

# REVISTA DIGITAL

Volume 2, janeiro de 2004  
ISSN 1679 - 4389

[www.revdigonline.com](http://www.revdigonline.com)

COMUNICAÇÕES DIGITAIS  
& TÓPICOS RELACIONADOS

Proibida a venda

## ÍNDICE

Nota Editorial.....	3
Download seguro em Rádio Definido por Software (RDS).....	4
Manutenibilidade de Software.....	10
Set-Top-Box digital.....	15
Rádio Definido por Software: o próximo salto no mundo das telecomunicações e computação .....	20
Perspectivas das comunicações móveis no Brasil.....	25

## NOTA DO EDITOR

Neste início de ano a Revista Digital Online deseja a todos os leitores um excelente 2004, cheio de realizações, pesquisas, desenvolvimento científico e tecnológico, aliados a muito sucesso!!!

Em seu segundo volume, a revista comemora o recebimento de alunos de diversas faculdades, dentre os quais, estão publicando a UnB, o ICESP e o IESB. Esperamos aumentar cada vez mais o leque de alunos de diversas faculdades participando da revista.

Neste volume está sendo apresentado um artigo na área de Rádio Definido por Software, onde é abordado o problema da segurança no download. Este problema é um grande desafio para a implantação desta nova tecnologia nos diversos sistemas de telecomunicações e, em particular, em sistemas celulares. Na área de desenvolvimento de software é apresentado um artigo voltado à manutenibilidade de software, aspecto diretamente relacionado à qualidade do software e otimização de recursos no seu aperfeiçoamento. Finalmente, é pode-se ler um artigo voltado a TV digital, assunto que tem despertado bastante interesse em função do momento político de definição de padrão a ser adotado no país.

Finalmente, estão sendo publicados os artigos relacionados à seção “Papo do Mês” referentes aos meses de outubro e dezembro. Todos nós, da Revista Digital Online, esperamos que estas leituras possam acrescentar o seu conhecimento técnico e possam colaborar nos seus trabalhos e pesquisas do ano letivo que vem iniciando. Então, boa leitura!

André Gustavo Monteiro Lima  
glima@revdigonline.com

# DOWNLOAD SEGURO EM RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (RDS)

VICTOR GODOY VEIGA  
BRUNO GUIMARÃES

*Universidade de Brasília (UnB)  
Departamento de Engenharia Elétrica (EnE)*

*e-mail: vgveiga@apis.com.br - bruno@ene.unb.br*

## RESUMO

*Com o rápido avanço da tecnologia de comunicações sem-fio, surge um novo paradigma de terminais baseado na capacidade de reconfiguração das funções de rádio por software: o conceito de Rádio Definido por Software (RDS). Neste contexto, o processo de download seguro do software em terminais RDS é fundamental para a viabilização desta tecnologia. Este artigo apresenta uma visão geral dos requisitos para a realização do download seguro em terminais RDS.*

## ABSTRACT

*Within the fast advance in the wireless communication technology, a new model of terminals based on the capability of reconfiguration of the software radio functions rises: the concept of Software-Defined Radio (SDR). In this context, the download of the software in a secure manner to SDR terminals is fundamental to the viability of this technology. This paper presents an overview of the requirements for a secure download in SDR Terminals.*

*Keywords: Software Defined Radio (SDR), Mobile Fourth Generation, Secure Download.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicações móveis atuais estão diversificados em vários padrões (UMTS, CDMA-2000, IS-136, DECT, SC-CDMA, entre outros), limitando a área de atuação de seus terminais, cuja compatibilidade é muito depende do próprio *hardware*. É neste contexto que surge a necessidade de se produzir rádios com alto nível de flexibilidade, capazes de se adaptar aos diferentes padrões existentes. O objetivo é garantir sua interoperabilidade através de uma simples atualização de *software*. A reconfigurabilidade do sistema é a principal meta (Mitola, 2000) desta tecnologia definida como Rádio Definido por Software (RDS).

Do ponto de vista comercial, a viabilidade dos RDS implica na redução significativa dos custos em sistemas de comunicação móvel. Rádios Definidos por *Software* evitariam que a evolução de padrões de comunicação gerasse desperdício do investimento massivo anteriormente aplicado aos terminais. Atualmente, devido à incapacidade de atualização, os terminais móveis são geralmente descartados.

Do ponto de vista militar, operações envolvendo vários grupos distintos, cada qual

operando de forma isolada e portando padrões específicos de rádios, poderiam com a tecnologia RDS convergir para uma total interoperabilidade.

As atualizações serão realizadas em RDS com o objetivo de disponibilizar novas técnicas de modulação, componentes criptográficos, aplicações, entre outros, através de um simples *download* de novos componentes de *software*.

A segurança do GSM na telefonia móvel, por exemplo, apresentou certas vulnerabilidades notadas apenas após a sua implementação comercial, mantendo as mesmas vulnerabilidades de forma duradoura. Conseqüentemente, seu nível de segurança (Mynttinen, 2000) é atualmente questionado e uma evolução simplesmente exigiria a substituição dos terminais. Por outro lado, um RDS permitirá substituir seu conjunto de algoritmos criptográficos, chaves simétricas e assimétricas, protocolos, técnicas de codificação, mecanismos de proteção e outros fatores que compõem a segurança de um sistema de comunicação.

Dado que a flexibilidade de RDS permite total controle sobre os modos de operação, incluindo frequência e potência de transmissão/recepção, é de fundamental

importância um mecanismo de alta segurança no processo de *download* de seu código, pois erros nesta etapa podem comprometer a confiabilidade e a disponibilidade de todo o sistema.

A atualização do código, sem o nível adequado de segurança, gera desde uma mera indisponibilidade momentânea de um dado serviço oferecido a um terminal móvel e, em outros casos, interferências eletromagnéticas sobre outros dispositivos, como os terminais ou servidores responsáveis por serviços críticos (emergência).

O problema de segurança da informação em RDS não é trivial e sua solução final ainda permanece em aberto (SDR Forum<sup>1</sup>, 2002). Os avanços já obtidos na segurança do *download* na Internet e para as tecnologias sem-fio não são suficientemente capazes de apontar uma solução final para *download* seguro de RDS. Esta situação decorre de complexidades extras não enfrentadas pela Internet ou pelos atuais sistemas de comunicação móvel. Talvez, a principal destas complexidades diga respeito ao fato de que terminais RDS possuem limitação quanto à capacidade de processamento, quantidade de memória e consumo de energia.

A arquitetura de *hardware* no RDS terá papel relevante na segurança da informação, pois comparativamente com os sistemas anteriores uma revolução será proposta. Neste sentido, o modo de operação em RF, mecanismos e componentes lógicos da segurança e a camada de aplicações serão definidos em grande parte por *software*.

A seção 2 deste documento amplia o conceito de RDS, apresenta as principais instituições no mundo e no Brasil que lideram a pesquisa em RDS e, mais adiante, as tendências desta tecnologia no futuro. A seção 3 analisa os requisitos teóricos e conclusões já alcançadas associadas ao problema do *download* seguro em RDS. Uma breve comparação será apresentada sobre técnicas de *download* seguro existente na Internet em relação aos requisitos do RDS. Por último, a seção 4 apresenta uma breve conclusão acerca do tema.

## 2. RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (RDS)

Esta seção apresenta o conceito de Rádio Definido por Software (RDS), analisando, em seguida, algumas características de *hardware* relevantes no projeto de segurança de RDS. Finalmente, discorre sobre as instituições de pesquisa que impulsionam esta tecnologia. Em suma, ressalta a importância de RDS no futuro das comunicações móveis, mostrando a influência na segurança da informação gerada

pelas tendências de *software* e de *hardware* que atualmente guiam as pesquisas desta tecnologia.

### 2.1 Conceito

O SDR Forum define o termo Rádio Definido Software (RDS) como uma coleção de tecnologias de *hardware* e *software* que permite sistemas com arquitetura reconfigurável para redes sem-fio e terminais móveis. Ainda segundo o SDR Fórum, a tecnologia RDS provê solução eficiente e comparativamente barata para o problema de construir dispositivos sem-fio, multi-modo, multi-banda e multi-funcionais que podem ser adaptados, atualizados e/ou melhorados através da atualização de seu conjunto de *software*.

### 2.2 Considerações na arquitetura de RDS

Um sistema que possui mecanismo seguro de *download* pode ter comprometido sua segurança se o dispositivo não contiver proteções contra ataques físicos. Em Uchikawa, 2002, é proposto um sistema de *download* seguro com a presença de mecanismos *tamper-proof* (à prova de violação física) capazes de proteger áreas críticas dos terminais (regiões de memória onde são armazenadas senhas, chaves criptográficas, entre outros componentes de segurança).

Do ponto de vista de poder computacional, o avanço é notável e crescente na área de processamento digital de sinais, especialmente em dispositivos FPGA (Cummings, 1999 e Reed, 2002) e DSP (Efstathiou, 1999).

De uma forma geral, as tecnologias disponíveis para uso em RDS são: FPGA, DSP e ASIC (*Application Specific Integrated Circuits*).

A figura 1 exibe o compromisso entre flexibilidade e desempenho destes dispositivos (Ahlquist, 1999 e Reed, 2002).

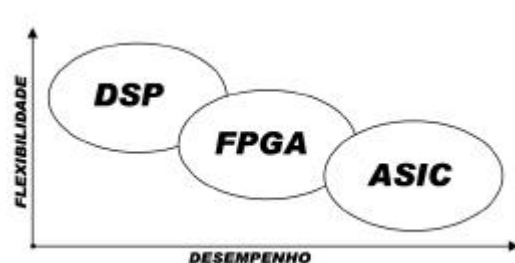


Fig. 1 - Flexibilidade x Desempenho entre dispositivos DSP, FPGA e ASIC.

Diversos protótipos bem sucedidos alcançaram resultados positivos (Lackey, 1995 e Shiba, 2002), ratificando a previsão de viabilidade técnica dos RDS para os próximos 10 ou 15 anos. O protótipo de Lackey, 1995, por exemplo, substituiu 15 rádios militares por um único dispositivo.

<sup>1</sup> SDR Forum – <http://www.sdrforum.org>

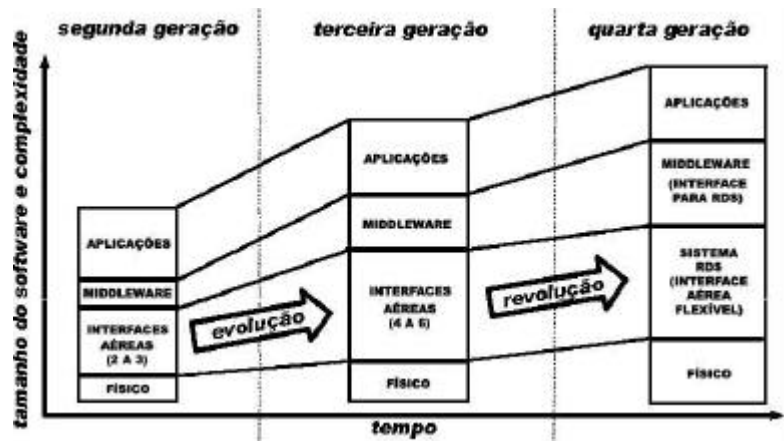


Fig. 2 – Evolução da telefonia e a inserção da tecnologia de Rádio Definido por Software (RDS).

O autor destaca, neste caso, que o principal fator limitante foi o baixo poder de processamento disponível naquela época. O DSP adotado em Lackey, 1995 foi o Quad-C40 MCM de 200 MFLOPS (milhões de operação em ponto flutuante) e 1100 MFIPS (milhões de operações em ponto fixo). Para ilustrar o avanço, atualmente a linha TMS320C6000 de DSP da Texas Instruments chega a alcançar 5760 MFIPS e 1350 MFLOPS.

Segundo Cummings, 1999, a tecnologia baseada em FPGA é a mais promissora para os sistemas de RDS, pois vem demonstrando evolução contínua e significativa quanto ao poder computacional, capacidade de armazenamento, aumento de flexibilidade / desempenho e redução no consumo de potência. Avanços significativos em DSP também foram observados.

O uso híbrido de FPGA e DSP pode se tornar uma boa solução nos projetos de RDS, pois aproveita as vantagens de cada dispositivo e explora o paralelismo computacional necessário ao funcionamento do sistema. A atual preferência ao redor da tecnologia FPGA a colocará em destaque nos projetos de RDS futuros.

A figura 3 mostra a evolução da capacidade da tecnologia nos últimos anos (Xilinx, 1998).

De acordo com Baab, 2002, a quarta geração (4G) deverá empregar técnicas de RDS. A figura 2 exhibe esta tendência de evolução no sentido de buscar uma maior flexibilidade. Pesquisas em uma geração futura, identificada como 4G (posterior a 3G, B3G e NG (*Next Generation*)) de sistemas de comunicação móvel encontram-se em seus estágios iniciais e seus primeiros produtos surgirão no mercado em cerca de 10 ou 15 anos.

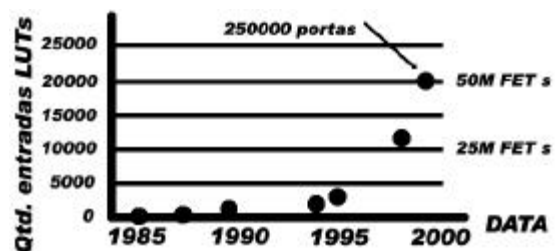


Fig. 3 – Evolução na densidade de portas (poder de processamento e capacidade de armazenamento) das famílias de chips FPGA - fabricante Xilinx.

### 2.3 Futuras gerações de telefonia móvel e a importância da tecnologia de RDS

Desde 1980, um crescimento exponencial de sistemas de telefonia móvel foi observado, produzindo em todo o mundo uma grande variedade de padrões analógicos e digitais. A competição industrial em 2000 entre Ásia, Europa e América promoveu um caminho muito difícil em torno da definição de um padrão único para sistemas móveis, embora as análises de mercado ressaltem os benefícios da implantação de um sistema global único. Neste contexto, o conceito de Rádio Definido por Software emerge como uma solução pragmática.

A segunda geração (2G) de tecnologia sem-fio consiste em uma grande variedade de padrões incompatíveis e o principal objetivo em desenvolvimento, a terceira geração (3G), é a compatibilidade entre esses padrões. Mesmo se esses padrões de celulares convergirem globalmente, sistemas 3G requerem sistemas multi-modo e modo de seleção automático de operação.

### 2.4 Instituições associadas à tecnologia de Rádio Definido por Software (RDS)

As grandes motivações baseadas em interesses militares e comerciais fazem com

que grande parte da pesquisa seja desenvolvida em instituições governamentais e privadas ou de interesse privado, como o departamento de defesa americano, Sony, Samsung, Motorola, Siemens, Nokia, entre outras.

Dentre as instituições de caráter público, o SDR Forum ocupa papel de destaque no incentivo a pesquisa e padronização da tecnologia RDS. Em especial, ele atualmente aloca esforços consideráveis sobre o problema da segurança no *download* em RDS.

Grupos de telefonia móvel na Europa também avançam em suas pesquisas contribuindo para o desenvolvimento da telefonia móvel, entre eles: ITU (*International Telecommunication Union*), ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e GSM *Association*. Todos possuem departamentos, grupos de pesquisa ou parcerias na busca e padronização das soluções de segurança da informação.

O grupo 3GPP<sup>2</sup> (*Third Generation Partnership Project*) e seu subordinado ramo MExE (*Mobile Execution Environment*) atuam na padronização de ambientes de execução para a telefonia móvel. A grande motivação do MExE, encontra-se no sucesso da Internet como ambiente de proliferação de diversos tipos de aplicações compatíveis com as mais diferentes arquiteturas de *hardware* de computadores pessoais. O MExE almeja padronizar protocolos para que os mais variados aparelhos de comunicação móvel futuros (desde *hand-sets*, celulares, e até mesmo estações de trabalho), usufruam dos mesmos aplicativos, ou seja, multi-plataforma associada à camada de aplicações.

A abordagem proposta pelo MExE é extremamente importante no que se refere ao futuro da tecnologia RDS, pois todo e qualquer esquema de segurança da informação a ser adotado deverá assumir que o funcionamento dos terminais irá operar corretamente em multi-plataforma, situação extremamente diferente da atual segunda geração (2G) e obviamente mais complexa.

O Projeto 4G Brasil é uma das iniciativas de pesquisa conjunta, reunindo várias instituições nacionais e internacionais na pesquisa de RDS. A Universidade de Brasília (UnB) também possui grupo de pesquisa em RDS.

### **3. SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO NO DOWNLOAD DE SOFTWARES EM RDS**

Esta seção aborda os requisitos teóricos necessários à segurança do processo de reconfiguração de sistemas RDS. Além disso,

retrata o problema do *download* seguro de sistemas RDS comparativamente ao *download* da Internet e em tecnologias de comunicação móvel/sem-fio.

A segurança em sistemas de comunicação móvel é fundamental e de interesse público. Exemplos evidentes estão ligados a situações onde a segurança das pessoas depende diretamente da transmissão e recepção de chamadas e informações de emergência, podendo significar a diferença entre a vida e a morte.

#### **3.1 Requisitos de segurança da informação nas telecomunicações em geral**

Os desafios de segurança da informação nas telecomunicações, em geral, podem ser divididos em 6 categorias: operação confiável do sistema, autenticação, autorização, integridade, privacidade e irretratabilidade.

Estes requisitos gerais de segurança são similares para diferentes tipos de sistemas de comunicação, sem-fio ou não.

A indústria trabalha na busca de soluções de segurança nas mais variadas plataformas, comumente envolvendo todos os requisitos acima citados. O exemplo mais atual é a própria Internet.

#### **3.2 Tópicos sobre a segurança de sistemas sem-fio**

A liberdade de movimento derivada da introdução de sistemas de comunicação sem-fio trouxe novos paradigmas no cenário da segurança da informação. Novos requisitos incluem: proteção das estruturas de controle do sistema, uso malicioso, interceptação de mensagem, roubo de propriedade intelectual e até uso de serviços ilegalmente.

O nível de vulnerabilidade é superior em sistemas de comunicação sem-fio, especialmente pelo advento da transmissão diretamente na atmosfera. Já é possível observar que as redes sem-fio começam a sofrer ataques notáveis. Em 2001, por exemplo, (SDR FÓRUM, 2002) o Japão sofreu um ataque onde *e-mails* maliciosos alcançaram 13 milhões de usuários de telefonia móvel. Ao abrir o *e-mail*, o dispositivo de comunicação discava o número do serviço de emergência durante 20 minutos consecutivos. Obviamente informações importantes como agendas, números de cartões de crédito e senhas podem estar vulneráveis diante de ataques desta natureza.

<sup>2</sup> 3GPP (*3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project*) - <http://www.3gpp.org>

Tabela 1 – Comparação entre o *download* na Internet e na no RDS.

Questões de Segurança		Download em RDS	Download na Internet
Requisitos Principais	- integridade - autenticidade - confidencialidade - irretratibilidade	sim sim sim sim	Sim algumas vezes algumas vezes algumas vezes
Partes envolvidas	- usuário - provedor - autoridade certificadora	sim sim obrigatório	Sim sim opcional
Primitivas criptográficas	- chaves simétricas - funções <i>hash</i> (integridade) - autenticação	sim sim sim	Sim sim sim
Requisitos da arquitetura RDS	- proteção física ( <i>tamper-proof</i> ) - baixa utilização de recursos computacionais	sim sim	Não opcional

Uma das tecnologias sem-fio comumente difundidas é o padrão IEEE 802.11 atuando em redes locais. Este padrão propõe o algoritmo WEP (*Wired Equivalent Privacy*) como mecanismo de proteção. Sua cifração é baseada no RC4. Entretanto, sérias deficiências foram identificadas até o momento (Borisov, 2001). A fraqueza deste sistema encontra-se no tamanho relativamente pequeno de seu vetor de inicialização (VI). O protocolo WEP usa 24 bits para seu VI e uma chave secreta de 40 bits. Para citar o nível de vulnerabilidade atual, um aluno de graduação da *Rice University* chamado Adam Stubblefield, com apenas 20 anos de idade, foi capaz de quebrar a cifração do WEP.

O exemplo acima ilustra que o nível de segurança em RDS não pode incorrer em deficiências graves como a observada no WEP.

### 3.3 Requisitos de segurança do download na Internet e em Rádio Definido por Software

O *download* na Internet é diferente do *download* em RDS e suas principais diferenças encontram-se nos requisitos de segurança, vide tabela 1.

Apesar do avanço nos mecanismos de segurança já bastante evoluídos ao longo dos últimos anos na Internet, pontos obrigatórios específicos de RDS aumentam a complexidade do *download* seguro, como a autenticidade do código e sua aprovação junto à agência reguladora de telecomunicações local.

### 3.4 A segurança em dispositivos RDS

Quanto maior as complexidades dos dispositivos de comunicações, maiores são

suas vulnerabilidades e mais complexo se torna o desafio evitá-las. Dispositivos que operam em diversos sistemas de comunicação simultaneamente são, em geral, mais complexos que dispositivos RDS. Entretanto, diferentemente destes dispositivos, os dispositivos RDS necessitam atualizar *software* de plenamente segura.

O desafio enfrentado pelo sistema de segurança da tecnologia RDS é, portanto, mais complexo do que o dos sistemas dos dispositivos de comunicação móvel existente atualmente. Os principais problemas e ataques relacionados à tecnologia RDS são:

- Interferência no canal de comunicação gerada por equipamentos com defeito;
- Uso ilegal ou comprometimento de canais de segurança pública (canais reservados para órgãos governamentais);
- Ataques de personificação (tanto do usuário, como do servidor);
- Ataques de negação de serviço;
- Ameaças à integridade do sistema e dos *softwares*;
- Escuta nos canais de comunicação ameaçando a privacidade de usuários.

## 4. AGRADECIMENTOS

Agrademos ao Prof. Eduardo Wolski pelo apoio e dedicação para a viabilidade deste trabalho e ao Prof. Leonardo Menezes pela iniciativa e incentivo à pesquisa em RDS na Universidade de Brasília.



## 5. CONCLUSÃO

A evolução da tecnologia de Rádio Definido por *Software* (RDS) mostra-se promissora no futuro das comunicações móveis e a solução segura do processo de *download* em terminais RDS foi enfatizada como um fator essencial para a viabilização da tecnologia. Esta é uma área de importância crescente em nível de pesquisas tanto na área acadêmica como em áreas comerciais e militares.

Este artigo apresenta uma visão geral do problema de *download* seguro em RDS, com o foco nos requisitos necessários já amplamente debatidos na comunidade científica.

A definição técnica final para o problema de *download* seguro ainda é uma questão em aberto. Dado o estado atual de pesquisa no ramo do *download* seguro, a implementação prática das metas de segurança propostas pelo SDR Fórum passarão ainda por vários níveis de evolução até alcançar um padrão final, capaz de tornar o global o uso da tecnologia de RDS. Destarte, esforços contínuos de pesquisa serão fundamentais para atingir o objetivo do *download* seguro nos terminais RDS.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLQUIST, Gregory C.; RICE, Michael e NELSON, Brent. *Error Control Coding in Software Rádios: An FPGA Approach*. IEEE Personal Communications, agosto de 1999.
- BABB, D.; BISHOP, C. e DODGSON, T. E. *Security Issues for Downloaded Code in mobile phones*. IEEE Electronics & Communication Engineering Journal, outubro de 2002.
- BORISOV, N.; GOLDBERG, I.; WAGNER, D. *Intercepting Mobile Communications: The insecurity of 802.11*, 2001.
- CUMMINGS, MARK e HARUYAMA, SHINICHIRO. "FPGA in the Software Radio". IEEE Communications Magazine, pp. 108 a 112, fevereiro de 1999.
- EFSTATHIOU, Dimitrios; FRIDMAN, Jose; ZVONAR, Zoran. *Recent Developments in Enabling Technologies for Software Defined Radio*. IEEE Communications Magazine, agosto de 1999.
- LACKEY, Raymond; UPMAL, Donald. *Speakeasy: The Military Software Radio*. IEEE Communication Magazine, maio de 1995.
- MYNTTINEN, Juha. *End-to-end security of mobile data in GSM*. Tik-110.501 Seminar on Network Security, 2000.
- MITOLA, Joseph. *Software Radio Architecture: Object Oriented Approaches to Sem-fio Systems Engineering*. John Wiley and Sons, 2000.
- REED, Jeffrey H. *Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering*. Prentice Hall PTR, 2002. ISBN 0-13-081158-02002.
- SDR FORUM. *Report on Issues and Activity in the area of security for Software Defined Radio* SDRF-02-0003-V0.00, setembro de 2002.
- SHIBA, Hiroyuki; SHONO, Takashi; SHIRATO, Yushi; TOYODA, Ichihiko; UEHARA, Kazuhiro; *Software Defined Radio Prototype for PHS and IEEE 802.11 Sem-fio LAN*. IEICE Transaction Community, VOL.E85-B, NO. 12, dezembro de 2002.
- XILINX. *The Programmable Logic Data Book*, San Jose, Califórnia CA, 1998.
- UCHIKAWA, Hironori; UMEBAYSAHI, Kenta; KOHNO, Ryuji. *Secure Download System based on software defined radio composed of FPGA*. Yokohama National University, IEEE PIMRC 2002.

## 7. BIOGRAFIAS

### **Bruno Guimarães.**

Formado em Engenharia de Redes de Comunicação pela Universidade de Brasília (UnB) em 2003. Trabalha na empresa Link Data Informática.



### **Victor Godoy Veiga.**

Formado em Engenharia de Redes de Comunicação pela Universidade de Brasília (UnB) em 2003. Trabalha na empresa Z Tecnologia.



# MANUTENIBILIDADE DE SOFTWARE

VALÉRIO BRUSAMOLIN

Instituto Científico de Ensino Superior e Pesquisa – ICESP

<http://brusamolin.sites.uol.com.br> e-mail: [brusamolin@yahoo.com](mailto:brusamolin@yahoo.com)

## RESUMO

*Manutenibilidade é uma das características de qualidade de software, determinando o grau de facilidade com que o mesmo pode ser corrigido ou aperfeiçoado. Um software com alto índice de manutenibilidade necessita de menos tempo e pessoas para ser modificado. Este artigo busca identificar os fatores que afetam a manutenibilidade de um artefato de software e suas métricas.*

## ABSTRACT

*Maintainability is one of the software characteristics of quality, determining how easy it can be corrected or improved. A software with a high maintainability grade needs less time and people to be modified. This article aims to identify factors that affect the maintainability of a software artifact and its metrics.*

*Keywords: software maintainability, software quality, maintainability metrics, software maintenance.*

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade de manutenção de software é dispendiosa e consome tanto ou mais recursos do que o desenvolvimento: entre 40 e 60 por cento do custo total de um projeto (COLEMAN, ASH, 1994). Entretanto, as equipes de desenvolvimento são pressionadas por cronogramas e orçamentos, descartando trabalhos que poderiam reduzir custos futuros de manutenção. No próprio levantamento de requisitos, não é prática usual se especificar ou verificar itens de qualidade que facilitem futuras manutenções, sejam elas corretivas, adaptativas ou perfectivas.

Este trabalho visa relacionar os conceitos, práticas e idéias que visem a produção de software com maior índice de manutenibilidade, estabelecendo um ponto de partida para a investigação mais aprofundada de como atuar efetivamente no ciclo de desenvolvimento de software de forma a facilitar as necessárias correções e evoluções futuras.

## 2 CICLOS DE VIDA DO SOFTWARE

A Norma NBR ISO/IEC 12207 - Processos do Ciclo de Vida do *Software* - tem como principal objetivo fornecer uma estrutura comum para que os envolvidos com o desenvolvimento de *software*

utilizem uma mesma linguagem. Para esse fim, estabelece um ciclo de vida padrão composto pelos seguintes processos fundamentais:

- a) Aquisição;
- b) Fornecimento;
- c) Desenvolvimento;
- d) Operação;
- e) Manutenção;

Segundo a mesma norma, o processo de manutenção é ativado quando o produto de software é submetido a modificações no código e na documentação associada devido a um problema, ou à necessidade de melhoria ou adaptação. O objetivo é modificar um produto de software existente, preservando a sua integridade.

Thomas Pigoski (1996, p.37-50) é de parecer que este e outros ciclos de vida levam a uma interpretação equivocada do processo de manutenção, pois tem início apenas após o produto já estar pronto e em produção. Não se concebe a participação do pessoal de manutenção nos processos iniciais do ciclo.

Pigoski sugere que o processo de manutenção inicie juntamente com o desenvolvimento. Dessa forma, especialistas em manutenção poderiam atuar de forma a se obter um produto com

arquitetura propícia a reparos mais rápidos e baratos.

### 3 CONCEITO DE MANUTENÇÃO

Existem várias definições para manutenção de software. Pigoski sintetiza em uma definição a sua opinião de como deveria ser o processo de manutenção: "Manutenção de software é a totalidade de atividades necessárias para prover, minimizando o custo, suporte a um sistema de software. As atividades são executadas tanto nos estágios pré-entrega quanto pós-entrega. As atividades de pré-entrega incluem o planejamento para entrada em operação, suportabilidade e definição de logística. As atividades de pós-entrega incluem modificação do software, treinamento e operação de um help-desk" (PIGOSKI, 1996, p.46)

### 4 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Segundo E. B. Swanson (1976), existem três tipos de manutenção:

- a)Corretiva: modificações necessárias para corrigir erros;
- b)Adaptativa: qualquer esforço desencadeado como resultado de modificações do meio ambiente em que o software deve operar;
- c)Perfectiva: todas as mudanças feitas para atender a evolução das necessidades do usuário.

A figura 1 mostra os percentuais de esforço aplicados em cada tipo de manutenção. É equivocada a idéia de que um sistema ideal, com nenhum erro, não teria manutenção. Os requisitos do usuário evoluem, tentando adquirir vantagens em relação a concorrentes, reduzir custos operacionais ou simplesmente se adequar a mudanças na legislação e processos.

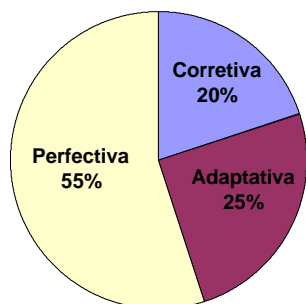


Figura 1 - Percentuais de esforço de manutenção (PIGOSKI, 1996)

## 5 MANUTENIBILIDADE

Manutenibilidade de software diz respeito à facilidade com que o mesmo pode ser modificado para satisfazer requisitos do usuário ou ser corrigido quando deficiências são detectadas (PIGOSKI, 1996).

O IEEE (1993), estabelece que manutenibilidade é a facilidade com que um sistema de software ou componente pode ser modificado para corrigir falhas, melhorar performance ou outros atributos, ou adaptado para uma mudança de ambiente.

Se os softwares forem manuteníveis, diminui a demanda por desenvolvimento, na medida que os softwares atuais podem evoluir para atender novas necessidades. Por outro lado, aumentam as solicitações de manutenção (GLASS, 1993).

## 6 MANUTENIBILIDADE E QUALIDADE

A norma ISO/IEC 9126-1 (ISO/IEC 9126-1) - modelo de qualidade, classifica os atributos de qualidade de *software* em seis características. Uma delas é a manutenibilidade, que é definida como o esforço necessário para fazer modificações específicas no software. A referida norma desdobra a manutenibilidade ainda, em cinco subcaracterísticas (ROCHA et AL, 2001, p. 117), (MARTINS, VOLPI, 2002):

a)Analisabilidade: atributos do software que evidenciam o esforço necessário para diagnosticar deficiências ou causas de falhas, ou para identificar partes a serem modificadas;

b)Modificabilidade: atributos do software que evidenciam o esforço necessário para modificá-lo,remover seus defeitos ou adaptá-lo a mudanças ambientais.

c)Estabilidade: atributos do software que evidenciam o risco de efeitos inesperados ocasionados por modificações.

d)Testabilidade: atributos do software que evidenciam o esforço necessário para validar o software modificado.

e)Conformidade: atributos do software que o tornam consonantes com padrões ou convenções relacionadas à portabilidade.

## 7 FATORES QUE IMPACTAM NA MANUTENIBILIDADE

### a) Arquitetura

O *design* da arquitetura influencia mais na manutenibilidade do que o *design* do algoritmo (ROMBACH, 1990, p. 22).

A Companhia de informática do Paraná, no intuito de definir recomendações para o seu processo de desenvolvimento de sistemas, elaborou várias versões de um mesmo software, com arquiteturas diferentes e verificando os resultados de qualidade obtidos (MARTINS, VOLPI, 2002).

A experiência da empresa paranaense baseou-se no processo unificado, na UML e na tecnologia de componentes da Microsoft (COM). Foram utilizadas as mesmas tecnologias, variando-se apenas a arquitetura em seis experimentos, que iniciaram com uma solução em duas camadas até várias arquiteturas de *n* camadas *multithreadeds*.

Como resultado, verificou-se que o investimento em arquitetura de software aprimora, entre outras características de qualidade, a manutenibilidade. A divisão da aplicação em componentes e dos componentes em classes tornou cada unidade de código bem menor do que em uma abordagem monolítica, de modo que o esforço para modificar o código foi pequeno e o potencial de inclusão de erros nessa modificação foi reduzido.

### b) Tecnologia

Uma das preocupações que o gerente deve ter é a de verificar se a tecnologia que vai empregar na implementação do software permite um bom grau de manutenibilidade, pois a fácil proliferação de programas pode se tornar mais tarde, um pesadelo de manutenção.

A hipótese de que softwares que utilizam tecnologias orientadas a objetos possuam alta manutenibilidade foi objeto de estudo por Sallye M. Henry e Mathew Humphey (HENRY, HUMPHREY, 1990). O software produzido com linguagem orientada a objetos necessita menos modificações no código fonte, em locais específicos. Em grandes sistemas, que são mantidos por longo tempo, o impacto

positivo do uso de linguagens orientadas a objetos é grande, pois modificações mais localizadas levam a menor degradação do código. A degradação ocorre em função do número de linhas acrescidas ou modificadas (LAND, 2003); logo, manutenção com menos código significa menos entropia. Entropia pode ser definida como a diferença entre o todo e suas partes.

### c) Documentação

Quando documentação ou especificações de design do software não estão disponíveis, o mantenedor tem de investir muito tempo para compreender o produto antes de modificá-lo (PIGOSKI, 1996, p. 276).

### d) Compreensibilidade do Programa

Existem estimativas de que os programadores ficam entre 47% e 62% do tempo de trabalho tentando entender a documentação e lógica dos programas (PIGOSKI, 1996, p.276). Portanto, a compreensibilidade dos programas deve ser aumentada se desejarmos diminuir os custos de manutenção.

O uso de abreviaturas na declaração de variáveis dificulta a compreensibilidade de programas fonte (LAITINEN et al, 1997).

## 8 MÉTRICAS DE MANUTENIBILIDADE

Para controlar a manutenibilidade de um software, deve-se saber como medi-la. Para isso existem as métricas, que auxiliam na verificação do software produzido. As métricas que aferem a manutenibilidade verificam a complexidade do software (BANDI et al, 2003).

## 9 MÉTRICAS DE MANUTENIBILIDADE A NÍVEL DE CÓDIGO

Existem muitas métricas de manutenibilidade a nível de código. A dificuldade não reside em se encontrá-las, mas sim em selecionar as mais adequadas a determinado projeto. As métricas podem ser utilizadas isoladamente ou fazer parte de métricas híbridas.

## 10 MÉTRICAS DE COMPLEXIDADE DE HALSTED

Halsted (HALSTEAD, 1977) desenvolveu métricas de complexidade que ainda hoje são utilizadas para se derivar a manutenibilidade de software.

As métricas de Halsted são baseadas em quatro números escalares derivados diretamente de um programa fonte (SEI, 2003):

n1=número de operadores distintos  
 n2=número de operandos distintos  
 N1=número total de operadores  
 N2=número total de operandos

A partir destes números, cinco métricas são derivadas, como consta da tabela 1.

Tabela 1 – Métricas de Halsted

Métrica	Símbolo	Fórmula
Tamanho do Programa	N	$N=N1+N2$
Vocabulário do Programa	n	$n=n1+n2$
Volume	V	$V=N*(\text{LOG}2 n)$
Dificuldade	D	$D=(n1/2)*(N2/n2)$
Esforço	E	$E=D * V$

## 11 MÉTRICAS DE MANUTENIBILIDADE A NÍVEL DE DESIGN

As métricas de código ignoram as interdependências entre módulos, assumindo que cada componente é uma entidade separada. As métricas de design de arquitetura tentam quantificar o nível de interação entre módulos, partindo do pressuposto que as interdependências contribuem para a complexidade geral do software (HENRY, SELIG, 1990).

H. Dieter Rombach, faz uma distinção entre design da arquitetura, que é de alto nível, e design algorítmico, de baixo nível. O design da arquitetura impacta mais na manutenibilidade do que *design* do algoritmo (ROMBACH, 1990, p. 22), e sua experiência demonstra que não vale a pena medir o código: maior ganho é obtido ao investir na arquitetura, e o fator mais importante é a experiência e conhecimento do *designer*.

As métricas de complexidade a nível de design que afetam a manutenibilidade mais citadas na literatura são:

### a) Complexidade Ciclomática

Desenvolvida por McCabe para indicar a testabilidade e manutenibilidade de software, medindo o número de caminhos linearmente independentes do programa (ou método). Para determinar os caminhos, representa-se o método como um grafo fortemente conectado com uma única entrada e uma única saída. Os nós são blocos seqüenciais de código, e as arestas são decisões que causam uma ramificação. A complexidade é dada por:

$$CC = E - N + 2$$

Onde E = número de arestas e N = número de nós

### b) Fluxo de Informação

Definido por Sallie Henry e Denis Kafura (HENRY et al., 1981), o valor da métrica é dado pelo quadrado da multiplicação do fan-in de um módulo pelo seu fan-out.

$$C_c = (\text{fan-in} * \text{fan-out})^2$$

Fan-in é a quantidade de fluxos de informações que entram no programa; fan-out é a quantidade de fluxos que saem do programa. No cálculo também devem ser consideradas as variáveis globais utilizadas e modificadas pelo programa ou método.

## 12 MÉTRICAS HÍBRIDAS

O Software Engineering Institute (SEI, 2003) adotou uma técnica específica: o Maintainability Index (MI), que foi desenvolvido por Paul Oman (OMAN, HAGEMEISTER, 1994). Artigo de Don Coleman (COLEMAN et al, 1995), cita e explica a como os elementos do MI foram calibrados, validando a sua utilização para a indústria de software.

Neste índice, a manutenibilidade é calculada utilizando uma combinação de métricas. O MI de um conjunto de programas é dado pelo seguinte polinômio:

$$MI = 171 - 5.2 * \ln(\text{mediaV}) - 0.23 * \text{mediaV}(g') - 16.2 * \ln(\text{mediaLDC}) + 50 * \text{sen}(\text{sqrt}(2.4 * \text{perCM}))$$

Onde:

mediaV = Média do Volume de Halstead por módulo  
 mediaV(g') = Média estendida da complexidade ciclomática por módulo

mediaLDC = Média de linhas de código (LDC) por módulo  
perCM = Média percentual de linhas de comentários por módulo (opcional)

A manutenibilidade é diretamente proporcional ao MI, ou seja, quanto maior o índice, mais manutenível é o programa. Um índice de 6, por exemplo, é de manutenção quase impossível. Já um índice de 70 é muito bom.

### 13 PRÁTICAS DE MANUTENIBILIDADE

Thomas Pigoski nos dá uma pista sobre como produzir sistemas manuteníveis: pensar em manutenção já no levantamento de requisitos (PIGOSKI, 1996, p.46). O mesmo autor explica que os processos de desenvolvimento e manutenção devem evoluir e se integrar de alguma forma, sugerindo algumas práticas que levam à manutenibilidade:

- Revisões de averiguação;
- Caminhamentos estruturados;
- Uso de design orientado a objetos;
- Assegurar que cada linha de código tenha no máximo uma declaração;
- Assegurar que comentários tenham informação útil;
- Assegurar que programação "esotérica" seja evitada;
- Empregar convenções de programação;
- Usar definições de dados comuns;
- Estabelecer padrões para desenvolvimento de procedimentos e documentos do sistema;
- Registrar o processo de desenvolvimento explicando a filosofia de desenvolvimento e o processo decisório;
- Estimular a simplicidade;
- Estudar possíveis mudanças futuras e aperfeiçoamentos;
- Medir a complexidade dos componentes do sistema;
- Registrar os pontos fracos do sistema e pontos problemáticos;
- Estabelecer critérios de aceitação para avaliar a qualidade do software, com particular atenção na qualidade da manutenibilidade;
- Previsão de falhas.

Os objetivos de qualidade são atingidos atuando-se nos processos e nas métricas. Somente o uso das métricas não garante o aumento da manutenibilidade, pois deve ser definido quando serão utilizadas, quem fará a avaliação, quais serão as medidas corretivas, quais serão os índices aceitáveis ou não.

### 14 CONCLUSÃO

A manutenibilidade de um software é desejável que pode ser verificada.

Como os processos de desenvolvimento atuais não estimulam a preocupação com a manutenibilidade, e devem ser aperfeiçoados para melhorar a qualidade dos produtos obtidos.

As práticas de manutenibilidade podem ser inseridas na especificação de um processo de desenvolvimento, e a qualidade do produto pode ser aferida através das métricas apresentadas.

Futuros trabalhos podem investigar o aumento da manutenibilidade obtido com a adaptação de um processo de desenvolvimento de software.

### 15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANDI, Rajendra K, VAISHNAV, Vijay K, TURK, Daniel E. Predicting Maintenance Performance Using Object Oriented Design Complexity Metrics. IEEE, 2003.

COLEMAN, Don, ASH, Dan. Using Metrics to Evaluate Software System Maintainability. IEEE, 1994.

COLEMAN, Don, LOWTHER, Bruce, OMAN, Paul. The application of Software Maintainability Models in Industrial Software Systems. J. Systems Software, 1995; 29:3-16;

GLASS, Robert L. Editor's Corner – Which do You Think? Modern Methods Will Lead to Less Maintenance, or More?. J. Systems Software. 1993; 23:209-210.

HENRY, Sallie, SELIG, Calvin. Predicting Source-Code Complexity at Design Stage. IEEE, 1990.

HENRY, Sallie M, HUMPHEY, Matthew. A controlled Experiment to Evaluate Maintainability of Object-Oriented Software.

IEEE, 1990.

LAND, Rikard. Software Deterioration And Maintainability – A Model Proposal. Mälardalen University. 2003.

LI, Wei, HENRY, Sallie. Maintenance Metrics for the Object Oriented Paradigm. IEEE, 1993.

MARTINS, Vidal, VOLPI, Lisiane M. Influência da Arquitetura na Qualidade do Software. Bate Byte, 2002.

PALM, D. Jeffrey, ANDERSON, Keneth M., LIEBERHERR, Karl M. Investigating the Relationship Between Violations of the Law of Demeter and Software Maintainability.

PIGOSKI, Thomas M. *Practical Software Maintenance : Best Practices for Managing Your Software Investment*. Wiley Computer Publishing, 1996.

DUNKE, Reiner R., FOLTIN, Erik. Metrics-based Evaluation of Object-Oriented Software Development Metrics. University of Magdeburg, 1996.

ROCHA, Ana R. C, MALDONADO, José Carlos, WEBER, Kival Chaves. Qualidade de Software – Teoria e Prática. Prentice Hall, 2001.

ROMBACH, H. Dieter. Design Measurement: Some Lessons Learned. IEEE, 1990.

SEI Software Technology Review, Maintainability Index Technique for Measuring Program Maintainability, <http://www.sei.cmu.edu/str/descriptions/mitmpm.html>, acessado em 10/11/2003.

STAVRINOUDIS, Dimitris, XENOS, Michalis, CHRISTODOULAKIS, Dimitris. Relation Between Software Metrics and Maintainability. 1999.

BRIAND, Lionel C., BUNSE, Christian, DALY, John. A Controlled Experiment for Evaluating Quality Guidelines on the Maintainability of Object-Oriented Designs. IEEE, 2001.

CHIDAMBER, Shyam R., KEMERER, Chris F. A metrics Suite for Object Oriented Design. MIT Sloam School of Management, 1993.

DEKLAVA, S. M. The Influence of the Information System Development Approach on Maintenance. MIS, 1992.

FENTON, Norman, KRAUSE, Paul, NEIL, Martin. Software Measurement: Uncertainty and Causal Modelling. 2001.

HALSTEAD, Maurice H. Elements of Software Science, Operating and Programming Systems Series. Vol. 7. Elsevier, 1977.

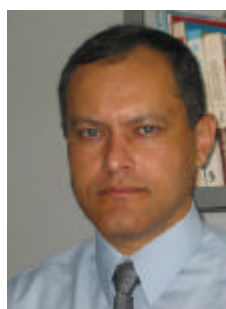
HARRISON, R., COUNSELL, S., NITHI, R. Experimental assessment of the effect of inheritance on the maintainability of object-oriented systems. J. Systems and Software, 2000.

HENRY, Sallie, KAFURA, Denis. Software Structure Metrics Based on Information Flow. IEE Transactions on Software Engineering. 1981.

SAKKINEN, M. Comments on “the Law of Demeter” and C++. ACM SIGPLAN Notices, New York, v.23, n.12, p.38-44, Dec. 1988.

ZHUO, Fang, LOWTER, Bruce, OMAN, Paul, HAGEMEISTER, Jack. Constructing and Testing Software Maintainability Assessment Models. IEEE, 1993.

## 16 BIOGRAFIA



Valério Brusamolín, especialista em Desenvolvimento de Sistemas, é professor do Instituto Científico de Ensino Superior e Pesquisa, nas disciplinas de Análise Orientada a Objetos e Programação Orientada a Objetos.

## SET-TOP-BOX DIGITAL

CAMILA CALDAS PORTO  
EDUARDO SILVEIRA CARNEIRO

Departamento de Engenharia de Telecomunicações  
Instituto de Educação Superior de Brasília - <http://www.iesb.br>

e-mail: [camilacaldas@bol.com.br](mailto:camilacaldas@bol.com.br) e [eduardo@lajesplan.com.br](mailto:eduardo@lajesplan.com.br)

### RESUMO

*Um Set-Top-Box digital é um complexo aparelho eletrônico constituído por muitos componentes de hardware e de software. Pode também ser descrito como um computador que traduz sinais digitais para um formato que pode ser visto numa tela de televisão. Como capacidades de um Set-Top-Box, incluem-se as seguintes: decodificação do sinal digital recebido, verificação dos direitos de acesso e níveis de segurança, visualização de filmes com qualidade de cinema no televisor, saída de som com qualidade Surround, processamento e verificação de serviços da televisão interativa. Este artigo realiza uma descrição sucinta de um set-top-box genérico.*

### ABSTRACT

*A digital set-top-box is a complex electronic equipment constituted by hardware and software components. It's like a computer that translate digitals signal to format to be watched in a television. The set-top-box includes: decoder; security levels; movies with quality of cinema in a TV; etc. This paper intend describe a generic set-top-box.*

*Keywords – set-top-box, digitals sings, decode, interactive television.*

## 1 INTRODUÇÃO

A importância que a televisão ocupa nas sociedades modernas poderá ser ainda incrementada pelas novas tecnologias.

A completa transição da TV analógica para digital é um objetivo a ser alcançado em médio prazo. Durante este período o telespectador poderá ter uma caixa de conversão de sinais chamado Set-Top-Box (STB) acoplada a uma TV analógica para usufruir alguns dos benefícios da TV digital sem adquirir a mesma.

O Set-Top-Box tem como principal função a conversão de sinais digitais (de áudio e vídeo) em sinais analógicos e também oferece serviços interativos adicionais como: consultar guias de programação eletrônicos, *video-on-demand* e *pay-per-view*, enviar e receber e-mails, efetuar compras e até realizar transações financeiras.

## 2 STB E GERAÇÕES SUCESSIVAS

O funcionamento do STB tem como base as transmissões a cabo, que fornecem aos telespectadores, através de seleção por um controle remoto, uma grande gama de canais de televisão.

Com o advento da tecnologia digital o STB acumulou funções múltiplas e complexas. Hoje, as operadoras de TV a cabo – CATVs, de telefonia e de difusão de televisão buscam fornecer novos serviços e conteúdos com as transmissões digitais.

O desenvolvimento da norma MPEG-2 (padrão de codificação de áudio e vídeo) impulsionou a TV digital. Com isso, os STBs são agora necessários para decodificar as transmissões digitais. Estas transmissões podem ser feitas com um dos três tipos de meios de transmissão: cabo, terrestre ou satélite. Cada meio de transmissão tem um tipo de modulação e um sistema de correção de erros diferente, que devem ser somados às funcionalidades requeridas pelo STB.

À medida que começou a expandir as suas funcionalidades, vários nomes foram atribuídos ao STB, tais como DSS STB



(Digital Satellite System), Internet STB e mais recentemente “Digital Set Top Box (D-STB)”.

Na primeira geração (DSS STB), se fazia apenas a conversão dos sinais digitais para sinais analógicos. A segunda geração (Internet STB) possibilita o acesso a World Wide Web de uma forma simples e econômica, pois utilizam o televisor convencional como monitor e uma rede wireless para transportar os comandos de controle. O telespectador pode minimizar a web num pequeno ícone e continuar a ver o programa de televisão e vice-versa.

Na era do entretenimento digital, surgem novos equipamentos audiovisuais como o vídeo, o computador e o DVD, e com eles a necessidade de preparar uma interface de ligação destes com o STB.

O D-STB tornou-se um aparelho de fácil manuseio que faz a decodificação dos sinais de áudio e vídeo, permitindo determinar os direitos de acesso do usuário aos vários serviços de Internet e TV digital. Veja na figura 1, a rede, as ligações e os softwares de gestão que permitem ao aparelho fazer *download* de dados de um servidor multimídia.



Figura 1 – Ligação STB à internet e a servidores multimídia

### 3 ARQUITETURA

Embora cada operador de rede tenha diferentes tipos de *Set-Top-Box*, no geral, as arquiteturas desses aparelhos têm as mesmas características e os mesmos princípios de funcionamento.

#### 3.1 System Board

É aqui que os principais componentes de *hardware* são ligados e que passam todas as informações referentes à televisão digital. Estas informações digitais chegam na forma de *bits* e *bytes* e são partilhadas pelos diversos componentes, usando os barramentos (o barramento de endereço informa o endereço para onde os dados devem ir e o barramento de dados é usado para encaminhar os dados da televisão digital).

#### 3.2 Sintonizadores

Este está disponível para o acesso a redes baseadas em *QAM*, *OFDM* e *QPSK*. A maior parte dos sintonizadores, além de receber sinais de redes digitais, são também capazes de sintonizar emissões analógicas. Os sintonizadores podem ser divididos em três grandes categorias:

- Sintonizador de emissão *In-Band (IB)*: isola o canal físico (dos dados que chegam através do sinal) a partir de uma multiplexação de canais e converte em banda base (canal único ou canal digital extraído a partir de um sinal de banda larga, que é basicamente um quadro de múltiplos canais).

- Sintonizador *out of band (OOB)*: facilita a transferência de dados entre sistemas *head-end* e as *Set-Top-Box*. Este sintonizador opera na banda de frequências de 100-300MHz.

- Sintonizador do canal de retorno: permite ativar o canal de retorno que levará as informações de volta para o fornecedor de serviços interativos. Opera nas frequências entre 5 e 60GHz.[6]

#### 3.3 Modulador e Demodulador

O sinal de saída em banda base vindo do sintonizador é enviado para o demodulador (faz a amostragem do sinal analógico e converte-o em bits que contêm sinais de vídeo e áudio). Uma vez que os bits foram recuperados, verifica-se a existência de erros e, então, os bits serão enviados para o demultiplexador.

O modulador inverte as ações do demodulador e é usado pelo aparelho *Set-Top-Box* para entregar o sinal ao sintonizador do canal de retorno.[5]

#### 3.4 Demultiplexador e Decifrador

A norma *MPEG-2* consiste num número único de pacotes de dados identificados por um sistema chamado *Packed ID (PID)*, que identifica os pacotes como contendo um formato de dados particular: áudio, vídeo ou serviços interativos. Operadores europeus e japoneses, por exemplo, têm 32 *PID* únicos para identificar vários tipos de dados.

O demultiplexador é um circuito integrado de aplicação específica que examina cada *PID*, seleciona um pacote particular, decifra e envia para um decodificador.

### 3.5 Decodificadores

Normalmente um *Set-Top-Box* contém três decodificadores separados para converter os bits num formato analógico que pode ser ouvido e visto pelo usuário. Um decodificador transforma os pacotes de vídeo numa seqüência de imagens, formatando-a para diferentes tipos de resoluções dos monitores de televisão.

Quanto aos bits de áudio comprimidos, são enviados a um decodificador para descompressão e, em seguida, para as caixas de som.

O outro decodificador é o de dados, que é usado para interpretar as informações armazenadas pelo MPEG-2 em formato de tabela. Uma vez que os dados foram interpretados são enviados para o aparelho externo ou para o processador do *Set-Top-Box*. [1]

### 3.6 Processador de Gráficos

É capaz de tratar um conjunto de arquivos de Internet e arquivos controlados pela Televisão Interativa. Depois de tratado pelo aplicativo de gráficos, o documento é usado para cobrir o *display* de vídeo padrão no seu televisor. Isto permite que exista uma grande diferença entre a televisão analógica e as aplicações de televisão digital como jogos 3D.

### 3.7 CPU - Unidade de Processamento Central

Trata-se do cérebro do *Set-Top-Box* que está alojado no *chip* do processador. É o elemento mais importante em termos de funcionalidade e de processamento, incluindo funções do tipo: inicialização dos vários componentes do *Set-Top-Box*, processamento de uma gama de aplicações de Internet e de Televisão Interativa, monitoração e administração das interrupções de *hardware*, retirada de dados, interrupções da memória e execução de vários programas. Os processadores contêm uma unidade aritmética lógica, que conjuntamente com a unidade de controle, trata do processamento da informação introduzida e execução de funções; e ainda o relógio que regula a velocidade do processador e sincroniza todos os componentes. Alguns dos *chips* da CPU mais populares disponíveis para a *Set-Top-Box* pertencem às seguintes famílias: ARM, MIPS,

*PowerPC, SparcRISC, STx0, SH-4 Series, X86*. [5]

### 3.8 Configuração de Memória

A maior parte dos elementos dentro do *Set-Top-Box* precisa de uma capacidade razoável de memória para armazenar e manipular instruções introduzidas pelo usuário. Por exemplo, o decodificador de vídeo e o *descrambler*. Utiliza-se memória RAM e ROM.

Aplicações com manipulação de imagens e gráficos requerem mais RAM. A maior parte das *Set-Top-Box* contém *EEPROM's* e *flash ROM*. A *Set-Top-Box* tem uma pequena quantidade de *EEPROM* com taxas de acesso mais lentas que das RAM. Essas memórias têm um grande percentual sobre o preço final do aparelho.

### 3.9 Aparelhos de Armazenamento

Tem a possibilidade de armazenar e de recuperar a informação necessária para os consumidores de serviços de TV digital.

Na primeira geração de *Set-Top-Box*, o espaço de armazenamento era limitado a memórias *flash*. Hoje começa a haver projetistas que adicionam interfaces a placa mãe, permitindo integrar uma grande capacidade de discos nos *Set-Top-Box*.

Estes discos podem ser usados para armazenar documentos pessoais, sites de Internet favoritos e *e-mails*.

Existem várias tecnologias de armazenamento como: *interfaces IDE, interfaces SCSI*, discos *ZIP* e *JAZZ* de alta capacidade (ligados externamente à *set-top-box*).

## 4 INTERFACES FÍSICAS

Existem cada vez mais interfaces que podem ser ligadas ao *Set-Top-Box*. Dentro destas, classificam-se as seguintes categorias:

### 4.1 Modems

Fazem a comunicação entre computadores e facilitam a implementação de serviços interativos de duas vias.

É possível ligar um modem externo ao *Set-Top-Box*. O canal de retorno disponibilizado pelo modem pode ser utilizado para enviar pedidos aos servidores de Internet. Os usuários têm a possibilidade de fazer *upload* de arquivos e enviar *e-mail*.

As opções disponíveis aos clientes são: o *STM*, que é modem de telefone padrão para comunicação terrestre, por satélite e em ambientes *MMDS* e o *Cable Modems*, para comunicação via cabo padrão.[2]

#### 4.2 Interfaces Multimídia de Alta Velocidade

Permitem aos *Set-Top-Box* comunicar em tempo real com aparelhos como: câmeras de vídeo, *DVD*, leitores de CD e teclados de música. Para isso estão à disposição vários tipos de interfaces como: *IEEE-1284* (Porta Paralela), *USB* (*Universal Serial Bus*), *IEEE-1394* (*Firewire bus interface standard*), *10 Base-T*; Interface série *RS-232*, Interfaces comuns, etc.[2]

### 5 MERCADO

Atualmente o alto custo da TV digital pode ser um grande problema para o ingresso dessa tecnologia para o mercado brasileiro. Porém, pesquisadores do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da USP estão desenvolvendo um protótipo de Receptor de TV Digital Universal. Esse protótipo terá condições de ser adaptado em qualquer sistema de TV Digital que venha a ser implementado no Brasil e seu desenvolvimento teve um custo muito baixo, custando em torno de R\$30,00.[3]

Os STBs podem ser uma opção mais barata para o consumidor usufruir das vantagens da TV Digital e preparar o país para a transição dessa tecnologia.

### 6 CONCLUSÃO

Os meios de comunicação estão evoluindo para atender às necessidades do consumidor. A televisão, um dos principais veículos de propagação de informação e entretenimento, está se adequando às características potenciais das demais mídias. Essa convergência explora ao máximo a capacidade de transmissão oferecida pelas técnicas digitais em desenvolvimento.

O desenvolvimento de sistemas *on chip* (SoC) e a oferta de componentes em formato de *software* e *hardware* como propriedade intelectual, utilizados pelo STB, podem representar uma nova oportunidade para as indústrias de Tecnologia da Informação.

Pequenas e novas empresas (*start up*) podem se beneficiar dessa tecnologia e as empresas já consolidadas podem criar novas unidades de negócios.

No final desse processo, quem também ganha é o consumidor, com mais opções de serviços e comodidade. Os clientes de TV digital esperam um sistema poderoso e conveniente para navegarem através de centenas de canais e serviços interativos.

### 7 AGRADECIMENTO

À jornalista Raíce Cabral pela ajuda prestada e ao Vice-Presidente da GVT Carlos Alberto Nunes.

### 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Benoit, Digital Television, MPEG-1, MPEG-2 and principles of the DVB system.
- [2] The Future of Digital Television, Part 4: December 1998
- [3] [www.ibope.com.br](http://www.ibope.com.br)
- [4] [www.opentv.com.br](http://www.opentv.com.br)
- [5] [www.itvt.com](http://www.itvt.com)
- [6] [www.tvmeetstheweb.com](http://www.tvmeetstheweb.com)
- [7] [www.isi.usp.br](http://www.isi.usp.br)

# RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE: O PRÓXIMO SALTO NO MUNDO DAS TELECOMUNICAÇÕES E COMPUTAÇÃO

ANDRÉ GUSTAVO MONTEIRO LIMA

*Engenharia de Telecomunicações  
Universidade de Brasília - UnB*

<http://www.ene.unb.br>

[e-mail: glima@revdigonline.com](mailto:glima@revdigonline.com)

Resumo – Imagine-se modificando o seu aparelho celular de TDMA para CDMA pelo simples download de software através da INTERNET ou mesmo via rádio diretamente de uma ERB. Ou um turista, que ao viajar pela América do Sul simplesmente liga o seu celular e o aparelho se reconfigura automaticamente para a faixa de frequências e interface aérea da operadora do país em questão. Com a chegada da TV Digital, um software poderá ser carregado no aparelho celular de forma a poder assistir e interagir com a programação local. Enfim, este mesmo aparelho poderia ser reconfigurado para uma série de serviços, tarefas e aplicativos simplesmente pela substituição de softwares, desde a camada física até a camada de aplicação. Este é o cenário esperado para um futuro próximo, cuja tecnologia chave para o seu desenvolvimento é a de Rádios Definidos por Software (RDS). Neste artigo será dada uma rápida e breve descrição da filosofia dos RDS, com os grandes desafios a serem superados no futuro e com os benefícios potenciais para o caso particular do Brasil.

Abstract - Imagine yourself modifying your mobile terminal of TDMA to CDMA through a simple software download by the INTERNET or even via radio directly of an ERB. Or a tourist, during a travel in the South America that simply turn on his cellular and the mobile terminal is reconfigured automatically to the air interfaces and the frequencies of the local operator at the country. With the arrival of Digital TV, a software can be carried in the cellular apparel in way to watch and to interact with the local programming. Finally, this same apparel could simply be reconfigured for a series of services, tasks and applications by the substitution of softwares, since the physical layer up the application layer. This is the expected scenario for a close future, whose key technology for its development is the Software Defined Radio (SDR). In this article a fast and brief description of the philosophy of RDS will be given, with the great challenges to be overcome in the future and with the potential benefits for the particular case of Brazil.

Keywords – Software Defined Radio, SDR, pos-IMT-2000.

## 1 Introdução

Com origem nos sistemas militares do Departamento de Defesa Americano (DoD), o RDS (Software Defined Radio – SDR) surgiu da necessidade de integração das várias interfaces aéreas existentes nos seus Sistemas de Comando e Controle (SC2). De forma a se obter esta interoperabilidade, tornou-se necessário desenvolver rádios que interagissem simultaneamente com duas interfaces aéreas ou mais e nas várias faixas de frequências existentes, executando a função de um *gateway*, e que pudesse ser modificado por uma simples troca de software, sem a necessidade de maiores ajustes em hardware, aumentando a vida útil dos equipamentos e resultando em uma maior relação CustoxBenefício. Problema

análogo é vivido no mundo da telefonia móvel comercial, a qual possui diversas interfaces aéreas em funcionamento nas várias administrações e em faixas de frequências diferentes. De forma a se obter uma globalização das comunicações móveis, há de se definir uma forma de criar interoperabilidade entre os diversos sistemas, seja por uma padronização de interfaces aéreas, seja através de soluções tecnológicas.

## 2 Histórico

Pode-se dizer que os passos iniciais no sentido de se obter uma integração de sistemas móveis foi em 1970, quando o DoD desenvolveu o primeiro rádio multibanda HF/VHF com espalhamento no espectro e salto de

freqüência na faixa de 2 a 88MHz [1]. Seguindo nas pesquisas da Defesa Americana, em 1980 o JARECO (Jam Resistant Communication) resultou em um sistema que podia emular voz digital, técnicas de correção de erros, salto em códigos, freqüências e tempo, e as técnicas de modulação FSK, MSK e CCSK [2]. Utilizava processadores Motorola e era escrito em C e Assembler. Em 1992 surgiu o primeiro rádio programável, após 20 anos de pesquisa do ICNIA (Integrated Communications Navigation Identification Avionics) [3]. Esta pesquisa visava otimizar problemas de espaço em aeronaves através do conceito de funções integradas em módulos programáveis comuns para suportar diversos serviços: HF / VHF / UHF / AM / FM / GPS / SATCOM / SINCGARS, etc. Ainda em 1990, o projeto TAJPSP (Tactical Anti-Jam Programmable Signal Processor) foi criado pela necessidade de maior interoperabilidade e maior capacidade em um simples equipamento. Tinha como objetivo desenvolver um processador capaz de operar com simultâneas formas de onda através de uma arquitetura e sistema operacional adequados. Sem sucesso, devido à dificuldade de interoperar com o produto do ICNIA e problemas de conflitos de dados no processador, foi realizada uma reengenharia da pesquisa e uma mudança de nome. Nasce, então, o SPEAKEasy [4]. O SPEAKEasy fase I teve início em 1992 com o objetivo de implementar um rádio e funções de forma de onda programáveis, genéricas e práticas, de forma a maximizar a flexibilidade e melhorar a programabilidade; maximizar a quantidade de funções alocadas nos processadores digitais de sinais, reduzindo custos e hardware. Em 1994 foram realizados testes em campo entre duas interfaces aéreas do DoD (SINCGARS e Have Quick), obtendo-se sucesso. Em 1995 deu-se início ao SPEAKEasy fase II visando obter uma definição modular de um sistema de arquitetura aberta; programabilidade e reprogramabilidade; e capacidade para suportar quatro formas de ondas diferentes de forma simultâneas. Em 1996 foi firmado um memorando de entendimento pela Alemanha, Estados Unidos, França e Inglaterra, o FM3TR LTTTP (Future Multiband Multiwave Form Modular Tactical Radio – FM3TR Long Term Technology Program – LTTTP). Este buscava desenvolver e avaliar tecnologias de rádio relevantes a serem incluídas nos sistemas

rádios táticos. O resultado desta análise seria o suporte para a padronização de técnicas, procedimentos e metodologias para o desenvolvimento de um rádio com tecnologia avançada a um custo efetivo. Em 1998, implementações baseadas nas padronizações propostas foram realizadas e com um período de 8 horas de pequenos ajustes em softwares a interoperabilidade entre os protótipos foi alcançada.

Em paralelo ao início do SPEAKEasy II, uma versão voltada à indústria comercial dos projetos de pesquisas em rádios definidos por software foi lançada com o nome MMITS Forum (Modular Multifunctions Information Transfer System) com o objetivo de acelerar o desenvolvimento e uso de rádios definidos por software; definição de uma arquitetura aberta para sistemas sem fio; padronizar interfaces, softwares e funcionalidades que as indústrias poderiam seguir na construção de seus sistemas, etc. Este mesmo Fórum veio mais tarde a se chamar SDR Forum, denominação que permanece até os dias atuais [5]. Neste momento inicia-se a convergência das pesquisas voltadas para as áreas militares e sistemas de comunicações comerciais.

O ponto de união entre as duas áreas surge dos resultados obtidos na padronização dos sistemas IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000). Em 1992 foram iniciados trabalhos de padronização conduzidos pela UIT (União Internacional de Telecomunicações) de um sistema de comunicações móveis global. O objetivo deste trabalho era obter uma interface aérea única e uma harmonização do espectro disponível ao serviço em todo o mundo. Desta forma, um terminal móvel poderia ser utilizado em qualquer lugar, a qualquer tempo sem sofrer efeitos de continuidade nos serviços. Em 2001 foram concluídos os trabalhos, mas os objetivos não foram amplamente alcançados. A UIT adotou um conjunto de cinco interfaces aéreas: UTRAN, CDMA-2000, UWC-136, DECT e o SC-CDMA [6]. Portanto, há de se definir uma maneira de se conseguir a continuidade do serviço fornecido em qualquer lugar onde o usuário esteja localizado. O RDS é uma possibilidade de solução para este problema. Provido de reconfigurabilidade, um terminal pode se adaptar a qualquer interface aérea, bastando realizar um download dos novos parâmetros.

### 3 Princípios do RDS

A figura 1 apresenta a filosofia de um sistema rádio definido por software ideal [7]. Atualmente, quase todos os rádios utilizam-se de software em sua implementação. Isto não significa dizer que o rádio é definido por software em sua essência, mas sim que o rádio é baseado em software. Nestes rádios, geralmente a substituição de itens da interface aérea baseados em software implicam em ajustes de hardware. No RDS “puro”, o objetivo é realizar a digitalização do sinal na antena, sendo todo o processamento restante realizado através de software. Com a facilidade de ajustes e modificações no rádio pela simples troca de software, torna-se possível implementar rádios multibanda, multimodo, com um alto grau de customização, conduzindo a uma independência do usuário para configurar o rádio com uma segurança de informação própria e com formas de onda que lhe sejam mais convenientes.

Fazendo uma analogia, não se adquire um computador com todos os sistemas corporativos de controle de estoque, financeiro, etc. Compra-se somente o computador e os sistemas que rodam nele, protocolos de redes utilizadas, são todos definidos pelo usuário através de configuração adequada e uso de sistemas desenvolvidos pelo próprio usuário. Esta é a proposta de um RDS, o qual poderá ser adquirido pela capacidade necessária às aplicações do usuário, sendo o mesmo completamente configurado para o uso específico. Obviamente, estes conceitos somente serão alcançados através de uma adequada padronização.

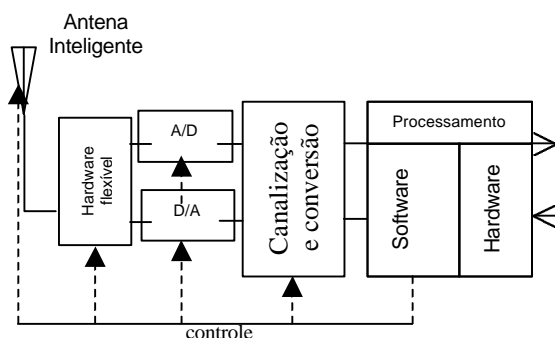


Figura 1 – Diagrama de Blocos de um RDS

Na figura 1, a antena inteligente, o hardware flexível e os conversores A/D-D/A compõem o módulo *front-end* RF. Este é o

único módulo do RDS baseado essencialmente em hardware. Observa-se que a digitalização do sinal rádio foi deslocada da banda base para o estágio em RF de frequência intermediária (FI). Pretende-se que a conversão A/D-D/A seja realizada imediatamente após o amplificador de baixo ruído e dos filtros *anti-aliasing*, eliminando-se o processamento analógico da FI. A figura 2 apresenta uma proposta para um *front-end* RF de um RDS [8].

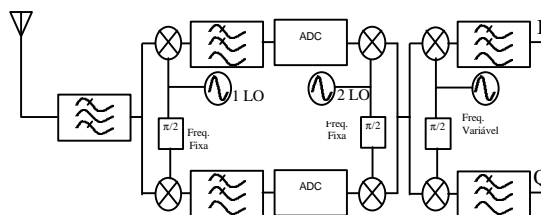


Figura 2 – Proposta de *front-end* RF para RDS

Na figura 2, os sinais em banda básica digitalizados são reconvertidos para a FI programável com rejeição de imagem. Os sinais FI são digitalmente *down-convertidos* para a banda básica pela seleção do canal desejado. O filtro passa-banda na entrada é adotado para provocar uma melhoria nas características de rejeição de imagem.

Após a conversão realizada na figura 2, são executados os processamentos dos sinais baseados em hardware e software. Este processamento envolve todas as etapas de um transceptor digital comum: codificação da fonte, codificação do canal, modulação, sincronismo, equalização, etc. O hardware deste processamento deve ser baseado em FPGA (Field Programmable Gate Arrays), processadores Digitais de Sinais (PDS) ou ASIC's (Application Specific Integrated Circuits) ou qualquer outro dispositivo com características equivalentes. Já o software envolve uma variedade de algoritmos, *middleware*, CORBA (Common Object Request Broker Architecture), MRV (Máquina de Rádio Virtual), etc.

A grande questão atual é definir qual o dispositivo mais adequado para compor o hardware de um RDS – Figura 3. A execução do processamento no PDS torna o rádio flexível e com um bom desempenho, mas traz como contra-partida um maior consumo de potência. Os ASIC's reduzem este consumo de energia, além de promover melhores condições para a miniaturização dos equipamentos. Por

outro lado, não oferecem a flexibilidade de reconfiguração do equipamento pela simples troca de software. Os FPGA's situam-se em uma posição intermediária entre os PDS e os ASIC's. O grande problema existente com estes dispositivos é a tecnologia de síntese existente, a qual não aproveita todo o conjunto de portas lógicas de maneira otimizada. Além disso, a reconfiguração do FPGA não é tão dinâmica quanto em um PDS, de forma que, em um ambiente extremamente dinâmico, haverá a necessidade de FPGA's mais potentes com uma quantidade de memória auxiliar maior. Finalmente, há um domínio maior da linguagem de programação C, geralmente utilizadas nos PDS, do que a VHDL, utilizada nos FPGA's. Talvez uma solução híbrida seja mais adequada no estado da arte atual.

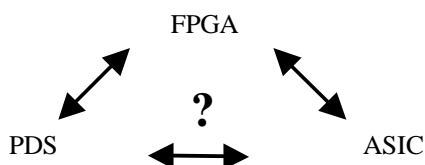


Figura 3 – Possibilidades de plataformas de hardware para um RDS

Quanto ao processamento em software, as MRV representam uma maior flexibilidade e portabilidade do software, com custo reduzido e integração do mercado militar ao comercial, de forma a absorver todas as pesquisas realizada na área de comunicações bélicas às linhas de produção comerciais, reduzindo os custos dos produtos militares. MRV, em conjunto com Máquinas Virtuais Java (Java Virtual Machine – JVM), simplificam o desenvolvimento de RDS uma vez que promovem um middleware comum para os desenvolvedores de hardware e de software [9]. Algumas indústrias já desenvolvem chips que permitem a execução direta de códigos Java e versões em tempo real estão sendo propostas [10].

Uma modelagem orientada a objetos (OO) tem sido adotada nas pesquisas e desenvolvimentos de RDS. Neste sentido, cada conjunto de ações no rádio é representada por classes com suas propriedades e processos inerentes. A reconfiguração do rádio consiste, então, em realizar uma instanciação das classes modeladas. O UML (Unified Modelling Language) tem sido adotado para realizar esta modelagem. Soluções tais como o

CORBA e Java RMI, permitem incorporar métodos de forma a realizar funções de despacho, distribuir e invocar remotamente objetos e métodos distribuídos em uma rede de comunicações.

Concluindo-se a análise da figura 1, percebe-se a existência de controles atuando em todo o rádio. Estes controles são fundamentais na administração da reconfigurabilidade e adaptabilidade do RDS. Através do reconhecimento do sinal recebido, pode enviar sinais para a substituição de técnicas de modulação e outros itens da interface aérea, do interfaceamento com o usuário, etc. Este módulo de controle administra também o download de novas classes ou objetos para o RDS, seja através de um cartão magnético, de um periférico conectado ao terminal, pela INTERNET ou através de ondas de rádio – Figura 4. Em função dos aspectos de segurança, há todo um estudo sendo realizado nesta área de forma a certificar e autenticar o download, bem como permitir a tarifação do serviço em sistemas comerciais.

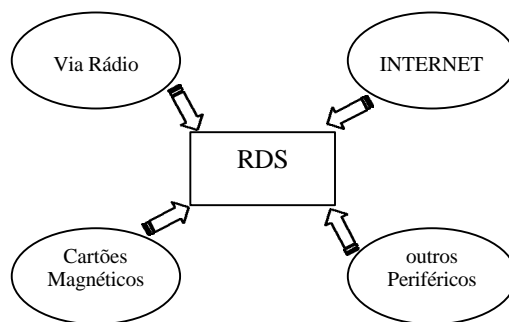


Figura 4 – Possibilidades de download de parâmetros do RDS

## 5 Conclusão

Através deste artigo, foram abordados aspectos genéricos de forma não aprofundada da filosofia do RDS. Pode-se perceber que tal assunto envolve um extenso leque de estudos e pesquisas. Visualisa-se uma quebra de paradigmas em toda teoria desenvolvida até o presente momento na área de comunicações digitais, criando-se uma nova dimensão a tantas áreas em crescente desenvolvimento, como é o exemplo das comunicações móveis, em particular, de terceira e quarta geração. Pode-se

comparar o surgimento desta tecnologia com o surgimento dos circuitos integrados, o qual revolucionou a ciência em nível mundial.

A atual posição ocupada pelo Brasil na área de desenvolvimento de software aponta para um bom potencial de independência tecnológica em RDS. Esta é uma oportunidade ímpar na busca de uma posição de país desenvolvido tecnologicamente que não deve deixar de ser considerada.

### Agradecimentos

Ao Eduardo Wolski e ao Prof. Leonardo Menezes, pelo excelente trabalho de pesquisa que estamos desenvolvendo em conjunto na área de Rádio Definido por Software na Universidade de Brasília (UnB), permitindo o conhecimento mútuo dos vários ramos que envolve esta nova tecnologia.

### Referências Bibliográficas

- [1] Tuttlebee, W. *Software Defined Radio, Origins, Drivers and International Perspectives*. John Wiley & Sons, 2000.
- [2] *Jam resistant communications-JARECO, M/A-COM Government Systems, Contract Number F30602-86-C-0230, Final Technical Report*, 1989.

- [3] Camana, P. C. *ICNIA: the new avionics*. TRW Space & Defense Sector's Quest Magazine, 1987.
- [4] Bonser; Wayne; Schreik; Frank, J.; Upmal, D. W. *SPEAKEASY, the universal radio for the 21<sup>st</sup> century*. Milcom, 1995.
- [5] [www.sdrforum.org](http://www.sdrforum.org).
- [6] Assis, M. S.; André G. M. Lima. *A Terceira Geração das Comunicações Móveis*. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, 2001.
- [7] Jeffrey H. Reed. *Software Radio - A Modern Approach to Radio Engineering*. Prentice Hall, 2002.
- [8] Yoshida, H.; Tsurumi, H.; Suzuki, Y. *Broadband RF Front-end and Software Execution Procedure in Software Defined Radio*. VTC'99/IEEE.
- [9] Gudaitis, M.; Dr. Joseph Mitola III. *The Radio Virtual Machine*. 2000.
- [10] Berkeley's Ptolemy II Project (<http://ptolemy.eecs.berkeley.edu>) e Lavalogic's Forge Tool ([http://www.lavalogic.com/producto/wp\\_forge.html](http://www.lavalogic.com/producto/wp_forge.html)).



### Biografia

André Gustavo Monteiro Lima, cursando o doutorado em engenharia elétrica na UnB, com pesquisa na área de *Software Defined Radio* (SDR).



# PERPECTIVAS DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS NO BRASIL

Mirella M. Pereira e Leonardo G. de R. Guedes

Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília  
Depto de Computação, Universidade Católica de Goiás  
icti@ieee.org, lguedes@eee.ufg.br

## Resumo

As vertentes mercadológicas envolvidas neste processo de migração para terceira geração de comunicações móveis são tratadas com o objetivo de se traçar uma visão sobre quais os aspectos serão decisórios para a definição do mapa das comunicações sem fio e dos caminhos que as operadoras irão seguir para prover serviços multimídia a seus usuários.

## Abstract

*The marketing questions involved in this 3G mobile systems migration process are treated, with the objective of drawing a vision on which aspects will be resolutive for the definition of the map of the communications wireless and of the paths that the operators will choose to provide multimedia's services to their users.*

## INTRODUÇÃO

Os sistemas móveis celulares cobrem hoje um universo de aplicações voltadas para a transmissão de dados. Neste contexto, foram desenvolvidas diversas tecnologias que permitem o tráfego de informações por comutação de circuitos e pacotes, classificadas em gerações, conforme principalmente as velocidades de transmissão de dados obtidas.

Porém, devido à concorrência instaurada após o processo de privatização das telecomunicações no Brasil, o usuário passou a ter o poder da livre escolha e negociação. Por outro lado, as empresas, para se estabelecerem no mercado, devem se tornar competitivas, disponibilizando a seus clientes, os serviços que eles querem a preços mais baixos que os praticados por outras operadoras.

Nesse aspecto, a escolha das tecnologias que melhor irá satisfazer as necessidades do usuário, torna-se um ponto fundamental para as companhias celulares, tanto para as entrantes, que tem que assumir todos os custos da implantação de uma nova rede, quanto para aquelas que herdaram sua estrutura das estatais, que não podem desprezar a planta existente.

São muitas as variáveis envolvidas neste processo de migração dos sistemas celulares para a terceira geração de comunicações móveis. Porém quais serão

os aspectos que irão definir o cenário brasileiro? Até que ponto nós podemos ser influenciados por vertentes internacionais? Quando e como ocorrerá este *overlay* de tecnologias? Muitas destas questões, ainda não podem ser respondidas, porém, este trabalho se propõe a apresentar uma visão sobre como se dará este processo pela delimitação das diretrizes envolvidas.

Este tutorial foi organizado da seguinte forma: a seção II apresenta os padrões tecnológicos de telefonia celular de primeira e segunda geração. A seção III apresenta um resumo das tecnologias usadas na segunda geração e meia de serviços móveis (2,5G). A seção IV fala sobre a terceira geração de comunicações móveis (3G). A seção V apresenta quais os possíveis caminhos para a migração dos serviços de segunda geração para a 3G, a partir das tecnologias utilizadas no Brasil: TDMA, GSM e CDMA e finalmente, a seção VI traz uma abordagem mercadológica sobre as questões relacionadas à migração dos serviços móveis para a 3G no Brasil: panorama da telefonia celular no país, regulamentação, processo de reestruturação das empresas, disponibilidade de terminais e estudo do mercado consumidor frente às inovações tecnológicas.

## PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO DE SISTEMAS MÓVEIS CELULARES

A primeira geração de sistemas celulares atendeu cerca de 49 milhões de usuários no mundo, entre os anos de 1981 e 1994. Os diversos sistemas celulares analógicos operavam basicamente em três faixas de frequências distintas: 450, 800 e 900 MHz. Alguns sistemas ofereciam serviço de *roaming* nacional e internacional, mas, em muitos casos, não havia padronização entre as diversas interfaces dos sistemas, ou seja, os sistemas utilizavam interfaces proprietárias. Os sistemas analógicos de primeira geração que mais se destacaram, acerca do nível de penetração junto ao público, qualidade, facilidades e variedade de tipos de terminais, foram: AMPS, TACS, NMT e NTT.

Por volta de 1980, era evidente que os sistemas de primeira geração, baseados em técnicas de sinalização analógica, se tornariam obsoletos e já haviam atingido o limite de sua capacidade nas áreas metropolitanas mais densas. Avanços na tecnologia de circuitos integrados tornaram a comunicação digital não apenas viável, como também economicamente mais atraente. Em setembro de 1988, o CTIA nos EUA divulgou um documento intitulado URP - User's Performance Requirement, o qual especificava os requisitos desejados para a segunda geração de sistemas celulares [1].

Os padrões de segunda geração baseados em tecnologias digitais de comunicação, surgiram no mercado trazendo maior eficiência de utilização do espectro e introduzindo novos serviços, não apenas relacionados à voz, mas também à transmissão de dados. Foram também padronizadas as interfaces para interoperação intra-sistemas, constituídas agora de interfaces abertas (não proprietárias), o que facilitou o tratamento dos usuários em *roaming*.

Ao final de 1994, cinco milhões de usuários no mundo já utilizavam o serviço celular digital, sendo que 90% destes, faziam uso de terminais GSM. Quatro famílias de sistemas celulares destacaram-se nessa segunda fase dos sistemas celulares: D-AMPS/ TDMA (IS 54/136), CDMA (IS 95), GSM e PDC, os quais detalharemos a seguir.

## SISTEMAS TDMA

Nessa técnica, uma frequência ou portadora de RF é compartilhada por diversas comunicações distintas "simultaneamente". Para isso, em cada instante de tempo determinado, a portadora é designada à transmissão da informação de um usuário específico, sendo possível intercalar amostras de outros sinais, os quais são recuperados na recepção através de um detector síncrono adequado. A interferência entre canais adjacentes é limitada por este sincronismo, que permite a captação da energia de um dado sinal recebido no instante de tempo correto.

O padrão IS-54 baseia-se nas técnicas de múltiplo acesso FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) e TDMA (*Time Division Multiple Access*). A IS-54 incorpora o sistema AMPS (analógico) e uma tecnologia de transmissão digital. Apesar da IS-54 apresentar duas técnicas de múltiplo acesso, FDMA e TDMA, popularmente é conhecida como sistema TDMA. O padrão TDMA continuou evoluindo, além da IS-54 Rev. B, para um sistema digital com canal de controle também digital. Essa evolução é tratada pela IS-136.

## SISTEMA GSM

No início dos anos 80, os países europeus utilizavam diferentes sistemas de telefonia celular, incompatíveis entre si, o que associado ao crescente aumento da demanda por serviços de telecomunicações fez com que fosse criada a CEPT (*Conférence Européene des Postes et Télécommunications*). Esta foi responsável pela fundação de um grupo que especificou um sistema de telefonia móvel comum para a Europa Ocidental, o qual foi chamado de "*Groupe Spéciale Mobile*" deu origem ao nome GSM. Desde então, essa abreviatura tem sido interpretada de outras formas, porém a expressão mais comum nos dias de hoje é *Global System for Mobile communications*.

No início da década de 90, a falta de uma padronização para um sistema de telefonia móvel era um problema mundial. Por esse motivo, o sistema GSM também se disseminou pelos países da Europa Oriental, África, Ásia e Austrália. Porém, esta tecnologia não foi implantada nos Estados Unidos, na América do Sul em

geral e no Japão, onde foram implantados outros modelos de sistemas móveis, que não eram compatíveis com o GSM. No entanto, um dos sistemas que começou a operar nos Estados Unidos, o PCS (*Personal Communication System*), utiliza a tecnologia GSM com algumas variações [2].

O sistema GSM é baseado em multi-portadoras, acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) e duplexação por divisão de frequência (FDD).

### SISTEMA CDMA

O Acesso Múltiplo por Divisão de Código foi desenvolvido nos EUA pelo segmento militar. Sua primeira utilização foi para a comunicação entre aviões de caça e rádio controle de mísseis teleguiados. Neste método de acesso, as EMs transmitem na mesma portadora e ao mesmo tempo. Mas cada comunicação individual é provida com um código particular, que garante alta privacidade à comunicação.

As conexões simultâneas são diferenciadas por códigos distintos de baixa correlação. Seqüências digitais do tipo *pseudo-noise* (PN). São gerados por códigos pseudo-aleatórios (PN codes) e ortogonais com taxa alta de transmissão por *Direct Sequence* ou *Direct Spread*. Obtêm-se, então, um sinal de faixa larga por *Spread Spectrum* (espalhamento espectral), pelo fato de se transmitir o sinal em uma taxa maior que a taxa da informação. A largura de faixa padronizada para os serviços móvel celular é de 1.25 MHz. A razão entre a faixa espalhada do sinal e sua faixa original é conhecida como ganho de processamento.

### SISTEMA PDC

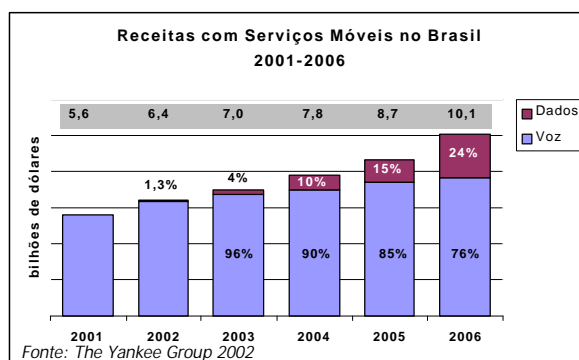
O sistema PDC (*Personal Digital Cellular*), padrão utilizado no Japão, é um sistema baseado no modo de acesso TDMA, que entrou em operação publicamente, em Osaka, no ano de 1994, nas frequências de 800MHz e 1500GHz. Em geral, a estrutura do PDC é muito similar a do TDMA.

### TECNOLOGIAS DA 2,5G

Com a explosão do uso de aparelhos móveis, como celulares, o potencial de pessoas acessando serviços e informações pela Web, cresce exponencialmente. Há

muito mais usuários de celulares e de outros equipamentos móveis do que usuários de PCs. E a disseminação de celulares tende a ser muito maior devido às diferenças de preço entre esse equipamento e um sofisticado microcomputador. Até o final de 2003, o número de dispositivos móveis com acesso à Internet, em todo o mundo, deverá passar de 1 bilhão. E em 2007, de dois bilhões. Na realidade brasileira, a tendência também é de crescimento. Em 1990, foi vendido o primeiro telefone celular, no Rio de Janeiro, por cerca de 22.000 dólares. Já em 1995, tínhamos pouco mais de 1,2 milhões de aparelhos. Encerramos 2001 com mais de 23 milhões e as estimativas apontam que, em 2005, serão cerca de 58 milhões. [4]

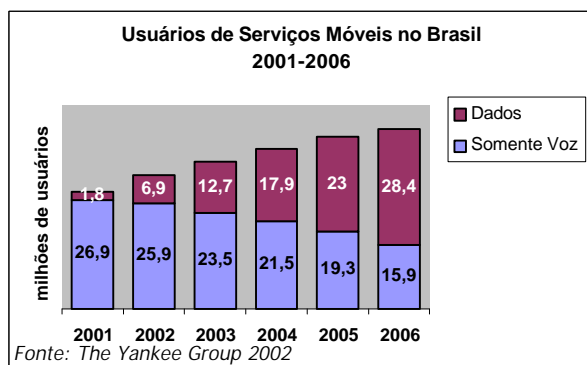
Para as operadoras, a queda na receita de voz faz com que seja necessário se diversificar as fontes de receita. Hoje, serviços de transmissão de voz e interconexão representam 98% do faturamento das operadoras de celulares, enquanto apenas 2% são oriundos de serviços de dados. Um exemplo disso é a oferta de serviços de mensagem curta (SMS), que agora busca um maior refinamento. Para termos uma comparação com outros mercados, na Europa, o envio de mensagens curtas já representa 10% da receita das operadoras. Segundo previsões de analistas, em 2006, os serviços de dados serão responsáveis por 24% das receitas das operadoras e, em 2010, os serviços não voz representarão mais de 30%, conforme podemos visualizar na Figura 1 [11].



**Figura 1** - Receitas com Serviços Móveis no Brasil no período de 2001 a 2006.

O número de usuários de dados também aumentará significativamente em detrimento daqueles que utilizam seus celulares apenas para o tráfego de voz. Atualmente, 35% dos usuários de serviços

móveis transmitem dados, além de voz. Este número deve aumentar para 64%, em 2006, conforme ilustrado na Figura 2 [11].



**Figura 2** - Usuários de Serviços Móveis no Brasil no período de 2001 a 2006.

A 2,5G tem velocidades superiores à 2G e, através de tecnologias de pacotes, permite acesso à Internet mais flexível e eficiente. A geração 2,5 pode ser considerada uma etapa intermediária antes da 3G. A geração 2,5 utiliza tecnologias como GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*), 1xRTT (primeiro degrau da migração cdma2000) e HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*), sendo que destacaremos as duas primeiras, pela sua relevância frente ao atual mercado. O EDGE é uma versão de maior banda do GPRS - e, por isso, muitos o chamam de E-GPRS - permitindo velocidades máximas de até 384 Kbps.

### GPRS

O GPRS (*General Packet Radio Service*) é uma tecnologia voltada para a comunicação móvel, que apresenta algumas características diferenciadoras com relação aos sistemas vistos da 2ª Geração de sistemas móveis.

Apresenta uma velocidade bem superior, chegando a máximos teóricos de 114Kbps, embora na prática, as velocidades reais sejam bem menores. É uma tecnologia ainda nas fases iniciais de evolução e, portanto, opera com restrições. Os próprios terminais limitam o alcance de sua velocidade de 20 a 56Kbps. Aumentar essa velocidade elevaria sensivelmente a radiação dos aparelhos e diminuiria a duração das baterias, o que tornaria a questão bastante complexa.

O GPRS usa a técnica de comutação de pacotes. Essa técnica divide a informação em pedaços (pacotes), enviando-os pela rede. Eles são então agrupados novamente apenas no receptor. Portanto, os recursos de comunicação (como o espectro de rádio) são usados apenas quando uma informação está sendo transmitida, não mais a bloqueando durante toda a conexão. Quando o GPRS quebra os dados em pacotes, não bloqueia os recursos da rede, liberando-o para outras transmissões concorrentes e, portanto, não necessitando que a ligação seja cobrada por tempo, mas pelos bits transmitidos. O tempo de ligação torna-se irrelevante, apenas a carga de bits transmitidos é que utiliza a rede. Pacotes de dados de diferentes terminais são estatisticamente multiplexados de uma forma estatística através da interface aérea, o que provê um uso mais eficiente dos canais de rádio. A multiplexação estatística significa que o usuário pode ter vários retardos na rede. Entretanto, uma qualidade de serviço QoS (*Quality of Service*) pode ser negociada entre o usuário e a operadora a fim de prover um nível apropriado de serviço conforme a aplicação.

Cada terminal GPRS pode, potencialmente, dispor de seu próprio endereço IP e ser endereçado como tal. Com o GPRS, o assinante não tem que esperar pela conexão (a impressão é de estar *always on*), e a transmissão é mais rápida.

### cdma2000 - 1xRTT

A tecnologia de transmissão de rádio cdma2000 1xRTT (*One Next Radio Transmission Technology*) é baseada na evolução do atual sistema cdmaOne para um sistema multimídia que oferece um aumento da capacidade do sistema e dos serviços disponíveis. Além de satisfazer as necessidades da geração 2,5 de sistemas sem fio, o CDMA 1xRTT é compatível com as versões anteriores do sistema, como o cdmaOne, desenvolvido mundialmente, garantindo uma migração suave dos sistemas de segunda para os de terceira geração.

A evolução da capacidade do cdmaOne foi padronizada pela norma IS-95B, a qual fornece uma taxa de até 64 Kbps para conexões ISDN. A próxima fase do cdmaOne é um padrão conhecido como cdma2000 1xRTT (IS-2000), que permite

transmissão de dados a 144 Kb/s num ambiente móvel. O cdma2000 atinge taxas de dados mais altas pelo uso de canais de dados de tamanho variável, a fim de agregar um variável número de canais fixos.

É importante ressaltar que a implementação do 1xRTT requer somente atualizações dos controladores da estação rádio-base BSC (*Base Station Controller*) e das estações transceptoras-base BTS (*Base Transmission Station*), não havendo a necessidade da substituição de equipamentos ou adequação da infraestrutura.

Além disso, a implantação do padrão cdma2000 não requer a aquisição de um novo espectro ou a utilização da parte livre do espectro existente. Sabendo que o espectro é um recurso escasso e que há operadoras que dispõem de altos investimentos pela concessão deste recurso, é de fundamental importância que o espectro utilizado no atual sistema seja eficientemente usado para disponibilizar de 5MHz ou menos, de modo a admitir o maior número de usuários e viabilizar a próxima geração de serviços cdma2000.

Quanto aos terminais móveis, já são realidade chips que suportam o padrão 1x e os aparelhos cdmaOne apresentarão compatibilidade retroativa e futura. Os aparelhos 2G devem funcionar nas redes CDMA 2,5G e os aparelhos 2,5G devem funcionar nas redes CDMA 2G. Essa transparência para os usuários e a capacidade de *roaming* contínua entre as plataformas 2G e 2,5G conferem às operadoras um alto grau de flexibilidade nos prazos de implementação e na efetiva utilização do recurso. Já para o caso das operadoras TDMA que optarem pela adoção do CDMA 1xRTT como próximo caminho evolutivo para o 3G, esta transparência não existe, visto que a comercialização de aparelhos dual-mode AMPS/TDMA/CDMA 1xRTT não é viável pela baixa escala de produção. Dessa forma, os usuários terão que escolher a cobertura TDMA e os respectivos serviços já implementados ou decidir pelos novos serviços disponibilizados pela nova rede CDMA 1xRTT, que certamente estarão disponíveis apenas nos grandes centros, e se contentar com a cobertura analógica nas áreas periféricas, ou quem sabe, fazer uso

de dois terminais com tecnologias distintas, conforme for sua locomoção nestas áreas.

### SISTEMAS 3G – IMT 2000

De acordo com o ITU, órgão máximo das telecomunicações, podemos definir os sistemas 3G (sistemas móveis de terceira geração), como sendo os sistemas idealizados e projetados para prover acesso, através da interface aérea, a uma ampla gama de serviços de telecomunicações que são suportados pelas redes fixas, tais como PSTN/ ISDN, bem como a outros serviços específicos de redes móveis. Os sistemas 3G devem permitir taxas de transmissão mais altas (até 2Mbit/s), com uma particular ênfase ao tráfego multimídia e de dados. Uma comparação dos serviços disponibilizados pelas gerações de serviços móveis celulares é mostrada pela Figura 3. [6]

Tecnologia 2G	Tecnologia 2,5G	Tecnologia 3G
<p>A tecnologia da maioria dos telefones móveis digitais</p> <p>Facilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chamadas telefônicas</li> <li>Caixa Postal</li> <li>SMS</li> </ul> <p>Velocidade de Transmissão: 10Kbps</p> <p>Tempo para download de uma música MP3 de 3 minutos: 31-41 min</p>	<p>A melhor tecnologia disponibilizada atualmente</p> <p>Facilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chamadas telefônicas</li> <li>Fax</li> <li>Caixa Postal</li> <li>SMS/ E-mail</li> <li>Acesso a Internet</li> <li>Serviços de localização</li> </ul> <p>Velocidade de Transmissão: 64-144Kbps</p> <p>Tempo para download de uma música MP3 de 3 minutos: 6-9 min</p>	<p>A melhor tecnologia disponibilizada atualmente</p> <p>Facilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chamadas telefônicas</li> <li>Fax</li> <li>Caixa Postal</li> <li>SMS/ E-mail</li> <li>Roaming Global</li> <li>Acesso a Internet em alta velocidade (Web)</li> <li>Serviços de localização</li> <li>Videokonferência</li> <li>TV por assinatura</li> </ul> <p>Velocidade de Transmissão: 144Kbps – 2Mbps</p> <p>Tempo para download de uma música MP3 de 3 minutos: 11s - 1,5min</p>

**Figura 3** - Comparação dos serviços disponíveis nas gerações de sistemas móveis.

Do ponto de vista técnico, o termo 3G representa, primeiramente, a interface aérea, isto é, o modo como a transmissão de rádio é modulada a fim de transmitir a informação até o destino. Para a maioria dos sistemas 3G, a interface aérea é uma variação do W-CDMA. O segundo aspecto técnico é a rede do sistema 3G. A rede inclui todas as estações-base, comutadores, portais (gateways), bancos de dados e os enlaces entre eles, assim como a definição das interfaces entre os vários componentes, ou seja, a sua arquitetura. Incluído aí, está a forma como a rede realiza funções como: segurança, qualidade de serviço e gerenciamento de mobilidade.

Do ponto de vista de mercado, o sistema 3G pode ser visto do ponto a partir dos serviços que são disponibilizados. Neste caso, estamos falando de serviços multimídia móveis, serviços pessoais, convergência da digitalização, mobilidade, Internet, novas tecnologias baseadas em padrões globais, constituindo uma grande oportunidade de negócios [7].

O sistema 3G foi concebido em 1986 pelo órgão ITU, sendo inicialmente concebido como sendo um único padrão global, conhecido como FLMTS. Quando de sua criação, o projeto como um todo foi chamado de família IMT-2000 de padrões.

Com o término desta fase do ITU, em 1998, dois órgãos – 3GPP e o 3GPP2, completaram a padronização dos dois tipos de 3G que atualmente são desenvolvidos, os sistemas UMTS (também conhecido como W-CDMA) e cdma2000, respectivamente. Enquanto isso, estes órgãos e a organização OHG estão buscando unificar estes padrões em um único padrão 3G, que permita que diferentes interfaces aéreas e de redes sejam combinadas. As atividades de normalização em todo o mundo estão girando em torno das idéias básicas:

§ O sistema global IMT-2000 ou FPMTS (*Future Public land Mobile Telecommunications Systems*);

§ Na Europa, o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e o MBS (*Mobile Broadband System*); e

§ Nos Estados Unidos, o PCS (*Personal Communications System*).

Em janeiro de 1998, o ITU escolheu duas variações do CDMA: o CDMA de faixa larga (W-CDMA) e o CDMA por divisão de tempo (TD-CDMA). Parte da razão por trás da escolha do W-CDMA para o UMTS foi permitir a compatibilidade com a padronização japonesa [22].

Na América do Norte, por outro lado, a situação era mais complicada. Inicialmente, partes do espectro 3G foram licenciadas para operadores 2G e outras partes usadas por satélite. Além disso, nos USA já era utilizado um sistema CDMA (cdmaOne), que é usado para voz. Na América do Norte começou a ser utilizada uma variante do cdmaOne sendo, portanto, reconhecido

pelo ITU com um terceiro sistema CDMA, chamado cdma2000. Em seguida, foi percebida a falta de um espectro 3G como rota de evolução para os sistemas TDMA 2G existentes, resultando na proposta de um novo padrão TDMA – chamado de UWC-136, que é idêntico à proposta de melhoria do GSM chamada de EDGE.

As tecnologias baseadas no acesso por divisão de código (CDMA), têm suas patentes pertencentes a *Qualcomm*. Assim, caso as operadoras utilizem sistemas 3G baseados nos padrões cdma2000 ou W-CDMA, de 8% a 10% de sua receita irá para o pagamento dos royalties à fabricante.

Finalmente, o padrão sem fio DECT – desenvolvido pelo ETSI para aplicações sem fio digitais e usado em telefones sem fio domésticos – ocupa o espectro 3G e foi incluído como o quinto membro da família IMT-2000 de padrões 3G. Existem cinco sistemas 3G e o padrão de arquitetura de referência nesta dissertação será o sistema UMTS, um sistema europeu/japonês. A Tabela 1 [8] mostra os padrões e os nomes comerciais dos sistemas 3G definidos.

Nome IMT-2000	Nome Comercial
IMT-DS Direct Sequence CDMA	CDMA - UMTS
IMT-MC Multi Carrier CDMA	cdma2000
IMT-TD Time Division CDMA	TD/CDMA
IMT-SC Single Carrier	UMC-136 (EDGE)
IMT-FT Frequency Time	DECT

**Tabela 1 - Padrões 3G.**

Após 1998, a tarefa de desenvolver e finalizar os padrões para o UMTS e o cdma2000 passou para dois novos órgãos padronizadores: 3GPP e o 3GPP2, respectivamente. Estes órgãos terminaram a primeira versão dos respectivos padrões.

A organização OHG (Operators Harmonization Group) e os órgãos 3GPP/3GPP2 (3rd Generation Partnership Project/ 3rd Generation Partnership Project 2), estão trabalhando para compatibilizar o UMTS, o cdma2000 e o EDGE. Assim, estas interfaces aéreas e suas respectivas redes de acesso, ou mesmo uma rede local sem fio, poderão ser conectadas a uma rede núcleo que seja evolução do GSM ou do padrão IS-41. O objetivo final é uma única especificação para um padrão global 3G.

## TECNOLOGIAS DE ACESSO DO UMTS

Apesar de várias tecnologias terem sido aprovadas pelo ITU e incluídas na família de tecnologias de acesso via rádio IMT-2000 3G, apenas as tecnologias abaixo relacionadas tiveram um suporte substancial de fornecedores e operadores:

§ EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). Esta tecnologia provê uma interface aérea otimizada, a qual inclui a adoção da modulação 8-PSK (Octagonal Phase Shift Keying), o uso de modulação adaptativa e esquemas de codificação e redundância incremental. Esta tecnologia plenamente integrada com a rede de acesso GSM existente é uma parte integral da GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network), o qual, juntamente com o UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), constitui a rede multi-rádio UMTS 3G;

§ WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Esta tecnologia tem dois modos de operação, o FDD (Frequency Division Duplex) e o TDD (Time Division Duplex). O WCDMA FDD é uma tecnologia baseada no acesso múltiplo por divisão de código, especificamente projetado para o suporte eficiente de serviços multimídia em banda larga e implementação de um grupo de vantagens de funcionalidades relacionadas ao CDMA. O WCDMA é a tecnologia de acesso via rádio da UTRAN;

§ cdma2000 (Code Division Multiple Access 2000). Esta tecnologia de rádio é a evolução natural do IS-95 (cdmaOne), a qual inclui funcionalidades adicionais que aumentam sua eficiência espectral e a capacidade de taxa de dados.

## CAMINHOS DE MIGRAÇÃO PARA A 3G

A passagem das redes móveis atuais de segunda geração para as redes de terceira geração não ocorre diretamente. Existem passos intermediários, que compreendem a introdução de tecnologias da chamada segunda geração e meia, ou seja, 2,5 G, com velocidades maiores até 384 kbps. Na terceira geração, as velocidades alcançam 2 Mbps em ambiente estacionário.

A Figura 4 [9] ilustra as vias de migração já concebidas para as principais tecnologias 2G, as quais serão descritas posteriormente. Não analisaremos a

migração do PDC, devido a esta ser uma tecnologia 2G exclusiva do Japão, a qual será substituída pelas tecnologias UMTS e cdma2000 1xRTT. Além do fato de que a implantação da 3G seja justificável tecnologicamente, comercialmente ela representa novas aplicações e serviços relevantes, ou seja, as operadoras não direcionarão o foco para taxas elevadas de dados, mas sim para a relação custo-benefício que certas taxas de dados poderão oferecer para o fornecimento de serviços e aplicações que os usuários utilizem, gerando assim, receita.

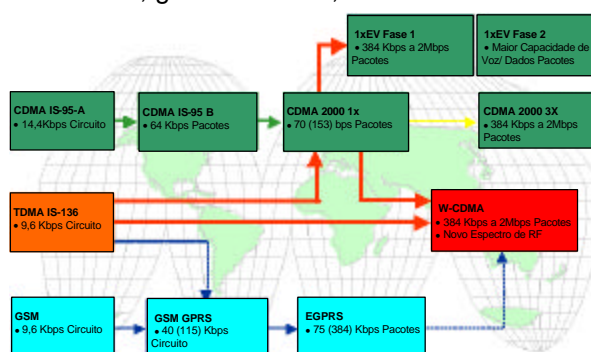


Figura 4 - Caminhos de migração para a 3G.

A Figura 5 [9] apresenta as taxas de dados disponíveis em cada tecnologia, além dos valores instantâneos em bits/s que uma transferência pode atingir e quais delas atendem a velocidade de transferência de dados mínima aceitável pelo 3G.

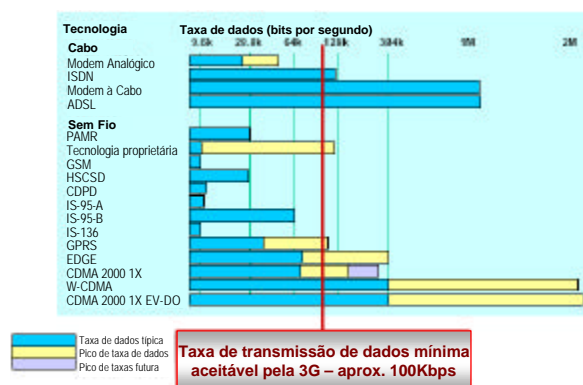


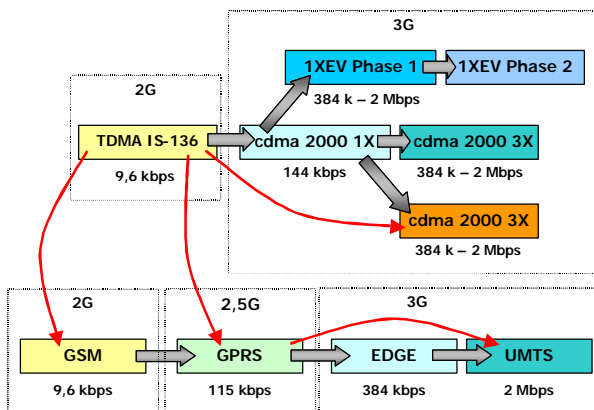
Figura 5 - Taxas de dados disponibilizadas em cada tecnologia.

## POSSÍVEIS VIAS DE MIGRAÇÃO A PARTIR DO TDMA/IS-136

Temos que o TDMA IS-136 é uma tecnologia órfã, e pode ser caracterizada pelas limitações:

1. Não oferece base para uma futura evolução; possui um ciclo de vida limitado; e a continuidade evolutiva só é possível com uma interrupção tecnológica; e
2. A necessidade do mercado é suprida apenas por um curto período de tempo.

Assim, as operadoras que possuem o TDMA/IS-136 devem se decidir por um caminho para evolução de sua rede para a 3G, o que implica que deverá ser implantada uma rede completamente independente sobreposta à rede atual, a qual irá prover os novos serviços e aplicações. Na Figura 6 [5], podemos ver as possíveis vias de migração de um sistema TDMA IS-136 para a 3G.

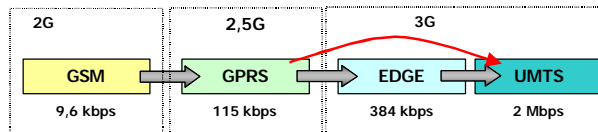


**Figura 6** - Caminhos de migração para o 3G a partir do TDMA/ IS-136.

### POSSÍVEIS VIAS DE MIGRAÇÃO A PARTIR DO GSM

A via de migração para as atuais operadoras de GSM prevê as etapas de aperfeiçoamento GPRS e EDGE para a tecnologia GSM, seguidas pela transição para UMTS em um novo espectro, conforme ilustrado na Figura 7 [5]. A implementação de GPRS e EDGE poderá ocorrer nos espectros de 900, 1800 e/ou 1900 MHz, nos quais a tecnologia GSM está atualmente implementada. Essa migração assume a disponibilidade de aparelhos telefônicos multimodo/multibanda, que irão permitir uma operação perfeitamente consistente entre os sistemas GSM (incluindo GPRS-EDGE) e UMTS – que, em um futuro

previsível, será implementado nos espectros de 1900 e 2100 MHz.



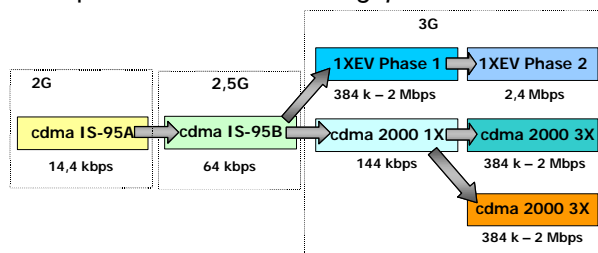
**Figura 7** - Caminhos de migração para o 3G a partir do GSM.

### POSSÍVEIS VIAS DE MIGRAÇÃO A PARTIR DO cdmaOne

A via de migração inicial para as operadoras de cdmaOne começa pela atual tecnologia cdmaOne (CDMA/IS-95 ou CDMA/IS-95-A), passando opcionalmente pela CDMA/IS-95-B, implementada apenas no Japão, na Coreia e recentemente no Peru. E concluindo, com a CDMA/IS-95-C ou CDMA 1xRTT (*One Times Radio Transmission Technology*), conforme ilustrado na Figura 8 [5].

A tecnologia cdma2000 1x EV-DO oferece suporte, em canais de RF separados, a sinais de voz comutados por pacotes e dados de alta velocidade comutados por pacotes.

O canal de voz facilita a manutenção da baixa latência necessária para a transmissão de conversações bidirecionais. O canal de dados exibe o roteamento flexível e as vantagens de transmissão de baixo custo de uma rede em pacotes. A cdma2000 1x EV-DO oferece taxas de dados teóricas de até 2,4 Mbps. Em princípio, a utilização de canais separados para voz e dados requer mais largura de banda que um canal combinado. Na prática, porém, a desvantagem do espectro diminui à medida que aumenta o tráfego de dados. Isto é válido especialmente para as operadoras com maior número de faixas no espectro e elevados *throughputs*.



**Figura 8** - Caminhos de migração para o 3G a partir do cdmaOne.



## UMA VISÃO DA MIGRAÇÃO DOS SISTEMAS MÓVEIS PARA A 3G DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS NO BRASIL

O desenvolvimento do setor de telecomunicações no Brasil pós-privatização vem se dando em ritmo acelerado, podendo-se verificar progressos expressivos, tanto com relação à expansão da planta como em ganho de qualidade nos serviços. Seguindo a tendência mundial de convergência de voz e dados, estão previstos altos investimentos na adequação de redes para comutação por pacotes, que transmitirão voz e dados.

Nenhum país do mundo experimentou um processo de reformulação do sistema de telecomunicações como o que o Brasil vem passando. Desde a formulação da LGT - Lei Geral de Telecomunicações, em Julho de 1997, na qual se estabelece a criação da ANATEL como órgão regulador, a organização dos serviços de telecomunicações para se garantir a universalização e a competição no setor. Além do processo de privatização das empresas federais, licitadas por um total de R\$ 22,06 bilhões - 63,76% de ágio sobre o preço mínimo - [10], o país enfrenta uma série de mudanças na regulamentação e na forma como os serviços são prestados. Os principais aspectos diferenciadores entre os dois modelos de prestação de serviços são:

§ Um cenário de competição entre empresas privadas substituiu o monopólio existente, antigamente formado pelas empresas do grupo Telebrás, as quais eram operadas pelo governo;

§ A regulamentação passa a ser necessária para regular o cenário de livre concorrência; antes, assumia apenas um papel legal, visto que inexistiam obrigações por parte das operadoras;

§ A vigência das concessões de serviços é estabelecida e as respectivas licenças são licitadas.

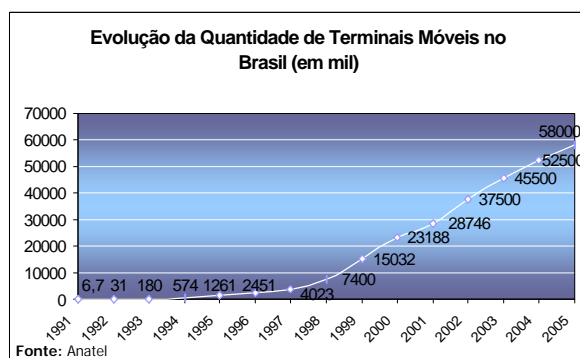
No antigo sistema de telecomunicações, onde a população era exclusivamente atendida pelas teles do Sistema Telebrás, em caráter de monopólio, o serviço móvel era disponibilizado apenas na banda A e provido conforme as áreas regionais. Em 1996, quando foi regulamentado o início da atuação das operadoras de banda B no

Brasil, as concessões foram distribuídas por áreas conforme ilustrado na Figura 9.



**Figura 9** - Áreas de atuação das operadoras de banda B em 1996 no Brasil.

É notório que a evolução do setor de telefonia móvel ocorreu de forma rápida, o que pode ser percebido pela curva de evolução da quantidade de terminais apresentada na Figura 10. Os serviços móveis no Brasil são utilizados atualmente por mais de 35 milhões de pessoas. A teledensidade é de mais de 20 linhas por 100 habitantes, um número até há pouco distante mesmo para os serviços fixos. São atendidos no Brasil cerca de 2,3 mil municípios (menos de 50% do total), mas que abrigam uma população de aproximadamente 14 milhões de pessoas, segundo os números de setembro de 2002, segundo ANATEL e operadoras. [11]



**Figura 10** - Evolução da Quantidade de Terminais Móveis no Brasil (em mil).

Com exceção da TCO, Telefônica/CRT, Telesp Celular (unidas agora no grupo Vivo) e da Telemig Celular, todas as demais operadoras têm sua cobertura prioritariamente voltada para as cidades

com mais de 25 mil habitantes. As exceções, no entanto, estão muito mais ligadas a características específicas (por exemplo, o grande número de municípios em São Paulo, Minas Gerais ou Rio Grande do Sul) do que em uma estratégia de dar prioridade a cobertura. Nesse aspecto a TCO (Vivo) é a única operadora que de fato tem cobertura ampla em uma região com grandes vazios demográficos, e mesmo assim no estado do Tocantins (que fica em sua área de atuação) é o que tem menos percentual da população atendida por operadoras de serviços móveis, menos de 55%, praticamente equiparado com o Maranhão.

Em 2002, as duas primeiras operadoras nas bandas D e E, entraram em operação. A Oi cobrindo a área da Telemar e a TIM com uma licença para todo o território nacional, tornando-se mais uma opção de telefonia móvel em praças onde, julgava-se, que o espaço já estava lotado. Os dados utilizados por este estudo, ficam restritos a setembro, quando as operadoras em banda D e E tinham cerca de 500 mil usuários. A TIM havia acabado de lançar seus serviços e, portanto, esses números correspondiam apenas à Oi. Já em novembro de 2002, segundo o levantamento da ANATEL, havia mais de um milhão de usuários nas bandas D e E. Em março de 2003, este número já tinha dobrado, ao alcançar um pouco mais de dois milhões de usuários. Pouco, se comparado com aos mais de 33 milhões das bandas A e B, mas muito para um mercado com poucos meses de vida.

Pelos dados levantados na Tabela 7.3, temos que do total da população brasileira, em torno de 22% é usuária da telefonia celular, o que nos mostra que este mercado ainda pode ser bastante explorado. Com relação à densidade de terminais móveis para cada 100 habitantes, temos que o Distrito Federal é a capital com maior penetração do serviço: 60% de sua população é usuária de telefonia móvel, seguida do Rio de Janeiro (40,4%), Rio Grande do Sul (34,37%), São Paulo (26,5%) e Mato Grosso do Sul (25,54%).

A competição para as novas entrantes no serviço móvel já era intensa, sobretudo por conta da estratégia da Nextel (principal e mais competitiva operadora de *trunking*), que totalizava em setembro pouco menos

de 500 mil usuários (todos corporativos) e da Vésper, que, por boa parte do ano, vendeu seu terminal "fixo" sem coibir a possibilidade de uso do aparelho como se fosse um celular. São aí, mais 200 mil usuários, segundo estimativas de mercado.

Mesmo assim a Oi e a TIM entraram na competição com as celulares estabelecidas, com a estratégia de buscar o assinante pré-pago (71% da base da Oi e da TIM são compostos de assinantes nessa modalidade) e apresentar as inovações da tecnologia GSM. A chegada das duas novas operadoras, sobretudo da TIM, com forte presença nacional, impulsionou as vendas das sobras das bandas D e E, que restaram depois que a TIM devolveu as áreas em que já operava nas bandas A e B. O quadro da telefonia móvel no Brasil agora está praticamente completo. Ainda resta saber se as empresas que ganharam mais outorgas para operar nas bandas D e E, no final de 2002, de fato o farão em 2003.

### **Reestruturação das Operadoras Prestadoras de Serviços**

Seguindo a tendência do mercado mundial e considerando-se as limitações impostas pela regulamentação, o setor de telecomunicações no Brasil tende a se consolidar. Uma motivação a mais para o processo de consolidação é o grande número de empresas que hoje atuam no país e a atratividade de empresas que dispõem de cobertura nacional.

Dessa forma, a partir de 2002, houve a liberação para alteração societária, sendo que a efetivação poderá acontecer, a partir de jul/2003, para as empresas privatizadas (telefonia fixa e celular – Banda A) e, gradativamente, a partir de 2002, para as operadoras de Banda B, dependendo da data de início de operação de cada empresa. Assim, o mercado está presenciando a reorganização operacional e societária de diversas operadoras de mesmos sócios na telefonia celular.

No final de 2002, a Portugal Telecom e a Telefónica Móviles criaram uma nova empresa, que já nasceu como a maior operadora de telefonia celular do País e da América do Sul. Sua clientela ultrapassa hoje 17 milhões de assinantes, três vezes mais do que o segundo colocado ou cerca de 52% da base nacional. Com a compra da Tele Centro Oeste Celular (TCO), em

janeiro de 2003, a empresa passou a cobrir 19 Estados e o Distrito Federal, o que representa 86% do território brasileiro. A joint venture Vivo controlará os ativos das companhias formadoras no Brasil, o que foi possível devido a conversão de suas concessões de Serviço Móvel Celular (SMC) para autorizações de Serviço Móvel Pessoal (SMP).

Falta a Vivo, presença em Minas Gerais e em seis estados do Nordeste, o que deve ser solucionado com acordos de roaming com outras empresas, que permitiriam aos seus clientes falar com tecnologia digital na rede de outras operadoras. Hoje, a tecnologia digital CDMA está restrita aos principais mercados da Vivo, sendo previsto um overlay das redes existente nas áreas 7 e 8, que utilizam tecnologia TDMA, com a instalação sobreposta da tecnologia CDMA nas principais cidades desta região, principalmente Brasília.

Por sua vez, o Telecom Américas, depois de adquirir as licenças do SMP para os Estados do Paraná, Santa Catarina, Bahia e Sergipe, além da região da grande São Paulo, vai cobrir, com operações nas bandas B, D e E, exatamente a mesma área onde atua a joint-venture ibérica. Sua rede que atua na banda B migrará para o GSM, o mesmo padrão a ser empregado nas operações das bandas D e E. [12]

O movimento de consolidação do setor deve continuar. Algumas importantes definições que ainda estão por vir devem terminar de alinhar esse quadro. A primeira delas é a possível compra das operações da BCP. A empresa, controlada pelo Banco Safra e BellSouth, já admitiu publicamente que negocia a venda da BSE, que atinge os Estados nordestinos de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí.

O mais forte candidato à compra da operadora seria o grupo Telecom Américas que, segundo informações, estaria interessado em adquirir também a operação de São Paulo. Neste caso, abriria mão de sua licença de SMP para a região paulista e partiria de uma rede já construída, com 2,6 milhões de assinantes na Grande São Paulo, apenas migrando-a para o GSM.

O banco Opportunity também está interessado em adquirir a BSE. O banco

gestor, tem a intenção de garantir o fortalecimento da futura rede de SMP da BrT, em consórcio de suas operações Telemig Celular e Amazônia Celular, com as operações do Nordeste e de São Paulo, para concorrer em pé de igualdade com os demais grupos dominantes na telefonia móvel. O interesse por uma área coberta também pela Oi indicaria, neste caso, o desinteresse por uma composição com a empresa Oi, que também está em Minas Gerais e Amazônia e, pelas regras da ANATEL, não haveria como a operadora e a BrT, em uma eventual parceria controlar duas licenças simultaneamente nestas áreas.

No momento, o Opportunity e os fundos de pensão estão na Telemar, mas não podem fazer parte do controle da holding também por limitações regulatórias, que proibem que uma mesma empresa comande duas concessionárias, pelo menos até 2005. A expectativa, mesmo com o esgotamento do prazo, é de que esta hipótese seja cada vez mais distante, uma vez que os sócios majoritários da Telemar (BNDES, Andrade Gutierrez, Grupo Garantia e La Fonte) fiquem mais fortalecidos com o desempenho da Oi e, numa eventual fusão com uma outra operação móvel com a BrT, possam impor seus interesses.

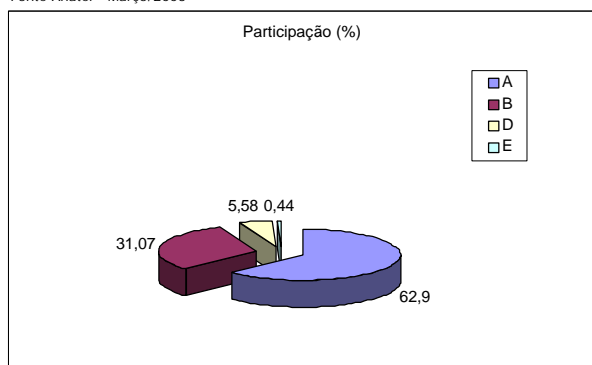
Dessa forma, os quatro grandes grupos de telefonia celular que se formaram no país são: a Vivo, sob o controle da Portugal/Telefónica, a Telecom Américas; controlada pela mexicana América Móvil; a italiana TIM, com licença para operar nacionalmente; e a Oi, controlada pela Telemar.

Temos ainda, a nacional Brasil Telecom (BrT), que surge com a promessa de se tornar a quinta grande concorrente, ao arrematar as licenças dos nove Estados de sua área de concessão de Serviço de Telefonia Fixa Comutada (STFC) e anunciar a formação de um consórcio com a Telemig Celular e Amazônia Celular. Especula-se ainda a possibilidade de compor-se com a Oi. A Vésper também pretende fazer uso de sua rede originalmente fixa WLL para utilizar as licenças que adquiriu e operar no SMP, no interior de São Paulo, Minas Gerais e nos seis estados do Nordeste.

### Participação do mercado por bandas, modalidades pré e pós-pago e tecnologia

De qualquer forma, um dos desafios a ser vencido pela telefonia móvel, é o da cobertura, sobretudo para as cidades pequenas. Das mais de 1,9 mil cidades com mais de 25 mil habitantes, apenas um pouco mais de cem ainda não são cobertas por nenhuma operação de serviço móvel. De fato, o que se vê é a ampliação da competição nas praças mais populosas, mas a expansão para áreas com menor potencial de mercado ainda é rara. É difícil encontrar, por exemplo, operações com banda B onde não haja banda A, conforme podemos analisar no Anexo I, que mostra a presença das bandas A, B, D e E por município. Mais raro ainda é a presença das novas operadoras das bandas D e E em áreas que ainda não foram exploradas pelas bandas A e B. A forma como as bandas de operação estão distribuídas entre os mais de 35 milhões de usuários de telefonia celular se encontra na Figura 11, onde podemos ver que do total, 62,9% utiliza aparelhos que operam na banda A, seguidos de 31% que operam na banda B. As bandas D e E, somam juntas cerca de 6% do mercado nacional de telefonia móvel.

Fonte Anatel - Março/2003



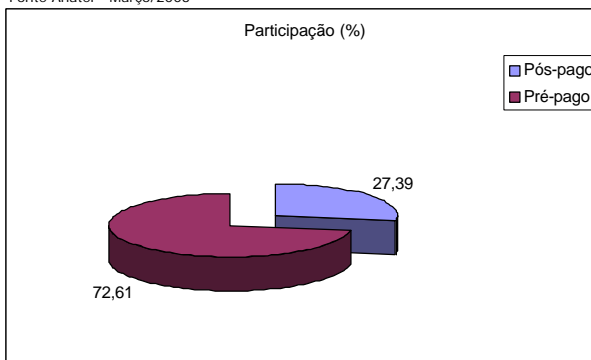
**Figura 11** - Participação dos Acessos Móveis por Banda no Brasil.

A introdução da modalidade pré-pago no Brasil foi realizada de acordo com diferentes estratégias empresariais, as quais se tornaram essenciais para operadoras entrantes no mercado. Considerando-se que as empresas da banda A, eram possuidoras de uma forte base de assinantes - caracterizada por um alto ARPU -, as novas operadoras, ao buscarem uma base de assinante pré-pago, estavam, na verdade, garantindo

parte de sua receita pela movimentação de ativos, por pagamento de interconexões entre as empresas.

Com relação ao perfil do usuário, temos que a participação dos celulares pré-pagos e pós-pagos na planta se estabiliza na margem de 72,6% para 27,4%, conforme apresentado na Figura 12.

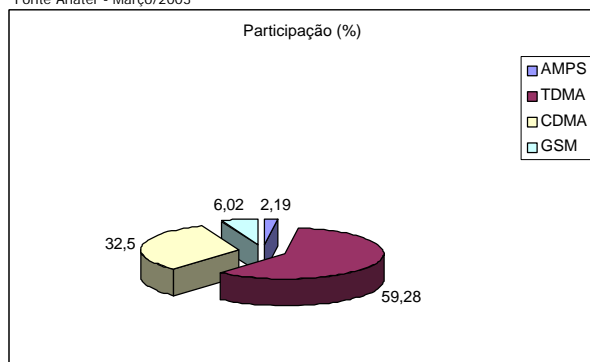
Fonte Anatel - Março/2003



**Figura 12** - Participação dos planos Pós-pago e Pré-pago no Serviço Móvel Brasileiro.

Em julho de 2001, o pré-pago representava apenas 35% da planta brasileira de celulares, o que demonstra claramente a sua popularização, sobretudo entre os assinantes de classes mais baixas, os quais se incorporaram ao sistema nos últimos anos. A participação do serviço pré-pago é maior na banda B, com 75%, enquanto na banda A é de somente 67%, que analisarmos apenas as duas bandas de atuação.

Os padrões tecnológicos também estão sendo revistos com a chegada das bandas D e E, e a substituição do SCM para o SMP, além de interessar aos grandes grupos uma migração sem traumas, para as futuras gerações de celulares. Atualmente, no cenário brasileiro de telefonia móvel, a tecnologia mais usada é o TDMA com 59,3%, seguido do CDMA, com os atuais 32,5%, de participação no mercado. A participação de cada tecnologia no cenário nacional pode ser vista na Figura 13, na qual verifica-se que o GSM possui até o agora, cerca de 6% da planta e o analógico representa apenas 2,2% do total, o que demonstra os altos níveis de digitalização da rede.



**Figura 13** - Participação dos Acessos Móveis por Tecnologia no Brasil.

### Situação Atual da Migração para a 3G

Na medida em que o cenário brasileiro de telefonia móvel se define, uma coisa fica clara: o CDMA afasta de vez a ameaça de ser superado pelo GSM e já aponta com a promessa de aumentar sua participação dos atuais 33% para mais da metade da base de assinantes nos próximos anos.

O padrão norte-americano ganhou novo fôlego com a aquisição da TCO pela *joint-venture* Telefônica/PT e o subsequente anúncio de que o grupo manteria a opção pelo CDMA na evolução de sua rede rumo à terceira geração. E, para não deixar qualquer sombra de dúvida, o grupo renunciou às faixas de 1,8GHz (adequadas ao overlay em GSM), que chegou a solicitar à ANATEL em 2002.

O CDMA contará ainda com a entrada em operação das novas licenças em SMP da Vésper e possivelmente da BrT, que está para escolher entre este padrão e o GSM. Se a Vésper vier a operar na faixa de 1,9GHz, como deseja, e viabilizar seu serviço móvel, terá como ocupar todo o território nacional, abrindo a possibilidade de *roaming* de voz digital e de serviço de dados em 1xRTT e 1xEV-DO em todos os grandes centros do país. Mesmo que o grupo ibérico e a Vésper operem em faixas diferentes, terminais *dual-band*, para as faixas de 1,9MHz e 850MHz, eles garantirão a continuidade do serviço em todas as localidades. Estes aparelhos custam apenas 10% a mais do que os convencionais para a operadora.

O país polarizará uma briga equilibrada entre as duas tecnologias. De um lado, a *joint-venture* luso-espanhola com uma base de 16,5 milhões de assinantes e força

comparável às suas congêneres mundiais para negociar com os fornecedores, em que pese a supremacia mundial de escala do GSM. Por outro lado, o padrão europeu ganha peso com a Oi, a TIM Brasil, o consórcio Telecom Américas, além do *overlay* sobre a base TDMA destas últimas empresas. Falta ainda a definição tecnológica das empresas BCP, BrT, Telemig Celular e Amazônia Celular. Com a divisão quase equânime, a briga deve se dar em duas bases: *handsets* e serviços. Na expectativa de fornecedores e consultores, as operadoras GSM vão expandir principalmente com produtos de massa, como celular pré-pago ou aparelhos personalizados. As empresas CDMA, por sua vez, sem perder de vista este público, devem sair-se melhor junto ao usuário de alto poder aquisitivo e corporativo, oferecendo aplicações de banda larga.

Essa divisão ocorrerá tanto pelas características dos aparelhos quanto das operadoras. De partida, os *handsets* GSM levam vantagem de preço, devido à escala de fabricação. Afinal, no mundo existem 779 milhões de usuários GSM em contraposição aos 142 milhões de assinantes CDMA. Os terminais GSM mais baratos são oferecidos normalmente às operadoras ao custo médio de US\$ 50, enquanto que os CDMA ficam em torno de US\$ 80. Desta forma, são ideais para aquelas empresas que adotam por estratégia a ampliação maciça de sua base, mesmo em detrimento da receita média por usuário. [12]

Em termos de velocidade neste serviço, a distância entre o GSM e o CDMA é considerável, uma vez que o CDMA na versão 1xRTT, em operação em várias localidades da área da *joint-venture* ibérica, atinge cerca de 120kbps, enquanto que o GPRS, alcança na prática, cerca de 30Kbps. Outro fator, independente da tecnologia, favorecerá o CDMA: todas as operadoras da *joint venture*, com exceção da Global Telecom e NBT, são *incumbents*, líderes de mercado e com uma base de clientes de qualidade superior a de seus concorrentes. Isto significa maior facilidade de ganhar espaço no sofisticado mercado de transmissão de dados. E, não por acaso, a empresa tem enfatizado sua atuação nesta área. A *joint venture* anunciou, para o segundo semestre deste ano, a disponibilidade da tecnologia CDMA

1xEV-DO, que permite a comunicação a uma taxa teórica de 2Mbps. Com isto, as operadoras do grupo poderão oferecer uma série de novos serviços de dados, voltados especialmente para o mercado corporativo.

### **Regulamentação**

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) aprovou, em março de 2003, o remanejamento de freqüências anteriormente destinadas ao Serviço Telefônico Fixo Comutado utilizando WLL (Wireless Local Loop), pelas concessionárias e empresas espelho da telefonia fixa, com o objetivo de viabilizar a Terceira Geração dos Serviços Móveis, denominados IMT-2000.

A nova configuração do espectro radioelétrico brasileiro, proposto pela Consulta Pública e que acomoda os atuais serviços às novas faixas do IMT-2000, baseou-se principalmente: 1) na eliminação, das faixas de extensão que seriam destinadas ao Serviço Móvel Celular (SMC), em 1,9 Gigahertz; 2) na redução de 20 Megahertz para 10 Megahertz das freqüências destinadas ao WLL das concessionárias (Telemar, Telefônica e Brasil Telecom), devido ao desinteresse dessas prestadoras, e 3) no deslocamento das faixas de WLL.

Quando a Agência estabeleceu a faixa de 1,8 Gigahertz para as bandas "C", "D" e "E" do Serviço Móvel Pessoal (SMP), há quase dois anos, o Brasil ficou com apenas 30 Megahertz destinados ao IMT-2000 - suficientes para abrigar apenas duas prestadoras de serviço móvel de terceira geração -, o que seria muito distante dos 60 Megahertz sugeridos pela União Internacional de Telecomunicações (UIT). Porém com o remanejamento da rádio freqüência, serão destinados 55 Megahertz de espectro (freqüência) para a terceira geração, suficientes para abrigar até quatro prestadoras de serviço celular, sem prejuízos para as empresas-espelho e concessionárias que utilizam-se do WLL. Dessa forma, as empresas que usam WLL só terão de fazer a re-sintonia das faixas em que prestam o serviço. [14]

### **Disponibilidade de Terminais**

Considerando o enorme volume de informação existente na Internet e as limitações inerentes aos terminais móveis,

tais como capacidade da bateria e as reduzidas dimensões do visor, a filtragem e a focalização da informação, que será disponibilizada a cada usuário, é crucial para o sucesso dos serviços relacionados à Internet e transmissão de dados multimídia à taxas mais altas.

A convergência de tecnologias fará com que, no futuro, o usuário tenha todos os seus serviços de comunicação, de voz ou dados, em um mesmo terminal, pagando tarifas diferenciadas conforme a utilização. Além disso, a 2,5 e 3G com as tecnologias GPRS e CDMA 1X, são alvo de investimentos de algumas operadoras brasileiras, que estão introduzindo aplicações multimídia como voz, dados e imagens, acesso ultra-rápido à Internet, aos e-mails, às redes corporativas, videoconferência, entre outras. Já estão disponíveis no mercado, diferenciados modelos de aparelhos de tecnologia 2,5 e 3G, por diversos fabricantes, assim a disponibilidade de aparelhos não será um fator limitante no processo de evolução das tecnologias celulares.

### **Estudo do Mercado Consumidor frente a Inovações Tecnológicas**

A atitude do consumidor perante as novidades das novas gerações de celulares é, sem dúvida, importante para entender o potencial e as limitações existentes. Os estudos das atitudes que condicionam a compra de novos modelos, bem como a substituição do terminal por pessoas que já possuem acesso ao serviço celular, revelam um grau não desprezível de gradualismo, produto tanto de limitações financeiras como de uma empolgação tênue com as novas tecnologias.

Conforme mostrado na Figura 14 [15], temos quatro grupos de usuários-consumidores perante as novidades tecnológicas:

§ Os conservadores sem recursos, que por atitude e renda insuficiente se auto-marginalizam do mercado e como tal constituem a periferia do setor, irrelevante financeiramente e hostil aos novos produtos como consumidores. Esta parte da população representa 17%;

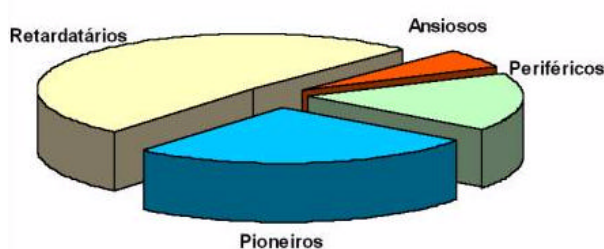
§ Os retardatários são aqueles que dispõem de recursos para adquirir novos aparelhos, porém não tem interesse por

novidades tecnológicas. Eles são a maioria dos usuários, representando 51%. Conquistar este perfil de consumidor constitui o grande desafio para a modernização do sistema telefônico móvel;

§ Os ansiosos são aqueles que abraçam as novidades tecnológicas, mas carecem de recursos financeiros para adquiri-la. Eles somam apenas 6% do mercado;

§ Os pioneiros são aqueles favoráveis a novas tecnologias e com poder aquisitivo para adquirir novos aparelhos e serviços. Representam o grupo mais receptivo à modernização celular, sendo pouco mais de 1 em cada 4 consumidores, ou cerca de 26% do total.

#### GRUPOS DE USUÁRIOS FRENTE ÀS INOVAÇÕES DA TELEFONIA MÓVEL



**Figura 14** - Perfil dos consumidores frente a inovações tecnológicas.

Assim, a nova geração de telefonia celular tem um mercado certo pela frente ante aos atuais usuários de serviços móveis, apesar destes representarem apenas um terço do total. No entanto verdadeira expansão deverá vir mesmo através da persuasão acerca da percepção de inovações tecnológicas entre os atuais consumidores de telefonia móvel.

#### ASPECTOS DECISÓRIOS DA MIGRAÇÃO TECNOLÓGICA MÓVEL

Tendo em vista os temas abordados com relação à migração dos serviços móveis celulares para a 3G, temos que, seguindo uma tendência mundial de consolidação de empresas prestadoras de serviços por fusões, aquisições e parcerias, o Brasil vem sendo alvo de investimentos de grandes grupos internacionais.

O mercado de telefonia móvel aguarda os últimos lances para a total definição do mapa das comunicações sem fio no Brasil.

Como vimos o processo de privatização do setor está resultando na consolidação de quatro grandes *players*, num cenário onde devem se estabelecer no máximo cinco grupos.

Fica evidente que as definições sobre os caminhos para a migração da atual rede para a terceira geração de comunicação móvel, a serem seguidos por cada empresa, não esbarra em limitações tecnológicas ou disponibilidade de terminais, mas sim, nos interesses dos grupos controladores destas empresas.

O grupo Vivo, com uma base de 17,5 milhões de clientes, controlado pela Telefônica e pela Portugal Telecom, apesar de possuir uma rede GSM em suas empresas controladas na Europa, não poderia abrir mão de toda a rede CDMA existente em sua área de atuação no Brasil. Devido à rápida expansão que esta tecnologia vem experimentando no mundo e à facilidade do *upgrade* para serviços de altas taxas de transmissão, a escolha do grupo ibérico foi a expansão da atual rede CDMA para o 1XRTT, já em funcionamento em São Paulo e Rio de Janeiro, além planejar um *overlay* desta tecnologia para as suas atuais redes TDMA existentes, começando pelas grandes capitais, e posteriormente as outras áreas.

A América Móvil, por sua vez, principal controladora das empresas do grupo Telecom Américas - BSE, Telet, Americel, ATL e Tess -, que tem uma base de 6,3 milhões de assinantes, já sinalizou que o próximo passo rumo a evolução de sua rede móvel, se dará a partir do GSM/GPRS.

No caso do grupo TIM, que tem hoje uma base de 5,7 milhões de assinantes, controlado pela terceira maior empresa do mundo, a italiana TIM Internacional, optou pelo GSM/GPRS, em operação pelas suas empresas, na Europa. Assim, suas novas redes estão sendo implantadas com esta tecnologia e sendo planejado um *overlay* para as suas redes TDMA existentes.

O Opportunity, controlador das empresas Telemig, Amazônia Celular e Brasil Telecom, tem uma base de 2,9 milhões de usuário do sistema celular, visto que esta última, ainda não começou a comercializar o SMP. Por ser um investidor, e não ter interesses na operação de serviços,

espera-se que antes da definição de tecnologia, sejam realizados acordos e junções destas empresas com outros grupos. Apesar disso, vem sendo realizada pela Brasil Telecom cotação de equipamentos GSM/GPRS junto a fornecedores.

A Qualcomm, detentora da tecnologia CDMA é a única controladora da empresa Vésper, que também não iniciou sua operação no SMP, devido a não aprovação de faixa de frequência de seu interesse pela Anatel. Com isso, a promessa de operação imediata em cdma2000, pode não se efetivar, em decorrência dos novos investimentos que se farão necessários. A venda da empresa a outros grupos também é cogitada.

Aplicações de transmissão de dados estão sendo solicitadas pelo mercado corporativo e as empresas que não as detém, começam a perder seus *heavy-users* para os concorrentes. É claro que a penetração da internet móvel no Brasil, não se dará com a mesma velocidade que em outros países, tais como o Japão e a Singapura, pois o poder aquisitivo da população e o fator cultural são determinantes neste processo. Como vimos, mesmo com o rápido crescimento de terminais, a densidade atual de usuários móveis não passa de 22%, após pouco mais de 10 anos de operação. Um exemplo de como esta penetração está acontecendo é o caso da Vivo, que começou a oferecer serviços 1xRTT há quase um ano em São Paulo e Rio de Janeiro, e do total de cerca de 9,5 milhões de assinantes, aproximadamente 600 mil - 6% -, aderiram novas aplicações.

Os terminais *dual-mode* para a realização de *roaming* entre as áreas com tecnologias TDMA, GSM/GPRS e CDMA/ 1XRTT foram prometidos pelos fornecedores, a fim de tornar menos traumática, a convivência do usuário frente à diversidade tecnológica que se apresenta no cenário nacional, porém, a produção destes terminais esbarra na escalabilidade com que os mesmos estão sendo requisitados, visto que mercado brasileiro, subdividido em regiões, é o único interessado.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram apresentadas as tecnologias que compõem a primeira, segunda e terceira geração de

comunicações móveis, passando pela geração intermediária 2,5G, além das possíveis vias de migração para a terceira geração de sistemas móveis celulares, a partir das tecnologias de segunda geração existentes no Brasil: TDMA, GSM e CDMA, sendo analisados os aspectos técnicos e comerciais envolvidos.

Foram tratadas as vertentes mercadológicas envolvidas neste processo, para que fossem delineados quais os aspectos relevantes que decidirão os caminhos que as operadoras irão seguir para prover novos serviços a seus usuários.

Tendo em vista os temas abordados, vimos que, seguindo uma tendência mundial de consolidação de empresas prestadoras de serviços por fusões, aquisições e parcerias, o Brasil vem sendo alvo de investimentos de grandes grupos internacionais. O processo de privatização do setor está resultando na consolidação de quatro grandes *players*, num cenário no qual devem se estabelecer no máximo cinco grupos.

A implementação da 2,5G já é uma realidade no Brasil, seja ela pela instalação de novas redes ou pelo *overlay* das redes existentes. Porém a migração para novas tecnologias deverá ser fonte de estudos, sobretudo para o caso de operadoras TDMA que terão que operar duas redes sobrepostas. Para o usuário, o mesmo terá que optar entre a ampla cobertura dos serviços existentes e a cobertura inicialmente deficitária das novas aplicações, as quais, para ter acesso, terá que fazer um alto investimento em terminais.

A disponibilidade de aparelhos para a 3G não é um fator limitante, visto que os mesmos serão fabricados para atender usuários de várias regiões do mundo. E, como questões de regulamentação também já foram definidas, temos que a escolha tecnológica para a 3G no Brasil, será resultado dos interesses comerciais dos grupos que controlam as operadoras prestadoras de serviços.

Este assunto vem sendo exaustivamente discutido nos últimos três anos, porém não se encontra uma bibliografia que trate o mesmo de forma sistematizada para o entendimento do processo como um todo.



## Referências

- [1] Apostila de Treinamento, Planejamento e Projeto de Sistemas Celulares, CelTec Tecnologia de Telecomunicações, Versão 2.1, Campinas, 2000.
- [2] Apostila de Treinamento, Introduction to GSM and GPRS System Course, Nokia Networks, [S.l.:s.n], 2002.
- [3] HALONEN, T.; ROMERO, J.; MELERO, J. GSM, GPRS and EDGE performance: evolution towards 3G/UMTS – John Wiley & Sons, Inc., England, 2002.
- [4] TAURION, CESAR, Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e Modelos. Editores Campus, Rio de Janeiro, 2002.
- [5] MEZZASALMA, C. R. A. A. Estudos evolutivos de sistemas celulares do 2G ao 3G. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- [6] Artigo em Internet, A Terceira Geração da Telefonia Celular. Disponível em: <[http://www.3gnewsroom.com/html/what\\_is\\_3g/index.shtml](http://www.3gnewsroom.com/html/what_is_3g/index.shtml) > Acesso em: 09 jun. 2003.
- [7] Dixit,S., Guo,Y., Antoniou,Z., Resource Management and Quality of Service in Third-Generation Wireless Networks, IEEE Communications Magazine, vol 39, nº. 2, Feb. 2002, pp. 125-33.
- [8] SAUD, L.C.; Qualidade de Serviço em Redes Móveis Celulares de Terceira Geração, com Estudo de Caso em redes 2,5G Utilizando Serviços Diferenciados; 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) – Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, UFG, Goiânia, 2003.
- [9] Material de divulgação de tecnologia, TDMA Network Migration to CDMA 2000 and W- CDMA, Lucent Technologies [S.l.:s.n], [2002?].
- [10] Privatização Telebrás, Agência Estado, 1998, Disponível em: <<http://www11.agedado.com.Br/especial/telebrás/seções/preços.htm>> Acessado em 07 fev.2003.
- [11] POSSEBON, S., Atlas Brasileiro de Telecomunicações 2003, Editora Glasberg, São Paulo, 2002. p.24-25.
- [12] MOURA, L.; DAMASCENO, S., A batalha decisiva, TELETIME, Editora Glasberg, São Paulo, Ano 6, nº52, p.18-24 jan/fev.2003.
- [13] Operadoras Brasileiras de Telecomunicações 2003, Parte integrante da revista TELETIME jul.2003, Editora Glasberg, São Paulo, jul.2003.
- [14] Artigo em Internet, Anatel remaneja faixas e soluciona frequências para 3G dos serviços móveis, Assessoria de Imprensa ANATEL, Brasília, 8 de março de 2003. Disponível em <[http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/releases/2003/release\\_11\\_07\\_2003\(2\).pdf](http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/releases/2003/release_11_07_2003(2).pdf)>. Acesso em 23 mai. 2003.
- [15] Novo Milênio, Celulares do futuro: onde está o mercado?, 03 abr.2003. Disponível em: <<http://www.novomilenio.inf.br/ano02/0203a007.htm>> Acesso em 12.abr. 2003.

## Autores:

Mirella Magalhães Pereira é Engenheira Eletricista formada pela Universidade Federal de Goiás e recebeu o título de Mestre em engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília conduzindo estudos sobre o mercado e pesquisas sobre os sistemas de comunicações móveis. Atualmente é exerce a função de engenheira e suas respectivas atribuições profissionais em empresas de operação em telecomunicações pelo Brasil.

Leonardo Guerra de Rezende Guedes é Engenheiro Eletricista, tendo recebido os títulos acadêmicos de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela UNICAMP. Atua como pesquisador nas Universidades de Brasília, Universidade Católica de Goiás, Universidade Federal de Goiás, Universidade Federal de Uberlândia e como pesquisador associado na Universidad de Salamanca na Espanha. Atualmente é Diretor Técnico-Científico da Fundação Aroeira de apoio à pesquisa e Diretor-Presidente do Instituto de Ciências e Tecnologia da Informação (ICTI).