

# 1. Introdução

Nas últimas décadas, a demanda por serviços de comunicação móvel celular tem crescido de forma espantosa em todo o mundo, principalmente com relação a serviços suplementares e complementares. Este crescimento é atribuído à necessidade dos usuários celular em obter informações e dados *on-line*, já que necessitam de alta mobilidade sem se desconectarem de suas atividades. Aliás, esta é a essência da computação móvel, que consiste em se manter a conectividade de usuários com redes de computadores enquanto os mesmos migram entre diferentes localizações, fazendo com que os computadores possam executar suas aplicações independentes de sua localização, mantendo a conectividade com a rede.

O desafio de prover serviços diferenciados à telefonia móvel celular vem sendo superado, em parte, graças ao desenvolvimento da tecnologia digital para as comunicações móveis, cuja capacidade de serviço é bastante superior aos antigos métodos de acesso.

Os primeiros sistemas celulares disponibilizados para comercialização adotavam métodos de acesso analógicos, não apresentando interoperabilidade entre si, nem mesmo suporte a tráfego de dados e serviços especiais, ficando conhecidos na literatura como sistemas de 1ª Geração [2].

Com o crescimento da utilização da rede celular, novas tecnologias de rádio acesso foram sendo desenvolvidas para proporcionar um maior número de assinantes e serviços a estes. Estas novas tecnologias são digitais e são conhecidas como sistemas de 2ª Geração. Possuem a capacidade de prover vários tipos de serviços diferenciados, entre eles, a identificação de chamadas, a troca de mensagens de texto (*short message service*) e a transmissão de dados.

As três principais tecnologias digitais que surgiram neste período foram a TDMA (*Time Division Multiple Access* – Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo), a CDMA (*Code Division Multiple Access* – Acesso Múltiplo por Divisão em Código), utilizadas pelos Estados Unidos e América Latina [2], e a GSM (*Global*

*System for Mobile Communication* – Sistema Móvel para Comunicação Global), utilizada, em sua maioria, em países europeus [1 e 2] e agora no Brasil.

Uma das grandes vantagens das tecnologias digitais é que ambas possuem interconectividade entre si, provendo *roaming* entre diferentes áreas e países, desde que operem utilizando a mesma tecnologia.

Para o caso específico das tecnologias *TDMA* e *CDMA*, ambas podem operar no modo analógico, quando da não-disponibilidade de um sistema digital para a cobertura celular. Esta funcionalidade de troca de tecnologia acarreta na perda dos benefícios trazidos pela digitalização do sistema, como economia de bateria, privacidade e serviços especiais, quando utilizados em modo analógico.

Para a Geração 2,5 (2,5G) foram propostos sistemas de comunicação móvel pessoal onde é esperado o oferecimento de uma grande variedade de serviços multimídia, com taxas de transmissão superiores às propostas para a 2ª Geração, tais como:

- Navegação na Internet a taxas de transferência teóricas de 170 Kbps;
- Envio e recebimento de mensagens eletrônicas (e-mail);
- Transferência de arquivos (FTP – *File Transfer Protocol*);
- Vários outros serviços ainda por serem desenvolvidos.

Mas o aumento de capacidade proporcionado pelo surgimento dos sistemas digitais não foi grande o suficiente para atender às expectativas da maioria das operadoras, que passaram a adotar estratégias relacionadas à arquitetura e à operação da rede para permitir a prestação de serviços a um número ainda maior de usuários.

Dentre as alternativas escolhidas, as que se destacam como principais são:

- a redução do tamanho das células (*cell splitting*);
- a setorização de células;
- a utilização de antenas inteligentes, e;
- o emprego de técnicas de controle de potência e transmissão descontinuada.

Todas essas estratégias vêm sendo utilizadas pela maioria das operadoras celulares, mas a mais utilizada certamente é que se baseia na redução do tamanho das células como forma de se aumentar a capacidade do sistema.

Alguns estudos apresentados em [27] mostram que a área de cobertura celular utilizada para o tráfego de dados é bem inferior à área de cobertura para o tráfego de voz. É necessária então uma redução no tamanho das células para se obter uma qualidade de sinal satisfatória em uma região. Mas a redução no tamanho das células acarreta também na instalação de novas estações rádio-base e na modificação de parâmetros de propagação e QoS para se garantir a cobertura celular existente anteriormente para o tráfego de voz.

Visando minimizar custos de instalações desnecessárias de estações rádio-base, validações de cenários de cobertura celular têm sido realizadas através de exaustivas simulações em computadores. No entanto, é extremamente difícil realizar estas simulações abordando todos os parâmetros que devem ser considerados em um cenário celular, como, por exemplo, o comportamento de mobilidade do usuário, as condições de tráfego de voz e dados, as características geográficas e morfológicas da região e o complexo canal rádio móvel.

Em sua maioria, os estudos publicados na literatura utilizam-se de ambientes simplificados para simulação da rede celular, buscando viabilizar a implementação dos simuladores, principalmente quando se trata da análise de tráfego de dados e voz em conjunto. Mas estas simplificações tendem a distanciar o resultados da realidade,

Visando obter uma ferramenta de simulação que espelhe a realidade, foi desenvolvido nesta dissertação um simulador que leva em consideração vários parâmetros de configuração de uma rede celular, como:

- *Intensidade do Nível de Sinal Recebido pelo Terminal Móvel*: Este parâmetro é utilizado como fator de decisão para a determinação da célula que irá servir ao usuário, para a alocação do canal e para o procedimento de *handover*.
- *Distância do Terminal Móvel à Estação Rádio-Base e Frequência de Operação*: Para o cálculo da intensidade do nível de sinal é levado em consideração a distância do terminal móvel à estação rádio base, bem como a frequência do sinal recebido.

- *Modelo de Propagação*: O valor da intensidade do sinal é obtido pelo modelo de Propagação de *Walfisch-Ikegami* [20 e 21], onde se considera casos de visibilidade direta ou não e perdas adicionais por difração, espalhamento e multipercurso do sinal.
- *Modelo de Mobilidade*: É utilizado o modelo de *Manhattan Grid* [17 e 18], modelo este baseado na Ilha de Manhattan, onde ruas e avenidas são tipicamente ortogonais. O deslocamento dos usuários só é permitido em ruas e calçadas e pode apresentar características aleatórias ou ter uma rota definida, como o deslocamento dos usuários do trabalho para suas residências. Com isto é possível analisar o efeito da mobilidade dos usuários sobre o desempenho do sistema, procurando maximizar a qualidade de serviço oferecida aos usuários.
- *Modelo de Tráfego de Voz*: O modelo utilizado no simulador considera a geração de novas chamadas modeladas por um processo estacionário de *Poisson*, como na maioria dos estudos realizados na literatura. Contudo, uma variação neste simulador é a determinação de regiões distintas com taxas diferenciadas de chegada de novas chamadas.
- *Modelo de Tráfego de Dados*: Para o simulador foram utilizados dois modelos de tráfego de dados. O primeiro é idêntico ao modelo de tráfego de voz e o segundo utiliza-se da distribuição de *Pareto* para a geração de pacotes de dados a serem transmitidos pelos usuários. Tanto o tráfego de voz quanto o tráfego de dados são analisados em conjunto pela ferramenta
- *Algoritmos de Controle de Potência*;
- *Algoritmos de Controle de Handover (MAHO)*.

A ferramenta de simulação foi desenvolvida para a tecnologia GSM europeia [1] e possui como grande diferencial de [19] a análise do comportamento do tráfego de dados e voz em conjunto, bem como a determinação de novos fatores de reuso para a frequência utilizada. A escolha desta tecnologia foi devido a sua vasta utilização no mundo e agora no Brasil, com as Operadoras Oi e TIM nas empresas detentoras do SMP (Serviço Móvel Pessoal). A análise do tráfego de dados e voz em uma única ferramenta visa melhor dimensionar e estudar o impacto causado pelas as novas redes de dados na telefonia celular que começam a surgir no Brasil.

O objetivo deste trabalho é oferecer uma ferramenta de simulação flexível que possibilite ao pesquisador testar, analisar e dimensionar algoritmos para o gerenciamento de recursos rádio, gerenciamento do tráfego de dados e voz em conjunto, esquemas de alocação de canais de dados, e custos das operadoras e usuários finais com as novas redes de dados *wireless* que estão sendo disponibilizadas.

O Capítulo 2 apresenta as características do sistema GSM europeu, com ênfase na cobertura celular, arquitetura, interface área e técnicas de otimização da eficiência espectral. O Capítulo 3 apresenta o HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data* - Transmissão de Dados Comutados por Circuito em Alta Velocidade), que é um melhoramento do serviço de dados proposto durante o desenvolvimento da fase 1 (*Phase 1*) do GSM. O Capítulo 4 descreve os modelos de tráfego de voz, de tráfego de dados, de mobilidade e de propagação utilizados no desenvolvimento da ferramenta de simulação, argumentando sobre as razões de sua escolha. O Capítulo 5 descreve a organização, as características e os parâmetros considerados no simulador, com base no GSM operando na faixa de 1800 MHz, frequência esta utilizada pelas operadoras brasileiras para o SMP. O Capítulo 6 valida a ferramenta, propondo um novo algoritmo de alocação de canais para uma transmissão de dados, além de realizar um breve estudo sobre algumas estratégias para se maximizar a eficiência espectral quando da utilização de tráfego de dados e voz em conjunto. Finalmente, na conclusão, comentam-se os resultados obtidos e apresentam-se sugestões para trabalhos futuros.