

## 1 Introdução

As comunicações móveis sofreram um grande avanço com o advento dos sistemas móveis celulares. Estes sistemas apresentam uma série de vantagens sobre os sistemas móveis convencionais. Alta densidade de usuários, reuso de frequências, baixa potência de transmissão, antenas pouco elevadas, área de cobertura dividida em pequenas células, expansão modular ilimitada (teoricamente) são algumas dessas vantagens.

Os sistemas celulares vêm evoluindo bastante ao longo dos anos, de acordo com as novas necessidades dos usuários. A chamada primeira geração da telefonia celular era caracterizada por oferecer apenas serviços de voz (analógica), utilizando modulação em frequência (FM) e técnica de acesso FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). São exemplos de sistemas analógicos: AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*), TACS (*Total Access Communications System*) e NMT (*Nordic Mobile Telephony*). Esses sistemas, além de serem incompatíveis uns com os outros, apresentavam outras características negativas, como: baixas capacidades, sistema de sinalização rudimentar, grande dificuldade na realização de *roaming*, custo elevado dos terminais e alto consumo de baterias. Essas características, juntamente com o rápido aumento de usuários, foram os principais motivos para a evolução rumo à segunda geração.

Os sistemas de segunda geração dos sistemas celulares têm como principal característica os serviços de voz digital e foram desenvolvidos para prover maior capacidade, utilizando as técnicas de múltiplo acesso TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*) e técnicas avançadas de transmissão digital. Apesar do serviço de voz ainda ser dominante, esses sistemas também oferecem serviços de dados a baixas taxas, como o SMS (*Short Message Service*) e o *i-mode* (baseado em HTML compacto). A estrutura de sinalização e controle é bem mais sofisticada e a segurança (autenticação e criptografia) muito melhor.

A tecnologia digital trouxe outras vantagens em relação à geração anterior, como a melhoria da qualidade de voz, a diminuição do tamanho dos terminais, a redução no consumo de bateria e também o oferecimento de novos serviços, como chamada em espera, “siga-me” e identificador de chamadas. Graças a uma maior padronização das arquiteturas de rede, operações de *roaming* foram facilitadas.

Os principais sistemas pertencentes à segunda geração são: GSM (*Global System for Mobile Communications*), PDC (*Personal Digital Cellular*), IS-136 e IS-95, dos quais os três primeiros utilizam a técnica de acesso TDMA e o último usa o CDMA. Dentre esses sistemas, o que obteve maior penetração no mercado mundial foi o GSM, com aproximadamente 60% do mercado.

Uma vez implantada a tecnologia de segunda geração, começaram as atividades de desenvolvimento da terceira geração, visando ampliar o conjunto de serviços oferecidos e provendo banda larga, o que exigiria mudanças significativas na tecnologia de acesso transmissão e de rede em geral. No entanto, com o rápido crescimento da demanda por serviços de dados nos sistemas celulares, surgiu a necessidade de se prover logo vários destes serviços. Isso levou à evolução para a chamada geração 2,5. Os principais sistemas dessa geração são o GPRS (*General Packet Radio Services*) e o HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*).

O GPRS é uma evolução do sistema GSM que possibilita a integração com uma rede de comutação de pacotes. Isso permitiu uma maior gama de serviços de dados a serem oferecidos pelas operadoras. Exemplos desses novos serviços são: correio eletrônico, acesso móvel à Internet e transferências de arquivos a taxas mais altas. A introdução do GPRS implica na adição de dois nós à rede GSM, o GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) e o SGSN (*Serving GPRS Support Node*). O GGSN faz a conexão da rede de dados GPRS com outras redes externas de pacotes de dados, como a Internet e a X.25 e o SGSN gerencia a rede GPRS. Podem ser citadas como vantagens do GPRS: a tarifação baseada no volume de transferência de dados, e não no tempo de conexão, bem como taxas de dados mais altas que no GSM (9,6kbps), podendo chegar a 52kbps. Como desvantagem tem-se o alto consumo de bateria.

Seguindo essa evolução, tem-se o sistema EDGE (*Enhanced Data for Global Evolution*), que aumenta a capacidade de dados dos sistemas TDMA, como o GSM/GPRS e o IS-136. Nele, diferentes técnicas de adaptação de enlace,

que incluem diferentes formatos de modulação (GMSK e 8-PSK) e diferentes tipos de códigos corretores de erro, são usadas.

Pelo lado das tecnologias CDMA, o IS-95 evoluiu para o cdma2000 1x. Utilizando comutação por pacotes, o cdma2000 1x aumenta as taxas de transmissão de dados (chegando a 153,6kbps), bem como a velocidade da rede. Além disso, praticamente dobra a capacidade de tráfego de voz. A denominação 1x significa uma vez 1,25MHz, que é a largura de banda padrão das operadoras CDMA IS-95. Mantendo essa largura de banda padronizada para o CDMA, permite-se que tanto as infra-estruturas, quanto os terminais sejam compatíveis, mesmo com as evoluções.

Visando taxas de transmissão ainda maiores, foi proposta uma evolução para o cdma2000 1x: o HDR (*High Data Rate*), também conhecido por cdma2000 1xEV-DO (*Evolution – Data Only*) [1]. Esse sistema atinge taxas de até 2Mbps e exige portadoras diferentes para voz e dados. A diferença do HDR está no enlace de descida, onde os usuários são multiplexados no tempo e não por códigos. Uma fase seguinte na evolução é o cdma2000 1xEV-DV (*Evolution – Data and Voice*).

O avanço das comunicações multimídia, providas de imagens e vídeos com alta qualidade, juntamente com a crescente demanda para acesso a informações e serviços em redes privadas e/ou particulares a altas taxas de dados, fez com que a União Internacional de Telecomunicações (UIT) iniciasse o desenvolvimento de um sistema universal, o IMT-2000 (*International Mobile Communications System for the year 2000*). Esse mesmo sistema é denominado de UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e é essa denominação que irá ser adotada nesse trabalho. Esse sistema é o que se convencionou chamar de terceira geração dos sistemas móveis celulares.

Os objetivos iniciais do IMT-2000 ou UMTS eram produzir um padrão de interface rádio único para todos os países, possibilitando um *roaming* global e fazer uma designação espectral única em todo o mundo. Esses objetivos não foram alcançados devido a interesses de fabricantes e operadores, que não desejam mudanças radicais, e também a problemas no espectro de frequências alocadas nos Estados Unidos. O que se tem observado é uma evolução dos sistemas já existentes.

A seguir, estão apresentadas as exigências do IMT-2000 para os sistemas de terceira geração [2]:

- taxas de transmissão de dados de: 144kbps para usuários com alta mobilidade, 384kbps para usuários com mobilidade média (pedestres) e de até 2Mbps para ambientes *indoor*;
- taxas de bits variáveis, para oferecimento de banda sob demanda;
- multiplexação de serviços com diferentes requerimentos de qualidade em uma única conexão;
- diversos requisitos de atraso, desde o tráfego em tempo-real sensível a atraso, até o tráfego de pacotes de dados sob melhor esforço (*best effort*);
- exigências de qualidade desde taxa de erro de quadro ( $FER = 10\%$ ) até taxa de erro de bit ( $BER = 10^{-6}$ );
- coexistência entre os sistemas de segunda e terceira gerações e *handovers* entre sistemas;
- suporte a tráfego assimétrico (enlaces direto e reverso);
- alta eficiência espectral;
- coexistência entre os modos FDD (*Frequency Division Duplex*) e TDD (*Time Division Duplex*).

Vários padrões de sistemas de terceira geração foram propostos, como o cdma2000 3x, que utilizaria uma banda três vezes maior que a usada pelo IS-95 e o UWC-136HS (*Universal Wireless Communications-136 High Speed*), uma evolução do EDGE. Porém, o padrão que tem emergido com mais força é o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). Esse sistema, inclusive, já está em operação no Japão e alguns países da Europa. Tanto os sistemas GSM/GPRS, quanto os EDGE podem migrar para o WCDMA.

Note que as exigências aos sistemas de terceira geração apresentadas acima podem ser consideradas como as principais características do WCDMA.

As especificações do WCDMA foram criadas pelo 3GPP (*Third Generation Partnership Project*). O 3GPP é um projeto de parceria entre diversos órgãos de padronização da Europa, Japão, Coreia, Estados Unidos e China. Os órgãos parceiros são: ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), ARIB

(*Association of Radio Industries and Business*), TTA (*Telecommunications Technology Association*), CCSA (*China Communications Standards Association*), ATIS (*Alliance for Telecommunications Industry Solutions*) e TTC (*Telecommunication Technology Committee*). A proposta do 3GPP é produzir especificações e relatórios técnicos para um sistema móvel de terceira geração, cujo núcleo de rede é baseado no GSM e cuja tecnologia de rádio acesso é o WCDMA (modo FDD ou TDD). Assim, os parceiros têm a incumbência de criar e dissolver grupos de pesquisa, bem como analisar, aprovar e manter suas propostas aplicáveis e atualizadas.

Apesar de os sistemas de terceira geração suportarem praticamente todas as aplicações atuais, alguns serviços, como baixar arquivos, ainda podem se beneficiar de maiores taxas e menores atrasos. Visando satisfazer a crescente demanda nos serviços baseados em pacotes, estudos estão sendo feitos para a evolução da interface aérea do WCDMA.

Neste sentido, foi proposto pelo 3GPP uma evolução do sistema WCDMA. Intitulado HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), seu principal objetivo é permitir que o WCDMA suporte taxas de pico de dados no enlace direto de até 10 *Mbps*, para serviços de melhor esforço. Além disso, o HSDPA deve aprimorar o WCDMA em termos de atrasos mais baixos e maior capacidade. O HSDPA já é considerado uma tecnologia de 3,5 geração.

A implementação do HSDPA se faz através da adição do canal HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channel*) aos canais já existentes no WCDMA. Para conseguir seus objetivos, o HSDPA utiliza a adaptação rápida do enlace, visando aumentar a eficiência espectral e a taxa de transmissão. Para isso, alguns recursos, como modulações de alta ordem (como 16-QAM e 64-QAM), modulação e codificação adaptativas (MCA), antenas com entradas-múltiplas e saídas-múltiplas (MIMO), retransmissão automática híbrida (HARQ), rápido agendamento e seleção rápida de células (FCS) podem ser implementados [3]. O HSDPA e suas características são abordados no Capítulo 3.

A proposta do HSDPA vem motivando diversos trabalhos no intuito de estudar suas características e aperfeiçoá-las, quando for o caso. Resultados bastante abrangentes de desempenho da técnica podem ser encontrados na própria Recomendação do 3GPP [16]. Análises semelhantes foram feitas por outros autores como, por exemplo, Kolding, Frederiksen e Mogensen [17].

Trabalhos mais recentes sobre HSDPA têm se voltado para a proposta e análise de técnicas avançadas, capazes de melhorar o desempenho do sistema. Entre estas técnicas podem ser citadas técnicas de adaptação [13], estimação da razão sinal-interferência [23], sistemas MIMO [25], canceladores de interferência [20] [21] [22] e escalonadores [24].

Em [16] e [17], as simulações de enlace foram todas realizadas num cenário sem multipercursos sendo que na Recomendação do 3GPP relativa ao HSDPA [16] é prevista uma seção (A.2.1) com o título “*Effect of Multipath*” prevendo a necessidade de um estudo dos efeitos causados pelos multipercursos. Porém, este estudo aparentemente não foi realizado, pois a seção encontra-se vazia. Por outro lado, diversos trabalhos citados no parágrafo anterior consideram um ambiente com multipercurso, mas nenhum deles é voltado para uma análise básica e uma avaliação mais detalhada da modulação adaptativa do HSDPA neste tipo de canal. Visando este objetivo, nosso trabalho estende o estudo realizado em [4], onde é feita a análise de desempenho de sistemas HSDPA em presença de desvanecimento Rayleigh plano. Para isso, foi necessário implementar no programa de simulação utilizado em [4] e desenvolvido na plataforma Matlab, os modelos de um canal com duplo percurso, de um receptor Rake e de modificações no esquema de estimação da razão sinal-ruído a partir das amostras na saída do filtro de recepção. De forma análoga ao que foi feito em [4], avaliou-se o impacto de alguns parâmetros, como a velocidade do móvel, o comprimento do quadro e o atraso na realimentação da informação, no desempenho do sistema.

Um aspecto a ser ressaltado no presente trabalho em relação a [4] é o impacto das características dos códigos de espalhamento e *scrambling*. Mostra-se que as propriedades destes códigos não favorecem a rejeição de multipercursos podendo afetar significativamente o desempenho do sistema.

O Capítulo 2 aborda as principais características do WCDMA, destacando a sua camada física. O Capítulo 3 traz a tecnologia HSDPA, ressaltando seus impactos na arquitetura da rede e também sua camada física. O Capítulo 4 descreve a modelagem do sistema de transmissão digital utilizado, passando pelo transmissor, pela caracterização do canal e também pelo receptor, introduzindo o conceito de receptores Rake. É feita uma modelagem considerando a presença de multipercursos na transmissão.

No Capítulo 5, a adaptação de enlace em um sistema HSDPA é abordada. Dentre as diversas técnicas de adaptação de enlace que são especificadas para o HSDPA, ressaltamos a Modulação e Codificação Adaptativas (MCA), que é a técnica utilizada na nossa análise. Também no Capítulo 5, é mostrado o modelo do simulador utilizado, bem como alguns aspectos de validação deste.

Os resultados comentados da análise realizada estão no Capítulo 6. No Capítulo 7, são apresentadas as conclusões às quais este trabalho nos levou.