



UNIÃO EDUCACIONAL MINAS GERAIS S/C LTDA
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS DE MINAS
Autorizada pela Portaria no 577/2000 – MEC, de 03/05/2000
ESPECIALIZAÇÃO EM REDES CONVERGENTES E
TECNOLOGIA DE VOZ SOBRE IP

ENOCK CABRAL ALMEIDA VIEIRA

**ANÁLISE DO USO DE VOIP EM REDES DE
TELEFONIA CELULAR GPRS/EDGE/3G**

Uberlândia

2008

ENOCK CABRAL ALMEIDA VIEIRA

**ANÁLISE DO USO DE VOIP EM REDES DE
TELEFONIA CELULAR GPRS/EDGE/3G**

Monografia apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas de Minas Gerais da União Educacional Minas Gerais-UNIMINAS, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Redes Convergentes e VoIP.

Orientador: Prof. MSc. Luiz Cláudio Theodoro

Uberlândia

2008

Aos meus pais, José Luiz e Roselena, que sempre acreditaram em mim, no meu potencial, e me ensinaram a ter disciplina, determinação e confiança em tudo o que eu for realizar em minha vida. Obrigado pelo exemplo de vida!

A minha namorada Luciana, pelo amor, compreensão, confiança, e apoio, desde o primeiro dia que a conheci.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a oportunidade e condições para crescer espiritualmente, sempre me mostrando o caminho correto a ser seguido.

Ao meu orientador Luiz Cláudio Theodoro, pelo incentivo e motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu amigo e colega de trabalho Rafael Aquino, que sempre esteve disposto a me ajudar em todos os momentos em que eu precisava.

Ao meu amigo e colega João Paulo Araújo que me mostrava a todo o momento que este trabalho era possível de ser realizado.

A CTBC, que me apoiou financeiramente durante os 13 meses de duração desta especialização; além de me fornecer todos os equipamentos necessários para a realização dos testes de validação. Sem este auxílio, este trabalho não seria possível.

Ao colega de trabalho Suender, que sempre deixou o firewall pronto para meus testes.

Enfim, aos colegas de turma e professores da Uniminas, que me ensinaram, nos seminários e aulas teóricas, a maioria dos conceitos necessários para a realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o de realizar um estudo aprofundado sobre o uso de VoIP em redes de telefonia celular. Como VoIP é um serviço de dados, faz-se necessário estudar as técnicas de transmissão de dados em redes celulares. São mencionadas então as tecnologias GPRS, EDGE e 3G, comparando o desempenho do serviço de VoIP nestas três tecnologias de serviços de dados. Também é feita uma análise dos codecs envolvidos nas chamadas VoIP, observando sua influência na qualidade da chamada e sua aplicação em cada tecnologia. A partir deste estudo, será possível julgar a viabilidade técnica da implantação de VoIP na rede celular.

ABSTRACT

The purpose of this document is to make a complete study about using VoIP in cellular networks. As VoIP is a data service, it's necessary to study the data transfer techniques in cellular networks.

Thus, it's important to talk about the technologies GPRS, EDGE and 3G, and analyze the performance of VoIP in these three technologies.

An analysis of the codecs involved in a VoIP call is made, studying the quality associated to each one and its applicability in the three technologies.

After all, it will be possible to judge if it's a good business to implement VoIP in these bearers, technically speaking.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Comunicação VoIP PC x Celular
- Figura 2: Comunicação Convencional x Comunicação Celular
- Figura 3: Rede celular e integração com rede de telefonia fixa (PSTN)
- Figura 4: Comunicação entre terminal móvel e estação base.
- Figura 5: Cluster de 7 células.
- Figura 6: Reuso de freqüências.
- Figura 7: Técnicas de múltiplo acesso
- Figura 8: Visão Geral do Sistema GSM
- Figura 9: Célula GSM
- Figura 10: Bandas de Uplink e Downlink
- Figura 11: Arquitetura GPRS
- Figura 12: Aumento da eficiência com EDGE na rede
- Figura 13: Arquitetura EDGE – principais mudanças para as operadoras.
- Figura 14: Componentes e interfaces de uma rede UMTS (3G)
- Figura 15: Acesso múltiplo por divisão de código, usado pelo WCDMA.
- Figura 16: Evolução da tecnologia celular
- Figura 17: Alcance das tecnologias 802.11 indoor.
- Figura 18: Comunicação VoIP ponto a ponto.
- Figura 19: Estrutura em camadas de alguns protocolos utilizados em VoIP
- Figura 20: Arquitetura de Testes VoIP – Telefone GPRS/EDGE/3G
- Figura 21: Arquitetura de Testes VoIP – Telefone Wi-Fi
- Figura 22: Configurações de codecs, perfil SIP, VoIP e NAT, para o Nokia E51
- Figura 23: Configurações do *softphone* registrado no PABX Asterisk
- Figura 24: Configurações dos codecs do *softphone* registrado no PABX Asterisk

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das freqüências GSM

Tabela 2: MCSs do EDGE e CSs do GPRS

Tabela 3: Padrões 802.11 a, b e g, e suas principais características

Tabela 4: Comparativo de alcance, custo e compatibilidade entre os padrões 802.11a, b e g

Tabela 5: Vários modos de nível físico para 802.11.

Tabela 6: Codecs e suas respectivas características

Tabela 7: Scores MOS

Tabela 8: Tabela MOS para alguns codecs

Tabela 9: Plano de testes (Codecs, Tecnologia, MOS)

Tabela 10: Resultados obtidos (Codecs, Tecnologia, MOS)

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

3G	3 ^a Geração de Telefonia Celular
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ADSL	Assymmetric Digital Subscriber Line
APN	Access Point Name
Cable	Internet a Cabo
CDMA	Code Division Multiplexing Access
CSD	Circuit Switched Data
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDMA	Frequency Division Multiplexing Access
GMSK	Gaussian Minimum Shifting Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IETF	Internet Engineering Task Force
ITSP	Internet Telephony Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
MMS	Multimedia Message Service
MOS	Mean Opinion Score
MSC	Mobile Switching Centre
QoS	Quality of Service
RTCP	Real Time Control Protocol
RTP	Real Time Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
Softphone	Telefone virtual (software)
TDMA	Time Division Multiplexing Access
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wide Band Code Division Multiplex Access
Wi-Fi	Tecnologia de acesso Sem Fio (802.11)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 O ASSUNTO E SUA IMPORTÂNCIA	11
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	13
1.3 OBJETIVOS GERAIS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS	14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 REDE CELULAR	16
2.1.1 TELEFONIA MÓVEL CELULAR	16
2.1.2 SISTEMA GSM	25
2.1.3 SERVIÇOS DE DADOS EM REDES CELULARES	32
2.1.3.1 TECNOLOGIA GPRS	32
2.1.3.2 TECNOLOGIA EDGE	38
2.1.3.3 TECNOLOGIA 3G	42
2.2 REDES WI-FI	53
2.3 CODECS	57
2.4 VOIP	60
3 METODOLOGIA	66
3.1 PLANO DE TESTES	67
3.2 AMBIENTE DE TESTES	68
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO TRABALHO	71
5 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	75
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
7 TRABALHOS FUTUROS	80
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 O ASSUNTO E SUA IMPORTÂNCIA

Com a evolução dos terminais de telefonia celular assim como das redes de acesso móveis, abre-se a oportunidade para a oferta de vários serviços de valor adicionado nestas redes. Um destes serviços é a transmissão da Voz através da internet, que é conhecido por VoIP (Voice over Internet Protocol).

Muitas pessoas que trabalham em telecomunicações desconhecem se é viável a oferta de VoIP usando como meio de acesso as redes de telefonia celular, entre elas as redes GPRS, EDGE e 3G*. Hoje não se conhece qual seria a qualidade desta comunicação, o que desencoraja sua implantação.

Sabe-se que a tecnologia VoIP já funciona com qualidade razoável nas atuais redes de dados fixas, como o ADSL*, onde o usuário usa um computador pessoal com *Softphone* (software para acesso VoIP que simula um telefone) plugado em um cabo de telefone convencional. Existe também a possibilidade de se usar um telefone IP (SIP Phone) conectado a um modem ADSL.

Existem também implementações de VoIP em redes Wi-Fi*. Neste caso usa-se aparelhos Wi-Fi puros, Dual-mode (GSM/3G e Wi-Fi) ou Computadores portáteis (*notebooks*) Wi-Fi.

Algumas empresas do ramo de internet começaram algumas iniciativas de se vender VoIP com mobilidade. É o caso do **Skype**, empresa pioneira no ramo de VoIP. Ela criou o “*Skypephone*”. O *Skypephone* é um aparelho que tem acesso somente Wi-Fi e que implementa, portanto, VoIP sobre Wi-Fi. Este aparelho já vem de fábrica com o *softphone* da Skype, pré-configurado para o acesso VoIP.

* GPRS, EDGE e 3G são tecnologias que permitem o acesso a internet através do telefone celular e possuem diferentes velocidades de acesso (taxas de transmissão).

* ADSL: tecnologia de acesso a internet que usa os fios da rede telefônica tradicional para transmissão de dados

* Wi-Fi: tecnologia de acesso a internet sem fio, muito utilizada por computadores portáteis (*notebooks*) em aeroportos e empresas. A antena que transmite o sinal Wi-Fi é chamada de *hot-spot* ou *Access Point*.

No primeiro caso (VoIP sobre ADSL), têm-se os benefícios da tecnologia VoIP (baixo custo, chamadas em qualquer lugar que tenha acesso a Internet) mas não existe mobilidade real (física).

Já no segundo exemplo, além de se ter estes benefícios, pode-se observar mobilidade restrita (a cobertura de um *hot-spot* Wi-Fi é de até 300 metros). Porém, o número de *hot-spots* Wi-Fi no mundo é bem pequeno. Outro fator é que os terminais de acesso têm um alto consumo de bateria quando usam Wi-Fi.

Em redes Wi-Fi a mobilidade não é completa, visto que temos pouca capilaridade desta tecnologia. Atualmente, existem cerca de 180.000 *hot-spots* Wi-Fi registrados no mundo. Destes, apenas 2.400 deles são localizados no Brasil. Em nosso país, eles se encontram basicamente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

Portanto, nota-se que não existe uma solução consolidada de VoIP móvel, que permita o deslocamento do usuário com seu terminal por grandes distâncias sem perder a cobertura do serviço.

Quando se olha para o mundo da telefonia celular, percebe-se que existe uma boa oportunidade para o uso de VoIP. Primeiramente, porque hoje, através de um terminal celular, consegue-se acessar a internet com taxas que vão de 40Kbps a 2Mbps. Outro fator é que o raio de cobertura de uma antena celular pode atingir até 30 quilômetros (100 vezes maior que o raio de cobertura de um *hot-spot* Wi-Fi).

Além disso, as redes de telefonia celular possuem uma cobertura muito maior que as redes Wi-Fi. Atualmente existem centenas de operadoras celulares no mundo, cobrindo quase a totalidade da superfície terrestre. Estas operadoras ainda possuem acordos para compartilhamento de suas redes, o que permite que um usuário de telefonia celular se desloque praticamente por todo o mundo.

Este trabalho se propõe a realizar um estudo de performance de VoIP sobre redes de telefonia celular, de maneira a fomentar a implantação da solução de VoIP pelas operadoras de telefonia móvel num futuro bem próximo.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho se propõe a estudar o uso de VoIP sobre redes de telefonia móvel. Neste caso, o usuário usa um terminal celular para fazer chamadas VoIP. O aparelho deve possuir as tecnologias GPRS, EDGE ou 3G para permitir esta comunicação, visto que estas são tecnologias de acesso a internet características de redes de telefonia celular. Segue abaixo figura ilustrando este acesso.

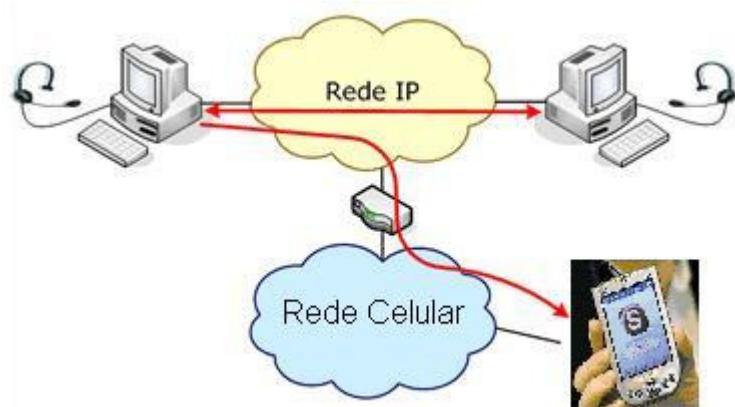


Figura 1: Comunicação VoIP PC x Celular

1.3 OBJETIVOS GERAIS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1 OBJETIVOS GERAIS

Realizar uma análise comparativa da utilização de Voz sobre IP em redes de telefonia celular GPRS, EDGE e 3G, e observar o desempenho e qualidade deste serviço sobre estas redes. Como referência, lançaremos mão de resultados de teste de VoIP sobre ADSL e Wi-Fi, cujas performances são bastante satisfatórias, e já são até comercializadas por algumas operadoras de telefonia fixa no mundo, como a inglesa BT (British Telecom).

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar testes de VoIP em redes reais de telefonia celular, utilizando aparelhos de tecnologias GPRS, EDGE e 3G (WCDMA/HSDPA).

* WCDMA e HSDPA: tecnologias de acesso a internet rápida através do celular. São variações da tecnologia 3G, terceira geração da tecnologia de acesso a internet móvel.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi organizado em seis partes, sendo uma introdução, quatro capítulos e as considerações finais

A primeira parte trata da INTRODUÇÃO AO ESTUDO, em que são apresentados: O assunto e sua importância, onde se fala sobre as necessidades de mercado deste estudo, Delimitação do estudo, relatando o que se quer estudar e os Objetivos Gerais e Específicos.

No Capítulo 2, é desenvolvida a REVISÃO DE LITERATURA, dividida em cinco grandes tópicos. O primeiro discorre sobre os conceitos de Telefonia Celular e as tecnologias de acesso a dados desta área das telecomunicações, em seguida falamos sobre Redes Wi-Fi, com o objetivo de se ter um padrão de referência de velocidades e comportamento para nosso estudo. Os terceiro e quarto tópicos falam sobre os conceitos de Internet e de VoIP, para entendermos como funciona o mundo IP e como podemos integrá-lo com a rede celular, e por fim falamos sobre o que são Codecs, quais os principais tipos, características e aplicações.

No Capítulo 3 é apresentada a METODOLOGIA utilizada na pesquisa, citando: o método, o plano de testes, variáveis de pesquisa, os equipamentos utilizados e o ambiente de testes.

O Capítulo 4 foi dedicado à APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO TRABALHO, onde mostramos os resultados de todos os testes feitos de acordo com o plano de testes pré-definido.

No Capítulo 5 foram desenvolvidas a ANÁLISE e a CRÍTICA DOS RESULTADOS, a partir dos resultados obtidos.

E, por fim, foram elaboradas as CONSIDERAÇÕES FINAIS, levando-se em conta os objetivos da pesquisa, as bases teóricas utilizadas, os documentos analisados e demais aspectos abordados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REDE CELULAR

2.1.1 TELEFONIA MÓVEL CELULAR

2.1.1.1 Conceitos

O objetivo dos primeiros sistemas de comunicação móveis era o de obter uma grande área de cobertura através do uso de um único transmissor de alta potência, com a antena situada em um local elevado. Embora essa abordagem gerasse uma cobertura muito boa, o número de usuários era limitado. Um determinado conjunto de freqüências era utilizado por toda a região e cada freqüência era alocada a um único usuário por vez, para evitar interferências.

Dado o fato de que as agências de regulamentação dos governos não poderiam realizar alocações de espectro na mesma proporção do aumento da demanda de serviços móveis, ficou óbvia a necessidade de reestruturação do sistema de telefonia por rádio para que se obtivesse maior capacidade com as limitações de espectro disponível e, ao mesmo tempo, provendo grandes áreas de cobertura.

O conceito celular foi uma grande descoberta na solução do problema de congestionamento espectral e limitação de capacidade de usuários que havia em sistemas de comunicações móveis até então. Esse conceito permite oferecer grande capacidade com limitações de espectro alocado, sem grandes mudanças tecnológicas. A FCC (*Federal Communication Commission* – órgão americano regulamentador de telecomunicações), em uma regulamentação de 22 de Junho de 1981 definiu o sistema celular como: “Um sistema móvel terrestre de alta capacidade no qual o espectro alocado é dividido em canais que são alocados, em grupos, a células que cobrem determinada área geográfica de serviço. Os canais podem ser reusados em células diferentes na área de serviço”.

A idéia do conceito celular constitui-se basicamente na substituição do transmissor único de alta potência (responsável pela cobertura de uma grande área) por vários transmissores de baixa potência, cada um provendo cobertura a uma pequena região (célula) da área total. A cada uma dessas estações base é

alocada uma porção do número de canais disponíveis para todo o sistema. Às estações base são alocados diferentes grupos de canais, de forma que todos os canais disponíveis no sistema são alocados a um determinado número de estações vizinhas. A alocação de canais a estações base vizinhas é feita de forma que a interferência entre estações base (e entre usuários móveis) seja minimizada. Através do espaçamento sistemático das estações base bem como dos grupos de canais, os canais disponíveis serão distribuídos através da região geográfica e poderão ser reusados quantas vezes forem necessárias, desde que a interferência entre estações co-canais (estações que possuem grupos de canais em comum) seja mantida a níveis aceitáveis.

A figura a seguir ilustra a diferença entre um sistema de comunicação móvel comum e um sistema de telefonia celular.



Figura 2: Comunicação Convencional (a) x Comunicação Celular (b)
(RODRIGUES [7])

A célula é a área geográfica coberta por sinais de RF (radiofreqüência) de determinada estação base. Cada célula é, em essência, um centro de rádio-comunicações onde um assinante móvel pode estabelecer uma chamada para um telefone móvel ou fixo através da Central de Comutação Móvel (MSC, ou CCC - Central de Comutação e Controle) e da Rede de Telefonia Pública Comutada (PSTN). Essa plataforma composta permite que usuários se comuniquem estando em qualquer lugar da área de cobertura, seja essa comunicação entre usuários

móveis ou entre usuários móveis e fixos. O tamanho e forma da célula dependem de vários fatores, tais como ERP (*Effective Radiated Power*, potência efetiva irradiada), diagrama de radiação das antenas e ambiente de propagação. Tradicionalmente, embora o formato real das células seja altamente irregular, para efeito de projeto e gerência dos sistemas é assumida uma forma geométrica (usualmente, um hexágono).

Todo o processo de comunicação é controlado e monitorado pela inteligência do sistema, que reside na MSC. O projeto, implementação e manutenção dessa complexa rede exigem estudos de propagação de ondas de RF (rádio-freqüência), antenas, planejamento de freqüências e engenharia de tráfego.

Com o acréscimo da demanda, ou seja, aumento do número de canais necessários numa determinada região, o número de estações base pode ser aumentado (em conjunto com a diminuição da potência de transmissão), gerando assim um aumento na capacidade sem necessidade de ampliar o espectro alocado. Esse princípio fundamental é a base para todos os sistemas modernos de comunicação móvel, pois ele permite que um número fixo de canais (dado pela disponibilidade de espectro) sirva um grande número de assinantes através do reuso dos mesmos canais pela região total de cobertura. ^[8]

2.1.1.2 Elementos da rede celular

Os três elementos principais em uma rede celular são:

- Estação base
- Estação móvel
- Central de Comutação Móvel (MSC)

Embora não conste entre os componentes da rede celular, pode-se também incluir a Rede de Telefonia Pública Comutada (PSTN), devido à sua interligação estreita com a rede de telefonia celular.

A figura a seguir esquematiza uma rede de comunicação celular, com sua interligação à PSTN.

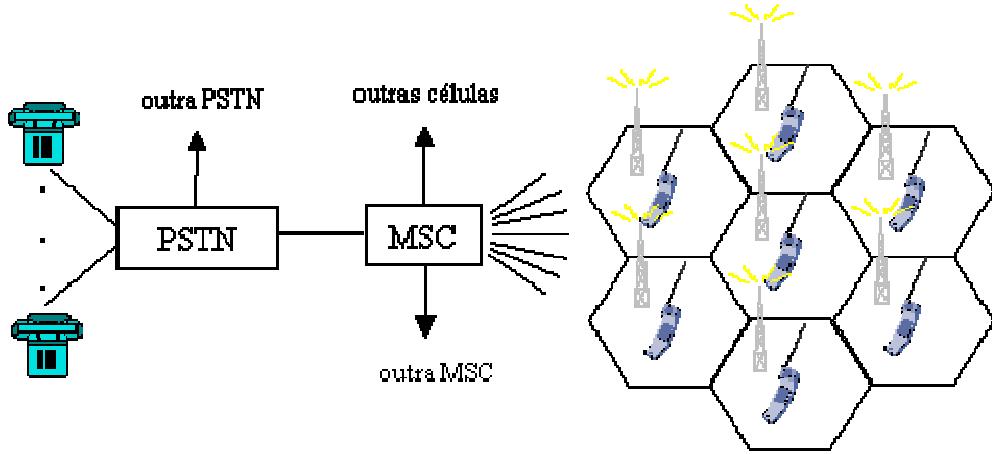


Figura 3: Rede celular e integração com rede de telefonia fixa (PSTN) (FARUQUE [9])

As Estações Base são responsáveis pela realização das chamadas vindas ou destinadas aos móveis localizados em cada uma das células. São o elo de conexão dos móveis com o restante do sistema. São conectadas à Central de Comutação e Controle através de ligações terrestres ou via rádio. Consistem de dois elementos básicos: a parte de rádio e o controle. O rádio engloba todo o conjunto de transmissão e recepção, além de torres e antenas. O controle é uma unidade com microprocessador responsável pelo controle, monitoração e supervisão das chamadas. A alocação e realocação de canais aos móveis também é feita pela estação base. E ainda, a estação base monitora os níveis de sinal dos móveis para verificar a necessidade de *handoff* *.

Os canais utilizados na comunicação entre móveis e bases são divididos em dois grupos: canais de voz e canais de controle. Nos canais de voz ocorre a conversação (ou troca de dados) propriamente dita. Pode também ser feita alguma forma de sinalização para a manutenção da chamada, como sinalização de *handoff*, por exemplo. Os canais de controle, que existem em número bem menor que os de voz, carregam as informações necessárias ao estabelecimento de uma chamada, bem como informações sobre o estado atual do sistema. Canais de voz podem ser analógicos ou digitais, dependendo do sistema. Canais de controle são sempre digitais.

* *handoff* é um processo de troca de freqüência das portadoras alocadas ao móvel, conforme este muda da região de cobertura de uma base para a de outra.

A unidade móvel do assinante constitui-se basicamente em um transceptor portátil de voz / dados, desenvolvido para comunicar-se com os rádios das estações base em qualquer dos canais alocados. Opera em modo *full-duplex*, possuindo um caminho de ida e um de retorno em relação à estação base, que são os *links* reverso (móvel para base) e direto (base para móvel), conforme ilustra a figura a seguir

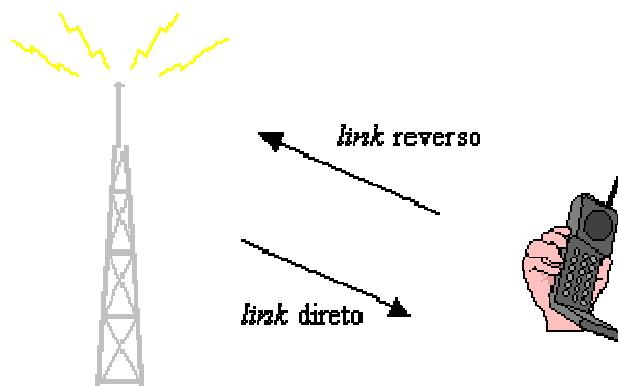


Figura 4: Comunicação entre terminal móvel e estação base.

Além da comunicação de voz, a estação móvel também se comunica com a estação base através de suas funções de controle e sinalização. Alguns exemplos de mensagens de controle trocadas entre móvel e base são:

- pedido do móvel para acessar um canal e efetuar uma chamada;
- registro do móvel na área de serviço atual (outra MSC);
- mensagem de alocação de canal para o móvel;
- mensagem de *handoff*, para que o móvel sintonize outro canal.

Ressalta-se nesse ponto que o que está sendo chamado de “canal” constitui-se na dupla *link* direto e reverso.

A Central de Comutação Móvel (MSC) é o centro de comutação celular, que interliga um conjunto de células. Também provê interligação com a rede de telefonia pública (PSTN). Entre as funções desempenhadas por uma MSC estão: gerência e controle dos equipamentos da base e de conexões; suporte a múltiplas tecnologias de acesso; provisão de interligação com a PSTN; provisão de registros

de assinantes locais; provisão de registros de assinantes visitantes; suporte a conexões entre sistemas; suporte de funções de processamento de chamadas e funções necessárias à tarifação.

O número de células conectadas e, portanto, controladas por uma MSC varia de acordo com as necessidades. Uma MSC pode ser responsável por uma grande área metropolitana ou por um pequeno grupo de pequenas cidades vizinhas. A área servida por uma MSC é denominada *área de serviço* e o assinante de uma determinada área de serviço é chamado assinante *local (home)*. É possível que um assinante desloque-se para uma outra área diferente daquela na qual ele está cadastrado. Nesse caso, o assinante é denominado *visitante (roamer)*.

2.1.1.3 *Cluster* e Reuso de Freqüências

Cluster é o nome dado ao conjunto de células vizinhas que utiliza todo o espectro disponível. Uma configuração muito utilizada é a de *cluster* de sete células, como exemplificada na figura a seguir.

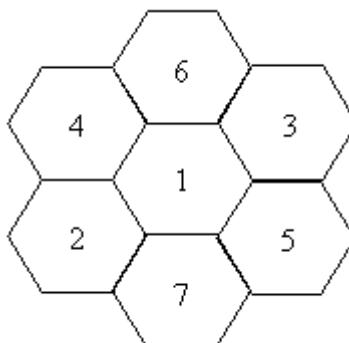


Figura 5: Cluster de 7 células.

Sistemas celulares baseiam-se em um sistema inteligente de alocação e reuso de canais através da área de cobertura. A cada estação base é alocado um grupo de canais de rádio que serão usados em uma região geográfica relativamente pequena, a célula. Estações base de células adjacentes possuem grupos de canais diferentes de suas células vizinhas, para que não haja interferência.

Através da limitação da área de cobertura até os limites da célula, um mesmo número de canais pode ser usado em outra célula desde que as células

estejam separadas um da outra de uma distância suficientemente grande para que os níveis de interferência sejam aceitáveis. Dessa forma, usuários em diferentes áreas geográficas podem usar um mesmo canal simultaneamente. O conceito de reuso de freqüência é fundamental para o uso eficiente do espectro. O processo de seleção e alocação de grupos de canais para todas as estações bases faz parte do *planejamento de freqüência*.

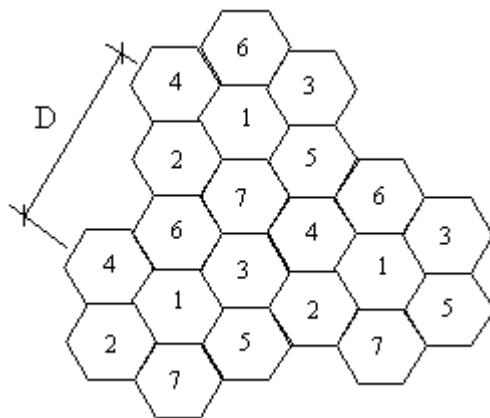


Figura 6: Reuso de freqüências.

2.1.1.4 *Roaming*

Numa situação prática, pode haver mais de um operador de serviços celulares em uma mesma cidade e, certamente, dentro de um mesmo país/continente. Porém, o usuário é assinante de uma operadora apenas. Dessa forma, é necessário que haja interligações entre as diversas operadoras, no sentido de que o assinante de uma operadora possa utilizar os serviços de outra, como visitante (*roamer*).

Durante o curso de uma chamada, se o móvel desloca-se da área de serviço de uma MSC para a de outra, é necessário um *roaming*. Portanto, o *roaming* pode inclusive ocorrer na área de prestação de serviço de uma mesma operadora. Há vários aspectos a serem considerados na implementação do *roaming*. Por exemplo, uma chamada local pode transformar-se numa chamada a longa distância quando a MSC visitada está em outro estado. Da mesma forma, deve ser dada atenção à compatibilidade de sistemas entre as MSC's envolvidas.

2.1.1.5 Técnicas de Acesso

O compartilhamento de recursos é uma forma muito eficiente de se obter alta capacidade em uma rede de comunicações. No que diz respeito a comunicações móveis, os recursos são os canais disponíveis ou, de forma mais ampla, a banda de freqüências. O mecanismo de acesso deve permitir que qualquer terminal acesse o sistema, provendo um sistema de acesso troncalizado. Se canais são designados a usuários por demanda, o esquema é chamado de Acesso Múltiplo com Alocação por Demanda (DAMA, Demand-Assigned Multiple Access), ou simplesmente Múltiplo Acesso.

De acordo com a forma com que o espectro é disponibilizado aos usuários, tem-se a classificação geral de sistemas em faixa estreita e faixa larga. Em um sistema faixa estreita, a faixa de freqüências é subdividida em várias faixas menores, os canais, que são alocadas sob demanda aos usuários. Em sistemas faixa larga, toda ou grande parte da banda de freqüências é disponibilizada aos usuários, como um único bloco.

Há três formas básicas de se realizar múltiplo acesso, nomeadas de acordo com o mecanismo chave usado para implementá-las:

- Múltiplo Acesso por Divisão de Freqüência (FDMA);
- Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo (TDMA);
- Múltiplo Acesso por Divisão de Código (CDMA).

Enquanto o FDMA e o CDMA são, respectivamente, técnicas faixa estreita e faixa larga por natureza, o TDMA permite ambas as formas de implementação.

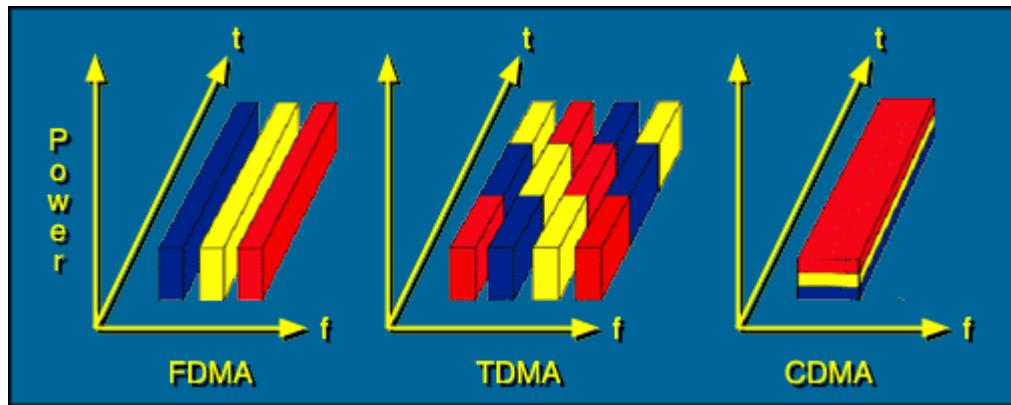


Figura 7: Técnicas de múltiplo acesso

Para a implementação de comunicação bidirecional *full-duplex*, pode-se utilizar divisão no tempo (TDD - *Time Division Duplex*) ou na freqüência (FDD – *Frequency Division Duplex*). No TDD, as duas direções de comunicação utilizam uma mesma faixa de freqüências comum, mas instantes de tempo distintos. Por outro lado, no FDD, cada sentido utiliza faixas distintas de freqüências, separadas convenientemente para evitar interferências, permitindo um *full-duplex* real, pois a informação pode trafegar nos dois sentidos simultaneamente. O TDD requer sincronização e tempo de guarda entre *slots* de ambos os sentidos, também para evitar interferência. Observa-se que o TDD, por utilizar a mesma faixa de freqüências, permite que a comunicação mantenha a mesma qualidade em ambos os sentidos.

2.1.1.6 Sistemas Digitais

Os sistemas celulares de Segunda Geração possuem como característica comum o fato de empregarem esquemas de modulação digital também nos canais de voz, e não apenas nos canais de controle como já era feito nos sistemas de Primeira Geração (Analógico).

A modulação digital oferece muitas vantagens quando comparada à modulação analógica. Entre elas, pode-se citar: maior imunidade a ruído e a outros efeitos nocivos do canal; maior facilidade e praticidade de se multiplexar várias formas de informação, como voz, dados e vídeo, por exemplo; e maior segurança nas informações. Além disso, esquemas de modulação digital podem comportar

códigos de deteção e/ou eliminação de erros e ainda códigos complexos de codificação e equalização, entre outros, para melhorar o desempenho geral do sistema.

Existem basicamente 2 grandes sistemas de telefonia digital celular de segunda geração. São eles: TDMA e GSM.

Como estudaremos neste trabalho o desempenho de VoIP sobre redes GPRS, EDGE e 3G, que são evoluções da tecnologia GSM, iremos, portanto, transcorrer aqui sobre o GSM, não entrando, portanto nos detalhes da tecnologia TDMA.

2.1.2 SISTEMA GSM

Antes de passarmos para a operação propriamente dita do sistema GSM, vamos dar uma olhada no passado e ver como chegamos onde estamos hoje.

Em 1981, o celular analógico foi lançado e, quase ao mesmo tempo, houve um estudo conjunto franco-germânico voltado à tecnologia celular digital e à possibilidade da criação de um sistema pan-europeu.

Em 1982, um comitê de trabalho especial, o Groupe Spécial Mobile (GSM) foi criado no CEPT para analisar e continuar o estudo franco-germânico. Em 1986, o comitê de trabalho deu um passo à frente com o estabelecimento de um núcleo permanente de pessoas designadas para a continuação do trabalho e a criação de normas para um sistema digital do futuro. Aproximadamente um ano depois, o memorando de entendimento, ou MoU, como foi denominado, foi assinado por mais de 18 países.

Este memorando declarava que os signatários participariam do sistema GSM e o colocariam em operação até 1991.

Em 1989, o GSM foi transferido para a organização ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*, ou Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações).

Uma vez sob o controle do ETSI, o sistema GSM teve o seu nome alterado para ***Global System for Mobile communications***.

Os comitês de trabalho do sistema tiveram o seu nome mudado de GSM para SMG (Special Mobile Group, ou Grupo Móvel Especial). Estas mudanças foram feitas para evitar confusão entre o nome do sistema (GSM) e o grupo de pessoas que trabalham nas especificações (SMG), e também para colocar os nomes no idioma de trabalho oficial do ETSI (inglês). Em 1990, foi criado um novo ramo da especificação GSM - o DCS1800.

As especificações originais do DCS1800 foram desenvolvidas simplesmente como versões editadas dos documentos do GSM900. O interesse no GSM espalhou-se rapidamente fora da Europa. A Austrália foi o primeiro país não europeu a juntar-se ao MoU, em 1992. Desde então, muitos outros países asiáticos adotaram o GSM.

Atualmente, existe um MoU pan-asiático, que analisa os acordos de roaming internacionais.

As especificações da Fase II para o GSM foram então definidas, combinando os documentos do GSM900 e DCS1800; diversos recursos novos foram incluídos ao sistema, juntamente com muitos pequenos ajustes. A próxima etapa foi a Fase II+, que define a inclusão de novos serviços específicos como dados e fax para o GSM e o DCS1800.

2.1.2.1 Interface aérea do sistema GSM

A figura abaixo ilustra um sistema GSM.

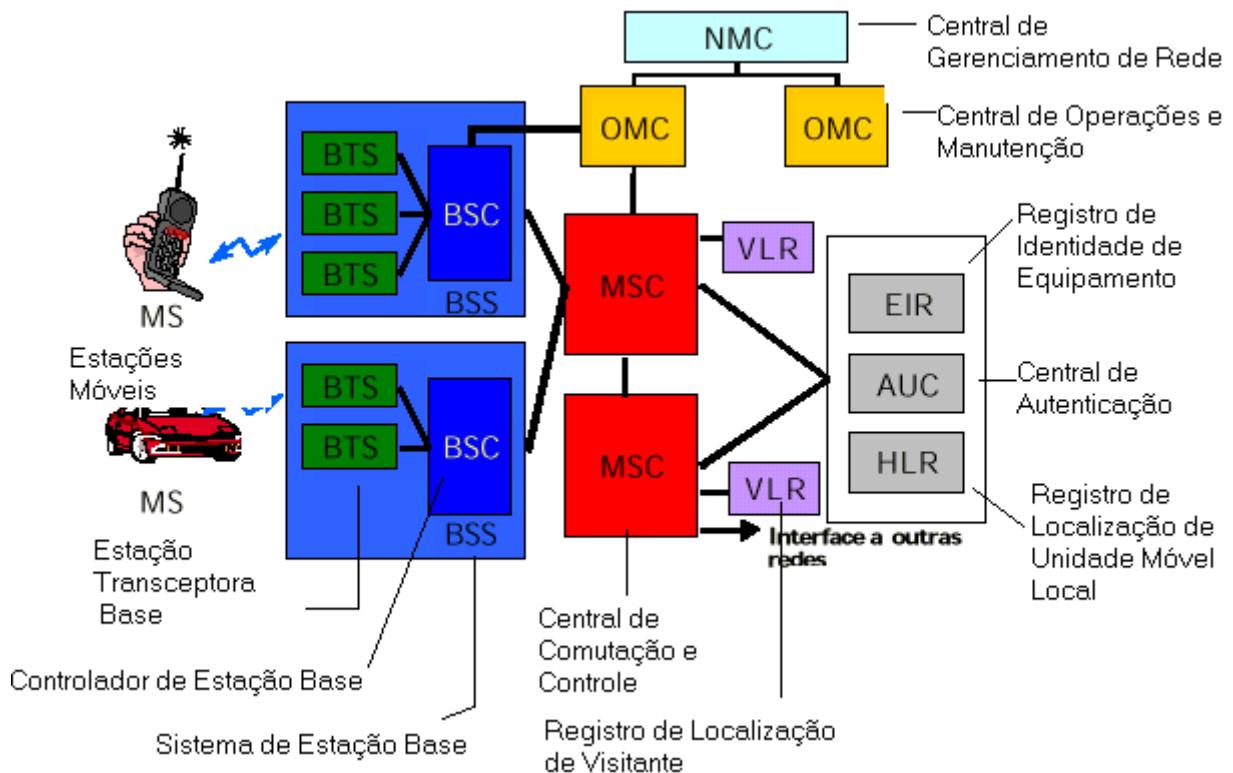


Figura 8: Visão Geral do Sistema GSM
(AGILENT TECHNOLOGIES [10])

As estações móveis (MS), sejam telefones celulares (e portáteis) e as tradicionais unidades móveis instaladas em automóveis, falam com o Sistema da Estação Base (BSS) pela interface aérea de RF.

O Sistema de Estação Base (BSS) é formado por uma Estação Transceptora Base (BTS) e um Controlador de Estação Base (BSC).

É comum que diversas BTS estejam localizadas em um mesmo local, criando de 2 a 4 células setorizadas ao redor de uma torre de antena comum. As BSC são freqüentemente ligadas à BTS por links de microondas.

O link do BSC à BTS é chamado de interface Abis. Tipicamente, de 20 a 30 BTS serão controladas por um BSC. Por sua vez, diversas BSS são subordinadas a uma Central de Comutação e Controle (MSC), que controla o tráfego entre diversas células diferentes.

Cada Central de Comutação e Controle (MSC) terá um Registro de Localização de Visitante (VLR), no qual as unidades móveis que estiverem fora das células de sua área local serão listadas, de forma que a rede saiba onde encontrá-las.

A MSC será também conectada ao Registro de Localização de Unidade Móvel Local (HLR), a Central de Autenticação (AUC) e ao Registro de Identidade do Equipamento (EIR), de forma que o sistema possa verificar se os usuários e equipamentos são assinantes em situação legal. Isto ajuda a evitar o uso de unidades móveis roubadas ou fraudadas. Há também instalações dentro do sistema para as organizações de Operações e Manutenção (OMC) e de Gerenciamento da Rede (NMC).

A Central de Comutação e Controle (MSC) também possui uma interface para outras redes, como as Redes Privadas Fixas de Telefonia Móvel (PLMN), Redes Públicas de Telefonia Comutada (RPTC) e redes RDSI.

2.1.2.2 A Célula GSM e as bandas de freqüência

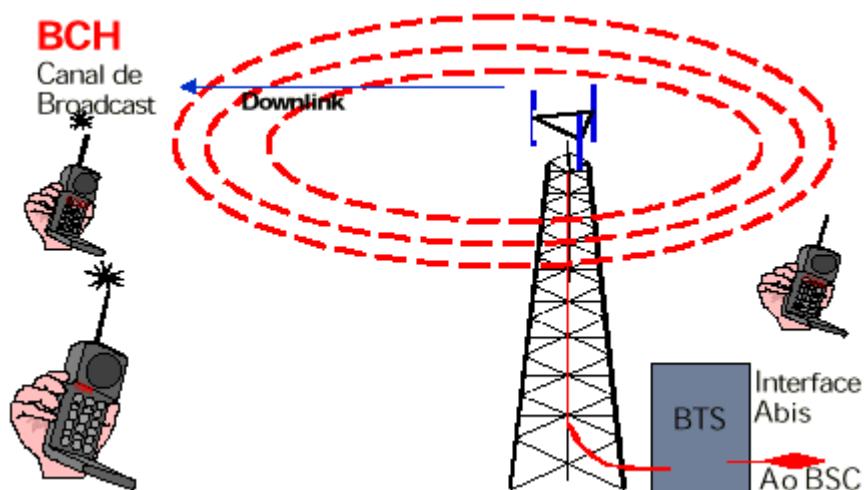


Figura 9: Célula GSM
(AGILENT TECHNOLOGIES [10])

Esta é uma visão detalhada de uma célula GSM típica. As células podem ter um raio de até 35 km no GSM900 e 2 km no DCS1800 (devido à menor potência das unidades móveis do DCS1800).

A parte mais óbvia da célula GSM é a estação base e a sua torre de antena. É comum ter diversas células setorizadas ao redor de apenas uma torre de antena. A torre terá diversas antenas direcionais, cada uma destas cobrindo uma área em particular.

Esta co-alocação de diversas BTS é às vezes denominada estação radiobase, ou simplesmente uma estação base. As BTSs são conectadas aos seus BSC pela interface Abis, por cabo ou fibras ópticas. As redes DCS1800 muitas vezes usam um link de microondas para a interface Abis.

Cada BTS possuirá um certo número de pares Tx/Rx ou módulos transceptores. Este número determinará o número de canais de freqüência que poderão ser usados na célula, o que dependerá do número esperado de usuários. As informações são divididas em uplink e downlink, dependendo da direção do fluxo. O GSM separa o uplink e o downlink em bandas de freqüência distintas. Dentro de cada banda, o esquema de numeração de canais usado é o mesmo.

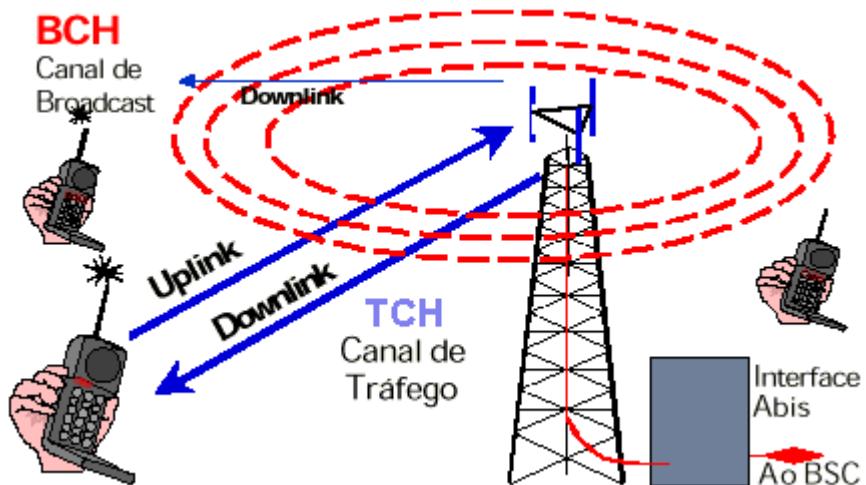


Figura 10: Bandas de Uplink e Downlink
(AGILENT TECHNOLOGIES [10])

Na verdade, um canal do GSM é formado por um uplink e um downlink.

Abaixo, apresentamos alguns outros detalhes sobre a interface aérea.

Tabela 1: Características das freqüências GSM

	Fase 1 GSM900	Fase 2 GSM900	Fase 1 DCS1800	Fase 2 DCS1800	PCS1900
Uplink	890 a 915MHz	880 a 915MHz	1710 a 1785MHz	1710 a 1785MHz	1850 a 1910MHz
Downlink	935 a 960MHz	925 a 960MHz	1805 a 1880MHz	1805 a 1880MHz	1930 a 1990MHz
Faixa de ARFCN	1 a 124	0 a 124 e 975 a 1023	512 a 885	512 a 885	512 a 810
Espaçamento de TX/RX (Freq.)	45MHz	45MHz	95MHz	95MHz	80MHz
Espaçamento de TX/RX (Tempo)	3 Timeslots	3 Timeslots	3 Timeslots	3 Timeslots	3 Timeslots
Taxa de dados de modulação	270,833 kbit/s	270,833 kbit/s	270,833 kbit/s	270,833 kbit/s	270,833 kbit/s
Período do quadro	4,615ms	4,615ms	4,615ms	4,615ms	4,615ms
Período do Timeslot	576,9μs	576,9μs	576,9μs	576,9μs	576,9μs
Período do Bit	3,692μs	3,692μs	3,692μs	3,692μs	3,692μs

2.1.2.3 Serviços no sistema GSM

O serviço mais básico que o sistema GSM suporta é a telefonia, ou **transmissão da voz**. Quando falamos ao celular com outra pessoa estamos usando este serviço. A chamada de voz convencional vem acompanhada do serviço de **chamada de emergência**. Quando digitamos 190 em nossos celulares GSM, nossa chamada é direcionada ao serviço de emergência da cidade mais próxima. O sistema GSM também suporta o serviço de **FAX**, em baixas velocidades.

Além da voz, o serviço que mais se destaca no sistema GSM é o **SMS** (*Short-Message Service*), ou serviço de mensagens curtas. O SMS é um serviço para envio e recebimento de mensagens de texto (caracteres alfa-numéricos de até 160bytes por mensagem). Podemos enviar e receber mensagens de texto para outros celulares GSM, além de poder solicitar o recibo de entrega destas mensagens.

A natureza digital da rede GSM permite serviços básicos de **transferência de dados**. A velocidade máxima de transmissão de dados em uma rede GSM tradicional (comutação de circuitos - CSD) é de **9,6Kbps**.

2.1.3 SERVIÇOS DE DADOS EM REDES CELULARES

2.1.3.1 TECNOLOGIA GPRS

O GPRS (General Packet Radio Service) é um serviço de valor agregado não baseado em voz que permite o envio e recepção de informações através de uma rede telefônica móvel. O GPRS tem várias características específicas que podem ser resumidas em:

VELOCIDADE

Taxas de transferência teóricas de **até 171,2 kbps** (kilobits por segundo) são possíveis com GPRS usando **todos os oito timeslots** ao mesmo tempo. Isso é uma taxa de transferência próxima de três vezes mais rápida do que as possíveis nas redes de telecomunicações fixas e dez vezes mais que os serviços de CSD nas redes GSM. Na prática, um usuário de GPRS consegue em **média** taxas de **40Kbps**.

DISPONIBILIDADE IMEDIATA

GPRS facilita conexões instantâneas, pois a informação pode ser enviada ou recebida imediatamente conforme a necessidade do usuário. Não há necessidade de conexões dial-up através de modems. Algumas vezes, diz-se que os usuários de GPRS estão “sempre conectados”. Disponibilidade imediata é uma das vantagens de GPRS (e SMS) quando comparado com CSD. Alta disponibilidade imediata é uma característica muito importante para aplicações críticas como autorização remota de lançamento em cartões de crédito, quando é inaceitável que o cliente seja mantido em estado de espera por mais de 30 segundos além do necessário.

NOVAS E MELHORES APLICAÇÕES

GPRS facilita muitas novas aplicações não disponíveis através das redes GSM, dadas as limitações na taxa de transferência dos CSDs (9,6 kbps) e do

tamanho da mensagem no SMS (160 caracteres). Essas aplicações vão desde navegação na Web até transferência de arquivos para automação de residências - a habilidade de acessar e controlar remotamente os equipamentos e recursos disponíveis em uma casa.

ACESSO AO SERVIÇO

Para usar GPRS, os usuários precisam especificamente de:

- Um telefone móvel ou terminal que suporte GPRS;
- Uma assinatura em uma rede de telefonia móvel que suporte GPRS;
- Ter o uso de GPRS habilitado. Acesso automático ao GPRS pode ser permitido por algumas operadoras; outras poderão requerer uma opção específica de adesão;
- Conhecimento de como enviar e receber informações através do GPRS usando seu aparelho telefônico, incluindo configurações de hardware e software, o que cria a necessidade de um serviço de atendimento ao cliente;
- Um destino para enviar ou um local de onde receber informações através do GPRS. Enquanto que com SMS esse destino ou origem era freqüentemente outro telefone móvel, com GPRS é mais provável que se pareça com um endereço Internet, já que GPRS foi projetado para tornar o acesso à Internet totalmente disponível aos usuários móveis desde o início. Desde a disponibilidade do serviço, os usuários do GPRS podem acessar qualquer página da Web ou outras aplicações Internet - fornecendo uma massa crítica inicial de uso.

Tendo visto as características principais do GPRS do ponto de vista do usuário, vejamos quais são essas características do ponto de vista de uma operadora da rede.

2.1.3.1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA REDE GPRS

COMUTAÇÃO DE PACOTES

Com o GPRS, a informação é dividida em “pacotes” relacionados entre si antes de ser transmitida e remontada no destinatário.

A comutação de pacotes é semelhante a um jogo de quebra-cabeça - a imagem que o quebra-cabeça representa é dividida em pequenas peças pelo fabricante e colocada em um saco plástico. Durante o transporte do quebra-cabeça entre a fábrica e o comprador, as peças são misturadas. Quando o comprador do jogo retira as peças da embalagem ele as remonta, formando a imagem original. Todas as peças são relacionadas entre si e se encaixam, mas a forma como são transportadas e remontadas varia. A Internet é outro exemplo de rede de dados baseada em comutação de pacotes, o mais famoso de muitos tipos de rede.

EFICIÊNCIA DO ESPECTRO

Usar a comutação de pacotes no GPRS significa que os recursos de rádio serão utilizados apenas quando os usuários estiverem enviando ou recebendo dados. Ao invés de dedicar um canal para um usuário por um determinado período de tempo, **o recurso pode ser compartilhado concorrentemente entre vários usuários.**

Esse uso eficiente de recursos significa que um grande número de usuários GPRS pode potencialmente compartilhar a mesma largura de banda e serem servidos de uma única célula.

O número atual de usuários suportados depende da aplicação em uso e de quanta informação está sendo transferida. Dada a eficiência do GPRS, há menor necessidade de investir em recursos que serão somente utilizados em horários de pico. Portanto, o GPRS permite que as operadoras maximizem o uso de seus recursos de rede de uma forma dinâmica e flexível.

O GPRS pode melhorar a capacidade de uma rede GSM, pois, simultaneamente:

- Aloca recursos de rádio pouco abundantes de forma mais eficiente por suportar conectividade virtual;
- Migra tráfego anteriormente enviado através de CSDs para GPRS;
- Reduz o uso de canais de sinalização através da migração de tráfego que anteriormente era enviado via SMS para GPRS ao invés de usar a conectividade GPRS / SMS suportada pelo padrão GPRS.

COMPATÍVEL COM A INTERNET

De início, o GPRS permite uma funcionalidade completa no que se refere à Internet Móvel por disponibilizar interoperabilidade entre a Internet existente e as novas redes GPRS. Qualquer serviço atualmente utilizado na Internet - FTP, navegação na Web, chat, email, telnet - está disponível através da rede móvel com o GPRS. Na verdade, muitas operadoras estão considerando a oportunidade de usar GPRS como forma de ajudar a se tornarem Provedores de Serviço Internet (ISP).

A World Wide Web (WWW) está se tornando a primeira escolha das pessoas que desejam acessar a Internet para entretenimento e coleta de informações, a intranet para acessar informações da companhia e conexão com colegas de trabalho e a extranet para acessar clientes e fornecedores. Tudo isso deriva da WWW, com o intuito de conectar comunidades com interesses diversos. Há uma tendência em se armazenar informações localmente por meio de pacotes de software específicos e acessar essas informações remotamente, via Internet. Quando você quer checar sua programação de tarefas ou contatos, ao invés de usar algo semelhante ao software "Act!", você pode ir a um site semelhante a um portal na Internet. Assim, navegação na Web é uma aplicação importante para GPRS.

Como os protocolos em uso são os mesmos, as redes GPRS podem ser encaradas como sub-redes da Internet e os telefones GPRS-compatíveis podem

ser vistos como nós móveis dessa rede. Isso significa que cada terminal GPRS pode potencialmente ter seu próprio endereço IP e ser endereçável por isso.

A principal mudança na arquitetura GSM trazida pelo GPRS foi a introdução de dois novos nós: o SGSN (Serving GPRS Support Node) e o GGSN (Gateway GPRS Support Node). Estes novos servidores permitiram, pela primeira vez, a integração de uma rede celular com as redes de dados tradicionais como as redes IP e as redes X-25. Eles gerenciavam todo o transporte de pacotes entre os terminais móveis ou entre estes e as redes externas. Toda a comunicação entre estes novos nós é baseada em pacotes TCP/IP ou UDP/IP roteados através de um protocolo de tunelamento específico, o GTP (GPRS Tunneling Protocol), que é responsável por transportar unidades de dados entre os elementos da rede terrestre GPRS.

2.1.3.1.2 A Transmissão de Dados no GPRS

O GPRS utiliza uma estrutura de canais semelhante à do GSM. Porém, ele introduziu um esquema de alocação bem mais flexível que tende a economizar recursos na transmissão de dados. Além da alocação de múltiplos canais por usuário, a multiplexação de um canal para vários usuários simultâneos permitiu que o GPRS atendesse de maneira mais eficiente tanto a tráfegos intermitentes quanto a tráfegos contínuos em taxas mais elevadas.

O compartilhamento de canais é implementado logicamente através dos chamados TBFs (Temporary Block Flow). Um TBF representa uma conexão virtual entre a estação e a BSS para o transporte de unidades de dados da camada LLC. Cada TBF é representado por um número que o identifica univocamente denominado TFI (Temporary Flow Identifier). O TFI é único em cada direção e é definido pela BSS.

O GPRS foi o primeiro sistema a inserir nas redes celulares o paradigma da transferência de dados baseada em pacotes. No que diz respeito à prestação do serviço ainda foram definidos quatro parâmetros de qualidade: precedência (prioridade relativa), confiabilidade (probabilidade de perda, duplicação ou corrupção de pacotes), atraso (atraso médio e máximo dos pacotes) e banda.

Este padrão possui quatro esquemas de codificação de canal: CS-1, CS-2, CS-3 e CS-4. Em condições de tráfego ótimas, o CS-4 fornece a maior taxa de transferência possível por slot (21.4 kbps), com nenhuma redundância, o que resultaria numa taxa máxima teórica de 171.2 kbps por estação caso fosse possível a utilização de 08 canais simultâneos.

Por outro lado, um canal de tráfego também pode ser compartilhado por até 08 usuários conciliando os períodos de atividade e inatividade de cada aplicação. Na prática, a maioria das operadoras limita este número a 06 usuários a fim de oferecer um nível mínimo de qualidade mesmo no pior caso.

A taxa máxima atingida depende de vários fatores como número de usuários na célula, número de slots máximo em que o terminal pode transmitir e, principalmente, das condições de interferência do meio. Em condições normais, raramente é possível utilizar a codificação CS-4 por causa do número excessivo de retransmissões necessárias quando há perdas por interferência na parte aérea da rede. Na prática as estações GPRS atingem taxas de pico de 40 kbps (sob as melhores condições de operação) sendo que as velocidades médias típicas estão entre 30 e 40 kbps.

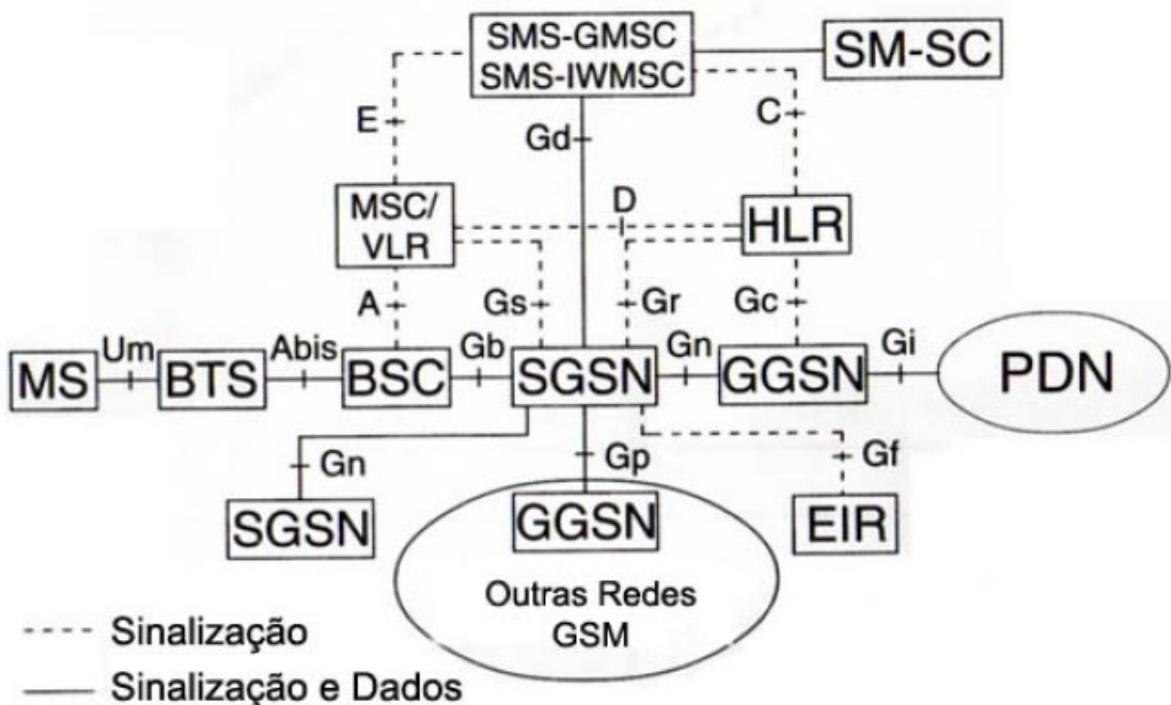


Figura 11: Arquitetura GPRS - (SANTOS [11])

2.1.3.2 TECNOLOGIA EDGE

O EDGE foi proposto em 1999 pelo ETSI como um novo padrão capaz de oferecer taxas de transferência até três vezes maiores que as do GPRS, implementando métodos otimizados de codificação do canal e modulação na camada física.

Com ele foi possível, pela primeira vez, atingir taxas razoáveis de transmissão de dados em redes celulares. Este padrão foi considerado por muitos como o caminho mais seguro rumo à terceira geração possibilitando aumento das receitas oriundas dos serviços de dados a partir de investimentos relativamente baixos.

Porém, para sustentar serviços baseados em pacotes, o EDGE precisa de uma infra-estrutura pré-existente como, por exemplo, uma rede GPRS, onde a arquitetura da parte terrestre é totalmente mantida como na figura 12. Apenas a interface rádio é alterada com a introdução dos novos esquemas de modulação e codificação dentro da mesma estrutura de organização de canais.

2.1.3.2.1 A Transmissão de Dados no EDGE

Este padrão adotou a técnica de codificação denominada 8-PSK que permite a transmissão de até três bits por símbolo. Assim, comparando com a modulação GMSK utilizada até então nas redes GSM, para a mesma taxa de transmissão de símbolos por portadora de 200 KHz (271.000 símbolos por segundo), o EDGE consegue transmitir até três vezes mais bits.

Ele ainda oferece 04 tipos de codificação baseados na modulação GMSK (MCS-1 ao MCS-4) e 05 tipos baseados na modulação 8-PSK (MCS-5 ao MCS-9). Vale ressaltar que os esquemas que utilizam modulação GMSK no EDGE não são exatamente iguais aos utilizados pelo GPRS, pois há diferenças no que diz respeito às taxas de bits por segundo, FEC, etc (ver tabela 2).

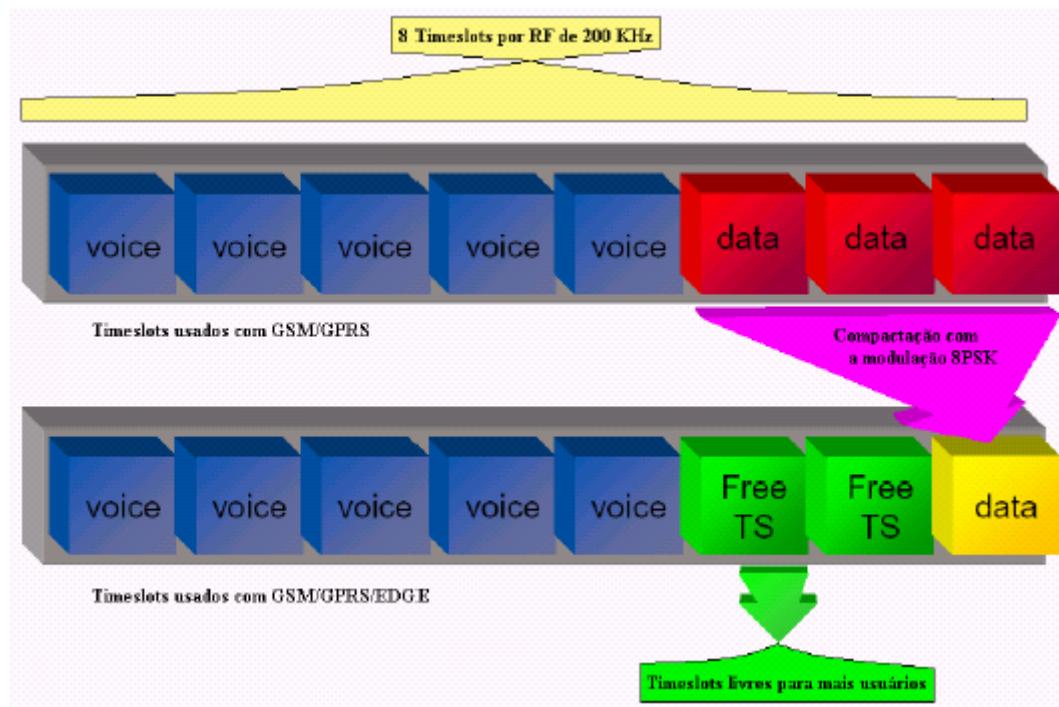


Figura 12: Aumento da eficiência com EDGE na rede

Quando falamos de velocidades na rede EDGE, podemos encontrar taxas máximas (teóricas) de até 384Kbps. No entanto, a taxa média de transferência de dados em redes reais é de **120Kbps**.

O desempenho do EDGE ainda pode ser melhorado através do mecanismo de adaptação de canal. Com a adaptação de canal, as taxas de transmissão podem ser otimizadas através da variação dinâmica do esquema de codificação e modulação entre as opções disponíveis aumentando a eficiência espectral do sistema. O melhor desempenho é obtido quando o mecanismo de adaptação permite utilizar o MCS que oferece a maior taxa possível, a cada instante, em pontos de chaveamento perfeitos (adaptação de canal ideal) dependendo das condições do meio.

A adaptação de canal também era possível no GPRS, mas, obviamente, apenas 28 entre os 04 esquemas de codificação possíveis naquele padrão. O fato de o EDGE poder alternar entre 09 taxas distintas representa, por si só, um fator de melhoria do padrão por torná-lo mais adaptável às variações do meio.

Tabela 2: MCSs do EDGE e CSs do GPRS

	CS ou MCS	Modulação	Blocos RLC	Taxa FEC	Carga Útil	Taxa (bps)
GPRS	CS-1	GMSK	1	0.45	160	8000
	CS-2	-//-	1	0.65	240	12000
	CS-3	-//-	1	0.75	288	14400
	CS-4	-//-	1	n/a	400	20000
EGPRS	MCS-1	GMSK	1	0.53	176	8800
	MCS-2	-//-	1	0.66	224	11200
	MCS-3	-//-	1	0.85	296	14800
	MCS-4	-//-	1	1.00	352	17600
	MCS-5	8-PSK	1	0.38	448	22400
	MCS-6	-//-	1	0.49	592	29600
	MCS-7	-//-	2	0.76	448+448	44800
	MCS-8	-//-	2	0.92	544+544	54400
	MCS-9	-//-	2	1.00	592+592	59200

Outro mecanismo denominado **redundância incremental** permite a um terminal combinar sucessivas recepções de bits de paridade associados a um mesmo bloco recebido com erro, aumentando as chances de decodificação a cada recepção. No GPRS, um bloco recebido com erro era descartado pelo receptor. Além disso, sua retransmissão deveria ser feita utilizando a mesma codificação anterior, ou seja, caso as condições do meio fossem as mesmas (ou piores) a probabilidade de o bloco ser novamente recebido com erro eram praticamente as mesmas (ou maiores).

A redundância incremental permite que o EDGE seja menos conservador na escolha da quantidade de redundância a ser utilizada na primeira transmissão de um bloco contribuindo assim para a melhor utilização do espectro. Este mecanismo ainda é aperfeiçoado pela divisão dos MCSs em “famílias”. Caso seja necessária a retransmissão de um bloco, isso pode ser feito ou utilizando o mesmo MCS ou utilizando um MCS com mais proteção pertencente à mesma família. Como em uma mesma família os bits de 29 carga útil são múltiplos entre si, a retransmissão é feita sem que seja necessário um novo processo de segmentação do bloco, o que acarretaria atrasos indesejáveis na comunicação.

Para as operadoras, o esforço para se implantar a tecnologia EDGE é mínimo. Não existem grandes alterações estruturais na arquitetura GPRS original. Basicamente é necessária a instalação de uma única placa de hardware na BSC e algumas atualizações de software nos demais elementos de acesso.

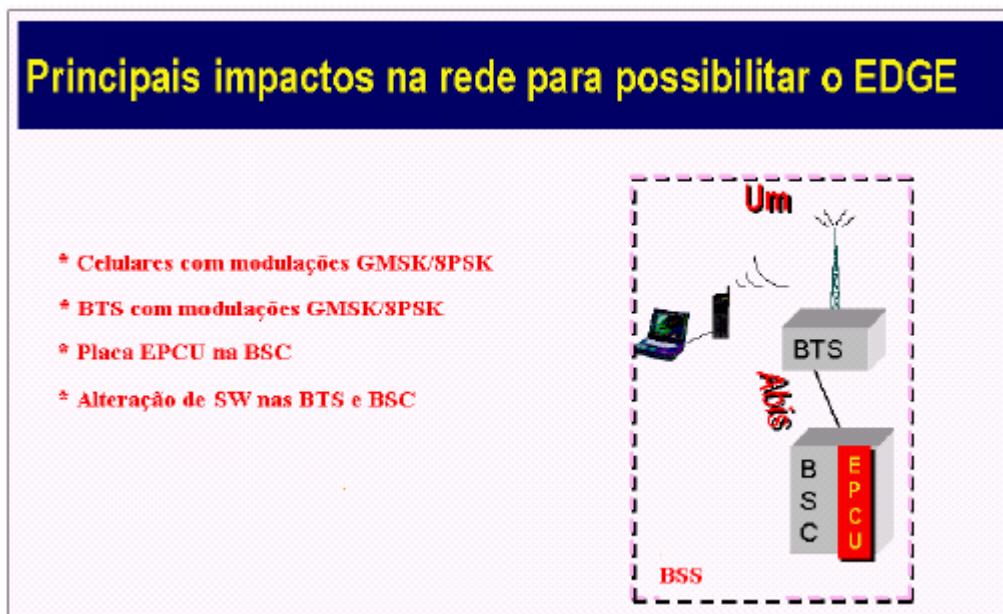


Figura 13: Arquitetura EDGE – principais mudanças para as operadoras.

2.1.3.3 TECNOLOGIA 3G

No cenário atual das comunicações móveis, os sistemas de 2G (GSM) e 2.5G (GPRS/EDGE) ainda têm considerável participação e influência na indústria, além de uma grande quantidade de terminais em operação, principalmente nos países subdesenvolvidos.

A migração para sistemas de 3G, com suporte a crescente demanda de tráfego, **novos serviços de dados**, elevadas taxas de transmissão, *download* de vídeos, multimídia interativa e imagens de alta qualidade já ocorreu em diversos países. A ITU (*International Telecommunications Union*) iniciou o desenvolvimento do padrão IMT-2000 (*International Mobile Telephony for year 2000*) em 1985. Esse mesmo padrão é chamado pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) de UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e teve o seu desenvolvimento iniciado em 1990 na Europa. O objetivo era desenvolver um **padrão global, de interface rádio e alocação espectral única** para todos os países e que atendesse às seguintes especificações:

- Transmissão em conexões de comutação de circuitos e de pacotes, com capacidade de trafegar informações baseadas no IP (*Internet Protocol*);
- Flexibilidade de introdução de novos serviços e capacidade de realização de *roaming* global;
- *Handover** entre sistemas: garantia de coexistência entre sistemas de 2G, 2.5G e 3G e entre os modos TDD (*Time Division Duplex*) e FDD (*Frequency Division Duplex*);
- Maior eficiência espectral e utilização de uma só conexão para serviços com diferentes limiares de qualidade;
- Oferecimento de banda sob demanda e suporte a tráfego assimétrico de informações nos enlaces direto e reverso (*downlink* e *uplink*);
- Suporte a diversos perfis de usuários: alta mobilidade – usuários em veículos (taxas de até 144 kbps), usuários de mobilidade média - pedestres (até 384 kbps) e em ambientes fechados (taxas máximas de 2 Mbps) com usuários de baixa mobilidade.

* *Handover*: processo pelo qual um telefone celular, quando em movimento, muda de célula/rede mantendo a comunicação pré-estabelecida.

2.1.3.3.1.1 Componentes da rede UMTS

Os componentes de uma rede UMTS são mostrados na figura a seguir. Podemos dividir o sistema em três partes fundamentais: nó central de rede, CN (do inglês Core Network), Rede Terrestre de Acesso Rádio UMTS, UTRAN (do inglês UMTS Terrestrial Radio Access Network) e os terminais de usuários, UE (do inglês User Equipment), também chamados de terminais móveis. Os módulos internos dessas unidades componentes da rede UMTS são detalhados nos itens seguintes.

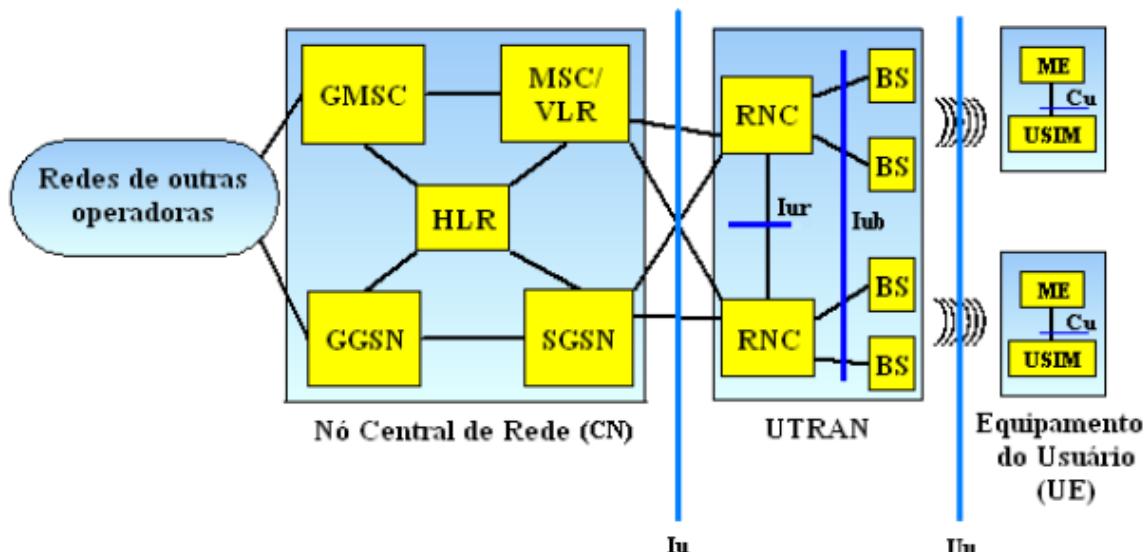


Figura 14: Componentes e interfaces de uma rede UMTS (3G)

Nó Central da Rede

No nó central, CN, da rede UMTS concentram-se plataformas de gerenciamento de processos que garantem o perfeito funcionamento e a interconexão com outras redes como a Internet ou a rede de outra operadora de telefonia. A rede central UMTS, baseada no Rel- 99, é referenciada no padrão de núcleo de rede GSM. Dentre as partes constituintes do nó central, podemos citar:

O Registrador de Localização de Origem, HLR (do inglês Home Location Register). Esse módulo é a base de dados do assinante pertencente a uma operadora específica. Ele armazena todas as informações sobre o seu perfil. Além disso, para o encaminhamento correto das chamadas, a plataforma HLR contém informações sobre a localização dos terminais móveis;

O Centro de Comutação de serviços Móveis, MSC (do inglês Mobile Switching Center) e o Registrador de Localização de Visitantes, VLR (do inglês Visitor Location Register) são, respectivamente, a central telefônica de comutação e a base de dados de assinantes visitantes. Para que a MSC possa servir a todos os visitantes em sua área de serviço, o VLR armazena temporariamente as informações de assinatura, funcionando como um HLR distribuído, visto que contém uma cópia das informações do HLR sobre esses visitantes;

O Gateway MSC (GMSC) é o ponto onde a central de comutação UMTS tem seu meio físico interconectado com as centrais de comutação de outras operadoras;

O servidor de Serviço Geral de Pacotes de Rádio Support Node , (do inglês General Packet Radio Service Support Node, SGSN) tem funcionamento similar ao MSC/VLR, sendo utilizado para comunicação de dados de pacote;

O Gateway GPRS Support Node (GGSN) é a central de comutação para serviços de pacotes. É o ponto onde essa central UMTS é interconectada com as centrais de comutação de pacotes de outras operadoras.

Nas novas especificações do padrão UMTS contidas na documentação do 3GPP Rel-4 foram apresentadas as propriedades de funcionamento das plataformas GMSC e MSC. Essas foram divididas em servidor GMSC, servidor MSC e Gateways de Mídia (MGW). Nesse caso, os dados dos usuários são transportados pelo MGW enquanto as informações de sinalização são fornecidas pelas plataformas GMSC e MSC. No Rel- 5 foi adicionado um Subsistema de Multimídia baseado no protocolo IP, chamado IMS, ao ramo de comutação de pacotes do nó central, a fim de permitir serviços baseados no IP por esse segmento da rede.

Rede Terrestre de Acesso Rádio

A rede UTRAN do UMTS é formada por um ou vários subsistemas de rede que são constituídos pelos controladores da rede rádio (do inglês Radio Network Controllers, RNC).

Esses componentes da rede são conectados a diversas estações base (do inglês, Base Station, BS), comumente chamadas Node-B na documentação UMTS. Neste trabalho, nos referiremos às estações base pelo termo abreviado BS. O RNC é o elemento da rede responsável pelo controle e gerenciamento de recursos de rádio da UTRAN, sendo ligado ao nó central da rede.

Para suportar uma grande variedade de serviços, de maneira eficiente e flexível, diferentes protocolos específicos para a interface rádio, como o Protocolo de Convergência de Dados (do inglês Data Convergence Protocol, PDCP), o Controle de Enlace de Rádio, RLC (do inglês Radio Link Control , RLC) e o Controle de Acesso ao Meio, MAC (do inglês Medium Access Control , MAC) são utilizados .

No RNC são realizadas as funções de RLC e MAC. O MAC controla a sinalização de acesso na interface aérea, incluindo a gerência dos recursos compartilhados da transmissão como a designação do bloco de rádio a vários usuários em uma mesma janela de tempo (time slot). O MAC realiza estas funções colocando um cabeçalho na frente do cabeçalho do RLC, nos blocos de dados RLC/MAC e de controle. O cabeçalho do MAC contém vários elementos, alguns dos quais são específicos da direção, sendo relativos ao enlace direto, DL (do inglês downlink) ou ao enlace reverso, UL (do inglês uplink) .

As BSs são responsáveis por desempenhar diversos serviços, dentre os quais o principal é a conversão dos dados enviados pelo RNC em sinais eletromagnéticos e o envio desses para o meio de transmissão. Além disso, a BS também realiza a captura de dados para o processo de gerenciamento de rede, realizado pelo RNC, e o controle de potência dos terminais móveis.

Cada BS pode ser subdividida em uma determinada quantidade de células para cobrir uma área geográfica. Se em uma BS são utilizadas antenas de seis setores, por exemplo, para a MSC essa BS representará seis células distintas. Em situações reais de operação, os limites de cobertura de uma célula geralmente se sobrepõem aos das células de uma mesma BS ou de BSs vizinhas. Os usuários localizados nessa região de fronteira, num dado instante de tempo, podem conectar-se a mais de uma BS.

O processo de soft handover ocorre quando um terminal móvel, em deslocamento, encontra-se conectado a mais de uma BS e seleciona a que fornece melhor serviço. Já o softer handover acontece quando um UE está em deslocamento e encontra-se conectado a mais de uma célula, todas pertencentes a uma mesma BS.

Terminais de Usuários

Os terminais de usuários (UE) são formados por duas partes: o terminal móvel, ME (do inglês Mobile Equipment) e o Módulo de Identificação de Assinante, USIM (do inglês User Services Identity Module). Dependendo do perfil de usuário, terminais que suportem a transmissão e recepção de grande volume dados, vídeos, fotos ou emprego de webcam podem ser utilizados, desde que observadas as características de mobilidade e o suporte ao serviço por parte da operadora. Assim como no padrão GSM, o usuário UMTS é separado do terminal móvel. Neste trabalho, nos referiremos aos terminais de usuários pelo termo abreviado UE. O UE pode ser um telefone móvel ou um cartão para computador. Isso traz vantagens de segurança e portabilidade para os assinantes, pois o cartão inteligente ou “smart card”, SIM (do inglês Subscriber Identity Module) que contém as informações de assinante, pode ser inserido em qualquer terminal móvel permitindo a identificação do usuário, realizando os algoritmos de identificação e guardando as informações com segurança.

Interface Aérea WCDMA

Dentre os diversos padrões propostos para a 3G como, por exemplo, o UWC-136HS e o cdma2000, o WCDMA tem tido maior aceitação de mercado e foi adotado como padrão para a interface aérea do UMTS na Europa. Desse ponto em diante chamaremos o padrão UMTS/WCDMA de WCDMA. As especificações técnicas para o WCDMA, elaboradas pelo grupo 3GPP, são baseadas no CDMA de seqüência direta (DS-CDMA) de 2G.

Acesso Múltiplo

Alguns dos padrões de 2G e de 2.5G são baseados em técnicas de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA), onde a separação entre os usuários é feita através da transmissão das informações em diferentes janelas de tempo (time slots). Técnicas baseadas em acessos CDMA têm como características fundamentais à separação dos usuários no canal de transmissão por meio de códigos e utilização de uma só portadora.

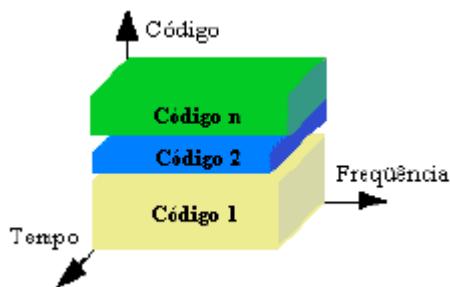


Figura 15: Acesso múltiplo por divisão de código, usado pelo WCDMA.

O WCDMA utiliza o CDMA de seqüência direta (Direct-Sequence CDMA). O DS-CDMA tem sido a forma de acesso múltiplo por divisão de código mais amplamente utilizada ao longo da evolução das tecnologias de sistemas móveis celulares, podendo por isso ser chamada apenas de CDMA. Na figura a seguir, é apresentada a evolução da tecnologia celular, considerando os tipos de serviços e os perfis de usuários, a partir dos sistemas de 1G, passando pelas atuais sistemas de 2G, 2.5G e 3G e mostrando as principais perspectivas futuras em 3.5G e 4G.

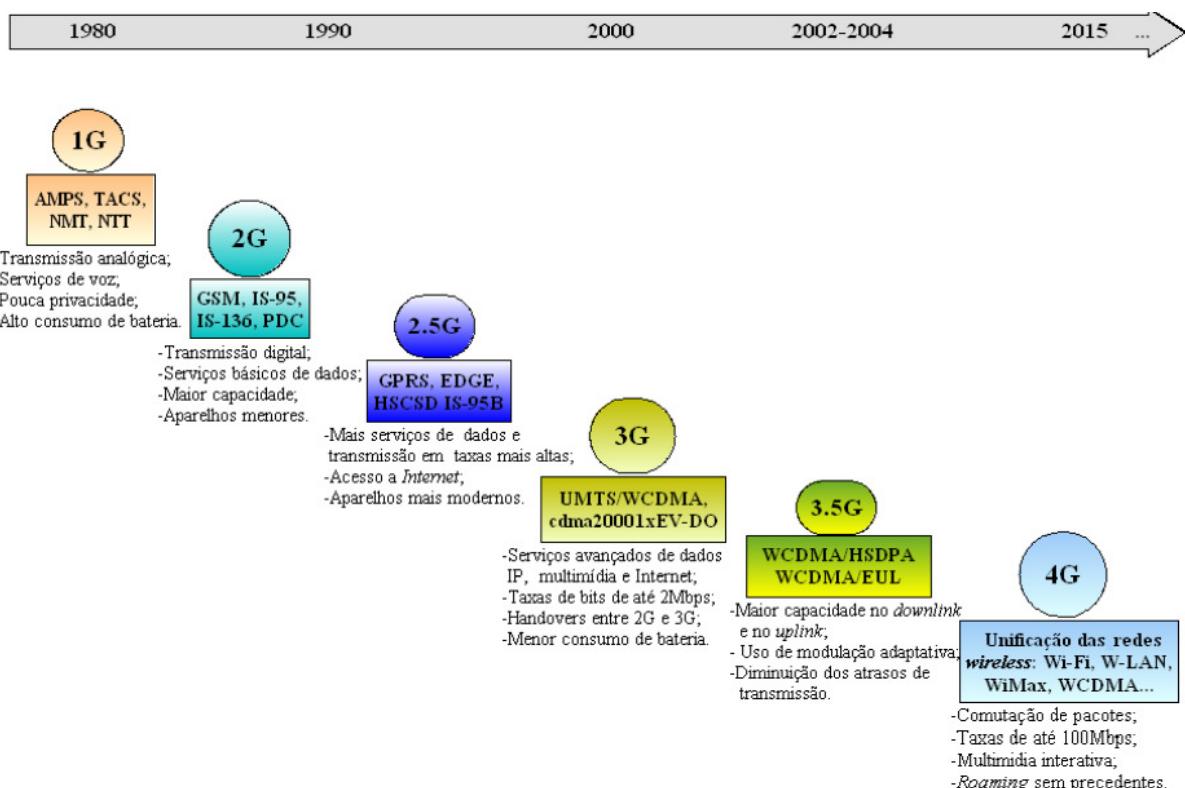


Figura 16: Evolução da tecnologia celular

O funcionamento do CDMA é baseado no princípio de espalhamento espectral do sinal de informação, que significa aumentar a largura de banda do sinal original durante o processo de transmissão. Os códigos de canalização são baseados na técnica Fator de Espalhamento Variável Ortogonal, OVSF (do inglês Orthogonal Variable Spreading Factor , OVSF). No DL os usuários são identificados por códigos ortogonais sincronizados no tempo, deduzidos de um conjunto de códigos Walsh . Se esses forem totalmente ortogonais entre si, isto é, com perfeito sincronismo no tempo, os usuários em uma mesma célula estarão perfeitamente isolados entre si, o que permite uma grande quantidade de usuários operando simultaneamente com diferentes taxas, compartilhando uma só portadora.

2.1.3.3.1.2 HSDPA - High Speed Downlink Packet Access

A crescente utilização dos serviços de dados em terminais móveis como *Smart Phones*, PDAs e PCs (com telas coloridas de alta resolução e que requerem mais velocidade de transmissão, menores atrasos no download de jogos, áudio, vídeo e de grandes arquivos) nas atuais redes móveis de 3G, impulsionou as pesquisas voltadas para a evolução do DL no padrão WCDMA, visando aumentar o fluxo de informações no DL acima do que era até então oferecido. O padrão HSDPA, proposto pelo 3GPP no Release 5, permitiu a evolução do sistema de 3G WCDMA para a 3.5G, e o suporte ao tráfego no DL de pacotes de dados em serviços de multimídia avançada e Internet em banda larga, por exemplo, com **pico de taxas** de transmissão entre **10 e 14 Mbps**, para *best effort* users. Na prática, as taxas médias variam entre **1Mbps e 2Mbps**.

A transmissão de dados por pacotes em alta velocidade no DL pode aumentar a capacidade do WCDMA de 200 a 300% e apresentar melhorias em serviços de banda larga com menores atrasos, sem alterações no espectro ou inclusão de portadoras. O padrão HSDPA é baseado na implementação das seguintes técnicas:

- Modulações digitais em quadratura e de alta ordem, como o 16-QAM e 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation);
- Modulação e Codificação Adaptativas (AMC);
- Retransmissão Automática Híbrida (Hybrid Automatic Repeat Request – HARQ);
- Agendamento Rápido (fast scheduling);
- Seleção Rápida de Célula;
- Redução do Intervalo de Tempo de Transmissão (Transmission Time Interval, TTI).

O objetivo do HSDPA é permitir uma alta taxa de dados no DL entre a BS e os UEs. Sua implantação prática na rede de acesso UTRAN de uma operadora é dada através de atualizações de softwares e implementações de hardwares nas BSs e nos RNCs. Uma quantidade mínima de mudanças na arquitetura da rede

também é necessária, permitindo uma transição suave do sistema de 3G WCDMA para o sistema de 3.5G WCDMA/HSDPA, sendo o processo assegurado mesmo que a funcionalidade HSDPA não seja instalada em todas as células do sistema.

A utilização de modulações de alta ordem, 16-QAM e 64-QAM, apresenta benefícios como aumento de eficiência espectral, quando comparados com o QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) utilizado no DL do WCDMA Rel -99 e também permite que sejam atingidas as taxas de transmissão de até 10 Mbps. No entanto, essas modulações de alta ordem apresentam uma sensibilidade muito mais elevada em relação às interferências e ao ruído. Uma solução para isso é o emprego de AMC.

A utilização da retransmissão HARQ torna o sistema mais robusto e eficaz em termos de adaptação à recepção de pacotes com erros nos serviços de dados por pacotes. Essa técnica é a combinação dos protocolos FEC (Forward Error Correction) e ARQ (Automatic Repeat Request). A técnica fast scheduling permite determinar para qual UE o canal será direcionado em um determinado intervalo de tempo. O objetivo é transmitir para usuários com as condições de propagação instantâneas mais favoráveis. Essa ferramenta é um elemento essencial no desenvolvimento de um sistema de pacotes, pois é ela quem determina o comportamento geral do sistema. A seleção rápida de célula pode ser considerada uma extensão do agendamento rápido, provendo ao fast scheduling uma dimensão espacial em adição à temporal. A seleção rápida permite o aumento da utilização dos recursos compartilhados e pode ser uma alternativa de soft handover . Nela o usuário móvel seleciona rapidamente uma célula que ofereça melhores condições para transmissão.

O HSDPA consiste na inclusão de um canal de transporte chamado canal compartilhado de enlace de descida de alta velocidade, HS-DSCH (do inglês High Speed Downlink Shared Channel , HS-DSCH). Este canal é destinado ao transporte de pacotes para usuários *best effort* e permite que os recursos possam ser compartilhados por todos os usuários de um mesmo setor. Como o foco desta dissertação é a utilização de técnicas para o aumento da capacidade no UL, apenas uma descrição geral do HSDPA foi aqui desenvolvida.

2.1.3.3.1.3 HSUPA - High Speed Uplink Packet Access

Com mostrado na seção anterior, o HSDPA permite um maior fluxo de dados no DL. No entanto **o UL** dos sistemas de 3G WCDMA Rel -99 é capaz de suportar taxas de **transmissão máximas de 384 kbps**. Devido aos avanços alcançados no HSDPA, crescentes demandas de serviços e aplicações (como vídeo telefonia onde os dados fluem na mesma proporção nos dois sentidos) têm surgido para o UL, no entanto um sistema de 3.5G completo só será alcançado com a expansão do DL e do UL.

Para isso, o 3GPP vem desenvolvendo pesquisas relativas ao aumento da capacidade de transmissão no sentido UE-BS, com foco em serviços de dados como jogos, tráfego de vídeos, imagens e envio (upload) de clipes, aplicações peer-to-peer (P2P), etc. A técnica HSUPA é apresentada na documentação Rel - 6 do 3GPP e em alguns trabalhos como Enhanced Uplink, ou simplesmente EUL. Desse ponto em diante, neste trabalho será adotada a terminologia EUL. Basicamente, as técnicas utilizadas para a implementação do HSDPA também têm sido propostas para a implementação do EUL, pois a eficiência de algumas delas já foi comprovada em trabalhos anteriores.

No entanto, faz-se necessário considerar cuidadosamente as diferenças existentes entre a transmissão no UL e no DL, quando essas técnicas são aplicadas para o EUL. No DL os códigos de canalização e a potência transmitida são recursos compartilhados, enquanto que no UL a potência total recebida na BS, oriunda de todos os usuários no sistema, é o recurso compartilhado. Além disso, no UL assíncrono, um dos temas de análise desta dissertação, não há ortogonalidade e o controle rápido de potência dos UEs é fundamental para controlar o efeito perto-longe, e assim poder garantir a coexistência com os terminais que não estão utilizando as novas técnicas.

Conseqüentemente, o controle rápido de potência é a primeira alternativa para implementação da adaptação rápida de enlace (fast link adaptation). Isso é o oposto na técnica HSDPA onde uma potência de transmissão mais ou menos constante, com adaptação de taxa de transmissão, é usada.

Dentre as diversas particularidades do EUL, a coexistência entre os canais atuais das redes de 3G WCDMA Rel- 99 com os canais de alta capacidade

deve ser garantida. Ou seja, serviços de voz, por exemplo, em tempo real ou não, não podem sofrer alterações nem limitações causadas pela inclusão de canais com capacidade expandida na rede de 3G WCDMA.

2.2 REDES WI-FI

Padrão 802.11

O IEEE constituiu um grupo de pesquisa para criar padrões abertos que pudessem tornar a tecnologia sem fio cada vez mais realidade. Esse projeto, denominado de Padrão IEEE 802.11, nasceu em 1990, mas ficou por aproximadamente sete anos inerte. A causa principal era a baixa taxa de transferência de dados que a tecnologia inicialmente oferecia (na faixa de kbit/s).

Conforme a taxa de transferência de dados passou a atingir a faixa de Mbit/s, a rede sem fio começou a ser vista como uma tecnologia promissora e a receber reais investimentos para a construção de equipamentos que possibilitassem a comunicação sem fio entre computadores.

Esse padrão IEEE 802.11 tem, entre outras, as seguintes premissas: suportar diversos canais; sobrepor diversas redes na mesma área de canal; apresentar robustez com relação à interferência; oferecer privacidade e controle de acesso ao meio.

Atualmente o foco das redes de computadores sem fio (Wireless) se encontra no contexto das redes locais de computadores (Wireless Local Area Network - WLAN), tanto em soluções proprietárias como no padrão do IEEE. Algumas empresas como IBM, CISCO, Telecom e 3COM colocaram em prática alguns padrões proprietários, porém hoje essas e outras empresas baseiam seus produtos no padrão do IEEE devido às vantagens que o padrão aberto oferece: interoperabilidade, baixo custo, demanda de mercado, confiabilidade de projeto, entre outras.

Uma rede Wi-Fi é uma rede que está em conformidade com a família de protocolos 802.11 do IEEE. Dentro desta família de protocolos existem 3 que se destacam, conforme visto na tabela a seguir.

Tabela 3: Padrões 802.11 a, b e g, e suas principais características [12].

Padrão	Taxa de bits
802.11a	até 54 Mbit/s (na banda de 5 GHz)
802.11b	até 11 Mbit/s (na banda de 2,4GHz)
802.11g	até 54 Mbit/s (na banda de 2,4GHz)

A próxima tabela apresenta um resumo comparativo destas 3 tecnologias de redes sem fios e a figura abaixo ilustra o alcance de cada padrão conforme a modulação utilizada em um ambiente indoor, mantendo a mesma potência com antenas omnidirecionais de mesmo ganho.

Tabela 4: Comparativo de alcance, custo e compatibilidade entre os padrões 802.11a, b e g [12].

Padrão	Alcance	Compatibilidade	Custo
802.11a	25 a 100 metros (indoor)	Incompatível com o 802.11b e 802.11g	Alto
802.11b	100 a 150 metros (indoor)	Adoção generalizada.	O mais baixo
802.11g	100 a 150 metros (indoor)	Compatibilidade com o 802.11b a 11Mbit/s. Incompatível com o 802.11a.	Baixo

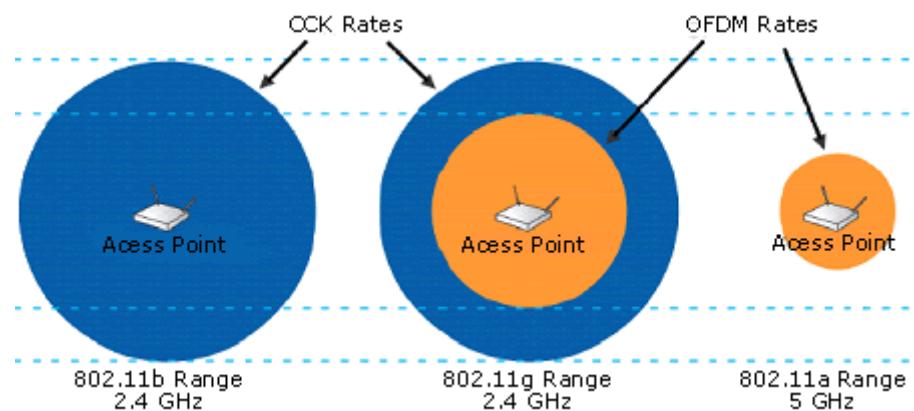


Figura 17: Alcance das tecnologias 802.11 indoor [12].

Vantagens e desvantagens das redes sem fio

As redes sem fio apresentam as seguintes vantagens:

- Flexibilidade: dentro da área de cobertura, uma determinada estação pode se comunicar sem nenhuma restrição. Além disso, permite que a rede alcance lugares onde os fios não poderiam chegar.

- Facilidade: a instalação pode ser rápida, evitando a passagem de cabos através de paredes, canaletas e forros, portanto uso mais eficiente do espaço físico.

- Redução do custo agregado: mesmo mais dispendiosa que uma rede cabeada, estão agregadas vantagens como melhor utilização dos investimentos em tecnologias existentes como laptops, rede de dados e voz, aplicativos, agilidade nas respostas aos clientes.

- Diversas topologias: podem ser configuradas em uma variedade de topologias para atender a aplicações específicas. As configurações são facilmente alteradas, facilidade de expansão, manutenção reduzida.

Em contrapartida, apresentam as seguintes desvantagens:

- Qualidade de serviço: a qualidade do serviço provido ainda é menor que a das redes cabeadas. Tendo como principais razões para isso a pequena banda passante devido às limitações da radiotransmissão e a alta taxa de erro devido à interferência.

- Custo: o preço dos equipamentos de Redes sem Fio é mais alto que os equivalentes em redes cabeadas.

- Segurança: intrinsecamente, os canais sem fio são mais suscetíveis a interceptores não desejados. O uso de ondas de rádio na transmissão de dados também pode interferir em outros equipamentos de alta tecnologia, como por exemplo, equipamentos utilizados em hospitais. Além disso, equipamentos elétricos são capazes de interferir na transmissão acarretando em perdas de dados e alta taxa de erros na transmissão.

- Baixa transferência de dados: embora a taxa de transmissão das Redes sem Fio esteja crescendo rapidamente, ela ainda é muito baixa se comparada com as redes cabeadas.

A tabela a seguir mostra um resumo dos diferentes modos de transmissão. Atualmente, as opções de camada física abrangem uma larga faixa de taxas de dados, esquemas de modulação, formatos de cabeçalhos/preâmbulo e modos proprietários adicionais. A máxima performance é obtida através do padrão 802.11a na faixa de freqüência de 5 GHz. Atualmente, 802.11a suporta os modos proprietários de até 108 Mbit/s.

Tabela 5: Vários modos de nível físico para 802.11.

Padrão	Faixa GHz	Padrões de Taxas	Modos	Preâmbulo/cabeçalho	Modos proprietários adicionais
802.11	2.4	1 e 2 Mbit/s	BPSK/QPSK-chipped DSSS	BPSK- chipped DSSS	
802.11a	5	6, 9, 12, 18, 24 Mbit/s	48 portadoras + 4 pilotos OFDM	OFDM	72 e 108 Mbit/s
802.11b	2.4	Modos 802.11b DSSS mais 5,5 e 11 Mbit/s	BPSK/QPSK-chipped CCK/PBCC	BPSK - chippedDSSS preâmbulo, cabeçalho curto opcional (QPSK)	22 Mbit/s PBCC
802.11g OFDM obrigatório	2.4	Modos 802.11b mais 6, 9, 12, 18 e 24 Mbit/s	48 portadoras + 4 pilotos OFDM	OFDM	72, 100 e 108 Mbit/s
802.11g PBCC opcional	2.4	22 e 33 Mbit/s	8 PSK PBCC	BPSK - chippedDSSS preâmbulo, cabeçalho curto opcional (QPSK)	
802.11g CCK-OFDM opcional	2.4	Ao menos os modos 802.11g obrigatórios	48 portadoras + 4 pilotos OFDM	BPSK - chippedDSSS preâmbulo, cabeçalho curto opcional (QPSK)	

2.3 CODECS

2.3.1 Introdução aos codecs

Codec (Coder/Decoder) originalmente referencia a função de codificação e decodificação de dados em um microprocessador. Em computação é comum sua utilização para referenciar algoritmos que fazem a compressão e descompressão (Compression/Decompression) de sinais digitais. Na área de telecomunicações, codec é a tecnologia que faz a conversão do sinal analógico para o sinal digital (A/D) e do sinal digital para o sinal analógico (D/A). Pode ser feita por hardware, por software ou uma combinação de ambos.

Em VoIP, alguns desses codecs são utilizados para a conversão e compressão dos sinais de voz. Esses codecs diferem em relação à qualidade do áudio, largura de banda necessária para o tráfego dos pacotes convertidos e poder de processamento necessário para a conversão. Alguns codecs são proprietários, ou seja, é necessário pagar licenças para o seu uso, como, por exemplo, o G.729.

Os codecs podem trabalhar com diferentes tamanhos de quadros (frame) e taxas. Os sinais analógicos são divididos em pequenos blocos de n-milisegundos e o tamanho de cada bloco é chamado de tamanho do quadro. A taxa (rate) de cada codec é definida como a quantidade de bytes gerados pela conversão de 1 segundo de áudio.

É comum confundir a taxa do codec com a largura de banda necessária para o tráfego de 1 segundo de áudio. A largura de banda necessária por codec é bem superior à sua taxa, já que, para o tráfego desses dados, é necessário o encapsulamento dos dados pelos protocolos de rede, principalmente os protocolos IP e UDP.

O tempo de conversão de cada segundo de áudio vai depender do algoritmo utilizado e do poder de processamento do hardware ou software.

Na tabela a seguir são apresentados alguns exemplos de codecs e suas respectivas características.

Tabela 6: Codecs e suas respectivas características

Codec	Taxas/tamanho do frame
GSM	13 kbps/20 ms
iLBC	15 kbps/20 ms, 13.3 kbps/30 ms
ITU-T G.711 (alaw/ulaw)	64 kbps/10 ms
ITU-T G.723.1	5.3 kbps/30 ms, 6.3 kbps/30 ms
ITU-T G.726	16,24,32,40 kbps/5 ms
ITU-T G.729	8 kbps/10 ms
Speex	2.15 a 44.2 kbps/20 ms
LPC10	2.5 kbps/22.5 ms

2.3.2 MOS (Mean Opinion Score)

Um amplo range de ouvintes julgam a qualidade de uma amostra de voz (correspondendo a um CODEC particular) numa escala de 1 a 5. A partir desses resultados, é calculada a média dos scores para atribuir o MOS para aquela amostra.

Tabela 7: Scores MOS

Score	Definição	Descrição
5	Excelente	Sinal de voz perfeito, gravado em ambiente silencioso
4	Bom	Qualidade de uma chamada telefônica interurbana (PSTN)
3	Razoável	Requer algum esforço na escuta
2	Pobre	Fala de baixa qualidade, difícil de entender
1	Ruim	Fala não clara, quebrada

Agora que conhecemos alguns codecs e o conceito de MOS, podemos relacioná-los na tabela a seguir. Isto nos permitirá classificar os codecs quanto a qualidade na percepção no receptor.

Tabela 8: Tabela MOS para alguns codecs

Método de Compressão	Bit Rate (kbit/s)	MOS Score	Delay (ms)
G.711 PCM	64	4.1	0.75
G.726 ADPCM	32	3.85	1
G.728 LD-CELP	16	3.61	3 to 5
G.729 CS-ACELP	8	3.92	10
G.729 x 2 Encodings	8	3.27	10
G.729 x 3 Encodings	8	2.68	10
G.729a CS-ACELP	8	3.7	10
G.723.1 MP-MLQ	6.3	3.9	30
G.723.1 ACELP	5.3	3.65	30

2.4 VOIP

Segundo TELECO[1], VoIP é a comunicação de Voz sobre redes IP. Essas redes podem ser de 2 tipos:

- **Públicas:** a Internet representa a rede IP pública usada para comunicações VoIP. O usuário deve ter preferencialmente um acesso de banda larga (ADSL, cabo, rádio, WIMAX, etc.) instalado para poder fazer uso do serviço VoIP.
- **Privadas:** as redes corporativas das empresas representam as redes privadas usadas para comunicações VoIP. Podem ser desde pequenas redes locais (LAN) até grandes redes corporativas (WAN) de empresas com presença global.

O uso mais simples de VoIP é a comunicação Computador a Computador usando a Internet, sendo o *Skype* o programa mais utilizado para este fim.



Figura 18: Comunicação VoIP ponto a ponto (TELECO 2007 [1])

Esta tecnologia permite a digitalização e codificação da voz e o encapsulamento desta em pacotes de dados IP para a transmissão em uma rede que utilize os protocolos de transporte TCP ou UDP.

Uma aplicação VoIP gera um volume de dados e é sensível ao atraso, o que afeta a qualidade de serviço (*Quality of Service – QoS*). Apesar de ser um protocolo de transporte confiável, o protocolo de controle de transporte (*Transmission Control Protocol – TCP*) não suporta transmissão de voz em tempo real porque ele recupera os dados perdidos por retransmissão, assim o fornecimento dos dados, deve esperar por todas as retransmissões, gerando grandes atrasos.

Já o protocolo de datagrama do usuário (*User Datagram Protocol – UDP*) não tem esse problema, pois fornece um serviço orientado a datagrama, mas tem a desvantagem de ser não-confiável. Como o atraso tem que ser evitado em aplicações de voz, e na prática, a vazão máxima do 802.11b que uma aplicação VoIP pode obter é aproximadamente 5.9 Mbit/s utilizando TCP e 7.1 Mbit/s em UDP, pode-se concluir que o UDP é a melhor escolha dentre os protocolos de transporte.

VoIP (Voice over Internet Protocol), ou Voz sobre IP é uma tecnologia que permite a transmissão de voz em tempo real sobre uma rede de dados que utiliza o protocolo IP. Esta é uma das fortes tendências do mercado de telecomunicações.

O conceito de VoIP tem sua origem em meados da década de 90, quando se iniciou o reconhecimento do potencial de enviar voz através da Internet, ao invés de utilizar os meios tradicionais. Em 1995, surgiu o primeiro *softphone*, que é uma aplicação multimídia que utiliza VoIP para realizar chamadas a partir de um computador. Inicialmente, era necessário que ambos os computadores participantes da chamada possuíssem a mesma aplicação, além de uma placa de som com um microfone e caixas de som ligadas a ela. Esses *softphones* tinham péssima qualidade de som e conectividade, mas já indicavam o potencial da tecnologia.

Devido ao crescente aumento na largura de banda disponibilizada para a transmissão de dados, conjuntamente com a comercialização de produtos específicos para VoIP, ainda no final da década de 90, a qualidade da comunicação VoIP teve um grande avanço. VoIP, diferentemente da tecnologia utilizada nas redes telefônicas convencionais, não utiliza uma rede específica para a transmissão da voz, pois, na rede IP, diversos tipos de mídia podem ser transmitidos, tais como, textos, imagens estáticas, áudio e vídeo.

Em uma rede IP, todas as informações são enviadas em pacotes, que são pedaços de mensagens encapsuladas por cabeçalhos de protocolos.

Em VoIP, o sinal de voz é transformado em sinal digital e este é dividido em pacotes para serem enviados pela rede IP. Cada pacote possui o endereço de destino e é transmitido pela rede nó a nó, ou seja, em cada nó ele é integralmente recebido e o próximo caminho da rota é determinado com base no

endereço contido no mesmo. O caminho que foi determinado para o pacote pode não estar disponível para enviá-lo imediatamente. Dessa forma, o pacote precisará aguardar numa fila até chegar a sua vez de ser enviado, causando atraso no seu recebimento. Esse atraso, pode trazer prejuízos para a qualidade do serviço VoIP, causando até a impossibilidade da comunicação.

Os requisitos de qualidade de serviço (QoS - Quality of Service) variam de acordo com o tipo de serviço, ou seja, em geral, é uma função do tipo de aplicação e da mídia transmitida. A transmissão de um arquivo de texto, por exemplo, pode ter atraso nos seus pacotes que são transmitidos através da rede IP, porém, não admitirá perdas dos mesmos, pois tais perdas poderão causar prejuízos não-aceitáveis à informação transmitida. Em contrapartida, há outros tipos de aplicações que não são tão sensíveis à perda de pacotes. Ou seja, no caso de perda de uma pequena porcentagem, a informação transmitida não perderá o seu valor, como é o caso de algumas aplicações de tempo real. Já com relação ao atraso dos pacotes, essas aplicações são muito sensíveis, não admitindo tempos de transmissões muito altos e variações nos atrasos de cada pacote.

Uma chamada telefônica utilizando VoIP, por exemplo, pode se tornar inviável caso haja grandes atrasos na transmissão de pacotes. Além disso, uma vez que cada segundo de voz é dividido em pequenos pacotes para serem enviados pela rede de dados, os atrasos não uniformes desses pacotes (*jitter*) podem fazer com que eles cheguem fora da seqüência correta. Nesse caso, é necessário que sejam reordenados pela aplicação, já que o transporte dos dados é baseado em UDP (User Datagram Protocol), que não faz a ordenação na camada de transporte. Problemas com o *jitter* também podem tornar a comunicação inviável, pois adiciona atraso na comunicação, devido à reordenação dos pacotes e, mesmo que os pacotes cheguem em ordem, fará com que os pacotes cheguem ao seu destino em rajadas. Alguns protocolos implementam *buffers* específicos para o tratamento do *jitter*. Esses *buffers* armazenam uma certa quantidade de pacotes para tentar solucionar o problema da variação no atraso. Caso alguns pacotes cheguem muito atrasados, eles serão descartados. Outro fator que pode inviabilizar a chamada é a perda de pacotes. Apenas 5% de perda de pacotes já pode comprometer uma chamada VoIP.

Em links dedicados, pode-se garantir a qualidade de uma chamada VoIP através de alguns recursos, como, por exemplo, a reserva de largura de banda necessária entre os nós por onde a chamada passa. Ao utilizar a Internet para realizar chamadas VoIP é possível adotar alguns recursos para tentar minimizar os problemas da chamada, porém como não se detém o controle de todos os nós do caminho da chamada, não é possível garantir a inexistência de problemas como se pode fazer em links dedicados.

A principal vantagem na utilização de VoIP é a redução nos custos de ligações telefônicas para empresas que possuem filiais em diferentes estados ou países e que estão interconectadas por rede IP através de um link dedicado ou Internet. Nesses casos, as ligações realizadas entre elas terão custo zero.

Empresas que, por alguma necessidade específica, ou por pertencerem a um determinado ramo de negócios, precisam estar constantemente efetuando ligações para outros estados ou países, podem também utilizar VoIP através de um ITSP (Internet Telephony Service Provider) para realizar ligações DDD/DDI com um custo menor que os normalmente cobrados pelas concessionárias tradicionais.

ITSP são provedores de telefonia pela Internet, que permitem que usuários utilizem sua estrutura para realizar uma chamada para a RTPC (Rede Telefônica Pública Comutada) através da rede. Por concentrar muitas ligações, eles conseguem descontos nas tarifas normais aplicadas pelas concessionárias telefônicas e repassam esses descontos para os seus usuários, fazendo com que os seus custos sejam inferiores aos das concessionárias tradicionais.

A popularização do uso residencial da tecnologia VoIP iniciou-se com a queda dos preços das conexões de banda larga e alguns softwares como, por exemplo, o *Skype* e o *MSN Messenger* que permitem que duas pessoas falem entre si sem custo adicional.

As aplicações VoIP utilizam um modelo hierárquico de camadas de protocolos, ou seja, as funções desempenhadas num processo de comunicação são distribuídas em camadas. Vários protocolos são utilizados nas diversas fases da

comunicação. Dessa forma, cada protocolo adiciona um cabeçalho contendo informações de controle para a transmissão do pacote. Além dos protocolos de rede mais usuais, tais como, IP, TCP, UDP e RTP/RTCP (RTP Control Protocol), uma chamada VoIP necessita de outros protocolos ou recomendações. Entre esses podem ser citados, por exemplo, o H.323, SIP, MGCP (Media Gateway Control Protocol) e IAX. Na figura abaixo é apresentada uma estrutura em camadas de alguns protocolos utilizados em VoIP, separada pelas diferentes fases da comunicação: sinalização; controle de gateway e transporte de mídia. Os pacotes são encapsulados hierarquicamente de cima para baixo.

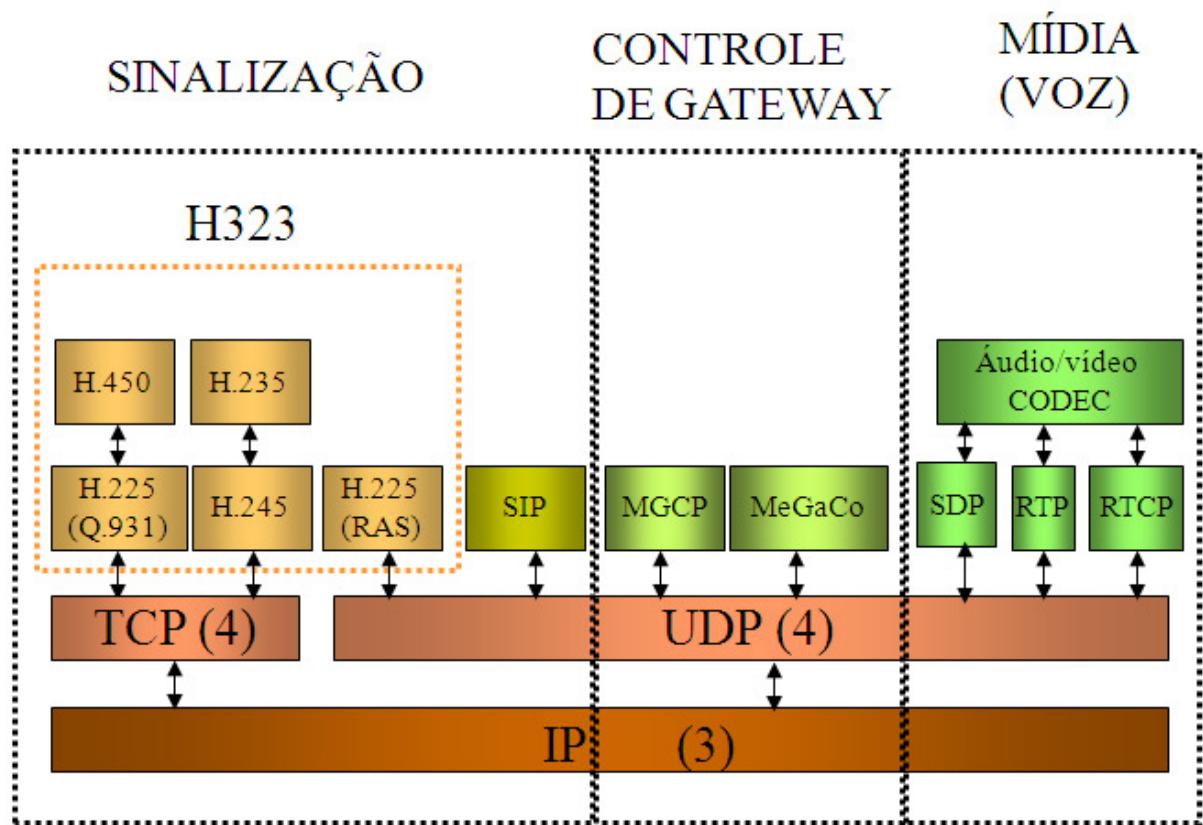


Figura 19: Estrutura em camadas de alguns protocolos utilizados em VoIP

Diferentes graus de complexidade podem ser encontrados em implementações VoIP dependendo diretamente do cenário proposto. Segue, como exemplo, alguns cenários em ordem crescente de complexidade de implementação:

- VoIP entre terminais IP – neste cenário, terminais VoIP, como, por exemplo, *softphones*, se comunicam através de uma rede IP;

• VoIP de terminal IP para a RTPC (Rede Telefônica Pública Comutada) – neste caso, terminais IP se comunicam com um telefone comum na rede de telefonia pública. Para que isso seja possível é necessário o uso de gateways de voz, que serão explanados nas próximas sessões. Como exemplo, pode-se citar um usuário utilizando um *softphone* em uma estação que liga para uma linha telefônica convencional;

• VoIP da RTPC para a RTPC – neste caso, a ligação é originada a partir de um telefone da rede pública convencional com destino a um gateway de voz. Esse gateway encaminha a chamada para um outro gateway que, então, finaliza a chamada em uma linha telefônica convencional. Um exemplo deste cenário é a disponibilização de número telefônicos pelos ITSP para que sejam realizadas chamadas para outros destinos utilizando VoIP (menor custo), sem a necessidade da aquisição de equipamentos VoIP específicos.

3 METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, adotaram-se algumas metodologias padrão de configurações e testes de serviços de telefonia celular.

Neste ponto, contamos com a colaboração da empresa CTBC, de Uberlândia-MG, que nos cedeu grande parte da documentação técnica sobre sua metodologia de configurações de serviços de dados móveis. Suas técnicas de teste já estão de acordo com padrões internacionais de testes de serviços, especificados pelos órgãos internacionais de telecomunicações 3GPP, ETSI, ITU e IETF.

Os principais métodos utilizados para gerar uma base de testes satisfatória e conclusiva sobre VoIP em redes de telefonia celular são:

- Configuração de aparelhos celulares de tecnologia GPRS, EDGE e 3G para acesso a Internet. Segundo a metodologia sugerida pela CTBC, devemos configurar o APN (Access Point Name), Proxy Server, Porta, Usuário e Senha.
- Configurar os aparelhos celulares de tecnologia GPRS, EDGE e 3G para acesso ao serviço de VoIP. Segundo a metodologia sugerida pela CTBC, devemos configurar o SIP Server Address, Proxy Server, Servidor de Registro, Porta, Usuário e Senha.
- Realizar testes de VoIP diretamente no celular e usando um *softphone* em um computador. Neste caso o celular GPRS, EDGE ou 3G funcionaria como um modem para o acesso VoIP.
- Avaliar a qualidade da transmissão da voz empacotada sobre IP nas redes GPRS/EDGE/3G e Wi-Fi.

3.1 PLANO DE TESTES

Conforme citado, o objetivo é realizar uma comparação entre chamadas VoIP realizadas com os principais codecs do mercado nas redes de telefonia celular GPRS, EDGE e 3G. Além disso, iremos realizar uma comparação em termos de qualidade das chamadas VoIP celulares com chamadas VoIP Wi-Fi.

Na tabela a seguir, ilustramos os testes a serem realizados. Em cada caso iremos observar a qualidade da conversação, julgando no final quais são os melhores codecs e tecnologias celulares para se implantar VoIP. Para isto, preencheremos a tabela abaixo com os índices MOS obtidos na prática. A graduação é de 1 a 5, seguindo a escala MOS padrão.

Tabela 9: Plano de testes (Codecs, Tecnologia, MOS)

CODEC/ACESSO	GPRS	EDGE	3G	WIFI
G711	MOS X	MOS Z	MOS Y	MOS X
G729	MOS Y	MOS X	MOS Z	MOS Z
ILBC	MOS Z	MOS Y	MOS X	MOS Y

3.2 AMBIENTE DE TESTES

Para a realização dos testes, foram utilizados os seguintes recursos:

- ✓ 1 Aparelho celular GPRS/EDGE/3G/Wi-Fi (Nokia E51)
- ✓ 1 Simcard GSM/3G - CTBC
- ✓ Rede Celular GPRS/EDGE/3G - CTBC
- ✓ Rede Wi-Fi
- ✓ PABX Asterisk (SIP) – Asterisk for Windows
- ✓ Softphone *eyeBeam 1.1 3004t stamp 16741*

A arquitetura planejada para a realização dos testes é apresentada a seguir:

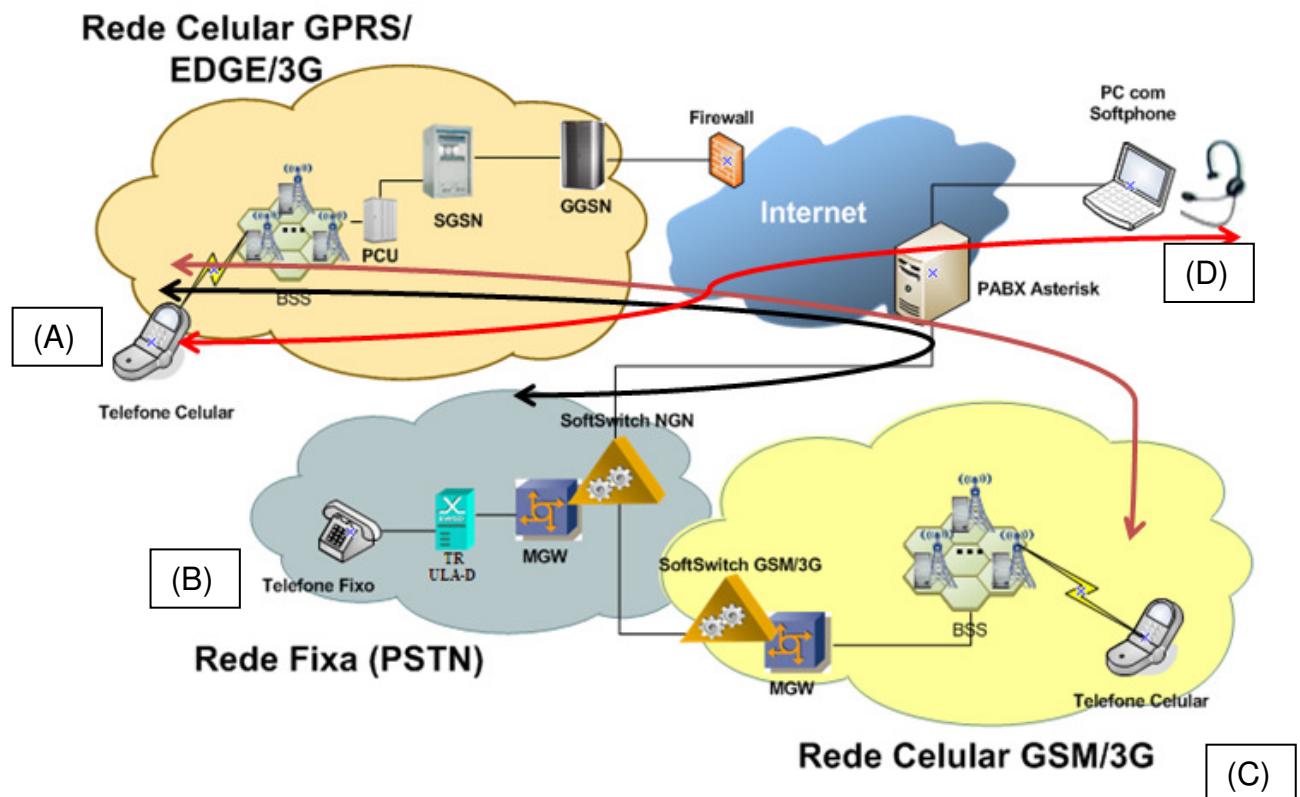


Figura 20: Arquitetura de Testes VoIP – Telefone GPRS/EDGE/3G

Nesta topologia, foram realizadas chamadas VoIP a partir do telefone celular (A) para um telefone fixo (B), para um outro telefone GSM (C) e para um *softphone* registrado no PABX Asterisk (D).

Neste caso, o telefone (A), que suporta GPRS/EDGE ou 3G, está usando estas redes de dados para estabelecer uma conexão SIP com a plataforma Asterisk. Esta plataforma irá encaminhar a chamada VoIP para uma rede PSTN (B), para uma rede celular de voz convencional (C) ou para o *softphone* (D) registrado no Asterisk.

Para este ambiente de testes, o telefone (A) deve suportar uma das três tecnologias de acesso a dados celular (GPRS/EDGE/3G). Os terminais (B) e (C) são telefones fixo e móvel comuns, respectivamente, sem acesso a redes de dados (internet). Já o *softphone* (D), está registrado na mesma rede do PABX Asterisk.

Usamos também um ambiente de testes alternativo, onde o cliente (A) é um telefone Wi-Fi, em uma rede wireless LAN. A arquitetura segue abaixo.

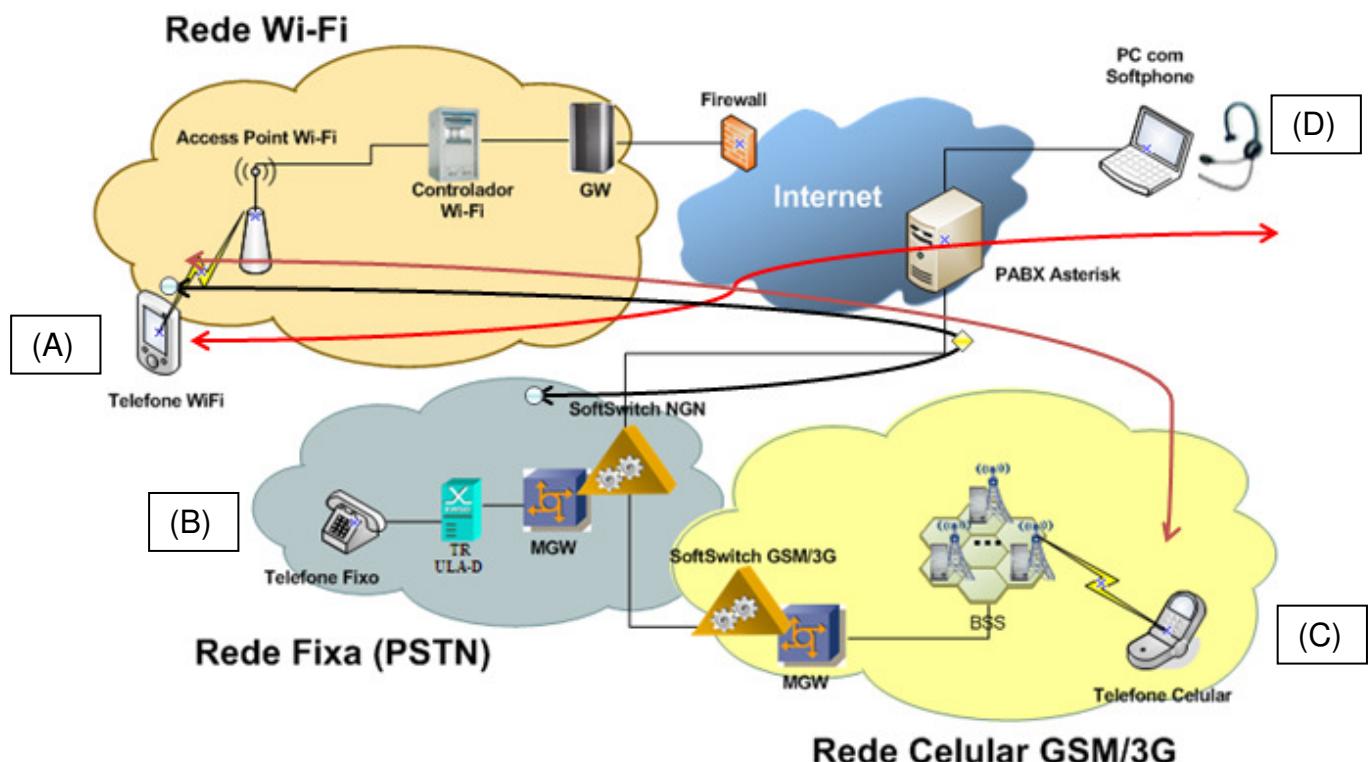


Figura 21: Arquitetura de Testes VoIP – Telefone Wi-Fi

Nesta topologia, realizamos chamadas VoIP a partir do telefone Wi-Fi (A) para um telefone fixo (B), para um outro telefone GSM (C) e para um *softphone* registrado no PABX Asterisk (D).

Neste caso, o telefone (A), que suporta Wi-Fi, usa esta rede de dados para estabelecer uma conexão SIP com a plataforma Asterisk. Esta plataforma irá encaminhar a chamada VoIP para uma rede PSTN (B), para uma rede celular de voz convencional (C) ou para o *softphone* (D) registrado no Asterisk.

Para este ambiente de testes, o telefone (A) deve possuir a tecnologia de acesso Wi-Fi 802.11. Os terminais (B) e (C) são telefones fixo e móvel comuns, respectivamente, sem acesso a redes de dados (internet). Já o *softphone* (D), está registrado na mesma rede do PABX Asterisk.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO TRABALHO

Realizamos os testes com vários codecs, nas diferentes redes de dados, com o objetivo de chegar a uma tabela de comparação dos codecs utilizados e seus MOS's para cada tecnologia de acesso.

Foi utilizado o aparelho **Nokia E51**, que suporta os codecs *G711*, *G729* e *iLBC*.

O PABX Asterisk escolhido foi o PBX Manager Free Edition, da Willvoice (www.willvoice.net). Este PABX suporta todos os codecs do citados acima.

As configurações utilizadas para o aparelho Nokia E51 foram as seguintes:

- Configurações para acesso a internet GPRS, EDGE e 3G:
 - APN (Access Point Name): **ctbc.br**
 - Proxy Server: **sem proxy**
 - Porta: **8080**
 - Usuário: **ctbc**
 - Senha: **1212**

- Configurações SIP para o serviço VoIP (Asterisk)
 - SIP Server Address: **192.168.2.100**
 - Proxy Server: **192.168.2.100**
 - Servidor de Registro: **192.168.2.100**
 - Porta: **5060**
 - Usuário: **3001@192.168.2.100**
 - Senha: **xxxx**

A seguir, ilustramos as configurações realizadas no aparelho celular e no *softphone*, para o estabelecimento das chamadas VoIP.

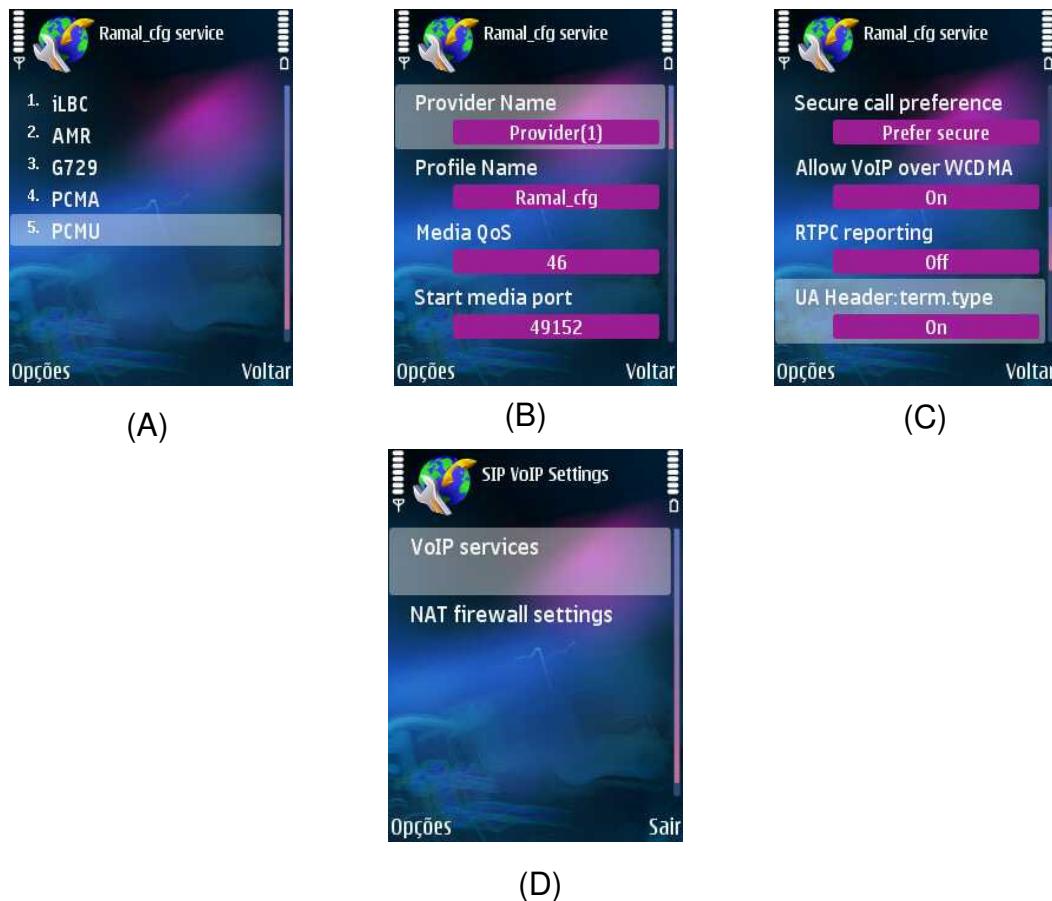


Figura 22: Configurações de codecs (A), perfil SIP (B e C), VoIP e NAT (D), para o aparelho Nokia E51.

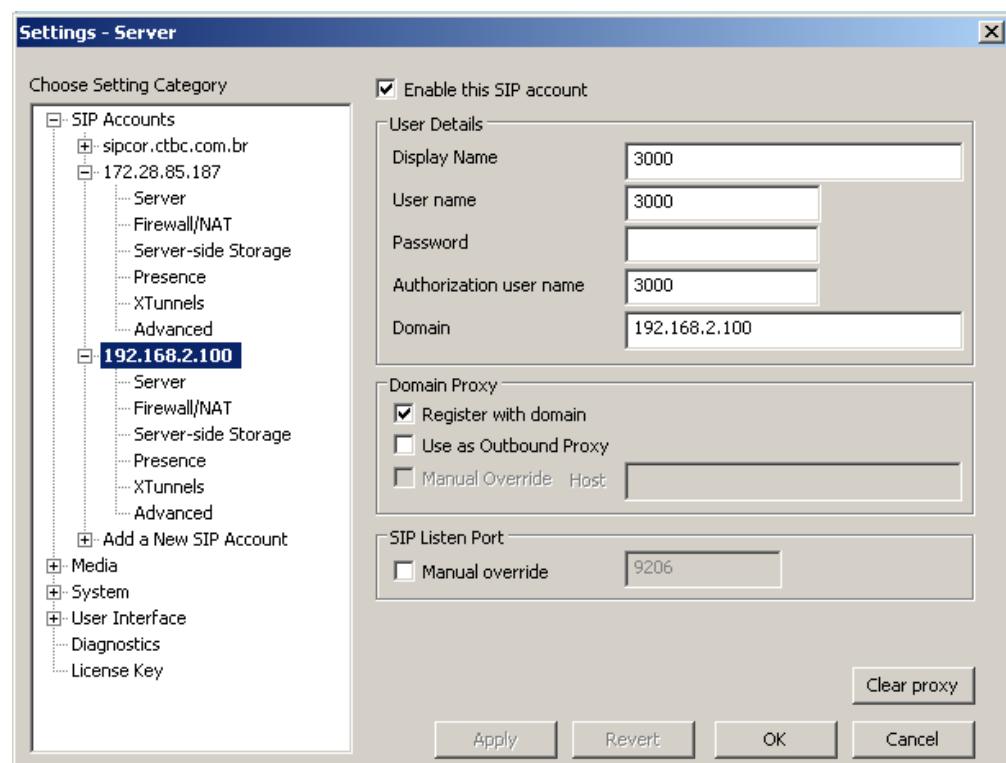


Figura 23: Configurações do *softphone* registrado no PABX Asterisk

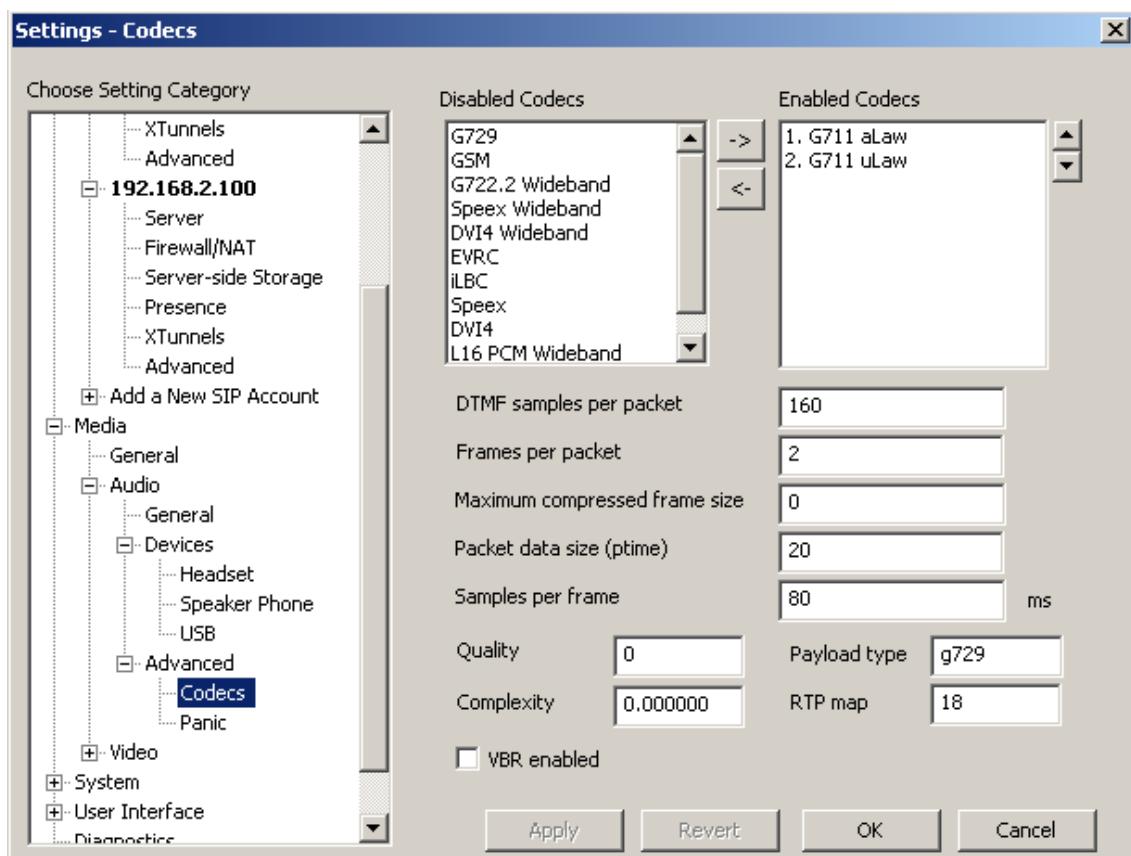


Figura 24: Configurações dos codecs do *softphone* registrado no PABX Asterisk

Após a realização dos testes, chegamos aos resultados apresentados na tabela a seguir.

Tabela 10: Resultados obtidos (Codecs, Tecnologia, MOS)

CODEC/ACESSO	GPRS	EDGE	3G	WIFI
G711	0	2	4	4
G729	2	2	4	4
ILBC	0	3	4	4

Nesta tabela, os números referem-se aos índices MOS encontrados na prática para cada caso de teste (*Test Case*).

5 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

5. 1 Análise dos resultados

Foram realizados testes de chamadas VoIP originadas a partir de um telefone celular nas seguintes redes

- GPRS
- EDGE
- 3G (HSDPA)
- Wi-Fi

, para 3 diferentes codecs

- G711 (u-law, A-law)
- G729
- iLBC

Vamos analisar para cada codec, o seu comportamento em todas as redes.

1)G711

GPRS

Este codec possui banda de **64Kbps**. É o codec que ocupa mais banda entre todos. Por isso, não funcionou em GPRS (**banda média de p/ Downlink de 40Kbps e de 5Kbps de Uplink**). Neste caso, não conseguimos estabelecer a chamada (**MOS = 0**).

EDGE

Funcionou com um **MOS** muito baixo (**2 = qualidade pobre**) em EDGE (**banda média p/ Downlink de 120Kbps e de Uplink 16Kbps**). Neste caso, conseguimos ouvir o interlocutor (B) no celular (A), porém (B) não conseguia escutar a mensagem enviada por (A). Percebemos que a baixa banda de uplink do EDGE não permitiu uma comunicação completa.

3G

Funcionou com alto **MOS (4 = Bom)**. A comunicação ocorreu de maneira bastante clara nos dois sentidos. Isto ocorreu pois a tecnologia 3G tem **bandas de Downlink de 1Mbps e de Uplink de 384Kbps**, o que é suficiente para os 64Kbps do G711.

Wi-Fi

Funcionou com alto **MOS (4 = Bom)**. A comunicação ocorreu de maneira bastante clara nos dois sentidos. Isto ocorreu pois a tecnologia Wi-Fi tem bandas de **Downlink de 10Mbps e de Uplink de 1Mbps**, o que é suficiente para os 64Kbps do G711.

2)G729

GPRS

Este codec possui banda de **8Kbps**. É um codec que ocupa pouca banda. Neste caso, conseguimos ouvir o interlocutor (B) no celular (A), porém (B) não conseguia escutar a mensagem enviada por (A). Percebemos que a baixa banda de uplink do GPRS (**5Kbps**) não permitiu uma comunicação completa.

EDGE

Assim como no GPRS, este codec funcionou com MOS 2. Neste caso, conseguimos ouvir o interlocutor (B) no celular (A), porém (B) não conseguia escutar a mensagem enviada por (A) com clareza. O delay deste codec (10ms), associado a uma banda de uplink bem pequena do EDGE inviabilizaram a comunicação.

3G

Funcionou com alto **MOS (4 = Bom)**. A comunicação ocorreu de maneira bastante clara nos dois sentidos. Isto ocorreu, pois a tecnologia 3G tem **bandas de Downlink de 1Mbps e de Uplink de 384Kbps**, o que é bastante suficiente para os 8Kbps do G729. Neste caso o delay não atrapalhou.

Wi-Fi

Funcionou com alto **MOS (4 = Bom)**. A comunicação ocorreu de maneira bastante clara nos dois sentidos. Isto ocorreu pois a tecnologia Wi-Fi tem **bandas de Downlink de 10Mbps e de Uplink de 1Mbps**, o que é suficiente para os 8Kbps do G729. Neste caso o delay não atrapalhou.

3)iLBC

GPRS

Este codec possui banda de **15Kbps**. É um codec que ocupa pouca banda. Porém, em GPRS, não conseguimos realizar a chamada (**MOS = 0**)

EDGE

Funcionou com um **MOS** médio (**3 = razoável**) em EDGE (**banda média p/ Downlink de 120Kbps e de Uplink 16Kbps**). Neste caso, conseguimos ouvir o interlocutor (B) no celular (A), porém (B) não conseguia escutar com clareza a mensagem enviada por (A). Foi detectado um atraso na chegada da voz. Percebemos que a baixa banda de uplink do EDGE e o **delay de 20ms** deste codec não permitiram uma comunicação completa.

3G

Funcionou com alto **MOS (4 = Bom)**. A comunicação ocorreu de maneira bastante clara nos dois sentidos. Isto ocorreu, pois a tecnologia 3G tem **bandas de Downlink de 1Mbps e de Uplink de 384Kbps**, o que é bastante suficiente para os 15Kbps do iLBC. Neste caso o delay não atrapalhou.

Wi-Fi

Funcionou com alto **MOS (4 = Bom)**. A comunicação ocorreu de maneira bastante clara nos dois sentidos. Isto ocorreu pois a tecnologia Wi-Fi tem bandas de **Downlink de 10Mbps e de Uplink de 1Mbps**, o que é suficiente para os 15Kbps do iLBC. Neste caso o delay não atrapalhou.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após a análise completa dos resultados obtidos, verifica-se que a melhor situação para se realizar chamadas VoIP em redes de dados celular é a seguinte:

- Codecs: G729 ou iLBC
- Tecnologia: 3G ou Wi-Fi.

Pode-se observar que esta conclusão é embasada pelo fato de que somente as redes 3G e Wi-Fi conseguiram MOS = 4. Além disso, não percebemos significativa diferença na qualidade da voz entre os codecs G711, G729 e iLBC, daí nossa preferência pelos codecs iLBC e G729, que possuem banda bem inferior a do G711, gerando então economia na transmissão de pacotes

Porém, não é descartada a possibilidade de se fazer VoIP em redes EDGE ou GPRS. Deve-se realizar mais testes, com codecs de menor largura de banda para verificar se obtém-se uma boa qualidade de áudio nestas redes.

Além disso, deve-se observar que alguns aparelhos celulares limitam a comunicação VoIP nas redes GPRS e EDGE, alegando que não possuem banda suficiente para uma comunicação com qualidade razoável. Por outro lado, talvez seja possível utilizar o celular GPRS/EDGE como modem para um computador pessoal, o que driblaria esta limitação, pois agora quem seria responsável pela comunicação seria o softphone do computador, e o celular funcionaria como um simples meio de acesso, sem inteligência para negociação de banda ou codec VoIP.

7 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para continuidade deste trabalho, está o estudo:

- do comportamento de outros codecs, entre eles o Speex, GSM, LPC10, G726, G723, G722, DVI14, EVRC, L16.
- Testar chamadas com PABX que suporte o codec **GSM(AMR)**, que tem grande potencial de uso devido a baixa largura de banda e alto MOS.
- da qualidade da conversação com celulares de processamento superior ao Nokia E51.
- dos parâmetros atraso e *jitter* com ferramentas de monitoramento de QoS
- dos codecs já estudados, com maiores taxas de compressão (possibilidade de VoIP sobre EDGE/GPRS)
- da qualidade da comunicação com o celular em movimento, realizando também testes de re-seleção de células (“*handover*”) e roaming.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TELECO. *Conceitos de VOIP/Telefonia IP e Regulamentação aplicável. 2007.* Disponível em <http://www.teleco.com.br/voip.asp> Acesso em 18 de Dez. de 2007.
- [2] TELECO. *VoIP em redes 3G. 2007.* Disponível em http://www.teleco.com.br/3g_esp.asp?mes=7&ano=2007 Acesso em 18 de Dez. de 2007.
- [3] SKYPE, L. *Como o Skype funciona no celular. 2007.* Acesso em 26 de Set. de 2007. Disponível em: <http://www.skype.com/intl/pt/download/skype/mobile/screenshots.html>
- [4] Baset, S., Schulzrinne., H.: *An analysis of the skype peer-to-peer internet telephony protocol. Technical Report CUCS-039-04*, Columbia University, New York .2004
- [5] PUJOL, Frédéric., Technical Innovations. *Wireless VoIP - What threat to mobile operators?.2005*
- [6] BAZOTTI, Ezequiel., *VoIP para computação móvel.* Trabalho de Conclusão de Curso. Unicruz. Universidade Cruz Alta-RS . 2007
- [7] RODRIGUES, Márcio., *Telefonia Celular.* Dissertação de Mestrado. PUC-Rio. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- [8] - Theodore S. Rappaport., *Wireless Communications – Principles & Practice.* Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 1996.
- [9] - FARUQUE, Saleh., *Cellular Mobile Systems Engineering.* Artech House Publishers, 1996.
- [10] – AGILENT., White Paper, *GSM.* Agilent Technologies Brasil, 2002.
- [11] – SANTOS, Luis Claudio dos., *Análise de transmissão de voz em modo pacote nas redes celulares EGPRS.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006
- [12] TELECO. *LAN/MAN Wireless I: Redes sem fio. 2007.* Disponível em <http://www.teleco.com.br> Acesso em 18 de Jun. de 2008.

