



A EVOLUÇÃO DAS REDES CELULARES: DO 1G AO 5G

EaD
Inatel

CAPÍTULOS

1. Introdução	4
2. A primeira geração de telefonia celular - 1G	6
3. O 2G	8
4. Acesso rápido à Internet com o 3G	12
5. 4G.....	15
6. O futuro 5G	18

FIGURAS

Figura 1 - Principais tecnologias da história das comunicações móveis.....	5
Figura 2 - Arquitetura de um sistema GSM	9
Figura 3 - Arquitetura de um sistema GPRS.....	10
Figura 4 - Arquitetura do Sistema 3G	13
Figura 5 - Arquitetura da rede LTE/SAE.....	17

TABELAS

Tabela 1 - 1G - Principais características tecnológicas.....	7
Tabela 2 - Comparação entre GSM, GPRS e EDGE	11
Tabela 3 - Requerimentos IMT-Advanced	16
Tabela 4 - Resumo dos objetivos iniciais do LTE/SAE R8 [10]	17

1. INTRODUÇÃO

A “corrida” das comunicações móveis iniciou em 1978 com a apresentação do AMPS (Advanced Mobile Phone System) pela estadunidense Bell Labs. De lá para cá, são mais de 4 décadas de avanços tecnológicos contínuo para atender à demanda crescente de usuários que desejam serviços de voz e principalmente de dados cada vez mais rápidos e com maior qualidade.

As comunicações móveis se dividem em 5 gerações:

- **Geração 1, ou 1G:** é um conjunto de sistemas, os quais permitem a entrega de um serviço único: voz analógica.

- **Geração 2, ou 2G:** é um conjunto de sistemas que permite a entrega do serviço de voz analógica e SMS (Short Message Service). Os sistemas móveis mais avançados desta geração representam o início da implementação da rede de dados, conseguindo ofertar serviços de pacotes de dados, ainda que em baixa velocidade. A partir desta geração os sistemas passaram a ser padronizados pelo 3GPP (3rd Generation Partnership Project), possibilitando, por exemplo, o roaming internacional entre eles.

- **Geração 3, ou 3G:** é um conjunto de sistemas que permite a entrega de serviços de voz, SMS, MMS (Multimedia Message Service) e dados em banda larga.

- **Geração 4, ou 4G:** permite a oferta de serviços de pacotes de dados em banda larga com latência reduzida.

- **Geração 5, ou 5G:** ainda em estudo, será a evolução dos sistemas 4G visando, além de outros fatores, o aumento de capacidade, redução da latência, integração entre sistemas e o uso de Internet das Coisas.

As tecnologias baseadas no 3GPP vêm evoluindo desde o GSM até o LTE-Advanced **para melhorar a experiência do usuário de comunicações móveis**. Com isso em vista, é importante compreender a evolução das redes de comunicações móveis, incluindo as redes pertencentes ao 3GPP e também as redes pertencentes ao projeto Non-3GPP.

A Figura 1 demonstra **as principais tecnologias que contribuíram com a história das comunicações móveis**:

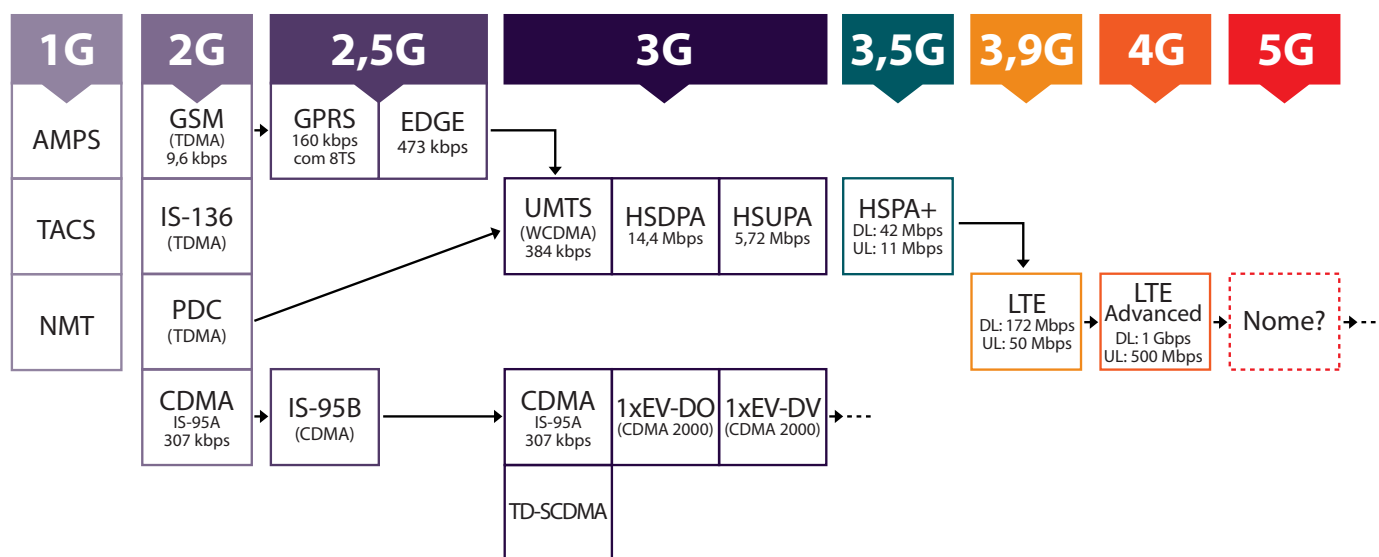


Figura 1 - Principais tecnologias da história das comunicações móveis

2. A PRIMEIRA GERAÇÃO DE TELEFONIA CELULAR - 1G

A Primeira Geração (1G, First Generation) de sistemas de comunicação celular móvel **surgiu em 1980**. Antes desta data já existiam sistemas de comunicações móveis, porém não eram sistemas baseados em células.

Em outras palavras, **nas redes 1G, a área de cobertura é dividida em grandes células**. Cada célula possui uma frequência de operação, permitindo a **reutilização de frequências ao longo da rede**, evitando a interferências entre as células. Estas redes utilizam técnicas de modulação analógica e o tráfego previsto é de voz. O FDMA (Frequency Division Multiple Access) é o esquema de acesso empregado.

A comunicação de dados é também possível nas redes 1G, mas a maior parte **só a utiliza para mensagens de controle devido à baixa capacidade oferecida**. A alocação de canais é de 25 kHz a 30 kHz dedicados para cada usuário (os serviços 1G utilizam ligação orientada à conexão para cada usuário, dedicando um canal de conversação no estabelecimento da chamada).

Em 1G nenhuma tecnologia se tornou dominante. De todas as que estavam disponíveis no mercado, as que obtiveram maior sucesso foram o AMPS o TACS (Total Access Communications System) e o NMT (Nippon Telephone & Telegraph). A Tabela 1 exibe as principais características dessas tecnologias.

	AMPS	TACS	NMT
Sistema	Americano	Europeu	Países Nórdicos
Largura de banda	30 KHz	25 KHz	25 KHz
Frequência de Operação	800 KHz	900 MHz	450/900 MHz
Serviço ofertado	Voz (comutação por circuito)	Voz (comutação por circuito)	Voz (comutação por circuito)
Sistema totalmente analógico	Sim	Sim	Sim
Roaming Internacional	Não	Não	Sim

Tabela 1 - 1G - Principais características tecnológicas

Em geral, os sistemas 1G são proprietários, isso significa que **a sua documentação não é pública e o seu uso deve ser autorizado pelo seu desenvolvedor**.

3.0 2G

Os sistemas de **Segunda Geração inserem o controle de potência nas células**; permitindo gerenciar os níveis de interferência e reduzir o consumo de potência, tanto no lado do usuário quanto no lado da rede. Nesta geração de sistemas também se utilizam **canais digitais, que permitem proteger a informação do usuário**.

A capacidade nos sistemas 2G é aumentada devido ao **uso de canais mais largos (que podem ser compartilhados entre usuários)** e de esquemas de acessos mais avançados: CDMA e TDMA, Code Division Multiple Access e Time Division Multiple Access, respectivamente.

Nem todos os sistemas 2G são proprietários. **A exceção é o GSM, desenvolvido pela organização 3GPP;** desde a concepção de ideia, passando pela documentação e pela padronização do projeto. Os sistemas desenvolvidos pelo **3GPP são conhecidos por serem “plataforma aberta”,** o que significa que toda a sua documentação é pública, podendo ser acessada por qualquer pessoa no site: <http://www.3gpp.org/>.

Entre todos os sistemas 2G, o **GSM é de longe o padrão que obteve maior utilização em nível mundial.** Com 1 bilhão de assinantes em 2004, o GSM abrange 71% de todas as comunicações móveis celulares. Originalmente foi descrito como um padrão europeu, mas rapidamente **se alastrou por quase todos os países mundiais.** Apenas não obteve uma posição dominante nos EUA, principalmente devido ao seu concorrente CdmaOne.

A Figura 2 demonstra a arquitetura de um sistema GSM.

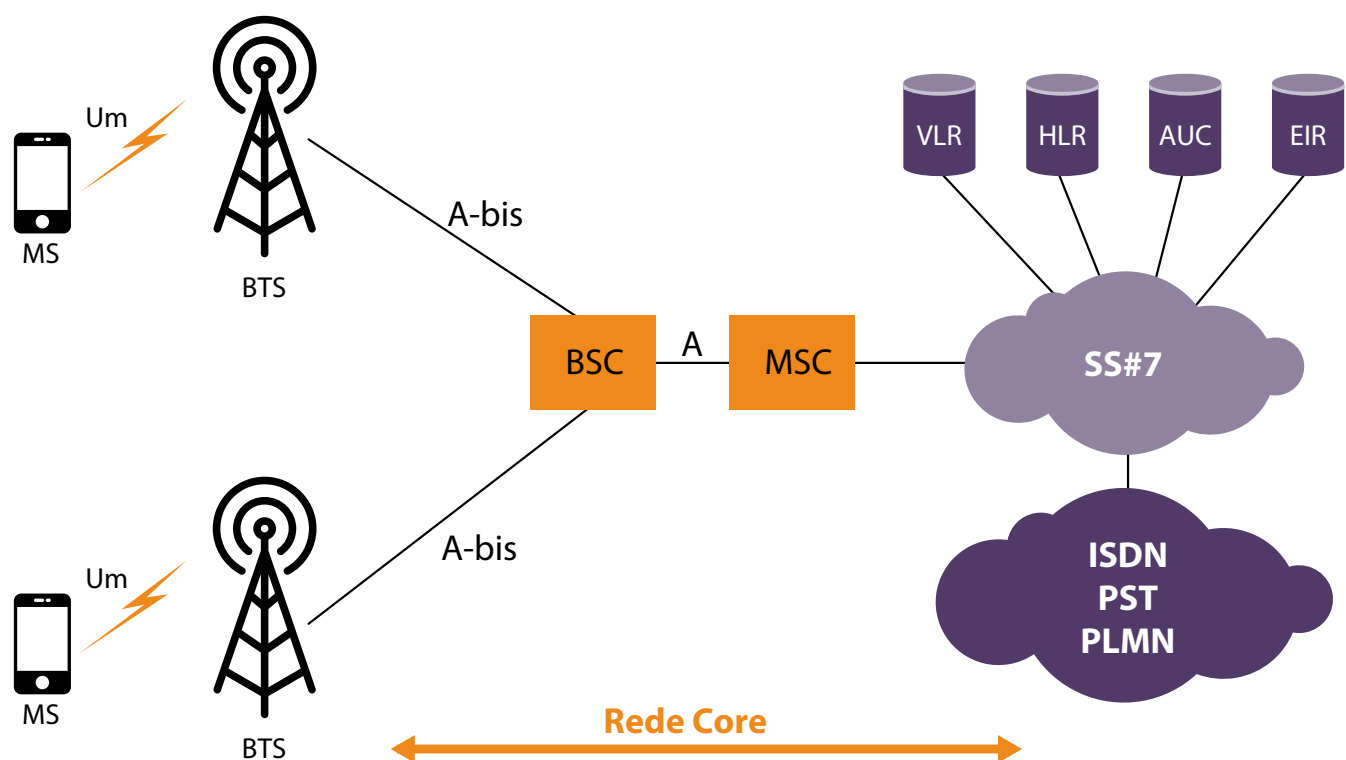


Figura 2 - Arquitetura de um sistema GSM

2,5G

Com os passar dos anos, a oferta para acesso à Internet aumentou e tornou-se necessária a inserção de funções e equipamentos que pudessem trabalhar com pacotes IP (Internet Protocol). Sendo assim, foram implantadas as redes pertencentes à geração 2,5G, tendo como principal característica o acesso à rede de dados. A nomenclatura 2,5G se deve ao fato dessas redes não conseguirem obter a eficiência de transmissão mínima para serem classificadas como redes 3G e por possuírem transmissão de dados superior quando comparadas às redes 2G.

As maiores limitações da tecnologia GSM são as baixas taxas de dados. O sistema básico fornece 9,6 kbps e, mais tarde, uma nova versão (pouco implementada) oferece 14,4 kbps. Estas baixas taxas dificultam a simples tarefa de acessar um conteúdo na Internet.

Uma evolução do sistema GSM chama-se **GPRS**. Sua vantagem é o aumento da taxa de dados para 115 kbps, em condições ótimas de conexão. Um aspecto muito importante do GPRS é a utilização de técnicas de comutação de pacotes, em vez da tradicional comutação de circuitos.

O GPRS é ideal para aplicações que não necessitem de “cuidados” em tempo real, já que não garante tempos mínimos de atraso. Destaca-se para aplicações de acesso à Internet, e-mail ou dados em rajadas (bursty). **A implementação de uma rede GPRS é onerosa**, pois novos componentes são necessários na rede núcleo (core) e alguns dos existentes necessitam de modificações. Mas **este é o caminho a seguir por qualquer operadora que aspire implementar uma rede 3G**, já que a rede core 3GPP é baseada em GPRS e GSM. O GPRS também utiliza um canal de mesma abertura do GSM: são 200 kHz.

A Figura 3 demonstra a arquitetura de um sistema GPRS.

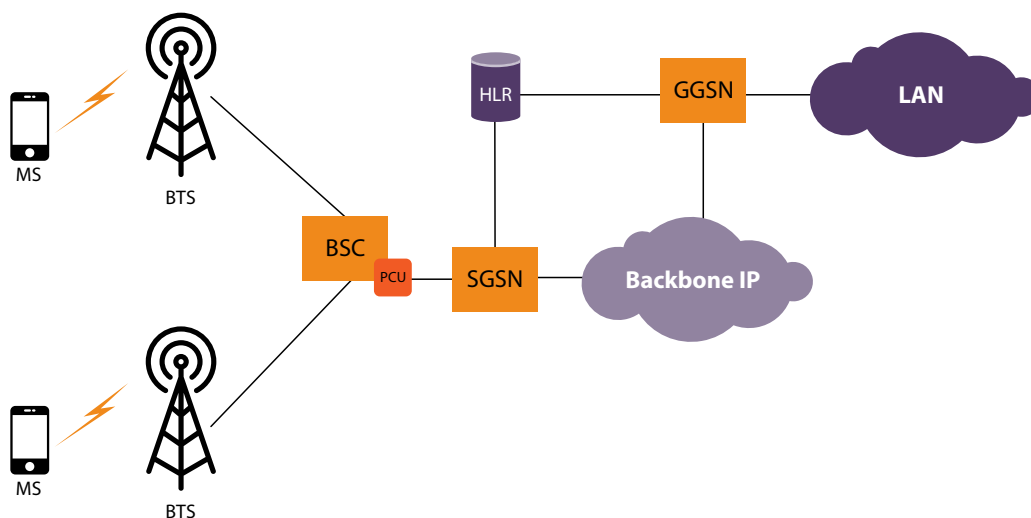


Figura 3 - Arquitetura de um sistema GPRS

2,75G

A segunda evolução do GSM é o EDGE. Originalmente, era um acrônimo para Enhanced Data-Rates for GSM Evolution, mas, atualmente, traduz Enhanced Data-Rates for Global Evolution, já que pode ser utilizada em outros sistemas além do GSM.

A ideia base do EDGE é a implementação de uma nova técnica de modulação digital: a 8-PSK (Eight-Phase Shift Keying) que **permite altas taxas tráfego de dados (470 kbps)**. EDGE é uma evolução atrativa para redes GSM, pois requer apenas uma atualização em nível de software nas estações base (BS, Base Station). A modulação 8-PSK em EDGE coexiste

com a técnica de modulação utilizada pelo GSM, o GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Assim, **um utilizador que não necessite de um melhor serviço, pode perfeitamente utilizar os seus terminais GSM sobre uma rede EDGE**. Além disso, é obrigatório manter o GMSK, uma vez que o 8-PSK só pode ser utilizado eficazmente em curtas distâncias.

Se o EDGE é implementado sobre uma rede GPRS, o que normalmente acontece, então essa combinação passa a ser conhecida por EGPRS (Enhanced GPRS). **A taxa de dados máxima no EDGE é 470 kbps.** Assim como seus antecessores, o EDGE também utiliza um canal de 200 kHz de abertura.

A comparação entre GSM, GPRS e EDGE é descrita na Tabela 2.

Sistema	Banda do canal	Serviço		Taxa de dados (teórica)	Taxa de dados (típica)	Acesso	#time slots por usuário
GSM	200 kHz	CS	Voz	9,6 kbps	9,6 kbps	TDMA	1
GPRS	200 kHz	PS	Voz e Dados	171,2 kbps	4 a 50 kbps	TDMA	1 ~ 8
EDGE	200 kHz	PS	Voz e Dados	473 kbps	120 kbps	TDMA	1 ~ 8

Tabela 2 - Comparação entre GSM, GPRS e EDGE

4. ACESSO RÁPIDO À INTERNET COM O 3G

A terceira geração (3G) foi implantada por muitas operadoras e **rapidamente ganhou usuários**. Cartões plug-in e modems suportam a comunicação de banda larga direto do computador de mesa (desktop) ou do computador portátil (laptop). Uma grande quantidade de novos aparelhos chegou ao mercado, com suporte a uma variedade de serviços como música, stream de vídeo, jogos multiplayer, etc.

A principal diferença entre o UMTS e o GPRS é uma nova rede de acesso, com uma nova tecnologia de interface de rádio, chamada UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). **A UTRA oferece consideravelmente mais largura de banda: teoricamente, 2 Mbps em ambientes interno e 384 kbps em ambientes externos.**

O UMTS também introduz mudanças de funcionalidade entre RAN (Radio Access Network) e CN (Core Network) em relação ao GPRS, e ainda **oferece um novo nome para a estação móvel: UE (User Equipment)**. A Figura 4 demonstra a arquitetura do sistema 3G. Nesta figura é possível também observar os equipamentos que compõem a arquitetura do sistema 2G.

As próximas duas evoluções do UMTS são comumente chamadas de HSPA (High Speed Packet

Access), sendo tecnologias que ainda são consideradas 3G. Essas evoluções, que ocorreram em duas etapas, são chamadas individualmente de HSDPA e HSUPA. O benefício do HSPA em relação ao UMTS é o **aumento da taxa de dados da rede (throughput) e da eficiência espectral**. Para a operadora, isso significa a redução do custo do bit trafegado. Para o usuário, significa **utilizar serviços com melhores níveis de qualidade e velocidade** de tráfego de pacotes.

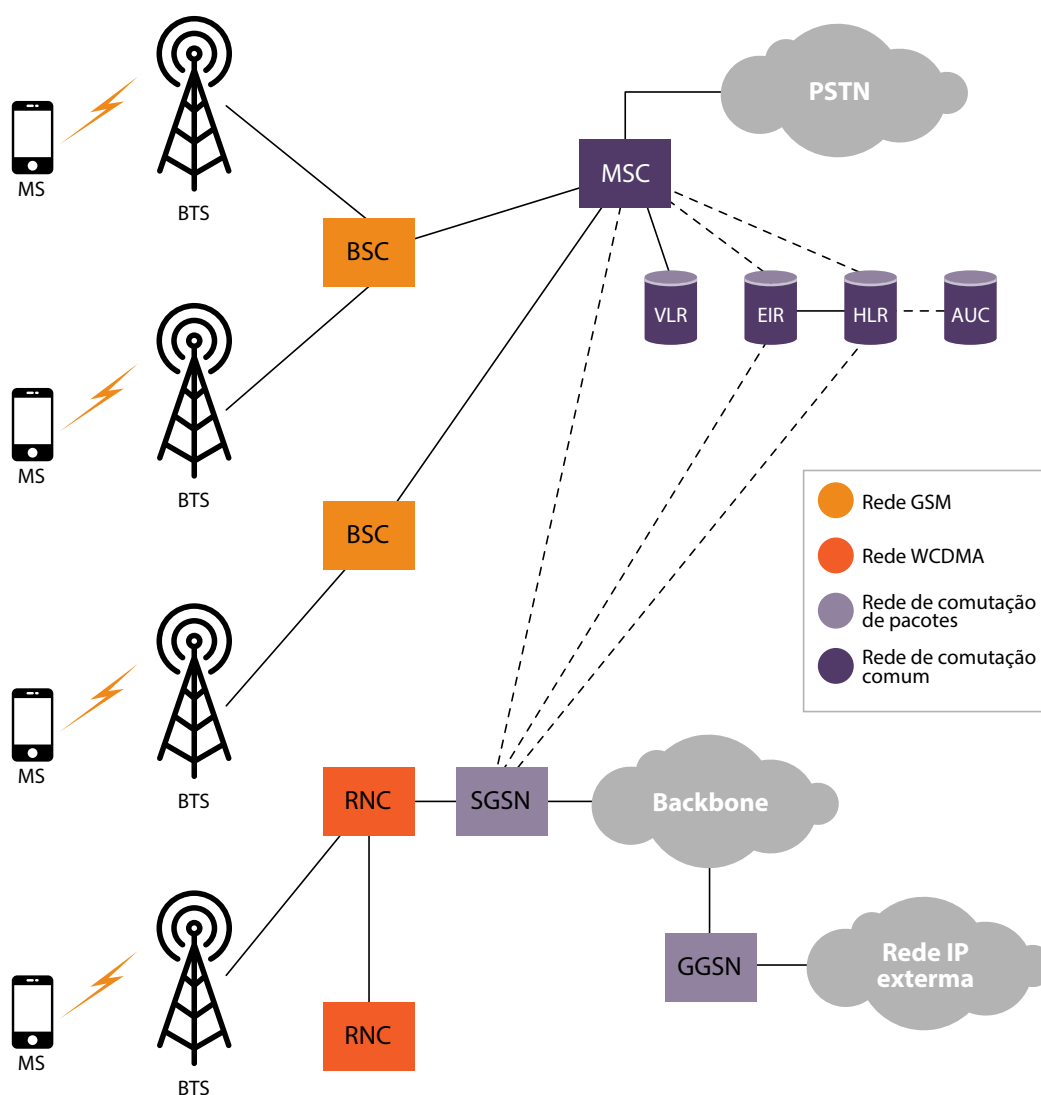


Figura 4 - Arquitetura do Sistema 3G

3,5G

A terceira evolução do UMTS é chamada de HSPA+ e referencia redes 3,5G, de acordo com o IMT-2000.

O HSPA+ **agrega novos recursos tecnológicos como o uso da técnica de transmissão e recepção em diversidade**, MIMO e do uso de modulações de alta ordem, além de muitas outras pequenas melhorias na estrutura existente que em conjunto, representam um aumento no desempenho do sistema e suas capacidades.

Uma das maiores características do HSPA+ é a implementação do MIMO para o DL (HSDPA-MIMO). De modo geral, MIMO denota o uso de múltiplas antenas de transmissão (Multiple-Input) e, múltiplas antenas de recepção (Multiple-Output) e é utilizado para **obter um ganho de estrutura e, assim, aumentar o desempenho do sistema de recepção.**

3,99G

A evolução do HSPA+ é chamada de LTE/SAE.

Neste novo sistema se introduz o EPC (Evolved Packet Core), um núcleo de rede todo baseado no protocolo IP. Esta versão também apresenta uma nova rede de acesso, chamada de E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access). **Trata-se de uma nova concepção para a rede de acesso para a família de tecnologias 3GPP.**

Uma das diferenças entre HSPA+ e LTE/SAE é o uso de dois esquemas de acesso: **um para o Down-link** (quando você faz download de arquivos da rede ou acessa um site, por exemplo) **e outro para o Uplink** (quando você sobe arquivos na rede - Upload, como anexos em um e-mail, por exemplo,). O link de download utiliza o OFDMA enquanto o link de upload utiliza o SC-FDMA, **sendo estes os esquemas de acesso do LTE/SAE.**

A taxa de **transmissão de pico é de 100 Mbps para o downlink e 50 Mbps para o uplink**, quando o sistema opera com uma alocação de espectro de 20 MHz com uso da técnica MIMO.

Enquanto a documentação da versão LTE/SAE, chamada Release 8, estava sendo concluída, iniciaram-se os trabalhos para planejamento da versão 9 (Release 9) da evolução 3GPP. Além de outras melhorias para o HSPA+, a Release 9 tem seu foco em melhorias para o EPC.

5. 4G

Ao mesmo tempo em que as melhorias da Release 9 eram desenvolvidas, o 3GPP reconheceu a necessidade de desenvolver uma solução para cumprir os requerimentos do IMT-Advanced.

Basicamente, o IMT-Advanced é **um conjunto de requerimentos que definem os sistemas de quarta geração da telefonia móvel, 4G (Fourth Generation)**. Dentre os vários requerimentos, o sistema 4G deve apresentar uma interface **de transferência de dados com taxa de 1 Gbps para usuários que estiverem relativamente estáticos**.

Portanto, o 3GPP trabalhou em um estudo chamado de LTE-Advanced, que define a maior parte do conteúdo da versão 10 (Release 10) da evolução das tecnologias 3GPP. A Release 10 inclui novas melhorias tecnológicas para o EPS, que visam cumprir os requerimentos do IMT-Advanced.

As Tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, os requerimentos IMT-Advanced para que uma tecnologia seja considerada 4G e os objetivos do LTE/SAE Release 8.

Requerimentos IMT-Advanced

Requerimentos IMT-Advanced

Alto grau de funcionalidade em todo o mundo, mantendo a flexibilidade para suportar uma ampla gama de serviços e aplicações de forma eficiente.

Compatibilidade de serviços dentro das redes IMT e redes fixas.

Capacidade de trabalhar com outros sistemas.

Alta qualidade de serviços móveis.

Equipamento do usuário adequado para uso mundial.

Aplicações, serviços e equipamentos amigáveis.

Capacidade de *roaming* mundial.

Taxa de transmissão de pico que suporta serviços e aplicações avançados com 100 Mbps e 1 Gbps para usuários em alta e baixa mobilidade, respectivamente.

Tabela 3 - Requerimentos IMT-Advanced

Categoria	Objetivos
Taxa de pico	DL: 100 Mbps em 20 MHz de BW (<i>Bandwidth</i>) UL: 50 Mbps em 20 MHz de BW
Latência plano de controle	< 100 ms para transição do estado <i>Idle</i> para <i>Active</i>
Capacidade plano de controle	> 200 usuários por célula em estado <i>Active</i> em 5 MHz
Latência plano de usuário	< 5 ms para 1 usuário com 1 <i>stream</i> de dados
<i>Throughput</i> médio por usuário	DL: 3/4 vezes do HSDPA por MHz UL: 2/3 do HSUPA por MHz
Mobilidade	Otimizado para 0 a 15 km/h Oferece suporte com alto desempenho de 15 a 20 km/h Oferece suporte de 120 a 500 km/h
Cobertura	Atinge todos os alvos dentro de 5 km de raio; Pequena degradação em células de 5 a 30 km Suporte em célula de 30 a 100 km de raio
Flexibilidade no espectro	Suporte para 1,4 a 20 MHz de BW

Tabela 4 - Resumo dos objetivos iniciais do LTE/SAE R8 [10]

A Figura 13 apresenta a rede LTE/SAE Release 8.

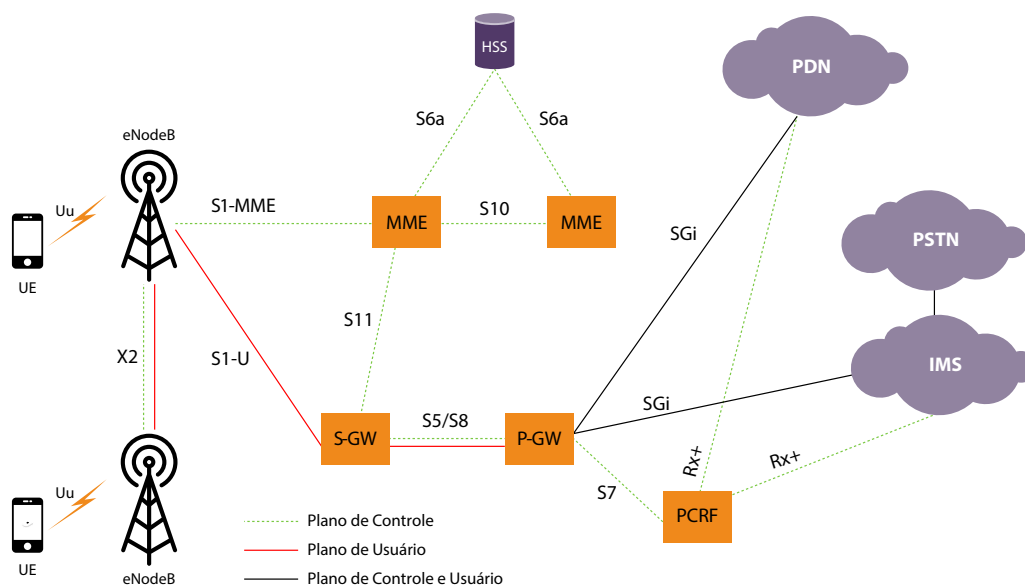


Figura 5 - Arquitetura da rede LTE/SAE

6. O FUTURO 5G

Para garantir a eficiência e abrangência global do acesso à Internet, as atuais redes de telefonia celular precisam passar por diversas melhorias. **Além da crescente demanda por mais velocidade de navegação, é preciso ampliar o alcance do sinal.** Só assim as áreas mais distantes das grandes cidades poderão contar também com Internet de alta velocidade, e que possibilite a **conexão à todas as inovações tecnológicas.**

Atualmente nós estamos vivendo **a implantação da quarta geração de telefonia celular.** Paralelo à consolidação do 4G, **está acontecendo a expansão das pesquisas do 5G – a quinta geração de rede celular.** Os esforços de padronização realizados hoje serão utilizados pelas pessoas em algum momento entre 2020 e 2030. **Mas essa discussão atual já tem impacto decisivo na tecnologia.**

As pesquisas brasileiras em 5G representam a primeira vez que pesquisadores brasileiros atuam de forma significativa na concepção de um padrão de rede móvel. É muito importante para um país com a dimensão do Brasil **estar presente nas discussões que vão definir o futuro das redes móveis celulares.**

Mas ao contrário das pesquisas internacionais que focam principalmente em melhorar a velocidade de co-

nexão e viabilizar a Internet das Coisas, **as pesquisas no Brasil têm como objetivo a expansão do sinal de Internet para além dos centros urbanos.** Nas localidades rurais e nas regiões de baixa densidade populacional não há nenhuma oferta de serviços de conexão, a não ser o proibitivo acesso via satélite. A zona rural é a **última fronteira para tornar o acesso à Internet universal e o 5G pode ser a solução** para esse problema.

Obrigado por ler nosso e-book! Ficamos felizes de você ter chegado até aqui! Quer saber mais sobre a área de Sistemas de Comunicação Sem Fio (Redes de Celulares)?

Acompanhe os e-mails que vamos enviar e para se capacitar no assunto, conheça os cursos do Inatel nesta área! São cursos de atualização a distância. Você pode se capacitar em casa e ser mais competitivo no mercado!

São 5 cursos que foram utilizados como base para a produção deste e-book:

- Sistemas de Comunicações Digitais
- Tecnologia celular 4G – LTE
- 5G - Tendências e Aplicações
- LTE - Preparatório para a Certificação HCNA (Huawei Certified Network Associate)
- Introdução às Comunicações via Satélite

Para conhecer todos os nossos cursos de Educação a Distância, acesse:

www.inatel.br/ead

Inatel