Example of application characteristics
1	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	Error sensitive, no error correction capability, limited error tolerance capability.
2	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	Error sensitive, limited error correction capability, good error tolerance capability.
3	10^{-2}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-2}	Not error sensitive, error correction capability and/or very good error tolerance capability.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

QoS em redes GPRS

- Classe de atraso (delay)

Delay class	Delay (maximum values)			
	SDU size:128 octets		SDU size: 1024 octets	
	Mean transfer delay (sec)	95 percentile delay (sec)	Mean transfer delay (sec)	95 percentile delay (sec)
1 (predictive)	<0.5	<1.5	<2	<7
2 (predictive)	<5	<25	<15	<75
3 (predictive)	<50	<250	<75	<375
4 (best effort)	Unspecified			

- Taxa de transmissão máxima e média

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

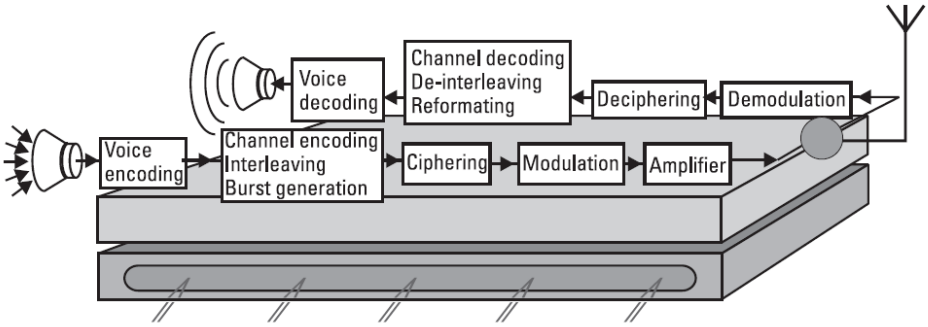
Capítulo 2

Interface Rádio GSM/GPRS/EDGE

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Processamento do Sinal



SIM = subscriber identity module

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Medidas do Link de Rádio feitas pela MS

RXLEV	dBm
0	≤-110
1	-110 ~ -109
2	-109 ~ -108
3	-108 ~-107
⋮	⋮
62	-49 ~ -48
63	> -48

Valores de níveis de sinal no GSM

RXQUAL	% BER
0	< 0,2
1	0,2 ~0,4
2	0,4 ~0,8
3	0,8 ~ 1,6
4	1,6 ~3,2
5	3,2 ~6,4
6	6,4 ~12,8
7	> 12,8

Nível de Qualidade no GSM

Medidas do Link de Rádio

No GSM a MS utiliza o BSIC (Base Station Identity Code) para diferenciar as BTS's vizinhas.

Os valores de nível de sinal (***RXLEV***) e valor do nível de qualidade do sinal (***RXQUAL***) utilizadas no GSM são ilustradas nas tabelas acima. Handover inter-células irá ocorrer da célula servidora para uma célula vizinha quando ***RXLEV*** e/ou ***RXQUAL*** é menor na célula servidora e melhor na célula vizinha. Handover intra-célula irá ocorrer quando ***RXLEV*** é alto, mas ***RXQUAL*** é baixo.

A MS monitora o nível de sinal das BTS vizinhas e mantém uma lista das seis mais fortes BTS não servidores. Uma nova BTS é selecionada da lista se:

•O critério de perda no percurso para a BTS servidora não é atendido durante 5 segundos;

•O link de sinalização com a BTS servidora falhe;

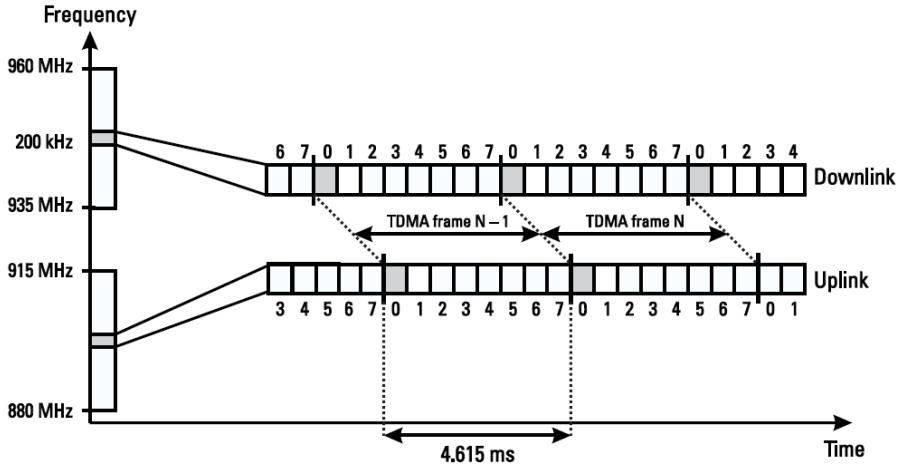
•A BTS servidora torna-se barrada;

•O nível do sinal (SS – Signal Strengh) da célula não servidora deve ser maior que o SS da servidora mais histerese durante 5 s.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

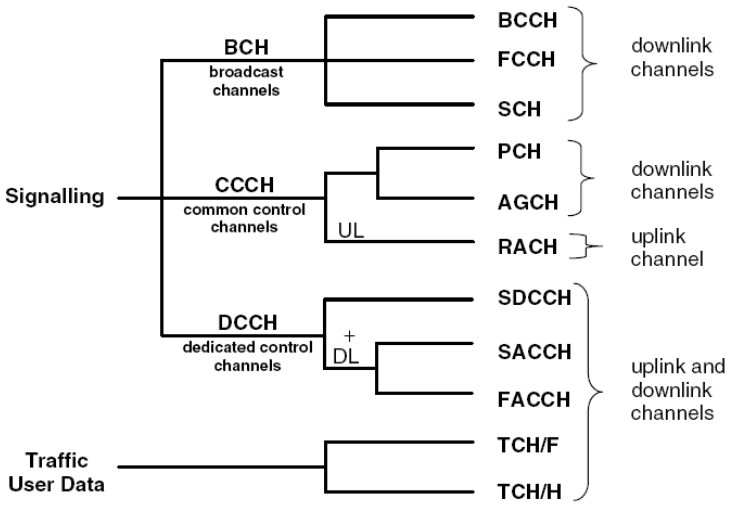
Múltiplo acesso FDMA/TDMA



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

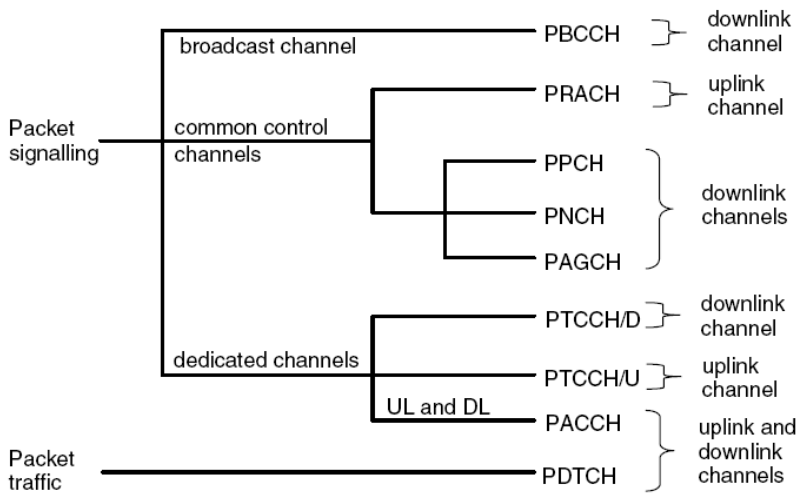
Canais lógicos GSM



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Canais lógicos GPRS/EGPRS



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Canais Lógicos

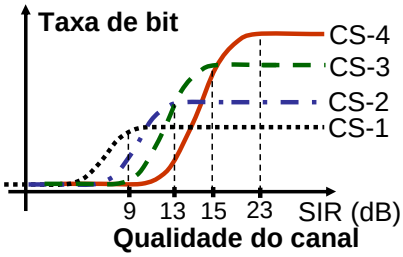
Logical Channel	Abbreviation	Uplink/ Downlink	Task
Packet broadcast control channel	PBCCH	DL	Packet system information broadcast
Packet paging channel	PPCH	DL	MS paging for downlink transfer establishment
Packet random access channel	PRACH	UL	MS random access for uplink transfer establishment
Packet access grant channel	PAGCH	DL	Radio resource assignment
Packet timing advance control channel	PTCCH	UL/DL	Timing advance update
Packet associated control channel	PACCH	UL/DL	Signaling associated with data transfer
Packet data traffic channel	PDTCH	UL/DL	Data channel

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Esquemas de codificação GPRS

Scheme	Code Rate	USF	Pre-coded USF	Radio Block excl. USF and BCS	BCS	Tail Bits	Coded Bits	Punctured Bits	Data Rate (Kbps)
CS-1	1/2	3	3	181	40	4	456	0	9.05
CS-2	≈2/3	3	6	268	16	4	588	132	13.4
CS-3	≈3/4	3	6	312	16	4	676	220	15.6
CS-4	1	3	12	428	16	—	456	—	21.4

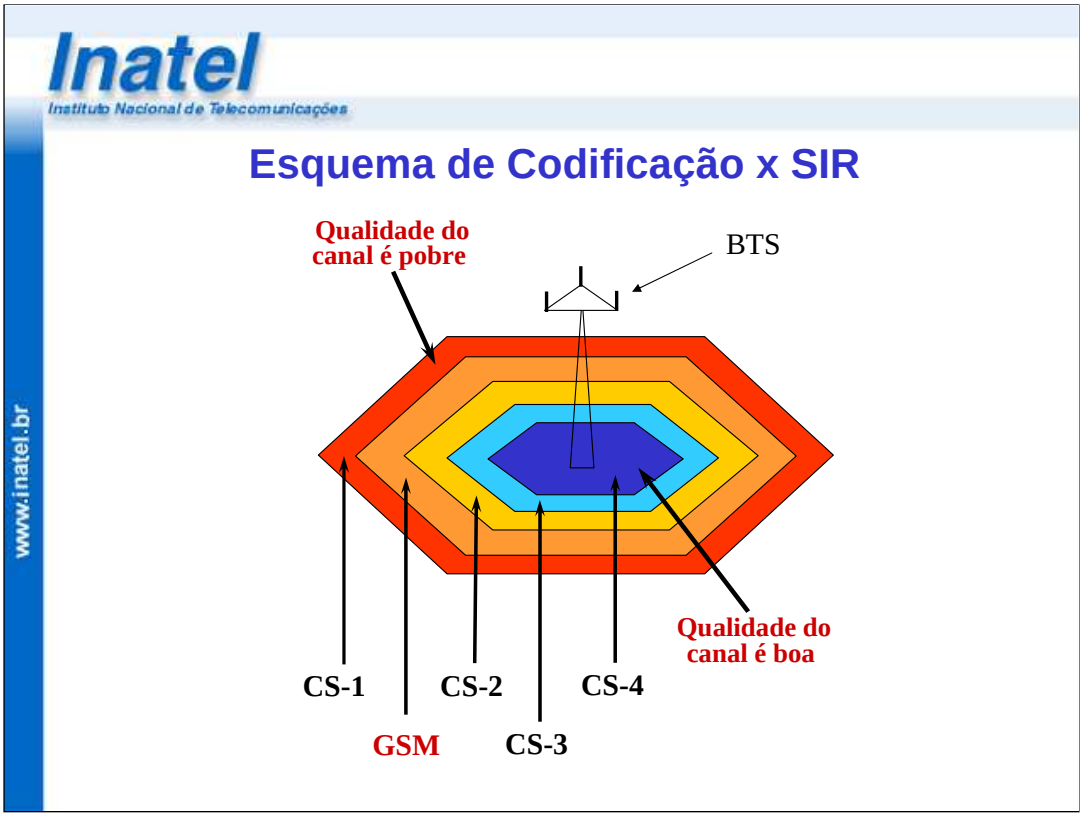


Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Esquemas de codificação e modulação EDGE(EGPRS)

Modulation and Coding Scheme	Modulation	Maximum Throughput (Kbps)
MCS-9	8-PSK	59.2
MCS-8	8-PSK	54.4
MCS-7	8-PSK	44.8
MCS-6	8-PSK	29.6
MCS-5	8-PSK	22.4
MCS-4	GMSK	17.6
MCS-3	GMSK	14.8
MCS-2	GMSK	11.2
MCS-1	GMSK	8.8



Tem-se dentro da área de cobertura de uma célula diferentes relações SNR. Quanto mais próximo da BTS um móvel estiver, maior será o nível do sinal recebido, tanto do ponto de vista da MS quanto da BTS, aumentando-se assim, a SNR.

Sabendo-se que quanto mais próximo do ponto de radiação do sinal, a relação SNR será maior, o sistema pode dinamicamente , em função do deslocamento da MS, escolher o melhor esquema de codificação que atenda as qualidades que o canal de comunicação exige.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

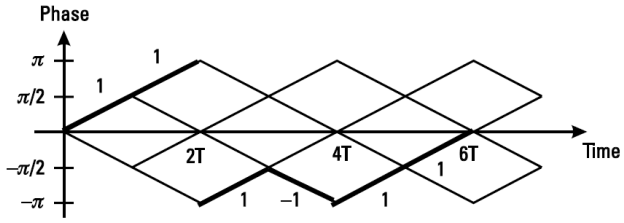
Modulação GMSK

Modulação CPFSK

$$m(t) = A_0 \cos\left(2\pi f_0 t + \varphi(t)\right)$$

$$\varphi(t) = 2\pi h \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \alpha_k q(t - kT)$$

MSK = CPFSK com h=1/2

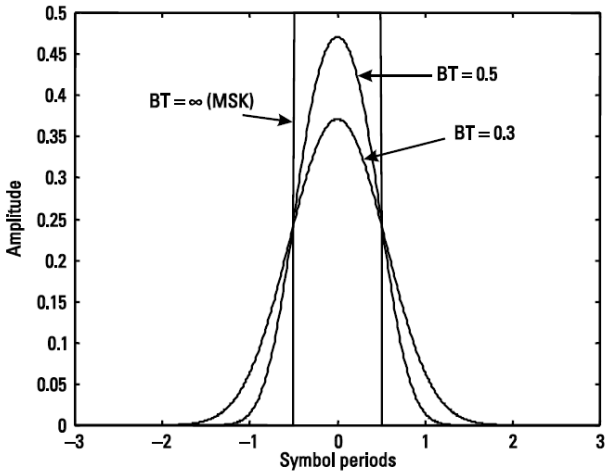


Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Modulação GMSK

Formatação do pulso

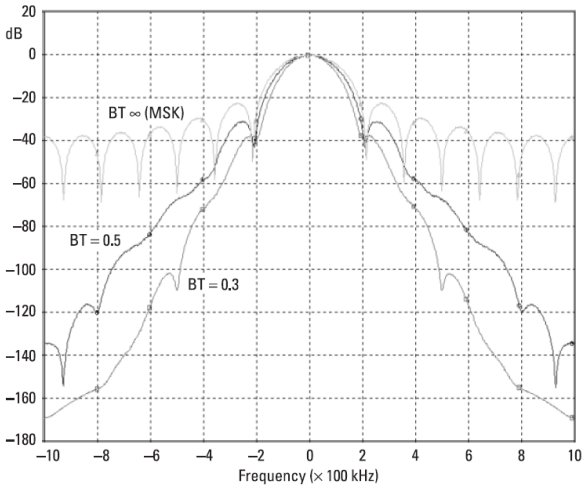


Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Modulação GMSK

Densidade espectral de potência



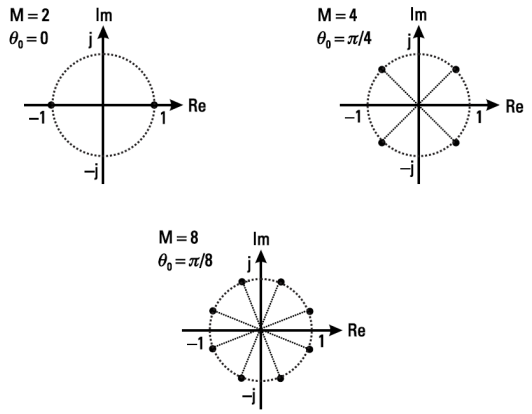
Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Modulação 8PSK

$$m(t) = A_0 \cos\left(2\pi f_0 t + \varphi(t)\right)$$

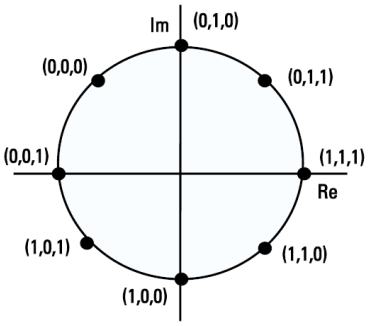
$$\varphi(t) = \sum_k \phi_k \delta(t - kT)$$



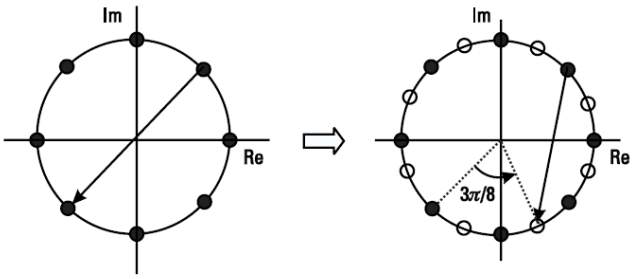
Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Modulação 8PSK – mapeamento Gray



Rotação de fase de 3π/8

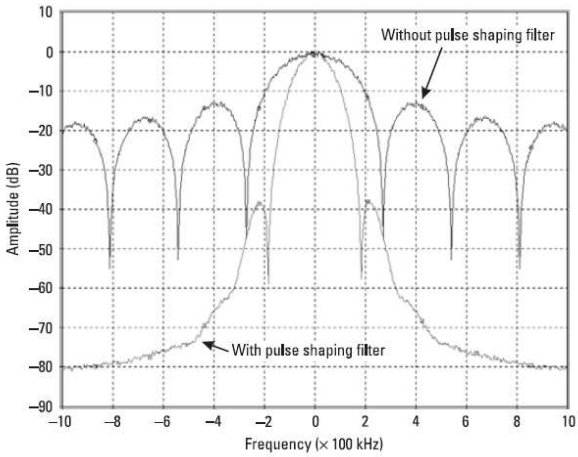


Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Modulação 8PSK

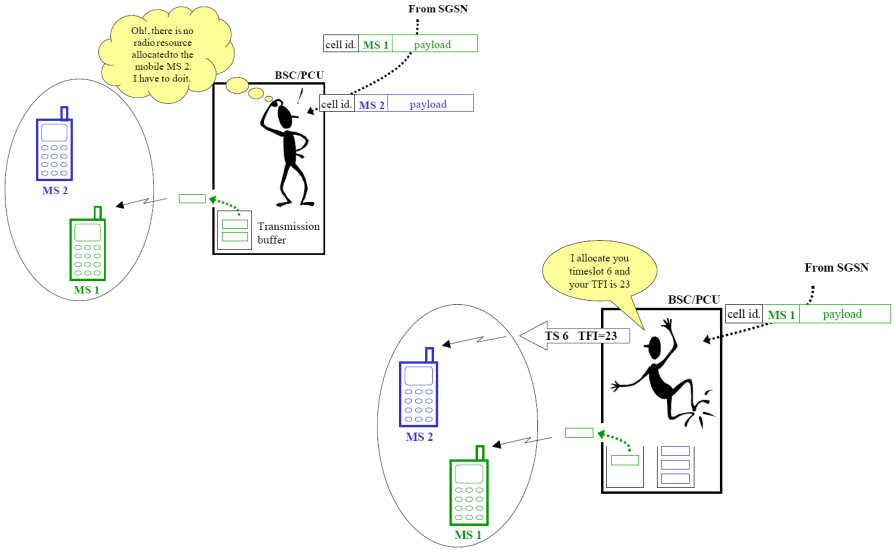
Densidade espectral de potência



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

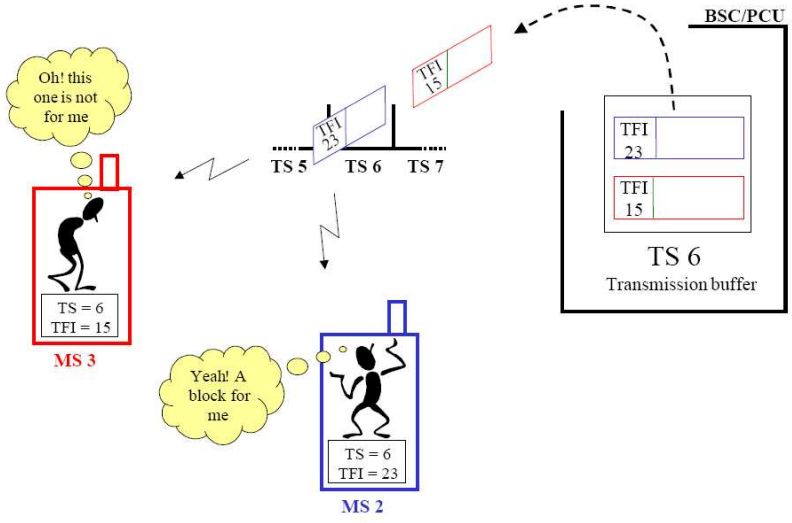
Alocação de recursos de downlink



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

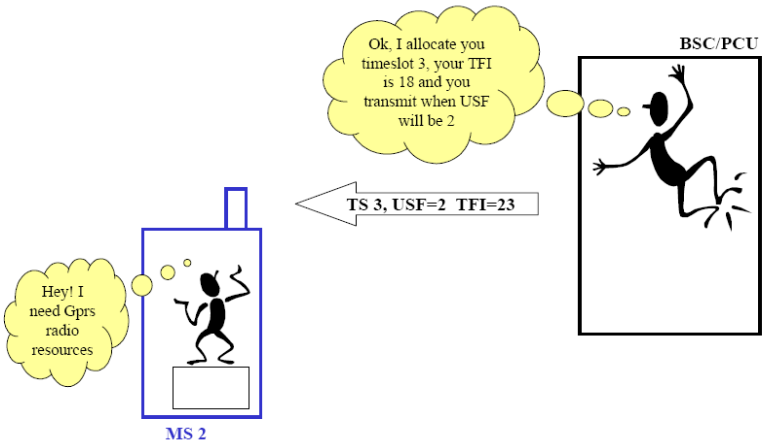
Transferência de dados no downlink



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

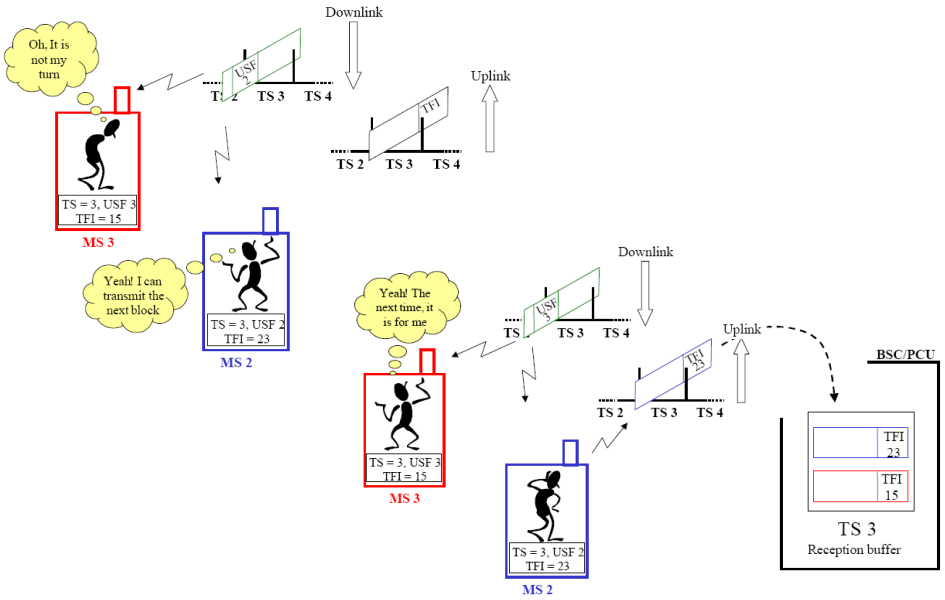
Alocação de recursos no uplink



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

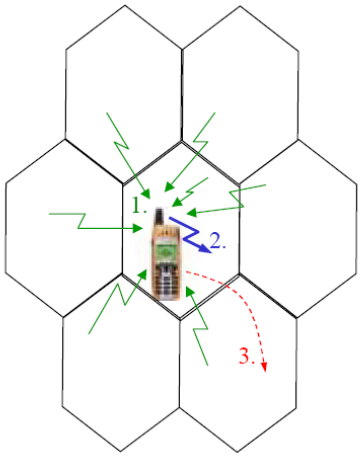
Transmissão de dados no uplink



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Mudança de célula - GSM



1. MS performs radio measurement on the adjacent cells and on its own cell.

2. MS sends measurement reports to the network.

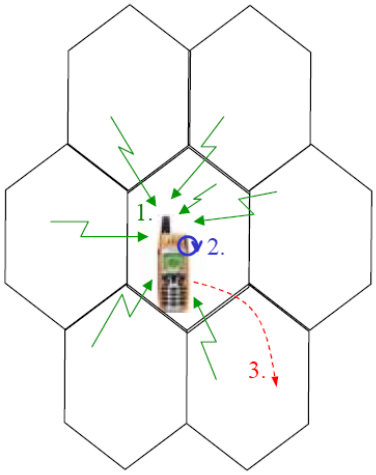
3. According to those reports, the network:
   - decides when the MS have to change cell
   - which is the new cell
   - allocates radio resource in the new cell to the MS

This step is called Hand Over.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Mudança de célula – GPRS/EDGE



1. MS performs radio measurement on the adjacent cells and on its own cell.

2. MS computes re-selection criteria to determine if it needs to change cell and which one will be the best.

3. According to re-selection criteria, MS decides
   - when it has to change cell
   - which cell is the best

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

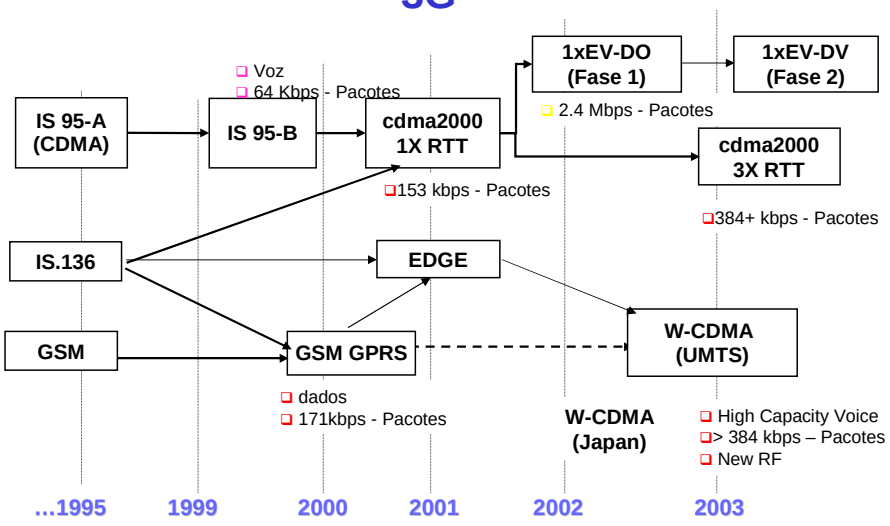
Capítulo 3

Evolução do sistema GSM/GPRS/EDGE: WCDMA, HSDPA e LTE

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Evolução dos Sistemas Celulares para 3G



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Evolução do Sistema WCDMA

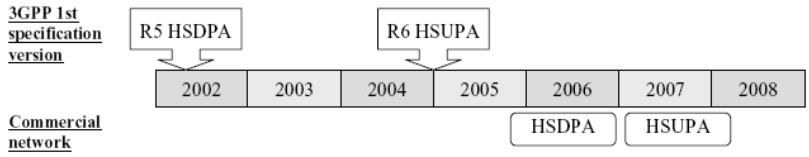
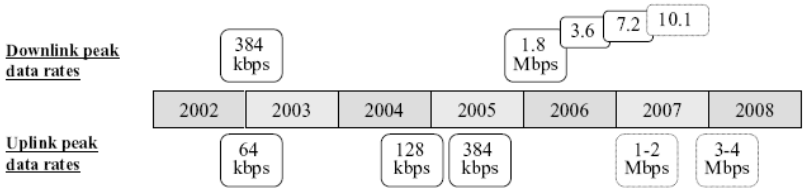


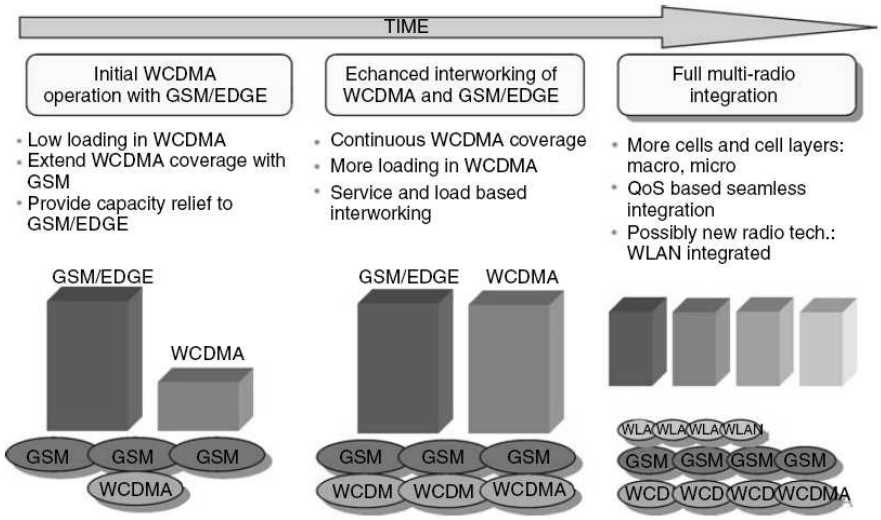
Figure 1.5 HSPA standardization and deployment schedule.



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

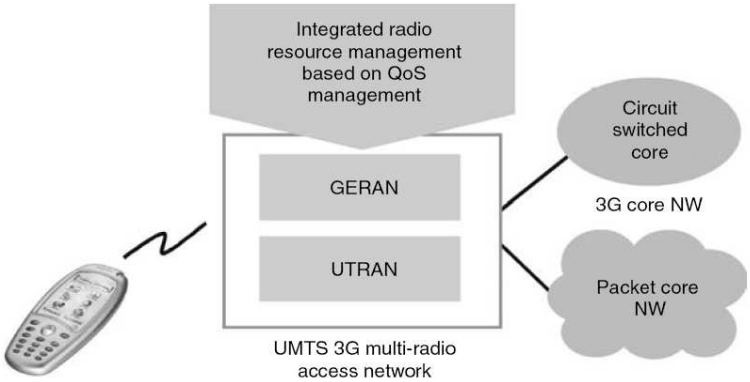
Cenário "futuro"



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

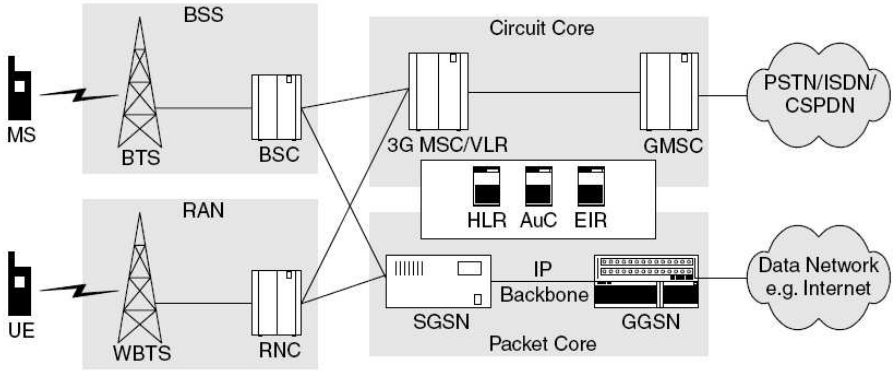
Redes GERAN e UTRAN



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

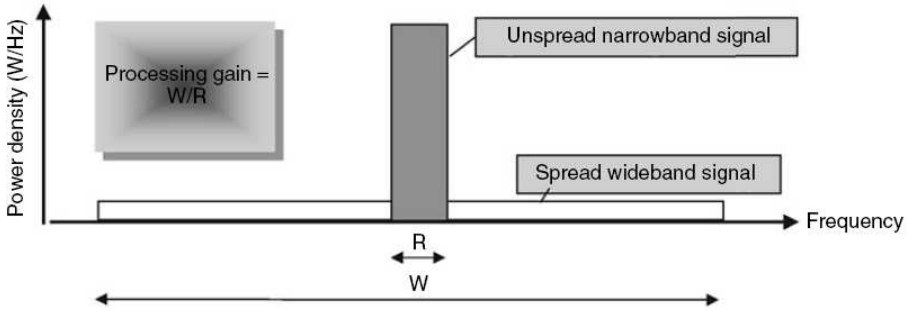
Redes GERAN e UTRAN



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

WCDMA – Princípio básico



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Tecnologia de Múltiplo Acesso e Duplexação

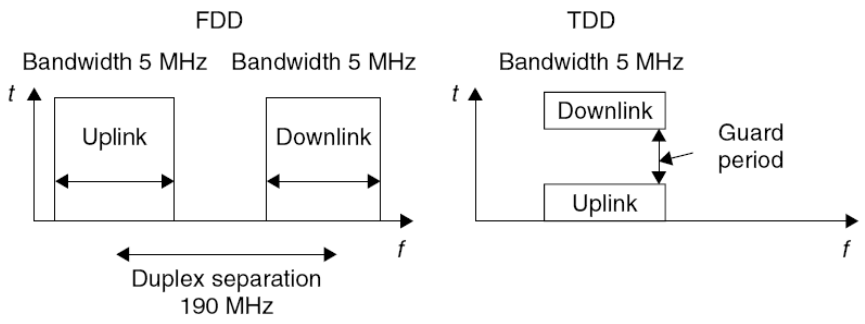
- Tecnologias duplex
  - Por divisão no tempo (TDD - Time division duplex)
  - Por divisão na freqüência (FDD Frequency division duplex)
- Tecnologias de Múltiplo Acesso
  - Múltiplo Acesso por Divisão em Freqüência (FDMA)
  - Múltiplo Acesso por Divisão no Tempo (TDMA)
  - Múltiplo Acesso por Divisão de Códigos (CDMA)
  - Múltiplo Acesso Divisão de Freqüências Ortogonais (OFDMA)

Um sistema WCDMA pode operar em modos de duplexação FDD e TDD, sendo o FDD o mais empregado e difundido no mundo. Tal modo consiste do uso de freqüências distintas para up e down link. O sistema WCDMA emprega 3 técnicas de múltiplo acesso de forma conjunta: FDMA, TDMA e CDMA. A técnica OFDMA é empregada no sistema LTE, que é considerada a evolução do HSxPA para sistemas de quarta geração.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Modos de operação do sistema WCDMA



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Características do sistema CDMA

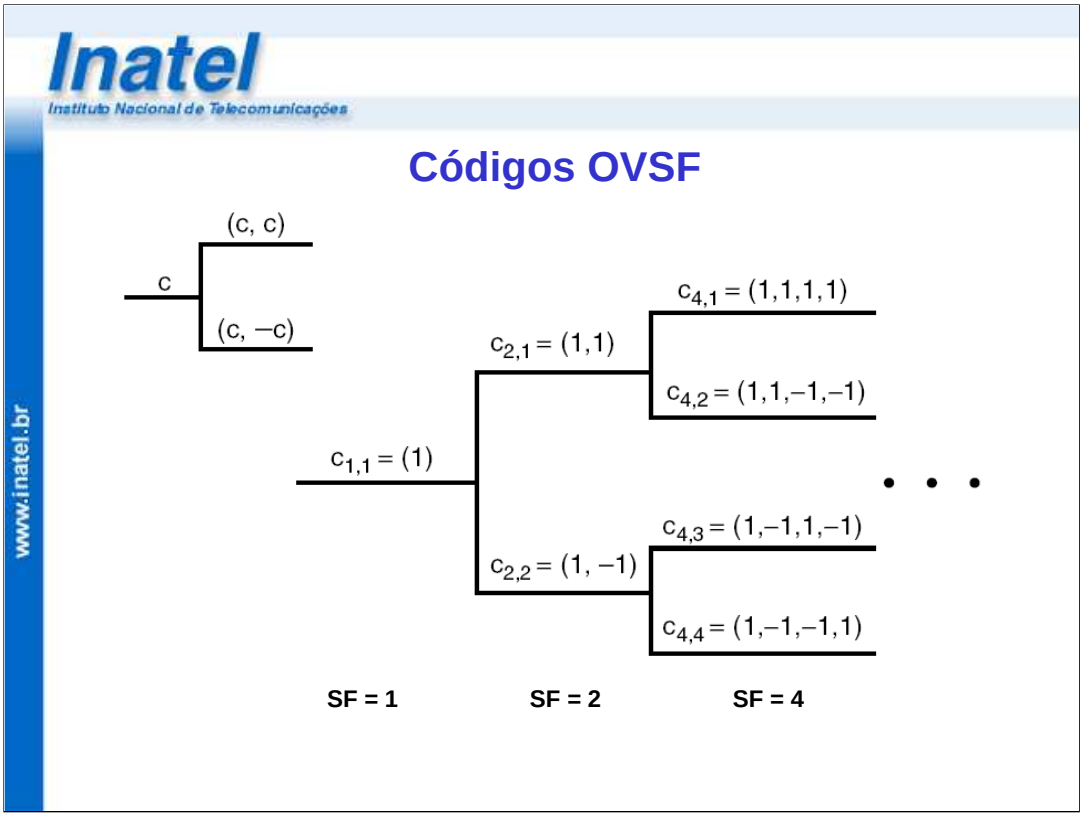
- Alta eficiência espectral
  - Reuso de freqüências com N=1
- Capacidade variável (cell breathing)
  - Qualidade
  - Cobertura
  - Capacidade
  - Interferência
- Sistema com interferência mútua
  - A potência de transmissão de uma UE gera interferência em outros UE

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

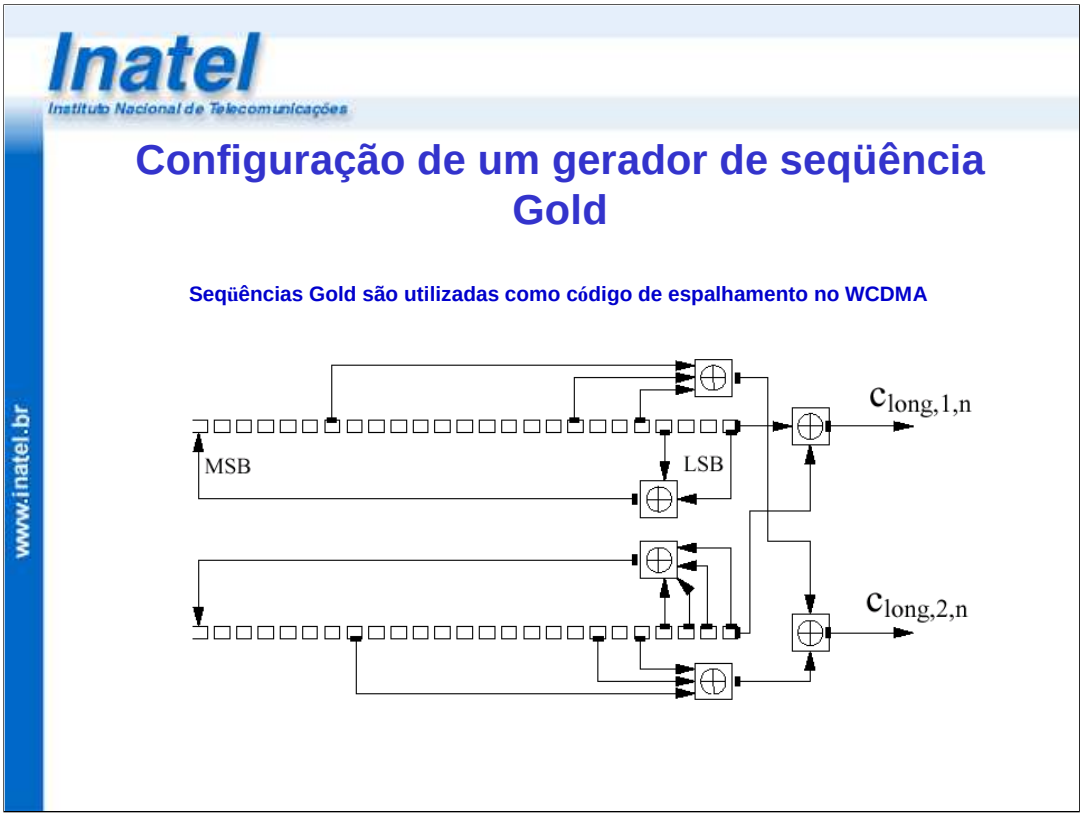
www.inatel.br

Características do sistema WCDMA

Multiple access method	DS-CDMA
Duplexing method	Frequency division duplex/time division duplex
Base station synchronisation	Asynchronous operation
Chip rate	3.84 Mcps
Frame length	10 ms
Service multiplexing	Multiple services with different quality of service requirements multiplexed on one connection
Multi-rate concept	Variable spreading factor and multicode
Detection	Coherent using pilot symbols or common pilot
Multi-user detection, smart antennas	Supported by the standard, optional in the implementation



Codigos OVSF são códigos empregados como canalização em um sistema CDMA. Estes códigos são perfeitamente ortogonais entre si. Desta forma, não provocam interferência mutua a não ser nos casos onde a ortogonalidade é prejudicada pela propagação por múltiplos percursos. Os códigos OVSF são construídos pela árvore de códigos mostrada na transparência e são numerados como: $Cch_{SF,k}$ onde SF é o fator de espalhamento e k é o número do código. Observe que temos 2 códigos com SF=2, 4 códigos com SF=4, 16 códigos com SF=16 e assim por diante.



As sequências scrambling longas $C_{long,1,n}$ e $C_{long,2,n}$ são conseguidas através da soma módulo 2 entre duas sequências PN geradas a partir de dois polinômios de ordem 25.Estes dois polinômios, são definidas à partir da primitiva $x = X^{25} + X^{3} + 1$ e pelo polinômio $y = X^{25} + X^{3} + X^{2} + X + 1$. A seqüência resultante constitui segmentos de um conjunto de sequências Gold.

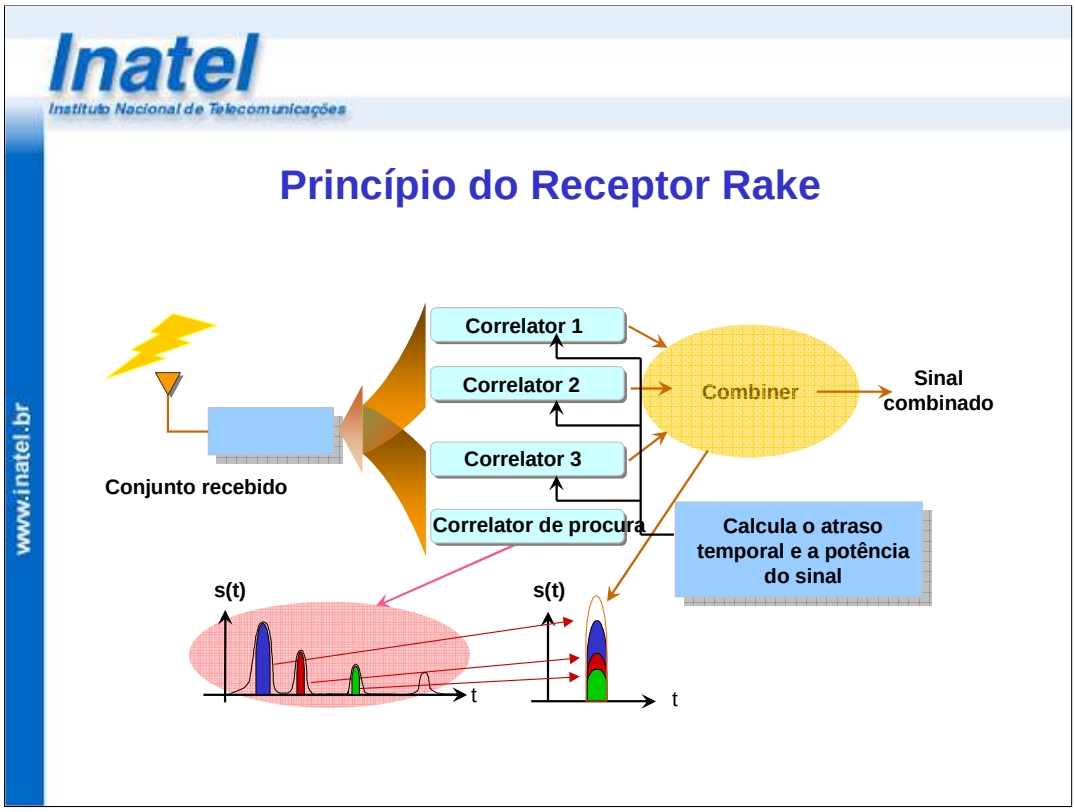
A seqüência $C_{long,2,n}$ é uma versão atrasada de 16777232 chips da seqüência $C_{long,1,n}$.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Utilização dos códigos

	Uplink direction	Downlink direction
Scrambling codes	User separation	Cell separation
Channelisation codes	Data and control channels from the same terminal	Users within one cell
Spreading code	Channelisation code × scrambling code	Channelisation code × scrambling code



Em um canal com múltiplos percursos, o sinal transmitido reflete em obstáculos no percurso até o receptor, que por sua vez recebe várias cópias do sinal original com diferentes atrasos. Estes sinais podem ser recebidos e combinados utilizando um receptor Rake. Este receptor rake é composto de vários correlatores, conhecidos como "*fingers*", onde cada um sincroniza com um sinal dos múltiplos percursos. Após o de-espalhamento pelos correlatores, os sinais resultantes são combinados. Dado que os mesmos apresentam características de desvanecimentos independentes, tem-se o efeito de uma diversidade, melhorando o desempenho do sistema.

Um sinal individual recebido por um correlator do RAKE pode ser muito fraco para possibilitar uma decisão correta sobre o bit recebido. Entretanto, combinando-se vários sinais em um receptor Rake, aumenta-se a probabilidade de detecção correta e reduz a taxa de erros de bit.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Vantagens do CDMA

- Receptor RAKE é adotado
  - O efeito da diversidade no tempo gerado pelo tempo de coerência é utilizado eficientemente.
- Diversidade em freqüência
  - Espectro de freqüência banda larga
- Alta tolerância a interferência e segurança
  - Baixa potência de transmissão de sinal
- Grande flexibilidade para o transporte de múltiplos serviços com alta diversidade quanto a taxa de bits e necessidades de QoS (Quality of Service).
  - Diferente fator de espalhamento (SF) para diferentes serviços e taxas de dados
- Alta eficiência espectral
  - Todos os usuários podem compartilhar o mesmo espectro de freqüências simultaneamente.
- Suporte a soft handover e softer handover.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Introdução às técnicas de diversidade

Técnicas de Diversidade são utilizadas para obter sinais não correlacionados para posterior combinação

- Reduzir os efeitos do desvanecimento
  - fast fading causado por múltiplos percursos
  - Slow fading causado por sombreamento
- Melhora a confiabilidade na comunicação
- Melhora a cobertura e capacidade
- Diversidade microscópica: Soft handover

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Diversidade Microscópica

- Diversidade no tempo
  - Receptor Rake Receiver, intercalação
- Diversidade em Freqüência
  - O sinal é distribuído por uma portadora faixa larga
- Diversidade espacial
  - Diversidade de recepção
  - Diversidade de transmissão
- Diversidade em Polarização
  - Polarização Vertical
  - Polarização Horizontal

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Métodos básicos de combinação

- Maximal-Ratio Combiner
  - Os sinais de múltiplos percursos são compensados proporcionalmente ao seu SNR e então somados.
- Equal-Gain Combiner
  - É similar ao maximal-ratio combining, mas não há compensação dos sinais antes da adição.
- Selection Combiner
  - Escolhe o sinal com a maior qualidade instantânea, e desta forma a qualidade de saída é equivalente ao melhor sinal de entrada.

As estações móveis podem manter a conexão com a rede celular, quando estiver em deslocamento par auma outra célula. O procedimento no qual comuta uma conexão de uma dada célula para outra é conhecido como *handover (HO)* ou handoff. É possível que um HO não envolva a mudança de células e sim uma mudança dos recursos de rádio.

HOs no CDMA são fundamentalmente diferentes dos HOs em um sistema TDMA. Enquanto que o HO em um sistema TDMA é um procedimento relativamente curto, esta situação em um sistema CDMA pode durar um grande tempo no Soft Handover (SHO).

No SHO, um UE fica conectado simultaneamente a mais de uma estação base. O UE recebe as transmissões de downlink de duas ou mais estações base. Para este propósito deve ser empregado um dos ramos do receptor RAKE para cada um dos sinais das estações base, podendo este sinal ser comparado a um multiplo percurso. Do ponto de vista do UE, não existe muita diferença entre estar conectado a uma ou várias estações base; mesmo no caso de uma estação base, um EU deve estar preparado para receber várias componentes de múltiplos percursos do mesmo sinal utilizando o seu receptor RAKE. Como todas as estações base utilizam a mesma portadora em um SHO, um UE pode considerar os sinais como simplesmente componentes de multipercursos adicionais.

Uma importante diferença entre uma componente de multipath e uma ramo do SHO é que cada ramo no SHO é codificado com um código de espalhamento diferente, enquanto que as compontens de multipath são versões atrasadas do mesmo sinal.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

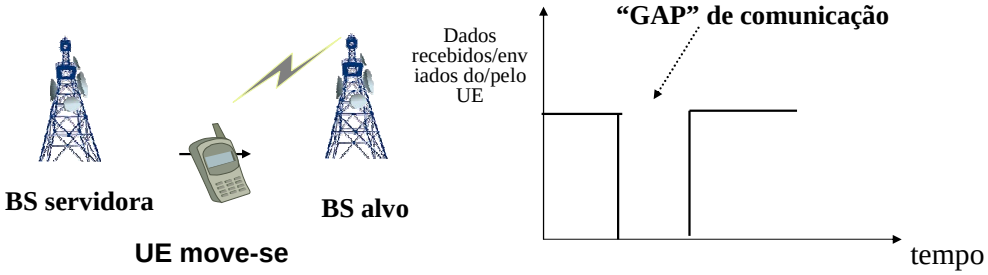
Categorias de handover

- De acordo com as características de sinalização:
  - Soft/softer handover
  - Hard handover
- De acordo com as propriedades da célula servidora e da célula alvo:
  - Intra-frequency handover
  - Inter-frequency handover
  - Inter-mode handover (FDD <-> TDD)
  - Inter-system handover (UMTS <-> GSM/CDMA2000)
- De acordo com a proposta do handover:
  - Baseado em cobertura
  - Baseado em carga (Opcional)
  - Baseado em mobilidade do UE (Opcional)
  - Baseado em Serviço (Opcional)

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Hard handover

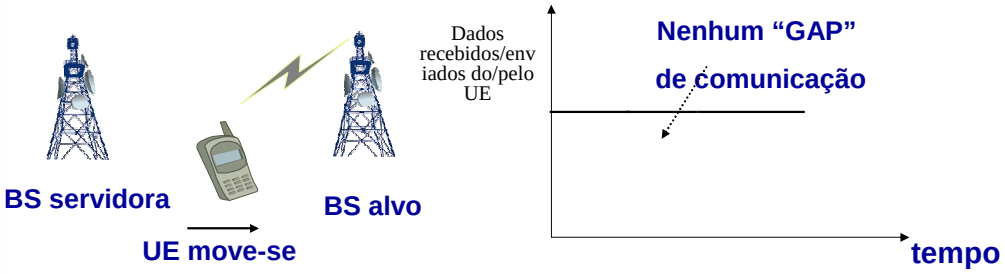


- Características do hard handover:
  - HHO causa uma desconexão temporária em serviços de tempo real (RT) e não provoca perdas em serviços que não são de tempo real.
  - O UE deve ser equipado com dois receptores ou suportar modo comprimido (compressed mode) para efetuar medidas entre sistemas.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Soft Handover



- **Características do soft handover**
  - Seamless handover: não há desconexão do radio access bearer.
  - Para permitir um nível de recepção suficiente para manter a comunicação, os sinais recebidos de múltiplas células devem ser combinados a nível de símbolo quando o UE mover-se em áreas de bordas entre células.
  - O ganho de macro diversidade alcançado pela combinação de sinais recebidos no NodeB (softer handover) ou no RNC (soft handover) melhora a qualidade de sinal de uplink , diminuindo a potência de transmissão do UE.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Softer Handover

- Para o soft handover, a combinação de múltiplos RL utiliza maximum ratio combination (RAKE combination) no downlink e selection combination no uplink.

- Quando duas células envolvidas no soft handover pertencentes a um mesmo NodeB, maximum ratio combination pode ser utilizado no uplink. Neste caso o handover é softer handover.

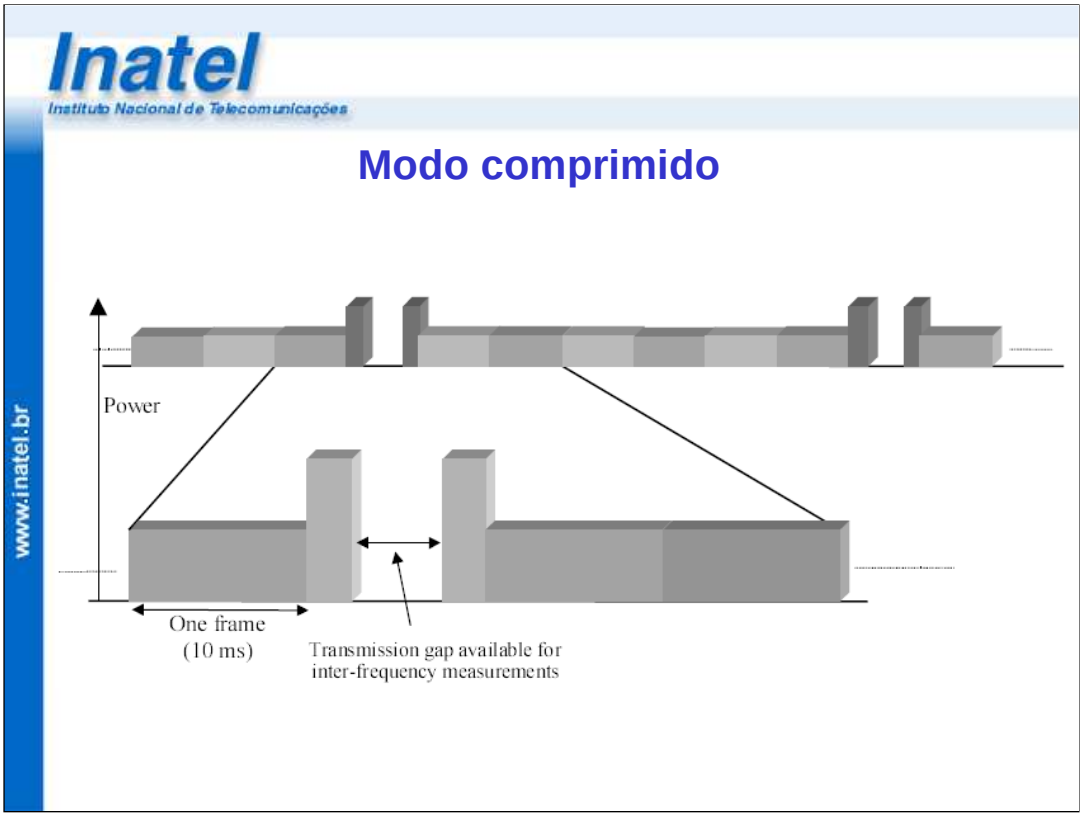
- Softer handover possui alta prioridade nos esquemas de handover pois maximum ratio combination possui um maior ganho em relação selection combination.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Handover como forma RRM

- Prover serviço ininterrupto no sistema é elemento básico de QoS
- Balanceamento de carga: compartilhar recursos entre células
- A hierarquia é dividida por velocidade e serviço: alta eficiência de utilização de recursos



O objetivo do modo comprimido e permitir que uma UE WCDMA possa executar operações entre sistemas diferentes como GSM/GPRS/EDGE. Tais operações podem ser handover entre sistemas e aquisição de celulas de outros sistemas. Para isso, o UE WCDMA necessita de um período de inatividade para que o mesmo posa executar medições em células de outros sistemas. Tais intervalos são chamados de Transmission Gaps.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

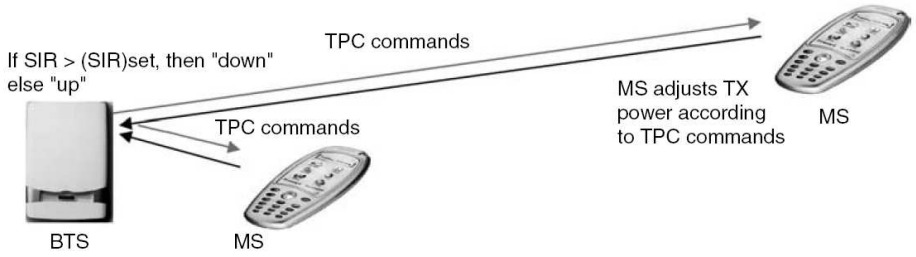
Métodos para obtenção do TG

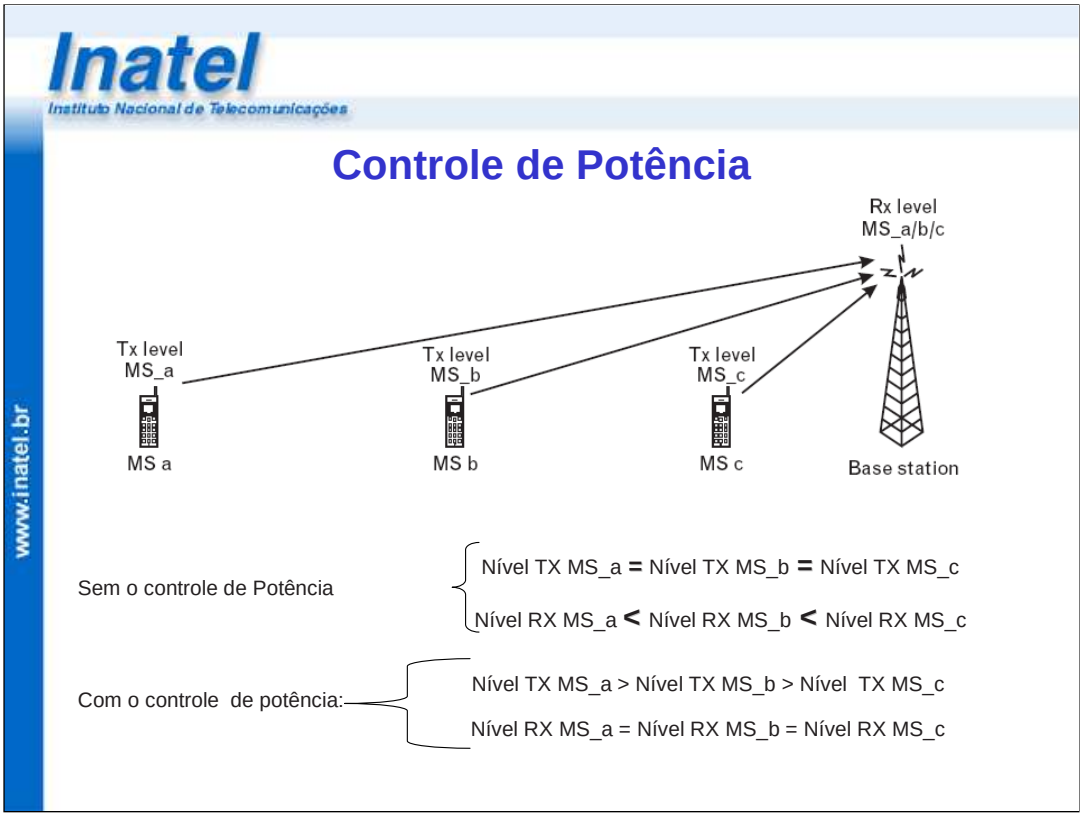
- Puncturing:
  - A redução do número de bits transmitidos é obtida por um processo de extração de determinados bits
  -
- Redução do SF:
  - Neste processo o SF dos canais a serem transmitidos antes e depois do TG é reduzido pela metade
- Camadas superiores
  - As camadas superiores irao permitir que somente os TFC apropriados sejam usados

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Controle de potência em sistemas WCDMA

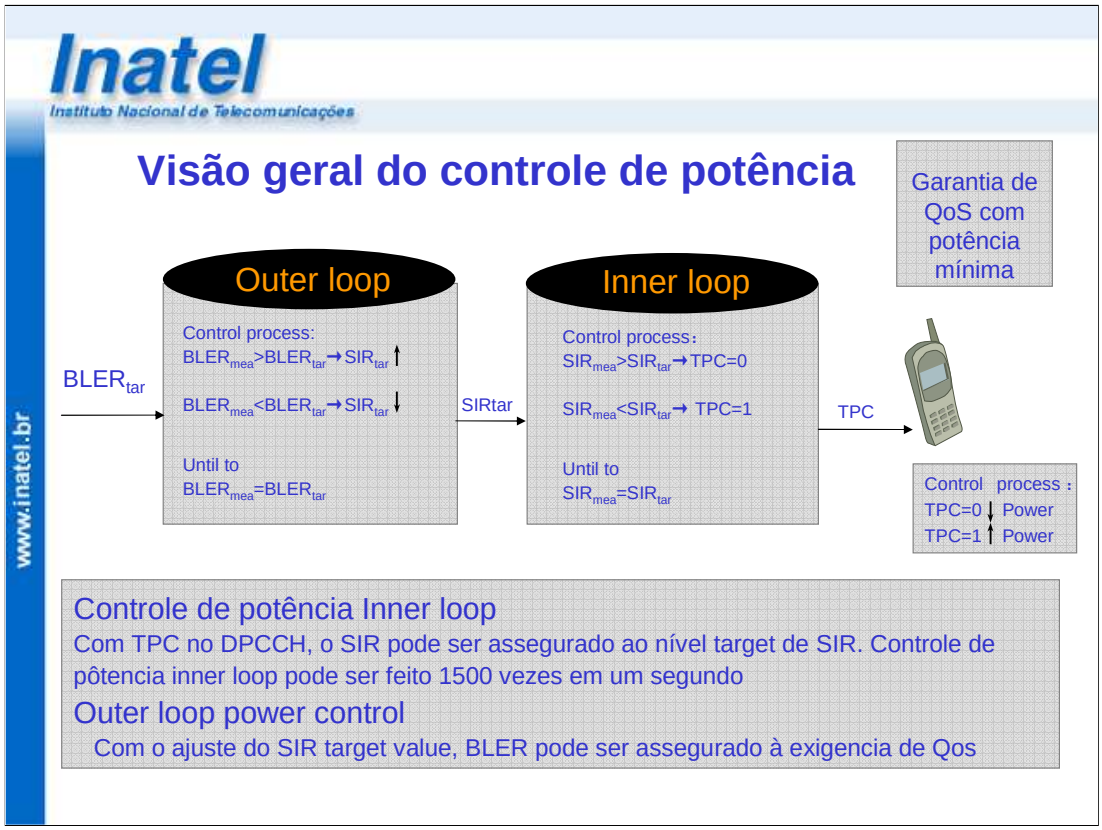




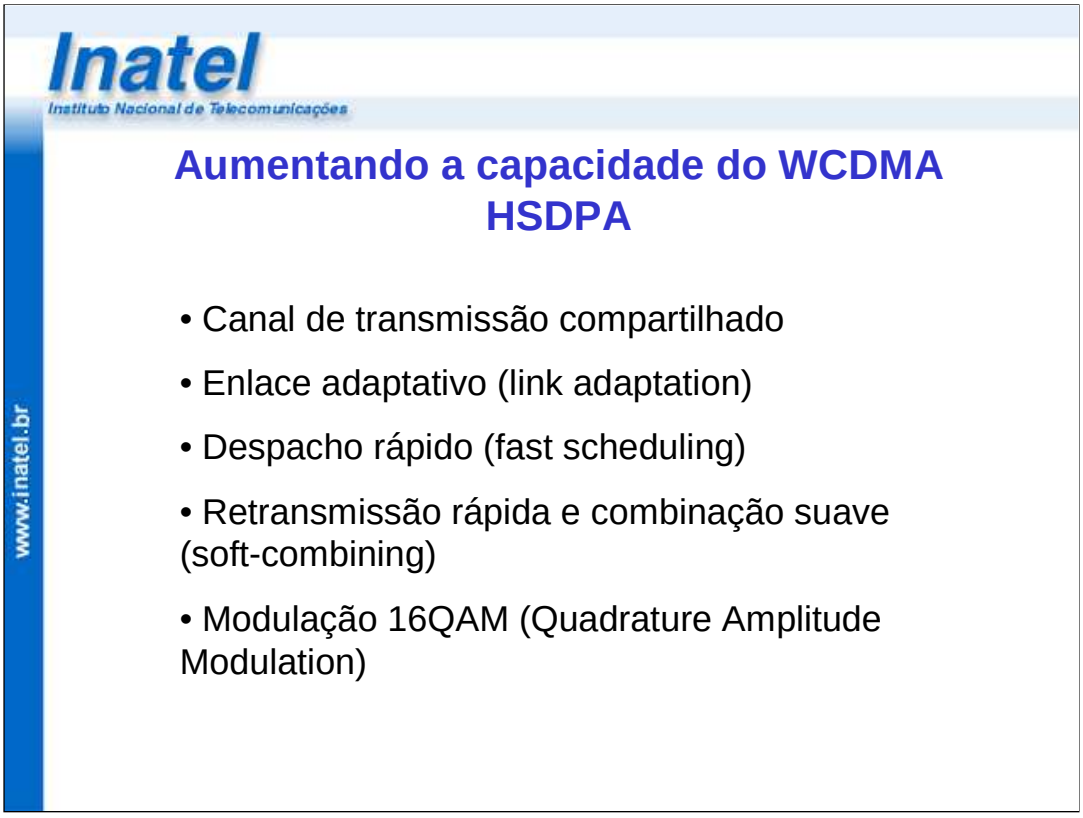
Existem dois tipos básicos de controle de potência: open loop e closed loop.

A técnica de controle de potência de loop aberto necessita que a entidade transmissora meça a interferência do canal e ajuste a sua potência de transmissão apropriadamente. Isto pode ser executado rapidamente, mas o problema é que a estimativa de interferência é executa no sinal recebido, e o sinal transmitido provavelmente utiliza uma portadora diferente. Como o desvanecimento rápido de uplink e downlink não são correlacionados , este método permite que o valor de exato de potência esteja próximo de um valor médio. No modo TDD, por utilizar a mesma portadora para uplink e donwlink, o controle de potência de loop aberto alcance uma precisão adequada.

Na técnica de controle de potência de loop fechado, as medidas são executadas pelo outro lado da conexão na estação base, e o resultado sãop enviados de volta para a estação móvel, para que esta possa ajustar a sua potência de transmissão. Este método disponibiliza resultados muito melhores do que o método do loop aberto, mas não pode reagir a mudanças rápidas nas condições do canal. O exposto é o controle de potência de uplink, mas a mesma técnica pode ser empregada no donwlink.



O UTRAN FDD utiliza um controle de potência de loop fechado rápido tanto no uplink e downlink. Neste método a relação sinal ruído (SIR - *signal-tointerference ratio*) é medido sobre o período de 667 ms (1 TS), e baseado neste valor, uma decisão é tomada a respeito de ter que se aumentar ou diminuir a potência de transmissão do outro lado da conexão. Os bits de controle de potência de transmissão (TPC - *transmit power control*) são enviados em cada time slot de uplink e downlink. Não existe sinal neutro e todos os sinais de controle de potência contêm um comando para se aumentar ou diminuir.



Um benefício adicional do HSPA é o aumento da capacidade da rede (throughput). Para a operadora, isto significa a redução do custo do bit trafegado. O HSPA aumenta a capacidade da rede de várias formas:

• Canal de transmissão compartilhado, o que resulta em um uso eficiente dos recursos de codificação e potência do WCDMA.

• Intervalo de tempo de transmissão reduzido (short TTI – Transmission Time Interval), o que diminui o tempo total de ida e volta da informação e melhora o rastreamento de variações rápidas dos canais.

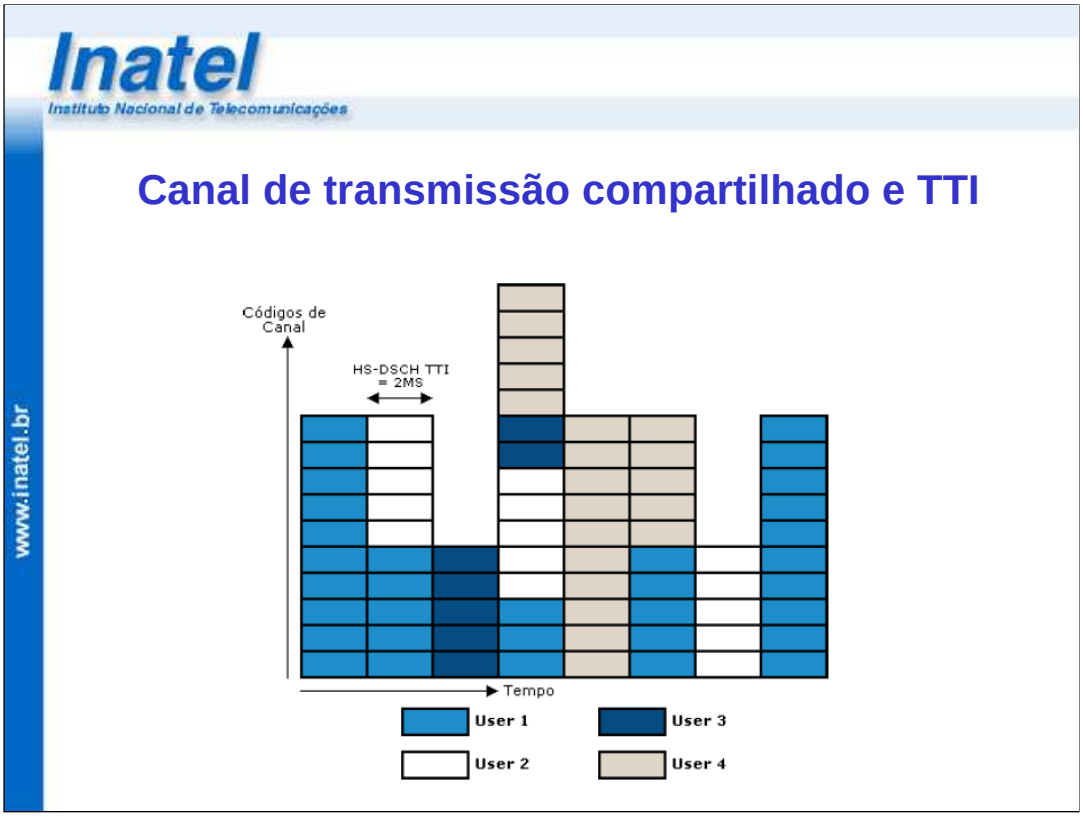
• Enlace adaptativo (link adaptation), o que maximiza o uso do canal e permite que a Base Station (BS) opere próxima de sua potência máxima.

• Despacho rápido (fast scheduling), o que prioriza usuários que tenham as condições de canal mais favoráveis.

• Retransmissão rápida e combinação suave (soft-combining), o que aumenta a capacidade do sistema.

• Modulação 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation), o que proporciona altas taxas de transmissão de dados.

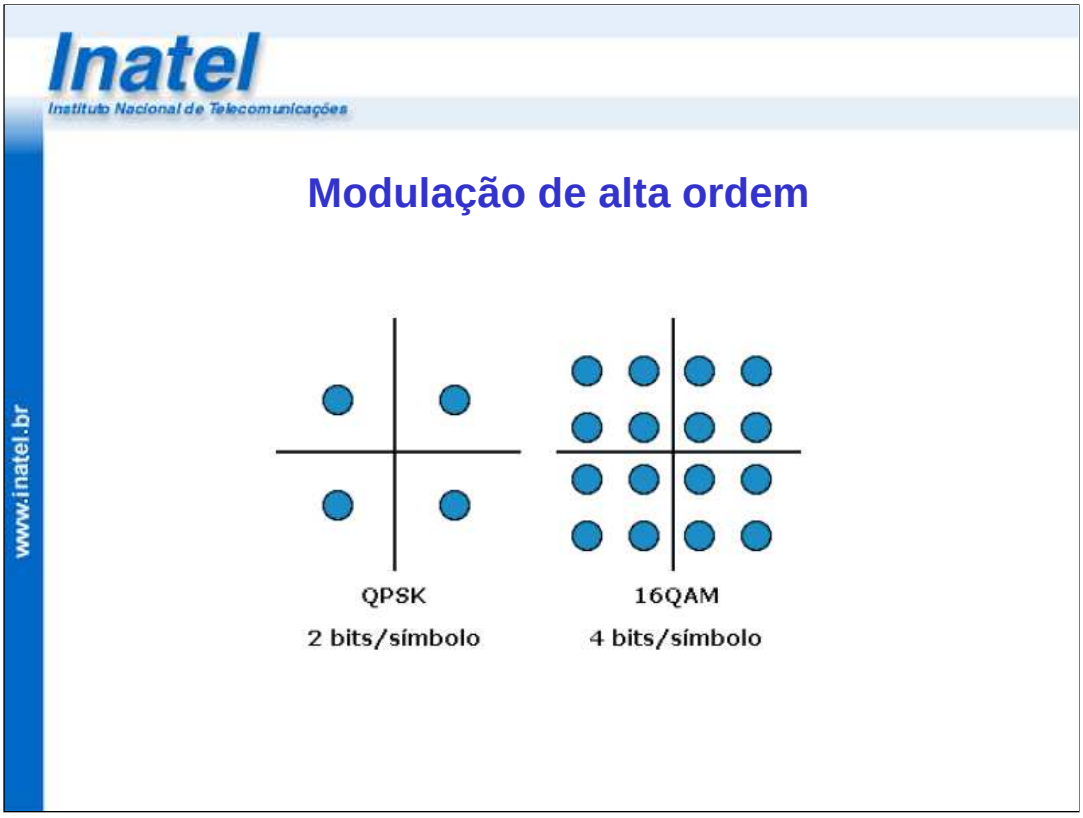
Dependendo da rede implantada, a capacidade final, comparada com o padrão WCDMA 3GPP Release 99, é 5 (cinco) vezes maior no downlink e 2 (duas) vezes maior no uplink.



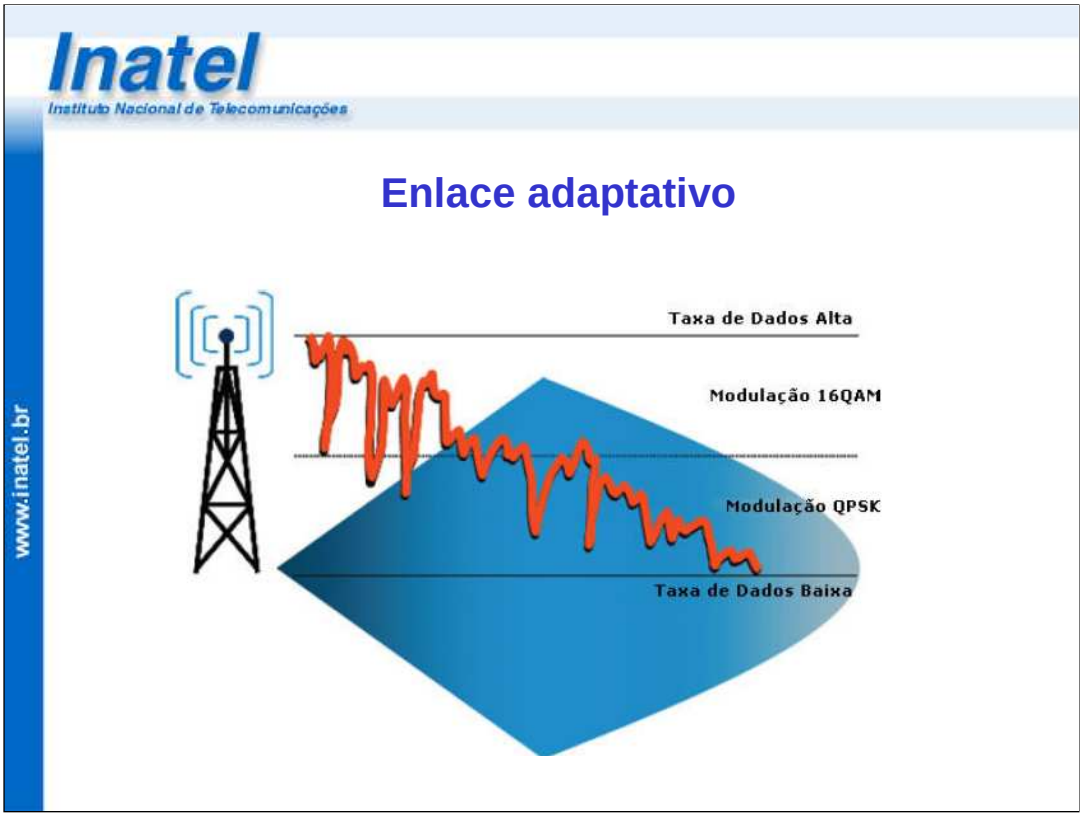
HSDPA é baseado na transmissão através de canais compartilhados, o que significa que alguns códigos de canal e a potência de transmissão da célula são usados como recursos comuns que são dinamicamente compartilhados entre os usuários nos domínios de tempo e de códigos.

A transmissão através de canais compartilhados tem como resultado o uso mais eficiente tanto dos códigos de canal como da potência disponível do WCDMA, se comparado com o uso de canais dedicados do WCDMA 3GPP Release 99.

O conjunto de códigos compartilhados que pode ser usado para mapear o HS-DSCH é composto por até 15 códigos. O número de códigos usados vai depender do número de códigos suportados pelo terminal ou sistema de usuário, da configuração adotada pela operadora e da capacidade de sistema da rede. Pode ser configurado um valor fixo ou podem ser usados algoritmos de comportamento dinâmico para maximizar o uso de códigos de canal numa portadora compartilhada entre o Release 99 e o HSDPA

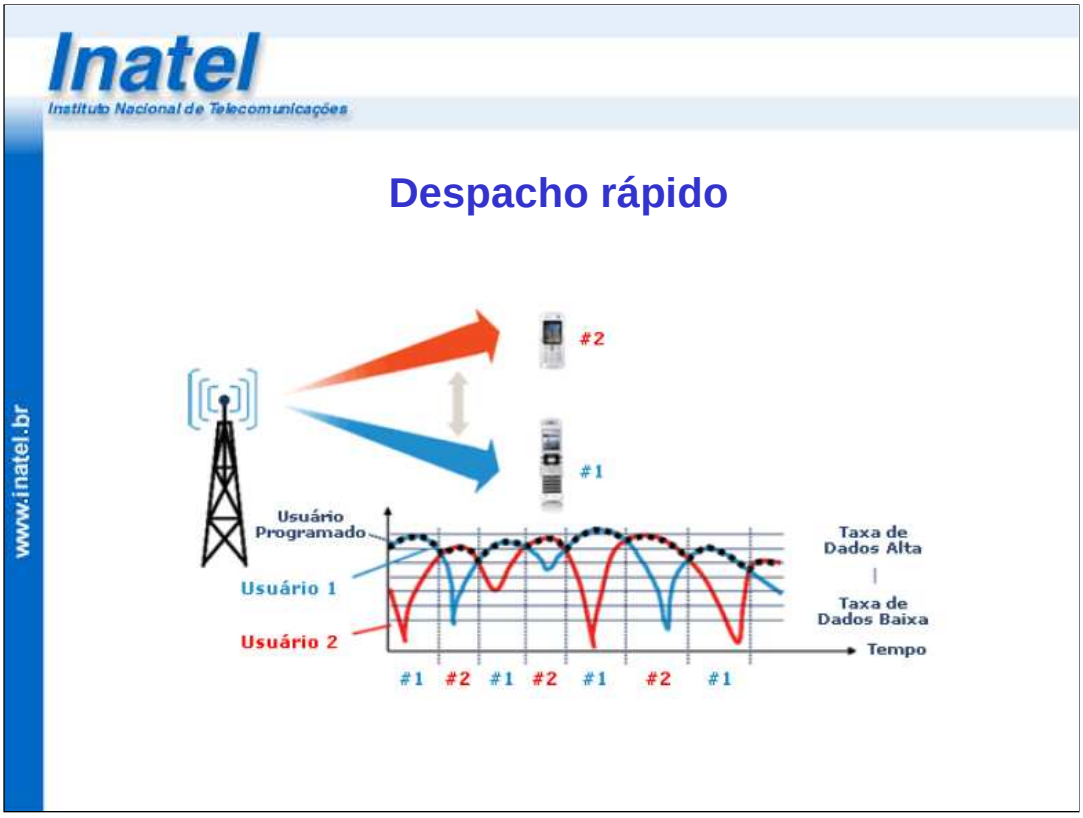


O WDCMA 3GPP Release 99 usa a modulação Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) para transmissão no downlink. Além do QPSK, o HSDPA também pode usar o 16 Quadrature Amplitude Modulation (16QAM) para fornecer taxa alta transmissão de dados. Como o 16QAM tem capacidade de pico de transmissão de dados 2 (duas) vezes maior que o QPSK, o seu uso da largura de banda é mais eficiente. O QPSK utiliza 2 (dois) bits por símbolo e 16QAM utiliza 4 (quatro) bits por símbolo.



As condições de propagação dos canais de rádio enlace encontradas em diferentes comunicações de downlink variam significantemente, tanto no tempo como entre posições diferentes na célula. Cada terminal de usuário que utiliza serviços com altas taxa de dados transmite informações regulares sobre a qualidade dos canais para a Base Station (BS).

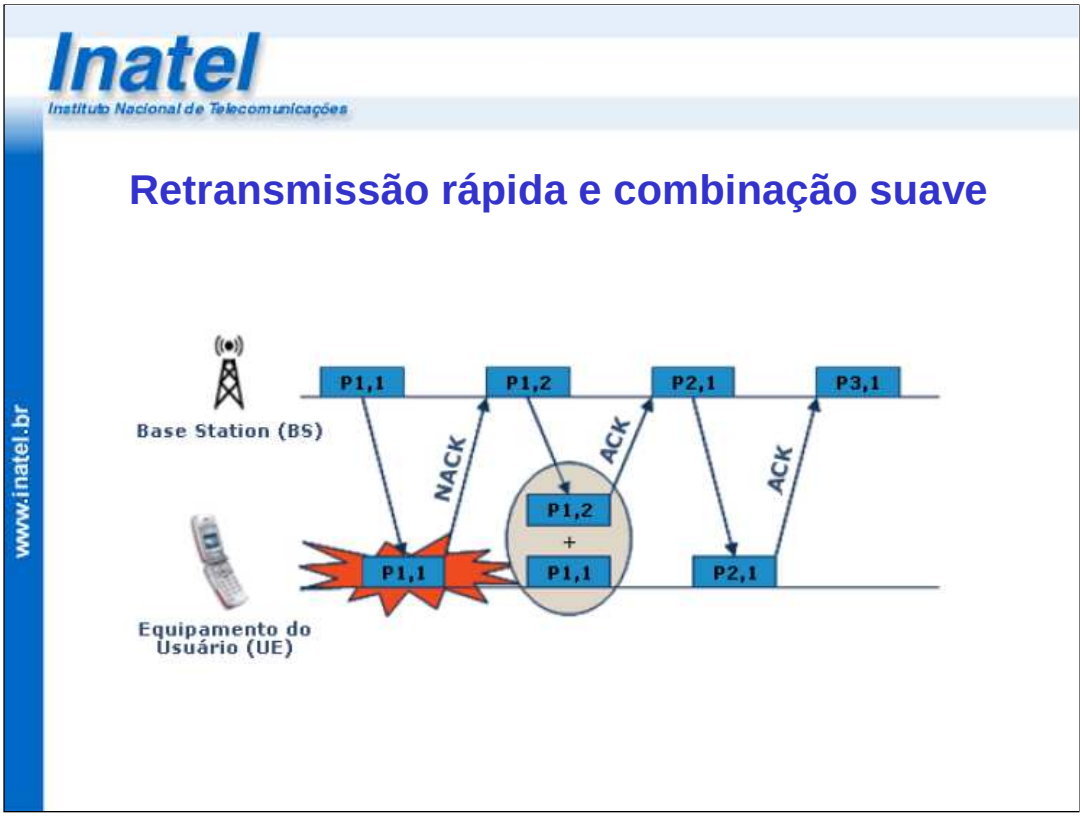
A funcionalidade de enlace adaptativo ajusta instantaneamente os parâmetros de transmissão de acordo com as informações enviadas pelo terminal de usuário e, quando as condições de propagação do canal permitem, habilita o uso de modulação de alta ordem.



A funcionalidade de agendamento ou despacho rápido determina, num dado instante, qual canal de transmissão compartilhado deve ser direcionado ao equipamento do usuário (UE). O objetivo é oferecer aos usuários as condições mais favoráveis de propagação do rádio enlace para maximizar a taxa de transmissão de dados.

O mecanismo de despacho (scheduler) estima instantaneamente as condições de propagação do rádio enlace desde o canal de downlink até o terminal ou equipamento do usuário (UE). Cada terminal que usa serviços de dados com altas taxas transmite para a base station (BS) relatórios periódicos informando a qualidade do canal, e o mecanismo de despacho atua no sentido de fornecer o melhor desempenho total do HSDPA.

Para cada TTI, o mecanismo de despacho decide quais usuários deverão usar os canais disponíveis do HSDSCH, e em conjunto com o mecanismo de enlace adaptativo determina qual a modulação e o número de códigos a serem utilizados. Esse conjunto de ações define a taxa de dados a ser alcançada. Ao invés de alocar sequencialmente os recursos de rádio entre os usuários (round-robin scheduling), a capacidade do sistema pode ser significativamente aumentada usando o agendamento ou despacho dependente do canal.



O equipamento de usuário (UE) pode rapidamente pedir a retransmissão de dados perdidos e combinar a informação da transmissão original com informação retransmitida, antes de tentar decodificar a mensagem.

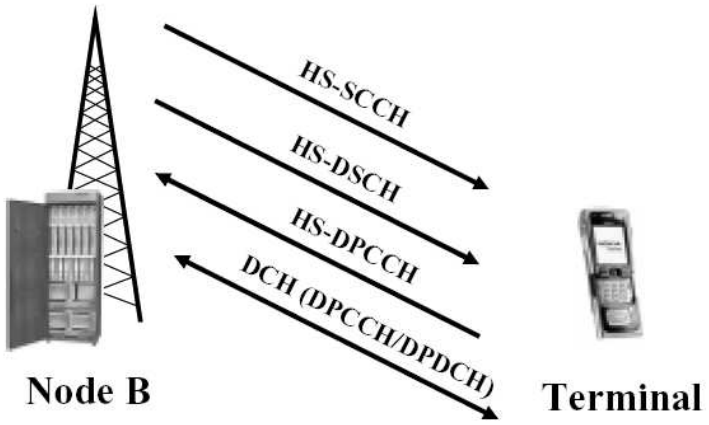
Esta estratégia, denominada combinação suave (soft-combining), melhora o desempenho e deixa o sistema mais robusto. Uma resposta de mensagem não reconhecida (NACK) é enviada quando faltam dados nas mensagens recebidas. Uma resposta de mensagem reconhecida (ACK) é enviada quando os dados recebidos estão corretos.

Anteriormente, as retransmissões eram manipuladas somente pelo controlador de rádio (Radio Node Controller – RNC), mas com a introdução do HSDPA uma parte desta funcionalidade foi transferida para a base station (BS). Isto faz com que a funcionalidade esteja mais perto da interface rádio, diminuindo assim a latência.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Novos canais físicos



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Categorias de terminais HSDPA

Categoria UE	Número Máximo de códigos HS-DSCH	Pico de taxa de dados na Camada 1 (Mbit/s)	Intervalo Mínimo inter-TTI	QPSK / 16QAM
Categoria 1	5	1,2	3	Ambos
Categoria 2	5	1,2	3	Ambos
Categoria 3	5	1,8	2	Ambos
Categoria 4	5	1,8	2	Ambos
Categoria 5	5	3,6	1	Ambos
Categoria 6	5	3,6	1	Ambos
Categoria 7	10	7,2	1	Ambos
Categoria 8	10	7,2	1	Ambos
Categoria 9	15	10,2	1	Ambos
Categoria 10	15	14,4	1	Ambos
Categoria 11	5	0,9	2	QPSK
Categoria 12	5	1,8	1	QPSK

O uso do HSDPA requer novos terminais ou equipamentos de usuário (UE). Um UE compatível com o HSDPA deve ter capacidade suficiente para processar os mecanismos de repetição automática (fast hybrid ARQ), os diversos códigos e etc. Doze diferentes categorias de terminais foram definidas para acomodar desde os modelos mais simples até os mais sofisticados, como mostra a tabela acima.

Os diferenciais entre as várias categorias de terminais incluem, por exemplo, o suporte aos esquemas de modulação QPSK e/ou 16QAM. As categorias 6 e 12 suportam 3,6 Mbit/s e 1,8 Mbit/s respectivamente, com cinco códigos para o HS-DSCH. Outro diferencial é o número de códigos suportados pelo terminal. Por exemplo, um terminal que suporte dez códigos pode alcançar taxas de até 7,2 Mbit/s, ao passo que um terminal com 15 códigos pode chegar até 14 Mbit/s.

Os primeiros dispositivos HSDPA foram baseados na categoria 12 e alcançam uma taxa máxima na camada 1 de 1,8 Mbit/s. Já os novos cartões de dados para computadores e os dispositivos handheld (pdas, etc.) da Categoria 6 apresentados ao mercado aumentam a taxa máxima para 3,6 Mbit/s. Os dispositivos da Categoria 8, oferecidos a partir do primeiro trimestre de 2007, devem alcançar picos de taxas transmissão de dados de 7,2 Mbit/s.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Categorias de terminais HSDPA

16QAM terminals with 10 codes

CQI value	Transport block size	Number of HS-PDSCH codes	Modulation	Reference power adjustment Δ
0	N/A	N/A		
1	137	1	QPSK	0
2	173	1	QPSK	0
⋮				
14	2583	4	QPSK	0
15	3319	5	QPSK	0
16	3565	5	16QAM	0
⋮				
24	11418	8	16QAM	0
25	14411	10	16QAM	0
26	14411	10	16QAM	-1
27	14411	10	16QAM	-2
28	14411	10	16QAM	-3
29	14411	10	16QAM	-4
30	14411	10	16QAM	-5

QPSK-only terminals with 5 codes

CQI value	Transport block size	Number of HS-PDSCH codes	Modulation	Reference power adjustment Δ
0	N/A	N/A		
1	137	1	QPSK	0
2	173	1	QPSK	0
3	233	1	QPSK	0
⋮				
14	2583	4	QPSK	0
15	3319	5	QPSK	0
16	3319	5	QPSK	-1
17	3319	5	QPSK	-2
18	3319	5	QPSK	-3
⋮				
29	3319	5	QPSK	-14
30	3319	5	QPSK	-15

Example CQI tables for categories 7/8 and 11/12.

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Comparação entre HSDPA e HSUPA

Feature	*DCH*	*HSDPA (HS-DSCH)*	*HSUPA (E-DCH)*
Variable spreading factor	Yes	No	Yes
Fast power control	Yes	No	Yes
Adaptive modulation	No	Yes	No
BTS based scheduling	No	Yes	Yes
Fast L1 HARQ	No	Yes	Yes
Soft handover	Yes	No	Yes
TTI length [ms]	80, 40, 20, 10	2	10, 2

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

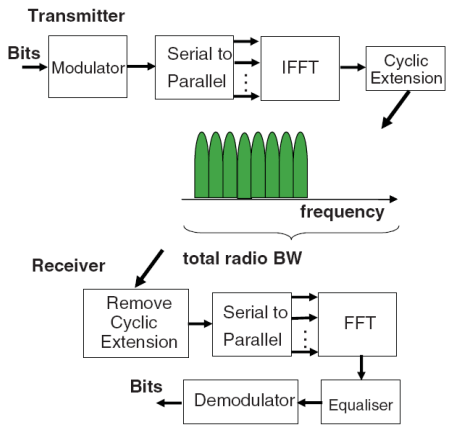
Além do HSDPA e HSUPA – LTE
Long Term Evolution

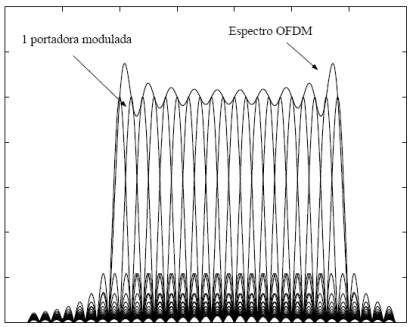
- Latência de 5ms com BW=5Mhz
- BW escalonada: 1.25Mhz, 2.5Mhz, 5Mhz, 10Mhz, 15Mhz e 20Mhz
- 100 Mbps no DL e 50 Mbps do UL
- Aumento de 2 a 3 vezes na capacidade do sistema
- Melhoria da taxa de transmissão na borda da célula
- Suporte apenas para comutação de pacotes

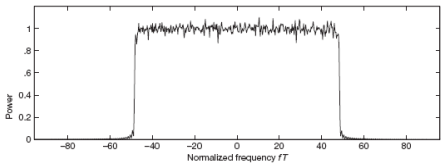
Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Técnicas aplicáveis - OFDM



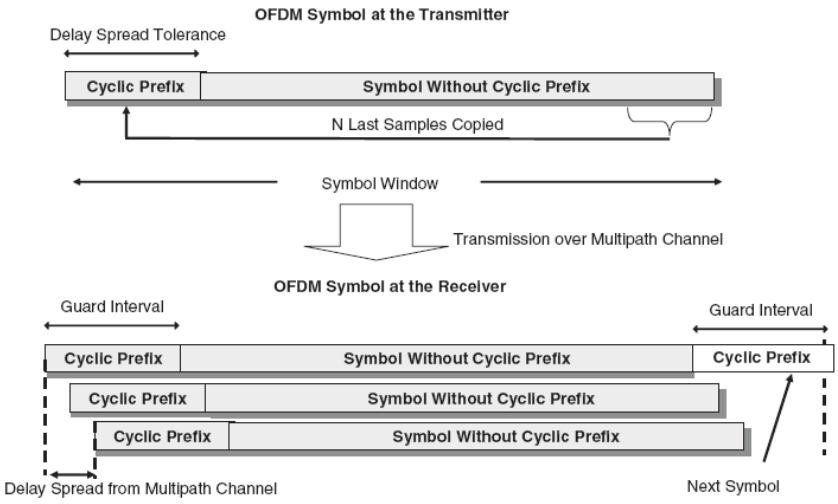




Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

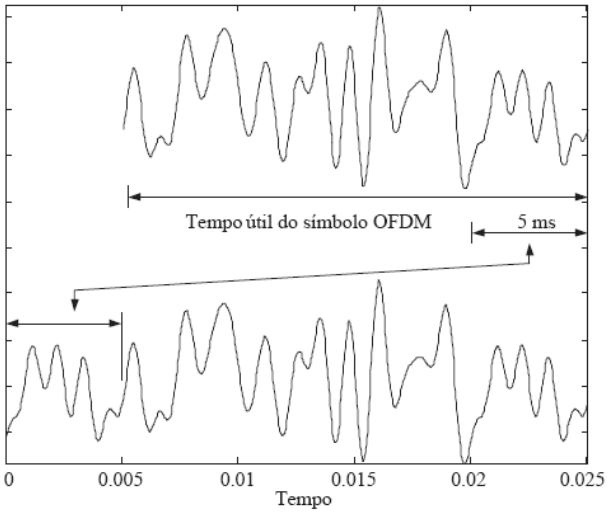
Técnicas aplicáveis - OFDM



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

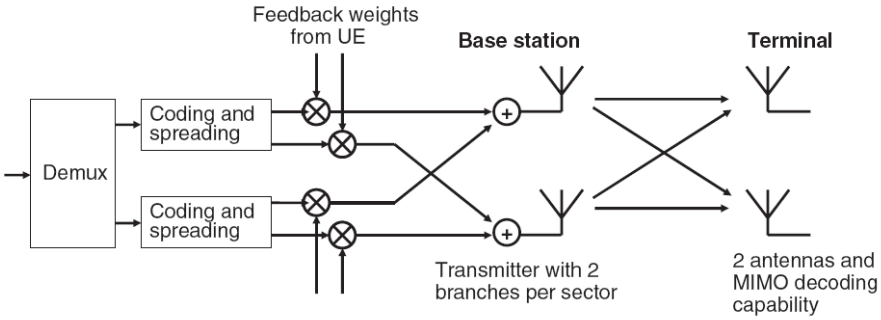
Técnicas aplicáveis - OFDM



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Técnicas aplicáveis – MIMO



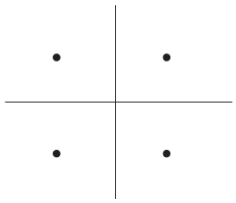
Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

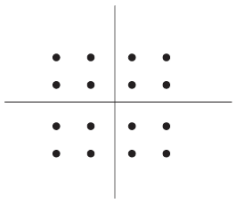
LTE Downlink Performance

Modulation coding		Peak bit rate per sub-carrier/bandwidth combination				
		72/1.4 MHz	180/3.0 MHz	300/5.0 MHz	600/10 MHz	1200/20 MHz
QPSK 1/2	Single stream	0.9	2.2	3.6	7.2	14.4
16QAM 1/2	Single stream	1.7	4.3	7.2	14.4	28.8
16QAM 3/4	Single stream	2.6	6.5	10.8	21.6	43.2
64QAM 3/4	Single stream	3.9	9.7	16.2	32.4	64.8
64QAM 4/4	Single stream	5.2	13.0	21.6	43.2	86.4
64QAM 3/4	2×2 MIMO	7.8	19.4	32.4	64.8	129.6
64QAM 4/4	2×2 MIMO	10.4	25.9	43.2	86.4	172.8

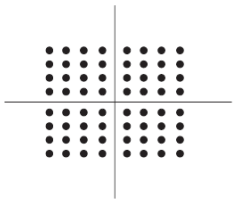
QPSK
2 bits/symbol



16QAM
4 bits/symbol



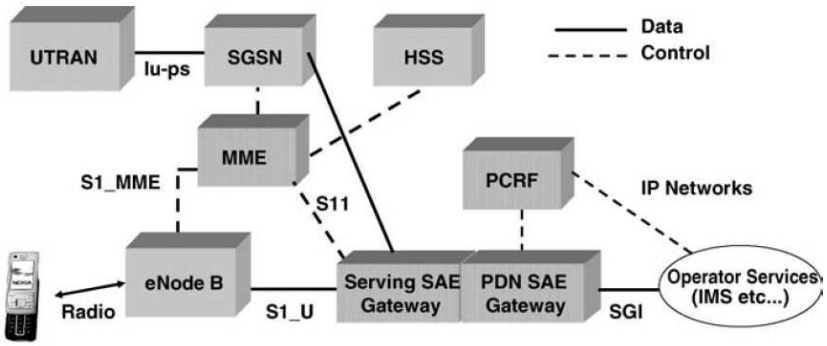
64QAM
6 bits/symbol



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

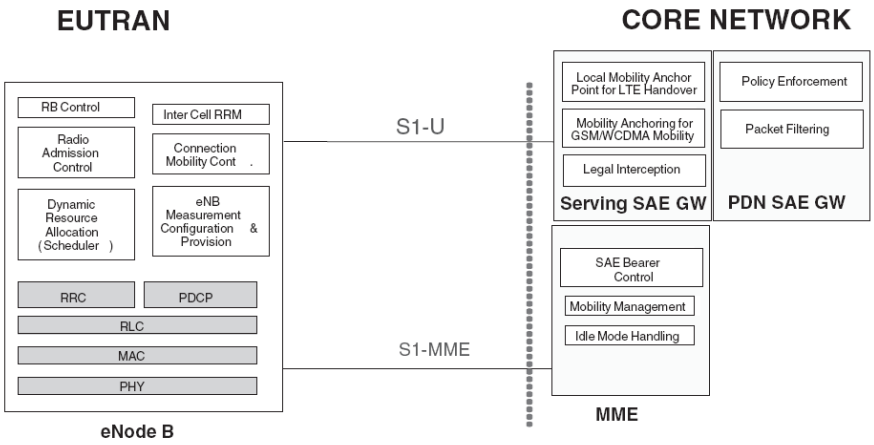
Estrutura da rede LTE



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Divisão entre rede de acesso e rede core



Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Referências

• WCDMA for UMTS - Radio Access for Third Generation Mobile Communications, Harri Holma and Antti Toskala, John Wiley & Sons Ltd.

• UMTS Networks Architecture Mobility and Services, Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Siama ¨ k Naghian and Valtteri Niemi, John Wiley & Sons Ltd.

• The UMTS Network and Radio Access Technology - Air Interface Techniques for Future Mobile Systems, Jonathan P. Castro, John Wiley & Sons Ltd.

• John Wiley and Sons WCDMA Deployment Handbook Planning and Optimization Aspects, Diana Martin, Lynn L. Merrill, Donald Puscher, John Wiley & Sons Ltd.

Inatel

Instituto Nacional de Telecomunicações

www.inatel.br

Obrigado!