



ERICSSON



HUAWEI

OTIMIZAÇÃO DE REDES MÓVEIS

UM GUIA PRÁTICO

**Do Básico à Excelência Operacional –
Guia Completo para 2G, 3G, 4G e 5G
Ericsson, Nokia e Huawei**

WAGNER R BOMFIM

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO À OTIMIZAÇÃO DE REDES MÓVEIS

1.1 O que é Otimização e Por Que é Importante?

A otimização de redes móveis é um processo técnico contínuo e sistemático que visa extrair o máximo desempenho possível da infraestrutura de rede existente. Imagine que a rede móvel é como um sistema viário complexo: a otimização seria o trabalho de engenheiros de tráfego que ajustam semáforos, criam faixas exclusivas, melhoram a sinalização e otimizam os fluxos de veículos para garantir que o tráfego flua da melhor maneira possível, evitando congestionamentos e garantindo que todos cheguem ao seu destino rapidamente e com segurança.

Em termos técnicos concretos, a otimização envolve:

- **Ajuste fino de parâmetros de rádio:** Modificar a potência de transmissão das antenas, ajustar ângulos de inclinação, otimizar handovers (transferências entre células), e calibrar centenas de outros parâmetros que controlam como os sinais de rádio se comportam no ambiente.
- **Análise de desempenho contínua:** Monitorar constantemente centenas de indicadores técnicos que mostram a "saúde" da rede, identificando problemas antes que se tornem críticos.
- **Correção de problemas específicos:** Resolver questões como quedas de chamada em determinados locais,

lentidão na internet em horários específicos, áreas sem cobertura adequada, ou interferência entre células vizinhas.

- **Melhoria de eficiência operacional:** Garantir que os recursos de rede (espectro radioelétrico, capacidade de processamento, energia) sejam utilizados da forma mais eficiente possível, permitindo que mais usuários sejam atendidos com a mesma infraestrutura.

A importância da otimização se manifesta em vários níveis:

- **Experiência do Usuário Final:** Quando você faz uma chamada e ela cai inexplicavelmente, ou quando a internet fica extremamente lenta em determinado local, ou quando os vídeos travam constantemente - todos esses são problemas que uma boa otimização pode resolver. Usuários satisfeitos tendem a permanecer com a operadora e recomendar seus serviços.
- **Eficiência Operacional e Econômica:** Operadoras que otimizam bem suas redes conseguem atender mais usuários com a mesma infraestrutura, adiando investimentos em novas antenas e equipamentos. Uma rede bem otimizada consome menos energia, requer menos manutenção e opera de forma mais previsível.
- **Vantagem Competitiva:** Em mercados de telecomunicações saturados, onde todas as operadoras oferecem preços similares, a qualidade da rede

frequentemente se torna o fator decisivo na escolha do consumidor. Uma rede bem otimizada pode ser a diferença entre ganhar ou perder clientes.

- **Preparação para Serviços Futuros:** A otimização adequada cria a base sólida necessária para suportar serviços emergentes como Internet das Coisas (IoT), carros conectados, realidade aumentada e telemedicina, que exigem performance extremamente confiável.

1.2 O Ciclo de Vida da Otimização: Drive Tests, KPIs, Ajustes e Monitoramento

O processo de otimização segue um ciclo contínuo e iterativo, composto por fases interligadas que se repetem constantemente. Este ciclo garante que a rede seja continuamente aprimorada e adaptada às mudanças no ambiente e nos padrões de uso.

Drive Tests (Testes de Condução) são coletas de dados realizadas por veículos especialmente equipados que percorrem rotas pré-definidas. Estes veículos funcionam como laboratórios móveis, carregando:

- **Scanners profissionais:** Dispositivos especializados que medem todos os sinais de rádio presentes na área, independentemente de estarem conectados à rede da operadora ou de concorrentes. Eles fornecem uma visão completa do ambiente radioelétrico.

- **Telefones de teste:** Aparelhos que simulam o comportamento de usuários reais, fazendo chamadas, enviando mensagens, navegando na internet e usando aplicativos, enquanto coletam dados detalhados sobre a experiência.
- **Sistemas de GPS de alta precisão:** Que correlacionam exatamente cada medição com sua localização geográfica, permitindo criar mapas precisos de cobertura e qualidade.
- **Computadores com software especializado:** Que coletam, processam e analisam dados em tempo real, permitindo que os engenheiros identifiquem problemas durante o próprio teste.

KPIs (Key Performance Indicators - Indicadores-Chave de Desempenho) são as "notas" ou "termômetros" da rede. Eles quantificam objetivamente o desempenho em diferentes aspectos:

- **Taxa de queda de chamadas:** Percentual de chamadas que são interrompidas involuntariamente antes de sua conclusão normal. Em redes bem otimizadas, este valor deve ser inferior a 1%.
- **Taxa de sucesso de chamadas:** Percentual de tentativas de chamada que são completadas com sucesso. Valores acima de 99% são considerados excelentes.

- **Acessibilidade:** Capacidade dos usuários de se conectarem à rede quando necessário, medida através de indicadores como RRC Success Rate e E-RAB Success Rate.
- **Throughput:** Velocidade de transferência de dados, tanto em download (direção da rede para o usuário) quanto upload (direção do usuário para a rede).
- **Latência:** Tempo que leva para um pacote de dados ir de um ponto a outro na rede. Crucial para aplicações em tempo real como jogos online e videoconferências.

Ajustes são as intervenções técnicas realizadas na rede para corrigir problemas ou melhorar performance:

- **Ajustes de RF (Radio Frequency):** Envolvem modificações físicas ou de configuração nas antenas - mudança de ângulos (tilt), direção (azimute), altura, ou potência de transmissão.
- **Ajustes de parâmetros:** Modificação de configurações de software que controlam o comportamento inteligente da rede - critérios para handover, algoritmos de controle de potência, políticas de admission control.
- **Otimização de cobertura:** Correção de áreas com sinal fraco ou inexistente através de reorientação de

antenas, ajuste de potências, ou instalação de equipamentos complementares.

Monitoramento é a observação contínua e sistemática do desempenho da rede:

- **Sistemas OSS (Operational Support Systems):**
Plataformas que coletam dados de todos os elementos da rede 24 horas por dia, 7 dias por semana.
- **Ferramentas de análise avançada:** Que processam os dados coletados, identificam padrões, detectam anomalias e geram alertas quando problemas são detectados ou quando performance cai abaixo de limites estabelecidos.
- **Relatórios automáticos:** Que mostram tendências ao longo do tempo, comparam performance entre diferentes áreas ou períodos, e fornecem insights para tomada de decisão.

1.3 Visão Geral das Tecnologias: 4G (LTE) e 5G (NSA & SA)

As redes móveis evoluíram através de gerações tecnológicas, cada uma trazendo avanços significativos em capacidade, velocidade e capabilities. Entender estas tecnologias é fundamental para uma otimização eficaz.

4G (LTE - Long Term Evolution) representa a quarta geração de redes móveis, trazendo avanços revolucionários:

- **Arquitetura totalmente baseada em IP:** Diferente das gerações anteriores que tinham infraestruturas separadas para voz e dados, o LTE usa apenas redes IP (Internet Protocol) para todos os serviços. Isto simplifica a arquitetura e reduz custos.
- **Desempenho significativamente melhorado:** Oferece latências na faixa de 20-40 milissegundos (contra 100-200ms do 3G) e velocidades teóricas de até 300 Mbps em download. Na prática, usuários experimentam tipicamente 10-50 Mbps.
- **Tecnologias de acesso radioelétrico avançadas:** Utiliza OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para downlink, que é mais eficiente em lidar com multipath propagation (reflexões de sinal), e SC-FDMA para uplink, que é mais eficiente em termos de consumo de bateria dos dispositivos.
- **MIMO (Multiple Input Multiple Output):** Usa múltiplas antenas tanto na estação base quanto nos dispositivos para melhorar a capacidade e a confiabilidade através de spatial diversity.
- **Voz sobre LTE (VoLTE):** Transmite chamadas de voz como pacotes de dados através da rede 4G, oferecendo qualidade de voz superior e tempos de estabelecimento mais rápidos.

5G (NSA & SA) representa a quinta geração, trazendo não apenas melhorias incrementais, mas capacidades radicalmente novas:

- **NSA (Non-Standalone):** É uma arquitetura de transição que usa a rede 4G existente como base para funções de controle e adiciona capacidades 5G para aumento de capacidade de dados. Imagine um carro com motor 4G que ganha um turbo 5G - a base é antiga, mas o desempenho é melhorado.
- **SA (Standalone):** É uma arquitetura independente e completa 5G, com core network dedicada e todas as funções implementadas nativamente em 5G. É como ter um carro totalmente novo, projetado desde o início para ser 5G.
- **Vantagens fundamentais do 5G:**
 - **Latência ultra-baixa:** Menos de 10 milissegundos, possibilitando aplicações em tempo real crítico como cirurgia remota e controle de veículos autônomos.
 - **Largura de banda extrema:** Até 10 Gbps em condições ideais, suportando streaming de vídeo 8K e realidade virtual.
 - **Massive IoT:** Suporte a até 1 milhão de dispositivos por quilômetro quadrado,

habilitando cidades inteligentes com sensores everywhere.

- **Confiabilidade extrema:** 99.999% de disponibilidade para aplicações críticas.
- **Tecnologias habilitadoras do 5G:**
 - **Massive MIMO:** Arrays com dezenas ou centenas de elementos de antena que formam feixes direcionais precisos.
 - **Beamforming:** Focalização dinâmica do sinal diretamente para cada usuário, melhorando a eficiência.
 - **Network Slicing:** Criação de redes virtuais dedicadas para diferentes tipos de serviços com requisitos específicos.
 - **Edge Computing:** Processamento de dados mais próximo dos usuários, reduzindo latência.

A otimização em 5G introduz novos desafios e oportunidades, como a gestão dinâmica de feixes (beam management), a coordenação entre diferentes faixas de frequência (sub-6 GHz e mmWave), e a garantia de qualidade de serviço em network slices dedicados a aplicações específicas.

DOMINANDO AS REDES 5G

Do Básico das Telecomunicações aos
Detalhes de Implementação,
Dimensionamento e Futuro do 5G



WAGNER ROMANO BOMFIM

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DAS TELECOMUNICAÇÕES MÓVEIS

1.1. Introdução à Comunicação sem Fio

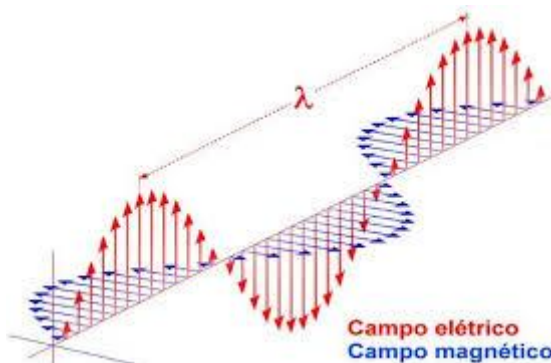
A comunicação sem fio representa um dos pilares fundamentais da sociedade moderna conectada. Em sua essência, trata-se da transmissão de informação através do espaço utilizando ondas eletromagnéticas, eliminando a necessidade de condutores físicos ou cabos. Esta forma de comunicação revolucionou a maneira como nos relacionamos, trabalhamos e acessamos informações.

Princípios Básicos de Propagação:

As ondas de rádio se propagam no espaço livre seguindo princípios físicos bem estabelecidos. O transmissor converte sinais elétricos em ondas eletromagnéticas através de uma antena, enquanto o receptor realiza o processo inverso. Entre estes dois pontos, diversos fenômenos físicos afetam a propagação:

- **Reflexão:** Ocorre quando a onda encontra uma superfície grande em relação ao seu comprimento de onda (edifícios, montanhas)
- **Difração:** Permite que as ondas contornem obstáculos devido ao espalhamento
- **Espalhamento:** Ocorre quando a onda encontra superfícies irregulares

- **Atenuação:** Redução gradual da intensidade do sinal com a distância



A compreensão destes fenômenos é crucial para o planejamento eficiente de redes móveis, pois determinam diretamente a qualidade de cobertura, a capacidade do sistema e a experiência do usuário final.

1.2. O Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético compreende toda a gama de radiação eletromagnética, desde as frequências mais baixas (ondas de rádio) até as mais altas (raios gama). Para telecomunicações móveis, trabalhamos principalmente com a porção de Radiofrequência (RF) do espectro.

Características Fundamentais:

- **Frequência (f):** Número de ciclos completos por segundo, medido em Hertz (Hz)
- **Comprimento de onda (λ):** Distância entre dois pontos correspondentes em ondas consecutivas
- **Relação Fundamental:** $c = f \times \lambda$, onde c é a velocidade da luz (3×10^8 m/s)

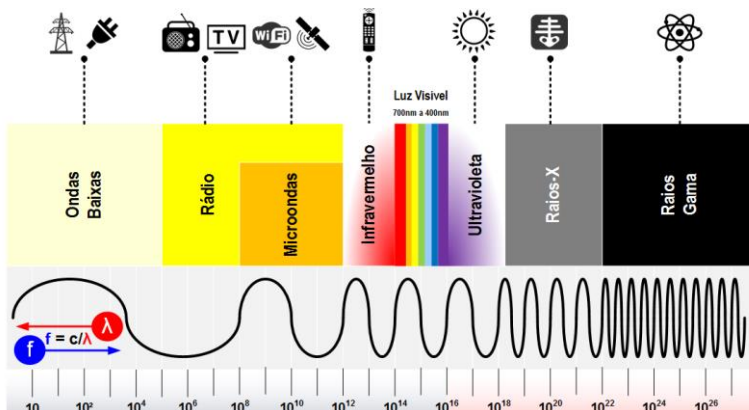
Bandas de Frequência em Telecomunicações Móveis:

Bandas Sub-6 GHz:

- **600-900 MHz:** Excelente propagação, ideal para cobertura rural e interior de edifícios
- **1.8-2.5 GHz:** Balance entre cobertura e capacidade, amplamente utilizada no 4G
- **3.3-4.2 GHz:** Bandas primárias para 5G Sub-6, oferecendo bom balance

Bandas mmWave (Ondas Milimétricas):

- **24-29 GHz:** Banda Ka, alta capacidade mas menor alcance
- **37-40 GHz:** Banda Ka adicional
- **64-71 GHz:** Banda V, capacidade extremamente alta



Gestão do Espectro:

O espectro é um recurso finito e escasso, rigorosamente regulado por agências governamentais (ANATEL no Brasil, FCC nos EUA). As operadoras adquirem licenças através de leilões para operar em bandas específicas, garantindo que não haja interferência entre diferentes serviços.

1.3. Conceitos Chave: Modulação e Multiplexação

Técnicas de Modulação:

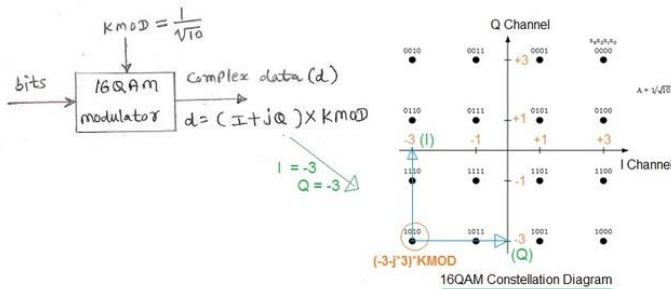
A modulação é o processo de impressão da informação em uma onda portadora de alta frequência. As técnicas principais incluem:

- **AM (Amplitude Modulation):** Varia a amplitude da portadora
- **FM (Frequency Modulation):** Varia a frequência da portadora

- **PM (Phase Modulation):** Varia a fase da portadora
- **QAM (Quadrature Amplitude Modulation):** Combina variações de amplitude e fase

Evolução para o 5G:

O 5G utiliza principalmente **256-QAM** e **1024-QAM**, permitindo transmitir mais bits por símbolo, aumentando significativamente a eficiência espectral.



Técnicas de Multiplexação e Acesso Múltiplo:

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access):** Divide o espectro em canais de frequência
- **TDMA (Time Division Multiple Access):** Divide o tempo em slots
- **CDMA (Code Division Multiple Access):** Utiliza códigos para separar usuários
- **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access):** Utilizado no 4G/5G, divide o espectro em múltiplas subportadoras ortogonais

OFDMA no 5G:

O 5G utiliza OFDMA com subportadoras de 15, 30, 60, 120 ou 240 kHz, comparado aos 15 kHz fixos do 4G. Esta flexibilidade permite otimizar a rede para diferentes cenários.

1.4. A Evolução das Gerações Móveis**1G - Primeira Geração (1980s):**

- Tecnologia analógica
- Apenas serviços de voz
- Baixa segurança e qualidade
- Sistemas: AMPS, TACS, NMT

2G - Segunda Geração (1990s):

- Transição para digital
- Voz e SMS
- Introdução de criptografia
- Sistemas: GSM, CDMA

3G - Terceira Geração (2000s):

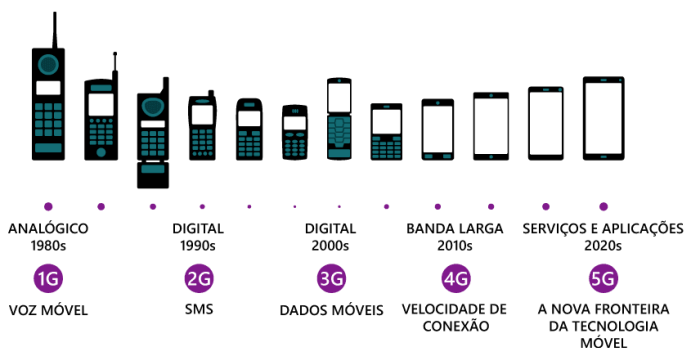
- Foco em dados móveis
- Internet móvel e videochamadas
- Velocidades até 2 Mbps
- Sistemas: UMTS, CDMA2000

4G - Quarta Geração (2010s):

- Arquitetura all-IP
- Baixa latência (<50ms)
- Velocidades até 1 Gbps
- Sistema: LTE/LTE-Advanced

5G - Quinta Geração (2020s):

- Internet das Coisas massiva
- Latência ultra-baixa (<1ms)
- Velocidades multi-Gbps
- Network Slicing nativo



IMPLANTAÇÃO DE REDES CELULARES

Manual completo - Tecnologias 2G ao 5G -
Do planejamento à operação



WAGNER R. BOMFIM

1.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS E DEFINIÇÕES

1.1.1 Definição Abrangente de Telefonia Móvel

A telefonia móvel representa um sistema de telecomunicações sofisticado que permite a comunicação bidirecional de voz e dados através da utilização de ondas eletromagnéticas. Este sistema conecta dispositivos portáteis a uma rede fixa de estações base, caracterizando-se pela mobilidade do usuário e pela capacidade de handover automático entre células de cobertura.

Componentes Estruturantes do Sistema:

Dispositivo Móvel (User Equipment - UE):

Compreende celulares, smartphones, modems USB e outros equipamentos de terminal. Cada dispositivo contém um módulo de identificação (SIM/USIM) que autentica o usuário na rede. Estes equipamentos possuem interfaces de rádio específicas para cada geração tecnológica e funcionam como ponto de contato direto com o usuário final.

Estação Rádio Base (BTS/NodeB/eNodeB/gNB):

Equipamento fixo estrategicamente posicionado que estabelece comunicação direta com os dispositivos móveis. Localiza-se no centro geométrico de cada célula de cobertura e é responsável pelo controle e gestão dos recursos de radiofrequência atribuídos àquela célula específica.

Rede de Acesso (Radio Access Network - RAN):

Conjunto integrado de estações base e seus controladores

associados. Esta rede gerencia dinamicamente os recursos de rádio, controla a mobilidade dos usuários entre células e serve como interface física entre os usuários móveis e a rede central.

Rede Central (Core Network):

Considerada o cérebro do sistema, a rede central é responsável pela gestão de assinantes, provisão de serviços, sistemas de cobrança e interconexão com outras redes de telecomunicações.

1.1.2 Princípio de Funcionamento Detalhado

Sequência Completa de uma Chamada Móvel:

Fase 1 - Iniciação da Chamada:

O usuário inicia a chamada através de seu dispositivo móvel, que transmite um sinal de requisição para a estação base mais próxima. Este sinal contém informações de identificação do assinante e detalhes do serviço solicitado.

Fase 2 - Roteamento para a Rede Central:

A estação base recebe o sinal e o encaminha através da rede de acesso para o controlador apropriado (BSC, RNC ou diretamente para o core network, dependendo da tecnologia). O controlador gerencia múltiplas estações base e otimiza o uso dos recursos de rádio.

Fase 3 - Processamento Central:

O sinal chega à central de comutação (MSC/MME) que identifica o assinante através de consulta ao banco de dados de assinantes (HLR/HSS). A central verifica a validade do

assinante, seus serviços contratados e disponibilidade de recursos.

Fase 4 - Estabelecimento da Conexão:

A central de comutação estabelece a conexão com o destino, que pode ser outro assinante móvel, rede fixa ou serviço de dados. Todo o caminho de comunicação é configurado e recursos são alocados em todos os segmentos da rede.

Fase 5 - Comunicação Bidirecional:

Uma vez estabelecido o caminho completo, a comunicação de voz ou dados ocorre bidirecionalmente. A rede monitora continuamente a qualidade da conexão e gerencia possíveis transferências entre células durante a mobilidade do usuário.

Mecanismo de Handover (Transferência entre Células):

Condições Gatilho para Handover:

- Intensidade do sinal da célula atual abaixo do threshold mínimo estabelecido
- Intensidade do sinal de célula vizinha consistentemente mais forte
- Célula vizinha com capacidade disponível para aceitar novo usuário
- Movimento detectado do usuário entre áreas de cobertura de células diferentes

Procedimento Sequencial de Handover:

1. O dispositivo móvel reporta continuamente medidas de intensidade de sinal para a estação base atual
2. A estação base analisa estas medidas e decide quando iniciar o procedimento de handover
3. A nova estação base destino é contatada e recursos são pré-alocados
4. O dispositivo móvel recebe instruções para sintonizar na nova frequência/célula
5. A comunicação é transferida seamless para a nova célula sem interrupção perceptível
6. Os recursos na célula original são liberados após confirmação da transferência

1.2 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

1.2.1 Primeira Geração - Sistemas Analógicos (1G)

Contexto Histórico e Desenvolvimento:

A primeira geração de telefonia móvel emergiu no início da década de 1980 como evolução dos sistemas de rádio móvel anteriores. A inovação fundamental foi a implementação do conceito celular, permitindo o reuso de frequências e aumentando significativamente a capacidade do sistema.

Principais Sistemas 1G Implementados:

Sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System):

Desenvolvido colaborativamente pelos Bell Labs e Motorola, o AMPS representou o primeiro sistema celular comercialmente bem-sucedido. Sua implantação inicial ocorreu em Chicago em 1983, utilizando a banda de 800 MHz com divisão específica: 824-849 MHz para uplink (dispositivo para base) e 869-894 MHz para downlink (base para dispositivo). Cada canal ocupava 30 kHz de espectro utilizando modulação FM para voz com desvio de ± 12 kHz. O sistema suportava aproximadamente 60 canais por célula e não incorporava qualquer mecanismo de segurança ou criptografia.

Sistema NMT (Nordic Mobile Telephone):

Desenvolvido em cooperação pela Suécia, Noruega, Dinamarca e Finlândia, o NMT foi lançado inicialmente na banda de 450 MHz (NMT-450) em 1981, evoluindo posteriormente para a banda de 900 MHz (NMT-900). Caracterizava-se por excelente cobertura em áreas rurais devido às baixas frequências utilizadas e introduziu o conceito pioneiro de roaming internacional entre países.

Sistema TACS (Total Access Communication System):

Derivado do AMPS mas adaptado para o mercado europeu, o TACS operava na banda de 900 MHz com canais de 25 kHz. Foi principalmente implementado no Reino Unido e Itália, com sua variante ETACS expandindo a capacidade através de canais adicionais.

Limitações Fundamentais dos Sistemas 1G:

- Capacidade extremamente limitada devido ao uso ineficiente do espectro
- Qualidade de voz inconsistentemente afetada por ruídos e interferências
- Ausência completa de segurança - conversas podiam ser interceptadas por scanners comuns
- Incompatibilidade entre diferentes sistemas nacionais
- Consumo excessivo de bateria nos equipamentos móveis
- Dispositivos de grande porte e peso, inadequados para transporte manual

1.2.2 Segunda Geração - Revolução Digital (2G)

Transição para Tecnologia Digital:

A segunda geração marcou a transição completa dos sistemas analógicos para os digitais, iniciada no início da década de 1990. O marco fundamental foi o desenvolvimento do padrão GSM (Global System for Mobile Communications), que se tornou o sistema de telefonia móvel mais amplamente adotado globalmente.

Cronologia Detalhada de Implementação 2G:

- 1991: Primeira rede GSM comercial na Finlândia pela operadora Radiolinja

- 1992: Primeiras redes GSM implementadas em outros países europeus
- 1993: Primeira rede CDMA (IS-95) implantada nos Estados Unidos
- 1995: Especificações completas do D-AMPS (TDMA digital) publicadas
- 1997: Introdução do GPRS (2.5G) para transmissão de dados por pacotes
- 1999: EDGE padronizado como evolução final do GSM (2.75G)

Arquitetura Técnica do Sistema GSM:

Subsistema de Estação Base (BSS - Base Station Subsystem):

Compreende as estações transceptoras base (BTS) e seus controladores (BSC). Cada BTS contém de 1 a 12 unidades transceptoras (TRX), cada uma operando em um par de frequências diferente. Cada TRX suporta 8 timeslots TDMA, permitindo até 96 chamadas simultâneas por BTS em configuração máxima. O BSC gerencia tipicamente até 100 BTS, sendo responsável por handovers, alocação de canais, controle de potência e gestão de recursos rádio.

Subsistema de Comutação e Rede (NSS - Network Switching Subsystem):

Inclui a central de comutação móvel (MSC) que processa chamadas de voz e dados, gerencia localização de assinantes, serviços suplementares e interconexão com outras redes. Uma

MSC típica processa até 300.000 assinantes e 2.000 chamadas simultâneas. O Home Location Register (HLR) armazena informações permanentes de todos os assinantes, enquanto o Visitor Location Register (VLR) mantém dados temporários de assinantes atualmente localizados na área geográfica sob responsabilidade do MSC associado.

Sistema de Suporte a Operações (OSS - Operation Support Subsystem):

Centro de operações e manutenção (OMC) que monitora e controla toda a rede GSM, coletando estatísticas de desempenho, gerando alarmes e permitindo configuração remota. O Network Management Center (NMC) gerencia múltiplos OMCs em nível nacional ou regional.

Especificações Técnicas do GSM:

- Esquema de acesso múltiplo: TDMA/FDMA com 8 slots por portadora
- Bandas de frequência: 900 MHz (GSM-900), 1800 MHz (DCS-1800), 1900 MHz (PCS-1900)
- Largura de canal: 200 kHz
- Taxa de transmissão: 270.833 kbps
- Modulação: GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)
- Codec de voz: RPE-LTP a 13 kbps

1.2.3 Evoluções Intermediárias: 2.5G e 2.75G

GPRS (General Packet Radio Service):

Introduziu a comutação de pacotes no GSM, permitindo transmissão de dados mais eficiente. Velocidades atingiam até 114 kbps teóricos, com tecnologia "always-on" que eliminava a necessidade de estabelecimento de chamada para transmissão de dados. A cobrança migrou do modelo por tempo de conexão para modelo por volume de dados transmitidos.

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution):

Incorporou modulação 8-PSK além do GMSK tradicional, elevando as velocidades teóricas para até 384 kbps. Manteve compatibilidade com redes GSM existentes, requerendo principalmente atualizações de software nos BTS e novos terminal compatíveis.