

Prospecção tecnológica e principais tendências em telecomunicações*

Mario Tosi Furtado**, Antonio Carlos Gravato Bordeaux Rego e
Claudio de Almeida Loral

O setor econômico das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) tem mantido um crescimento estável nos anos recentes, próximo a 5% ao ano, após um declínio de quase 50% na virada do milênio. O reflexo da oferta de novos serviços pelas empresas operadoras de telecomunicações teve impactos em vários setores da economia, como os serviços públicos e a administração em geral, a distribuição de energia elétrica, os transportes e a pesquisa científica de ponta nas universidades. Esse novo cenário promoveu inovações tecnológicas através de novos modelos de negócios para o provisionamento e a gestão dos serviços de telecomunicações. As empresas detentoras da infra-estrutura das redes fixas e móveis dispõem de novas oportunidades de mercado, como a oferta de produtos diferenciados de serviços multimídia com acesso em banda larga. Nesse sentido, a geração e a proliferação das empresas inovadoras em TICs, podem representar uma importante contribuição para alavancar o crescimento da economia e o desenvolvimento do País. No presente trabalho, abordamos alguns impactos da convergência tecnológica nas telecomunicações. É apresentado o modelo de camadas de Fransman como representação da cadeia de valor para destacar o novo impacto gerado pelos serviços e aplicações da Internet, baseados no protocolo IP. Estes se superpõem à infra-estrutura das redes de telecomunicações e a seus equipamentos associados. Uma visão prospectiva das tecnologias emergentes, que terão impactos e influências na evolução das telecomunicações nos próximos anos também é apresentada.

Palavras-chave: Telecomunicações. Estudos prospectivos. Previsão tecnológica.

1. Introdução

As tecnologias da informação e comunicação (TICs) são as principais responsáveis pelos progressos alcançados nos últimos anos nas telecomunicações. As TICs englobam vários segmentos tecnológicos, que vão desde a eletrônica de consumo, a microeletrônica, as tecnologias da informação ou informática incluindo equipamentos, sistemas de software e serviços, até as telecomunicações (equipamentos e serviços) e as tecnologias audiovisuais (TV digital por radiodifusão e serviços multimídia). Todas essas tecnologias contribuiriam para o crescimento do setor de telecomunicações e a expansão de novos serviços oferecidos pela Internet. A pesquisa e o desenvolvimento (P&D) foram fundamentais para impulsionar o processo de inovação tecnológica nos países do primeiro mundo, com participação conjunta de órgãos governamentais, universidades, empresas e indústrias. Nesse cenário, destacou-se a contribuição do financiamento público em P&D,

a qual foi decisiva para tornar viáveis as novas infra-estruturas laboratoriais e a formação de novos recursos humanos qualificados. Por outro lado, a desregulamentação das telecomunicações também estimulou a difusão das TICs na sociedade em geral. Muitos benefícios importantes foram obtidos, principalmente a transformação de vários aspectos das relações entre os indivíduos. Entre eles, o trabalho, o comércio, a educação e o lazer. Além disso, a convergência dos serviços de voz, dados e multimídia, responsáveis pela digitalização da informação, promoveu o desenvolvimento de novos conteúdos, incluindo os serviços financeiros e a automação das operações gerenciais e administrativas nas empresas.

O desenvolvimento das TICs apóia-se em várias áreas do conhecimento tais como software (ou informática), telecomunicações, serviços multimídia, eletrônica, microeletrônica, optoeletrônica e fônica. Por outro lado, os serviços de comunicação e da tecnologia da informação estimulam a difusão de tecnologias inovadoras e o

* Uma versão preliminar deste trabalho foi publicada, recentemente, na Série Estudos Setoriais 4, Setor Telecomunicações, pela editora do CNI/SENAI, no âmbito do Modelo SENAI de Prospecção, conforme consta em referência citada na bibliografia.

** Autor a quem a correspondência deve ser dirigida: furtado@cpqd.com.br.

crescimento do setor, tanto em investimentos quanto em recursos humanos envolvidos. Incidentalmente, o segmento associado aos serviços é o que mais cresce no mercado mundial.

Nesta década, o setor econômico das TICs tem crescido com taxa estável de aproximadamente 5% ao ano, bastante inferior à década passada, quando atingiu cerca de 10% ao ano, especialmente na Europa. O dinamismo de geração de produtos para consumo direto pelos usuários de empresas operadoras reflete-se na sociedade em geral. O impacto abrange vários setores da economia, incluindo os serviços públicos, a administração das empresas, a rede de energia elétrica, os transportes, e também a pesquisa científica de ponta nas universidades. A inovação tecnológica teve um papel fundamental e promoveu novos modelos de negócios para o setor das telecomunicações. As empresas detentoras de infraestruturas de redes fixas e móveis, podem prover produtos diferenciados e customizados de serviços multimídia através do acesso em banda larga e, portanto, dispõem de novas oportunidades no mercado. Esse cenário favorece a multiplicação das empresas inovadoras em TICs, e representa um passo estratégico para o desenvolvimento do País.

O papel da convergência tecnológica no âmbito das telecomunicações é tratado aqui em primeiro lugar. Em seguida, é apresentado o modelo de camadas de Fransman como representação atual da cadeia de valor econômico no setor de telecomunicações. São importantes os impactos causados pelos serviços e aplicações da Internet, baseados no protocolo IP, que se superpõem à infra-estrutura das redes convencionais de telecomunicações. Nas seções seguintes, em breve análise prospectiva, as tecnologias emergentes são descritas. Elas foram selecionadas em estudos recentes ou ainda em andamento, realizados no Projeto Cenários. São tecnologias que terão maior impacto na evolução das telecomunicações nos próximos anos. Nas seções finais abordamos sucintamente alguns desafios tecnológicos para o futuro das telecomunicações.

2. A convergência tecnológica em telecomunicações

A digitalização dos serviços de telecomunicações na década passada provocou importantes transformações no setor. Por um lado, favoreceu a competição, a desregulamentação e a privatização dos serviços em geral, modificando profundamente o cenário das telecomunicações no mundo e no Brasil. Por outro, as metas de universalização e a necessidade de inserção

competitiva no mercado internacional estabeleceram um novo contexto para o desenvolvimento das telecomunicações no País. Dois fatores fundamentais direcionam as novas oportunidades tecnológicas e a evolução do setor:

- a) A convergência tecnológica dos serviços de voz, dados e multimídia (vídeo).
- b) A interoperabilidade entre equipamentos, redes e aplicações de software.

A transição do regime de monopólio para o regime de competição regulada teve um importante peso no surgimento e na difusão das TICs nos últimos dez a 15 anos.

2.1. O impacto da digitalização na convergência

A digitalização da informação possibilitou a universalização dos serviços de telecomunicações. Atualmente, qualquer mídia, seja de voz, texto ou imagem (estática ou em movimento), pode ser facilmente digitalizada e transformada em *bits* digitais. A flexibilidade de transportar todos os *bits* de forma equivalente torna a rede transparente à mídia e, portanto, a mesma rede pode oferecer todos os tipos de serviços. Este processo de integrar voz, texto e imagem nas redes de comunicação, é conhecido como “convergência”. Existem várias definições para o conceito de convergência, mas a que melhor se destaca é a do Livro Verde da Comissão Europeia (CE): “a capacidade de diferentes plataformas de rede servirem de veículo a serviços essencialmente semelhantes”. Outra definição também encontrada no Livro Verde da CE afirma: a junção de dispositivos do consumidor, como o telefone, a televisão e o computador pessoal. Essa definição é chamada de “*triple-play*” ou “*multiplay*”. Por ser geral e mais ampla, ela aparece com frequência na imprensa. Atualmente, as operadoras de telecomunicações oferecem o acesso à Internet, e disponibilizam, em caráter experimental, serviços audiovisuais. As empresas de TV a cabo oferecem serviços de telefonia em alguns países. No Brasil, também oferecem o acesso à Internet. A TV digital poderá ampliar as receitas das empresas de radiodifusão através da oferta de serviços de transmissão de dados (serviços interativos), além de disponibilizar serviços de voz com qualidade aceitável.

2.2. O modelo de camadas de Fransman (o papel do IP)

As telecomunicações sofreram mudanças marcantes após o início da digitalização. Anterior-

mente, durante o monopólio estatal, havia somente o serviço analógico de telefonia. Essa situação exigia longos prazos para o retorno do investimento e para oferecer tarifas acessíveis aos usuários. A tecnologia digital reduziu consideravelmente o custo dos investimentos de implantação, automação e operação da infra-estrutura de redes de telecomunicações. Isso permitiu um retorno mais rápido dos investimentos e a entrada de novos atores nos negócios de telecomunicações. O advento da competição provocou naturalmente, a desregulamentação do setor. Os novos serviços introduzidos modificaram substancialmente a cadeia de agregação de valor econômico dos produtos de telecomunicações. Isso exigiu introduzir uma nova sistemática na cadeia de produção do valor econômico para o setor. Fransman apresentou em 2001 um modelo de camadas hierárquicas para explicar as relações dinâmicas entre os atores envolvidos no setor de telecomunicações. Isso evidenciou a convergência entre a informática e as telecomunicações. Esse modelo introduziu duas consequências consolidadas e importantes: uma nova organização setorial e uma nova dinâmica do processo de inovação nas telecomunicações.

O modelo de Fransman descreve esquematicamente a cadeia de valor com seis camadas hierárquicas, atualmente em vigor no setor de telecomunicações. As camadas abrangem desde os equipamentos e sistemas de infra-estrutura de redes até os serviços oferecidos aos clientes e usuários. Uma contribuição importante do modelo são as consequências do paradigma da Internet, em que se destacam principalmente os serviços de comunicação e as tecnologias de software. É

justamente nestes que residem as maiores oportunidades para o Brasil dentro do quadro geral do setor. A inovação é fortemente influenciada pela evolução da informática, exibindo uma dinâmica paralela, com poucas barreiras de entrada e características mais abertas do software.

A Tabela 1 apresenta esquematicamente as seis camadas de Fransman, associando exemplos de tecnologias e empresas beneficiárias em cada caso.

A tabela mostra que tradicionalmente o setor das telecomunicações restringia-se basicamente às camadas I e II. O protocolo IP propiciou uma plataforma de suporte aos novos serviços e conectou a Camada de Rede (Camada II) à Camada de Conectividade (Camada III). A evolução tecnológica das telecomunicações determinou o crescimento da capacidade de processamento e da transmissão. A Internet estimulou a difusão de padrões abertos, em oposição ao modelo fechado de padrões proprietários que existiam na época dos monopólios. A competição favoreceu a desvinculação entre empresas operadoras e fabricantes, promovendo assim uma redução geral dos custos associados aos produtos e serviços das camadas tradicionais I e II.

2.3. A interoperabilidade nas redes de comunicações

A convergência nas redes de telecomunicações causou a universalização e a simplificação da interconexão entre equipamentos e computadores em um ambiente de múltiplos fornecedores. A interoperabilidade define a necessidade de estabelecer padrões e normas de interconexão

Tabela 1 O modelo de camadas de Fransman

Camada	Atividade	Exemplo
VI	Clientes	
V	Camada de Aplicação e Empacotamento de Conteúdo (e.g., web design, serviços de informação on-line, serviços de difusão, etc.)	Bloomberg, Reuters, AOL Time Warner, MSN, etc.
IV	Camada de Navegação e Middleware (e.g. browsers, portais, busca, segurança, pagamento eletrônico, etc.)	Yahoo, Netscape, etc.
III	Camada de Conectividade (e.g. acesso à internet, hospedagem web)	ISPs e IAPs
Interface TCP/IP		
II	Camada de Rede (e.g. rede de fibra óptica, acesso rádio, acesso ADSL, Ethernet, RDSI, ATM, etc.)	AT&T, BT, NTT, WorldCom, Energis, etc.
I	Camada de Equipamentos e Sistemas (e.g. centrais, roteadores, equipamentos de transmissão, servidores, softwares básicos, etc.)	Nortel, Lucent, Cisco, Nokia, etc.

ISP = Internet Service Providers; IAP = Internet Application on Providers

entre os diversos sistemas existentes de comunicação. A relevância da interoperabilidade também decorre de questões relacionadas à segurança nas comunicações. As conexões são cada vez mais complexas, podendo abranger uma sequência de redes heterogêneas. No acesso móvel, existem os serviços das redes 2G, 3G e WLANs e, na rede fixa, há a rede de telefonia pública (STFC) e as redes baseadas no protocolo IP. Os desafios para implementar a interoperabilidade entre redes e equipamentos heterogêneos são grandes, tanto no contexto atual como para o futuro das telecomunicações. Algumas soluções procuram mitigar a ausência de interoperabilidade entre os diversos padrões e protocolos já implementados. O software destaca os conceitos de redes ativas e os agentes móveis. Os maiores desafios estão no gerenciamento da garantia da qualidade de serviço em conexões fim-a-fim, envolvendo diferentes ambientes de redes e equipamentos. Os protocolos da Internet (TCP/IP) permitem maior interoperabilidade de modo mais simples e barato entre redes distintas. O principal motivo para essa evolução é a adoção da tecnologia de “comutação de pacotes”, como alternativa à tecnologia tradicional de “comutação de circuitos”. Esta foi concebida inicialmente para os serviços de voz (telefonia), mas é pouco flexível do ponto de vista tecnológico, e apresenta um maior custo operacional no suporte ao tráfego de multimídia, que é componente importante do processo de “convergência”.

3. A prospecção tecnológica na evolução das telecomunicações nos próximos anos (panorama internacional)

A evolução das telecomunicações na década passada foi marcada pela explosão da telefonia celular e pelo aumento considerável da demanda por acesso à Internet. O mercado residencial cresceu com a aquisição de novos computadores pessoais equipados com serviços multimídia, e também com a instalação de novos sistemas de software de uso dedicado e personalizado. Esse mercado é atualmente um grande estimulador da difusão das TICs, gerando benefícios para os usuários fixos e móveis, que têm a necessidade de permanecer conectados à rede de comunicação. O trabalho individual e autônomo também favoreceu essa tendência, conquistando adeptos em várias camadas sociais, tanto em áreas urbanas quanto rurais. Destaca-se o crescimento do comércio eletrônico, cuja demanda aumenta com o surgimento de novos produtos personalizados, mas depende ainda de conquistar maior confiança dos consumidores desse segmento.

Os usuários individuais estão cada vez mais consumindo conteúdos de lazer personalizados. A mobilidade não é ainda um fator indispensável ou fundamental, mas os equipamentos utilizados comportam quase sempre sistemas de software embutidos de uso dedicado. Os novos produtos de multimídia apresentam uma obsolescência cada vez mais rápida, principalmente no segmento de jogos que se difunde num público mais jovem. A complexidade dos terminais de acesso é ainda um obstáculo à maior oferta de novos serviços. A penetração rápida dos terminais celulares junto ao grande público demonstra a importância da simplicidade e praticidade como fatores determinantes para o desenvolvimento de novos terminais para acesso à Internet. Estudos prospectivos destacam a importância do desenvolvimento de produtos tecnologicamente complexos. Entretanto, exigem instalação e utilização relativamente simples ao usuário comum.

O crescimento do uso da Internet nos últimos anos é atribuído à dinâmica da inovação tecnológica, que conduziu a uma ruptura no mercado tradicional das telecomunicações. Os aspectos tecnológicos relevantes nesse processo incluem o terminal do PC de uso abrangente e universal, e o aumento considerável das taxas de transmissão nas redes de comunicações. Este último possibilitou a integração de vários tipos de dados, incluindo texto, imagem, som, voz e vídeo; com o protocolo IP que apresenta maior flexibilidade, escalabilidade e interoperabilidade; para o bom funcionamento da rede. As tecnologias de código e plataformas abertas, que suportam o desenvolvimento de sistemas de software livre, também contribuíram para difundir os serviços oferecidos pela Internet, pois são apoiadas por órgãos de padronização como o IETF.

A inovação tecnológica na área das TICs traduz as aspirações tanto dos usuários como as econômicas. A evolução tecnológica na década passada modificou substancialmente o mercado tradicional das empresas operadoras de telecomunicações. Emergiram novos atores para atender as demandas geradas pelas novas oportunidades oferecidas no mercado. O conceito de ruptura tecnológica é fundamental para compreender a descontinuidade gerada através da implementação do protocolo IP conforme discutido acima no modelo de Fransman. Uma nova tecnologia de ruptura não é necessariamente melhor do que a anterior, mas atende a uma demanda explícita ou implícita dos usuários (no custo e na unificação de plataformas de serviços e aplicações). As tecnologias de ruptura podem modificar de forma substancial as regras do jogo da competição no mercado. Apóiam-se, essencialmente, em novas

oportunidades surgidas ou em mercados em crescimento, que por sua vez se apresentam com maior valor para os usuários. Alguns fatos tecnológicos importantes trazidos pelo uso da Internet que poderão ter impacto nas telecomunicações nos próximos anos:

- A competição desloca o valor agregado das empresas operadoras tradicionais para a oferta dos serviços no acesso.
- O desenvolvimento acelerado de componentes de sistemas de software reutilizáveis aumenta a difusão dos aplicativos pela Internet.
- A TV digital por radiodifusão *broadcast* proverá novos serviços interativos e novos terminais.
- O desenvolvimento de conteúdos e sistemas de software gera um novo modo de relacionamento com os usuários.
- Os novos dispositivos e componentes reprogramáveis com sistemas de software embarcados se difundem amplamente nos equipamentos de hardware.
- As novas funcionalidades de comutação óptica ampliarão a capacidade das arquiteturas das redes ópticas IP/WDM, diminuindo seu custo e complexidade.

4. Análise prospectiva das tecnologias emergentes em telecomunicações

Nos próximos cinco anos, outras forças emergentes também deverão impactar o setor, gerando novas oportunidades, pressões sobre os

órgãos reguladores e estímulos ao desenvolvimento de novos produtos e serviços. Algumas questões necessitam de respostas:

- a) Quais as possibilidades de evolução geral do setor nos próximos anos?
- b) Quais tecnologias serão relevantes para atender às necessidades do novo quadro setorial?

Estudos realizados no exterior identificam um conjunto de tecnologias cujo impacto, acredita-se, deve ser relevante nos próximos cinco anos e além. Elas estão listadas abaixo e organizadas de acordo com uma classificação didática que guarda relação com o modelo de Fransman. O modelo de Fransman descreve a organização econômica do setor, enquanto a taxonomia busca reunir e descrever tecnologias.

A taxonomia que é proposta neste trabalho está ilustrada na Figura 1. Sobre um bloco de tecnologias básicas (essencialmente tecnologias de componentes e de software), estão relacionados vários blocos de outras tecnologias, cuja combinação final proporciona o benefício de um serviço de telecomunicação ou de uma aplicação de TICs que envolva necessariamente telecomunicação.

Os blocos de tecnologia podem ser:

- **Tecnologias básicas** – São tecnologias empregadas para a construção de outros subsistemas e sistemas voltados para aplicações finais de telecomunicação. Referem-se principalmente às áreas de componentes físicos (por exemplo, microeletrônica e fotônica) e ferramentas e plataformas de software básico.

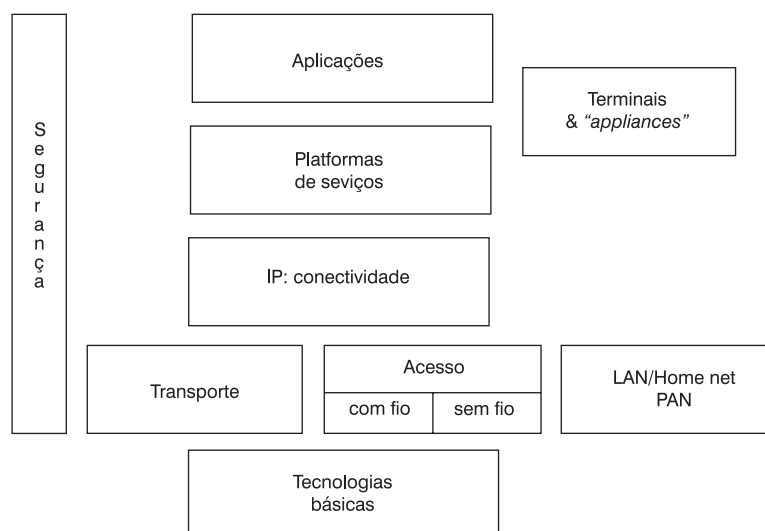


Figura 1 Taxonomia proposta

- **Acesso sem fio** – Tecnologias que provisionam a conexão sem fio dos usuários à rede de telecomunicação.
- **Acesso com fio** – Tecnologias que provisionam a conexão com fio dos usuários à rede de telecomunicação.
- **LAN/Home networking/PANs** – Tecnologias para o provisionamento da conexão do usuário em redes locais, domésticas e pessoais.
- **Transporte** – Tecnologias para provisionar o transporte da informação nas redes de telecomunicações.
- **IP: conectividade** – Tecnologias que provisionam conectividade na rede através do protocolo IP, de comutação de pacotes e não orientada à conexão.
- **Plataformas de serviços** – Tecnologias para plataformas de provisionamento de serviços interativos de voz, dados e multimídia em redes de telecomunicações.
- **Aplicações** – Bloco incluído para completar o quadro. As tecnologias de aplicação podem confundir-se com as de serviços.
- **Terminais** – Tecnologias de equipamentos ou dispositivos localizados próximos ao usuário que recebem e/ou processam as informações da rede em formato compatível com os requisitos do usuário.
- **Segurança** – Tecnologias que asseguram a identificação, autenticação, integridade e confidencialidade dos usuários nas redes de telecomunicações.

5. Tecnologias

Há dezenas de tecnologias que se encaixam nos blocos tecnológicos acima, com a exceção dos blocos “Aplicações” e “Tecnologias Básicas”, para enfatizar tecnologias claramente associadas às telecomunicações e cujo impacto seja evidente.

A escolha é consequência de trabalhos realizados pelo CPqD. Esses trabalhos incluem levantamentos por pesquisadores da instituição e outros especialistas do setor de telecomunicações, unindo o CPqD com o Senai e o Instituto de Economia Industrial da UFRJ. Também foram utilizadas informações coletadas em estudos prospectivos internacionais, em especial o projeto Fistera – *Foresight in Information Society Technologies in European Research Area*.

Essas tecnologias estão relacionadas abaixo, agrupadas de acordo com os blocos propostos na

taxonomia da Seção 4. A descrição ou conceituação é breve e está baseada mais no uso e na aplicação da tecnologia do que propriamente no rigor técnico.

5.1. Acesso sem fio

Sistemas sem fio são normalmente associados à comunicação por ondas de rádio (RF). Os sistemas móveis de primeira e segunda geração forneceram acesso com raios de cobertura de algumas dezenas de quilômetros. Porém a capacidade é limitada devido às características do espectro RF. Os novos sistemas empregam técnicas de aumento da capacidade, através do reuso da frequência, da divisão em células menores, e de algoritmos para alocação de canais. Os futuros sistemas de acesso sem fio somente deverão dispor de maior banda passante nos casos de uso restrito, em áreas de grande densidade de *hot spots* com serviços Wi-Fi.

Wi-Fi (next generation)

Propiciada pela evolução da tecnologia Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) para redes locais sem fio, baseada no padrão IEEE 802.11n. Proverá taxas acima de 100 Mbps com operação na frequência de 5 GHz, integrando serviços de redes WLAN com as redes celulares, de forma transparente aos usuários utilizando um único terminal. A ampliação da infra-estrutura para o provimento de serviços de banda larga na rede de acesso favorecerá a difusão das tecnologias Wi-Fi. Estudos prospectivos para a evolução do Wi-Fi apontam para os seguintes fatos: apesar da difusão rápida da tecnologia Wi-Fi atualmente, a contribuição ainda é marginal nos serviços de banda larga. Houve um crescimento maior do consumo residencial apenas nos Estados Unidos e em alguns países da Ásia, enquanto permanece mais restrito ao mercado corporativo na Europa. O quadro poderá mudar em função de maior oferta do serviço de acesso ADSL. Nos próximos três anos, prevê-se uma maior presença de *hot spots* Wi-Fi em ambientes públicos, incluindo aeroportos, redes de transporte e residências para a conexão sem fio com a rede fixa. O provisionamento dos serviços deverá variar conforme a demanda em diferentes países, mas haverá quase sempre mais de um provedor de serviços para o acesso. O acesso mais fácil à rede impulsionará o mercado e a interoperabilidade do terminal do usuário com diferentes *hot spots*. Os terminais serão equipados com múltiplos padrões, apesar de os conteúdos serem diferentes em cada país. Um exemplo é o uso do Wi-Fi somente para comunicações de dados e suporte para voz sobre IP. A disponibilidade do padrão 802.11g aumentará a banda passante.

Em 2020, o Wi-Fi deverá ser uma opção importante ao acesso em banda larga nas residências e locais públicos. Não há indicações de ele se torne a principal infra-estrutura de acesso à rede. Novos padrões surgirão e estimularão o aumento da banda passante a ser disponibilizada para os serviços prestados. Novos circuitos eletrônicos integrados (ou *chips*) serão embutidos nos aparelhos terminais para prover acesso multimodal com a tecnologia Wi-Fi.

Wi-Max (World Interoperability for Microwave Access)

É uma tecnologia recente de comunicação sem fio de banda larga para uso em redes metropolitanas. O objetivo principal é disponibilizar o acesso às redes IP e serviços oferecidos pela Internet. São redes orientadas ao novo paradigma das comunicações All-IP (tudo sobre o protocolo IP). Nos próximos anos, as redes de tecnologia Wi-Max deverão entrar em operação com transmissão em bandas RF de 2 a 11 GHz (802.16a) ou de 10 a 66 GHz, segundo o padrão IEEE 802.16c. As bandas de transmissão RF poderão ser ou não licenciadas, e deverão suportar taxas de até 72 Mbps em áreas de cobertura que atingirão distâncias de até 50 quilômetros, adequadas à conexão em redes metropolitanas. As altas taxas de transmissão suportarão o provisionamento de serviços multimídia, principalmente nas áreas onde não há disponibilidade de outro acesso alternativo à banda larga. Outra aplicação importante será como tecnologia complementar para a conexão de *hot spots* Wi-Fi à Internet.

Redes *ad hoc* sem fio/Meshed Wireless Networking

A tecnologia das redes *ad hoc* sem fio se caracteriza por dispensar uma infra-estrutura instalada para a conectividade entre os nós da rede. A topologia da rede é geralmente malha (*mesh*) onde os nós são distribuídos de uma forma quase regular. A rede se configura dinamicamente com a ativação e desativação dos pontos de acesso, e a arquitetura de conexão é *multi-hop*. Os nós da rede conectam-se diretamente com os vizinhos mais próximos, que se conectam com os mais distantes, conectando assim toda a rede *ad hoc* sem fio. Alguns problemas importantes ainda exigem solução para implementar a difusão dessa tecnologia em maior escala. Os desafios estão na escalabilidade da rede, no desempenho e segurança dos protocolos de enlace de dados e no roteamento. Existem três aplicações essenciais para o desenvolvimento da tecnologia de redes

ad hoc sem fio: o uso residencial, as redes de telecomunicações sem infra-estrutura instalada, e no sensoriamento e controle de diversos ambientes industriais e adversos.

3G

São as tecnologias das redes celulares de terceira geração (3G). Suportam taxas máximas de transmissão de dados de 144 Kbps (velocidades veiculares) a 2 Mbps (usuários fixos), conforme especificado pelo padrão IMT 2000. As tecnologias implementadas correspondem a evoluções do padrão americano CDMA 2000 e do padrão europeu e GSM/UMTS. Essas tecnologias possibilitam a integração de redes operando com o protocolo IPv6 e terminais móveis estabelecidos com a Recomendação do ITU-R M.1457 para cinco tipos de interfaces aéreas.

A difusão da tecnologia 3G tende a ser favorecida pela maior disponibilidade da banda passante. Atualmente, contribui apenas marginalmente no acesso, mas deverá crescer nos próximos dois ou três anos até atingir seu auge antes do final da presente década. Por volta de 2020, a contribuição da tecnologia 3G no acesso deverá ser mínima, prevendo-se a possível introdução, até essa época, de outras tecnologias disponíveis que serão oferecidas na rede de acesso.

4G

É a tecnologia da evolução das redes celulares posterior ao 3 G. Serão redes de telefones celulares configuradas por comutação de pacotes, seguindo o paradigma do IP. Dará suporte aos serviços multimídia com altas taxas de transmissão (até 100 Mbps). A tecnologia deverá ter interoperabilidade com a rede legada e suportar um alto nível de segurança da informação. A evolução das redes de telecomunicações estimulará a difusão da tecnologia 4 G.

No cenário atual, o número de aparelhos celulares no mundo excede o de linhas fixas, porém com um ciclo de vida mais curto. Por isso, a inovação tecnológica é mais intensa nas telecomunicações móveis. No final da década, o número de aparelhos celulares deverá alcançar o patamar de saturação para as comunicações humanas. Os aparelhos celulares também estarão embutidos em muitos objetos e utensílios, e aumentarão, portanto, a abrangência das redes móveis de comunicação. O desenvolvimento de novos aplicativos deverá consolidar a tecnologia 4G. Como exemplos, inclui-se o *software radio*, a maior capacidade de armazenamento dos terminais e novos padrões para separar as camadas de

aplicação e comunicação nos aparelhos celulares. A partir de 2020, as redes de telecomunicações utilizarão dispositivos sem fio como terminais. A tecnologia celular 4G estará amplamente difundida, com muitos objetos permanentemente conectados à rede via aparelhos celulares embutidos.

Mobile IP

A Mobilidade IP (MIP) é a tecnologia que disponibiliza o roteamento móvel dos aplicativos nas redes de telecomunicações. Também proporciona interconexão às redes de acesso móvel, suportadas por diferentes tecnologias, visando os serviços de transmissão de dados. Atualmente, a mobilidade é provida apenas localmente, não sendo possível a uma unidade móvel o deslocamento entre redes heterogêneas. O MIP possibilitará ao usuário móvel passar de uma rede a outra sem interrupção das conexões (ou sessões) estabelecidas. Como exemplo, o MIP permitirá o deslocamento entre redes equipadas com tecnologia Wi-Fi para redes GPRS, de forma transparente para os usuários móveis, sem a necessidade de encerrar e restabelecer as conexões. A tecnologia MIP deverá ter um papel fundamental na evolução da integração das redes sem fio. As principais inovações deverão ocorrer no transporte de dados multimídia para o acesso a rede de serviços, tanto na Internet como nas redes corporativas. As conexões sem fio serão via rádio ou satélite, enquanto os usuários irão dispor de terminais fixos, móveis ou nômades. Alguns desafios tecnológicos importantes nessa área incluem o transporte, roteamento, controle de tráfego, correção de erro e tamanho dos cabeçalhos. Novas ferramentas de sistemas de software de gerenciamento serão indispensáveis para o aumento de confiabilidade das redes públicas e privadas.

Mobile Wi-Fi

É a tecnologia para implementar o acesso móvel em banda larga sem fio MBWA (*Mobile Broadband Wireless Access*). Baseia-se no padrão IEEE 802.20 para especificar uma interface aérea eficiente de transmissão de pacotes para otimizar o transporte dos serviços IP (All-IP). O objetivo é implementar redes móveis de banda larga, através de multiprovedores de acesso, com interoperabilidade e uso ubíquo, para atender a demanda de serviços corporativos e residenciais. A tecnologia MBWA comandará o acesso aos planos de controle e da camada física da interface aérea, de modo a prover interoperabilidade aos sistemas móveis de banda larga. A previsão de operação

supõe bandas licenciadas abaixo de 3,5 GHz, para otimizar o tráfego IP com taxas de transmissão de pelo menos 1 Mbps. A tecnologia suportará a mobilidade de usuários com velocidades veiculares até 250 km/h em redes metropolitanas. Também busca um melhor uso da eficiência espectral para prover muito maiores taxas de dados e usuários móveis, comparado com os sistemas atuais.

Antena inteligente (otimizada por tráfego)

As antenas inteligentes ou arranjos adaptativos aumentam enormemente o alcance dos sistemas celulares. Os arranjos adaptativos combinam processadores que otimizam automaticamente a comunicação com determinado usuário e, ao mesmo tempo, minimizam as interferências dos outros, adaptando o diagrama de radiação às variações do canal de propagação RF.

A difusão dessa tecnologia será estimulada pelo avanço das telecomunicações. Atualmente, contribui pouco nas redes de acesso. Entretanto, são componentes fundamentais para o futuro da infra-estrutura das comunicações sem fio, tanto na rede de acesso como nos aparelhos terminais. Por volta de 2008, há previsões de uma contribuição maior na evolução das antenas, o que pode representar um importante nicho e oportunidade de mercado. Qualquer aumento obtido na eficiência da comunicação contribuirá para abaixar a potência das antenas e assim reduzirá a poluição da radiação não ionizante. Um aspecto muito importante será o advento de dispositivos móveis de menor consumo de energia, o que talvez ocorra somente através de uma solução radical ainda desconhecida. Para 2020, a difusão da tecnologia de antenas inteligentes será ampla no mercado. As antenas deverão evoluir para um maior nível de inteligência, de modo a discriminar melhor o sinal do usuário e ao mesmo tempo solucionar os problemas atuais de interferência. O investimento em P&D poderá ser decisivo para se alcançar uma vantagem competitiva no mercado. As antenas inteligentes serão componentes da infra-estrutura da rede pública, e possibilitará o arrendamento sob demanda dos provedores de serviços. Este conceito ainda dependerá da evolução do quadro regulatório, tanto nas redes de distribuição quanto no impacto ambiental.

Software Defined Radio (SDR)/Rádios cognitivos

Esta tecnologia representa uma grande promessa à interoperabilidade das redes sem fio. Através de um canal de sinalização, os terminais

conectados à rede receberão instruções via software sobre os protocolos de conexão e as frequências de transmissão disponíveis no local. Com a implementação da tecnologia SDR, qualquer terminal sem fio poderá se reconfigurar dinamicamente para se conectar a rede e desfrutar de serviços específicos oferecidos pelos provedores. Com o avanço da tecnologia, os terminais terão inteligência embutida para dialogar e se configurar com o ambiente RF, de modo que o usuário poderá se comunicar sempre em movimento através de diferentes redes sem fio. Esses sistemas são algumas vezes chamados de SDRs adaptativos e inteligentes ou rádios cognitivos.

A difusão da tecnologia SDR nas redes sem fio acompanhará os avanços tecnológicos das telecomunicações. Atualmente, não há ainda nenhuma implementação da tecnologia SDR, mas há expectativas quanto à oferta dos serviços em torno de 2008. O impacto será maior nos anos seguintes, prevendo-se uma difusão mais ampla, possivelmente em 2012. A maior portabilidade dos equipamentos em 2020 propiciará ainda maior expansão à tecnologia SDR. Esta, por sua vez, estimulará melhorias na qualidade das comunicações sem fio e na transparência das infraestruturas de telecomunicações, mas não afetará os provedores de serviços.

5.2. Acesso com fio

A evolução da capacidade das redes de telecomunicações dependerá muito do aumento da banda passante oferecida aos usuários nas redes de acesso. Nos próximos anos, há previsões de implementação em larga escala das tecnologias xDSL e da fibra óptica até os usuários finais. As tecnologias xDSL, atualmente já atingem taxas de 100 Mbps, em alguns enlaces de poucos quilômetros para serviços de assinantes residenciais. Entretanto, o atendimento completo das demandas de serviços com taxas de 100 Mbps para qualquer usuário em escala global está previsto somente para depois de 2020.

Na década atual, a banda larga deverá predominar nas áreas urbanas. Após 2010, prevê-se o deslocamento do foco de mercado, para a flexibilização da oferta da banda passante, além da garantia de qualidade do serviço prestado. A demanda por maiores taxas deverá evoluir provavelmente para o atendimento de serviços específicos. Por exemplo, o suporte de computação em *grid* em ambientes científicos, médicos ou de segurança. Tal esforço será acompanhado do desenvolvimento das infraestruturas em geral, visando prover os serviços e aplicações solicitadas.

Ethernet in the first mile

A tecnologia aborda arquiteturas e redes padronizadas pelo grupo de trabalho do IEEE 802.3Ah, que procura viabilizar a implantação da tecnologia Ethernet na rede pública de telecomunicações. Pretende utilizar as redes de distribuição óptica passiva PON (*passive optical network*), as redes de comutação óptica automatizadas AON (*active optical networks*), e também a infra-estrutura instalada e existente de cobre. Desse modo, tanto o investimento quanto o custo operacional de manutenção da rede serão bastante reduzidos, e ao mesmo tempo viabilizarão a prestação de serviços multimídia avançados, incluindo vídeo, voz e jogos interativos entre outros. Os serviços serão disponibilizados às interfaces de acesso dos usuários com taxas acima de 10 Mbps, e deverão suportar comercialmente o pacote de serviço conhecido como *triple-play*, que inclui a telefonia, vídeos sob demanda e o acesso à Internet.

IP DSLAM

A tecnologia DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) suporta a transmissão de canais de voz, separados em frequência da transmissão de dados xDSL com altas taxas, através da infra-estrutura de cobre convencional da rede instalada. Pode ser acoplada à tecnologia Gigabit Ethernet/IP em redes de acesso, para a prestação de serviços de dados em banda larga. O uso amplo do IP simplifica os protocolos intermediários de interconexão com a rede tronco e o acesso, aumentando a eficiência do tráfego que chega ao usuário final, tanto residencial quanto corporativo. Os equipamentos de acesso agregam os dados transmitidos pelo usuário, que são codificadas nos vários padrões xDSL, com a rede de distribuição no padrão Ethernet (tipicamente GbE). Esta por sua vez, deverá dispor de recursos avançados, como o protocolo MPLS, para aprovisionar o gerenciamento e controle do tráfego, e também da qualidade de serviço. A tecnologia IP DSLAM ainda está em fase inicial de maturação, mas proporcionará benefícios importantes às empresas operadoras de telecomunicações. A tecnologia híbrida ethernet/IP, de custo mais baixo e gerenciamento mais simples, substitui as tecnologias convencionais SDH e ATM, na implementação das novas redes de acesso, reduzindo os custos de investimento. Nos próximos anos, há previsões de uma difusão ampla no acesso residencial e corporativo, através do aprovisionamento comercial do *triple-play*, com serviços de voz/vídeo/acesso à Internet.

Broadband Power Line Communication (BPC) – Long range

Esta tecnologia provê a conexão de comunicação através da infra-estrutura disponível da rede de energia elétrica instalada, tanto nas residências como em regiões urbanas. No caso da conexão de longo alcance, a tecnologia BPC permitirá a transmissão de dados no formato digital com taxas até 200 Mbps, através da rede de energia elétrica de média tensão (classe 15 kV) e de alta tensão. Nas redes elétricas residenciais de baixa tensão, essa tecnologia provê uma taxa de transmissão de dados até 14 Mbps, dependente do número de usuários simultâneos que utilizam uma faixa de frequência entre 1,7 MHz e 80 MHz. Para viabilizar o aumento da taxas de transmissão através de maiores distâncias, a tecnologia BPC empregará a técnica de multiplexação por divisão ortogonal de frequência, conhecida como OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*).

A difusão da tecnologia BPC deverá ser favorecida pela oferta de serviços de banda larga no acesso, principalmente em áreas onde não há outra infra-estrutura disponível. Por enquanto, o uso dessa tecnologia permanece ainda pequeno, com apenas alguns testes experimentais. Por volta do final da década, há previsão de uma implantação mais significativa para o aprovisionamento de banda larga a clientes residenciais, mas com pequena contribuição empresarial ou corporativa. Para o final da próxima década não há grandes expectativas quanto à mudança desse quadro tecnológico. Com efeito, existe a perspectiva do domínio da tecnologia de fibras ópticas na rede de acesso, de modo a inibir a adoção da tecnologia BPC.

Packet Cable Multimedia

Esta tecnologia baseia-se nas especificações de interoperabilidade das interfaces DOCSIS 1.1 (*Data Over Cable Service Interface Specification*), para prover serviços multimídia em tempo real no padrão Gigabit Ethernet/IP em redes *two-way* HFC (*hybrid fiber/coax*). A rede deverá ser implementada na infra-estrutura instalada das operadoras de TV a cabo, e poderá, portanto, proporcionar a difusão de serviços suportados pelo protocolo IP na rede de acesso. Os serviços oferecidos deverão incluir a telefonia IP, vídeo-conferência em tempo real, jogos interativos, além do acesso a outros serviços de dados. A tecnologia *Packet Cable Multimedia* permitirá a oferta de serviços avançados com reserva de banda e qualidade de serviço pelas empresas operadoras de TV a cabo. Para isso, o gerenciador da rede deverá classificar, priorizar e

armazenar os pacotes de reserva de banda provenientes das aplicações, de modo a evitar a saturação e o colapso do tráfego em operação. A oferta das aplicações sensíveis ao atraso, como videoconferência, jogos interativos ou serviços de voz baseados no protocolo SIP, serão muito dependentes do gerenciamento da rede no acesso.

Free Space Optics (FSO)

Tecnologia óptica de baixo custo que estabelece a conectividade no acesso para serviços de banda larga. A transmissão óptica ocorre pelo ar com visada direta, empregando-se dispositivos lasers e receptores ópticos, operando no infravermelho próximo, sem risco para a visão humana. As conexões FSO podem cobrir distâncias de até um quilômetro nas redes de acesso e metropolitana, para o provimento de serviços de dados com banda larga e taxas de 1 Gbit por segundo. A tecnologia FSO apresenta facilidades de instalação, que são atrativas para a implementação no interior das empresas e nas conexões dos usuários residenciais com os provedores de serviço na última milha. A difusão da tecnologia FSO será favorecida com a oferta dos serviços de banda larga, principalmente, onde existem dificuldades para instalar outras infra-estruturas alternativas de acesso. As conexões temporárias de banda larga em áreas urbanas também representam um nicho não desprezível para a difusão dessa tecnologia.

- **VDSL**

A tecnologia VDSL (*Very-high-bit-rate DSL*) suporta maiores taxas de transmissão comparada com as tecnologias convencionais de redes digitais para assinantes xDSL. As taxas de transmissão deverão atingir velocidades de 52 Mbps no sentido descendente (*downstream*) e 16 Mbps no ascendente (*upstream*), através de distâncias de até 300 metros. Maiores distâncias serão possíveis, mas com redução das taxas de transmissão, por exemplo, com 1 quilômetro, as taxas descendente e ascendente caem para 26 e 3,2 Mbps, respectivamente. As maiores taxas comparadas com a tecnologia atual ADSL viabilizarão a difusão ampla dos serviços multimídia aos assinantes, como o vídeo sob demanda e a TV paga. As tecnologias xDSL já estão implementadas em vários países do mundo, e lideram o acesso aos serviços de dados com a banda larga. A implementação do VDSL deverá favorecer uma maior difusão desses serviços na rede de acesso. Além disso, a tecnologia VDSL poderá também se acoplar à rede óptica mais próxima do usuário, de

modo a configurar o acesso do usuário à rede metropolitana. Entretanto, ainda não há padrão definido para a tecnologia VDSL. Existem algumas propostas feitas por consórcios de fabricantes, onde se destacam: a baseada no sistema DMT (*Discrete MultiTone*) do padrão ADSL para a modulação digital, e outra baseada na modulação QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) que minimiza as interferências entre os canais de voz, ascendente e descendente.

5.3. LAN/Home net/PAN

- **Zigbee**

É um protocolo de comunicação global para nós de uma rede de curto alcance, que deverá operar com baixas taxas de transmissão de dados. A tecnologia é baseada nos padrões IEEE 802.15.4 e 802.15.4b, com previsão de término até o final de 2004. As redes de tecnologia Zigbee poderão funcionar com diversas topologias, desde a estrela tradicional até malha em redes *ad hoc*. Uma das aplicações em vista são as redes pessoais sem fio WPAN (*Wireless Personal Area Network*). As principais características da tecnologia Zigbee serão o pequeno consumo de energia e o baixo custo dos terminais, para permitir a implantação de redes de maior densidade, podendo chegar até 250 terminais. Entretanto as taxas de transmissão de dados não deverão ultrapassar 250 Kbps, e o acesso à rede será via o protocolo CSMA-CA (*carrier sense multiple access - collision avoidance*). O alcance dos terminais será de apenas dez metros, mas poderá ser estendido em certos casos em até cem metros. As aplicações abrangem as redes de sensores sem fio em áreas industriais, comerciais e na agropecuária. As previsões de mercado são otimistas quanto à difusão da tecnologia Zigbee nos próximos anos. Estima-se a ordem de um milhão de unidades em 2005 no mundo, mas poderá chegar até 80 milhões em 2006.

- **Home Networking**

É o conjunto de tecnologias de interconexão de equipamentos, aparelhos e dispositivos em geral, nas residências. O protocolo IP permite interconectar diversos aparelhos residenciais: TV, DVD, PC e periféricos, além de outros aparelhos domésticos. Um dos principais desafios tecnológicos é a instalação simples e de baixo custo da conexão física de banda larga, de maneira a explorar o máximo da infra-estrutura residencial instalada (telefone e energia elétrica). Haverá apenas uma conexão externa integrada com a rede de acesso, através de um *set-top-box* com

decodificador. A plataforma tecnológica inclui o processamento, gerenciamento, transporte e armazenamento da informação no ambiente doméstico. A tecnologia possibilita a conexão e integração de múltiplos dispositivos de computação, controle, monitoração e comunicação. Alguns exemplos incluem as tecnologias *bluetooth* e as redes *ad hoc*, com taxas de dados acima de 1 Mbps. Também há perspectivas de viabilizar a topologia *scatternet*, que permite interconectar até dez *piconets* (mini-redes) controladas por dispositivos *bluetooth* na configuração ponto-multiponto. A camada física baseia-se na tecnologia FHSS (*frequency hopping spread spectrum*), com área de cobertura de algumas dezenas de metros (Classe 2). A tecnologia *home networking* será difundida acompanhando a evolução das infra-estruturas das redes de telecomunicações. No momento atual, ainda permanece marginal. Em alguns países da Europa, um percentual significativo das residências já dispõe da tecnologia *home networking* para o acesso à Internet. Nos próximos anos a difusão da tecnologia deverá ser maior, estimando-se um percentual significativo das residências inteiramente interconectadas.

- **UWB (Ultra Wide Band Wireless Devices)**

Aborda a tecnologia de dispositivos RF para redes de dados sem fio de curto alcance, mas com altas taxas de transmissão. Os dispositivos de banda ultralarga proverão a comunicação sem fio com taxas entre 100 e 500 Mbps, através de distâncias de cinco a dez metros. Estudos sobre o compartilhamento dos serviços prestados e as limitações de potência radiada estão ainda em andamento. A tecnologia deverá se difundir com os avanços tecnológicos das redes de comunicações. Atualmente ainda não há contribuição, mas prevê-se o início da comercialização para o final desta década. A maior difusão da tecnologia UWB só será alcançada posteriormente, mas é provável que seja dirigida às redes pessoais sem fio (WPAN). O desempenho será superior à tecnologia *bluetooth* na ocasião, porém concorrerá com a base tecnológica instalada das tecnologias *bluetooth* e Wi-Fi. Com relação ao Wi-Fi, a maior vantagem reside na previsão de um menor consumo de energia. No final da próxima década prevê-se uma difusão mais importante da tecnologia UWB, principalmente nas redes de comunicação pessoais (PANs). Nesse contexto deverá atuar como infra-estrutura de agregação de uma variedade de dispositivos de uso pessoal. A substituição dos *hot spots* Wi-Fi pela tecnologia UWB em redes de

picocélulas é vista como pouco provável. Há apenas previsão de alguns sinalizadores UWB atuarem como pontos de acesso (*gateway*) à rede.

5.4. Transporte (*backbone*)

- **Metro Ethernet**

Tecnologia de implementação do padrão de interfaces Ethernet nos equipamentos de comunicações em redes metropolitanas. Um dos principais objetivos é o aumento da eficiência da rede com baixo custo de investimento. O modelo básico da rede Metro Ethernet comporta um provedor de serviços conectado a equipamentos de redes locais ou consumidores, com interfaces padrões que operam com taxas de 10 e 100 Mbps, ou de 1 e 10 Gbps, conforme o serviço prestado. A principal vantagem reside no baixo custo de provisionamento dinâmico e no aumento da banda passante dos serviços de dados. A tecnologia de rede se caracteriza pela oferta de serviços avançados com custo inferior ao de outras tecnologias concorrentes, como o SDH e o ATM. Há vários tipos de serviços que podem ser oferecidos, principalmente para atender as demandas de redes locais, inclusive serviços de redes LAN multiponto. Ela possui vários atributos: implementação rápida, operação e manutenção simples, e escalabilidade para o provisionamento de banda passante e serviços IP. Proporcionará a difusão comercial do *triple-play*, com pacotes de serviços de voz, vídeo e acesso a Internet.

- **Optical switching (comutação óptica)**

Tecnologia que abrange a comutação e a transmissão inteiramente óptica do sinal nos equipamentos das redes de telecomunicações. Atualmente há preocupações relacionadas com os limites de capacidade dos comutadores eletrônicos convencionais para atender a demanda de tráfego em redes de IP/DWDM. Os processadores baseados em circuitos integrados da tecnologia ASIC, irão atingir em breve o limite de capacidade de processamento. A substituição dos comutadores eletrônicos instalados por comutadores ópticos proporcionará benefícios importantes ao futuro das redes de telecomunicações em consequência da ausência da conversão óptico/elétrica e vice-versa. A comutação óptica pode oferecer menor custo de investimento, pois simplifica a arquitetura dos nós da rede e diminui significativamente o tamanho dos equipamentos de roteamento. Há várias opções em vista para implementar a comutação óptica em

redes de telecomunicações. A mais imediata envolve os comutadores ópticos de comprimento de onda em redes tronco WDM, conhecidos como OXC (*optical cross connect*). No médio e no longo prazo, pensa-se nas redes de comutação por pacotes, destacando-se duas frentes tecnológicas. A primeira, no médio prazo, envolve a tecnologia de comutação por rajadas de pacotes, ou *Optical Burst Switching* (OBS). A segunda com impacto previsto em prazo mais longo, é a comutação por pacote, ou *Optical Packet Switching* (OPS). Ambas as tecnologias proporcionarão maior granularidade às redes ópticas com tecnologia DWDM.

- **IP sobre WDM**

Tecnologia de arquitetura de rede, na qual o protocolo IP se superpõe diretamente sobre a camada óptica, de multiplexação por divisão de comprimento de onda ou WDM (*wavelength division multiplexing*). A sua principal característica reside na eliminação dos protocolos intermediários, que aumentam a complexidade da arquitetura nas redes convencionais SDH e ATM. A implementação da tecnologia IP/WDM ocorre, principalmente, nas redes tronco e metropolitana, para favorecer e difundir a oferta de serviços de dados em banda larga, nas redes locais e de acesso. A tecnologia de multiplexação densa por divisão de comprimento de onda ou DWDM (*dense wavelength division multiplexing*), mais difundida em redes metropolitanas, também será beneficiada pelo transporte de pacotes IP sobre a camada óptica.

- **GMPLS**

Tecnologia de protocolo IP para automatizar o provisionamento dos recursos da rede e prover controle da qualidade de serviço fim-a-fim, para uso em rede de transmissão *backbone* de serviço de dados com banda larga. O GMPLS (*Generalized Multi-protocol Label Switching*) amplia as funcionalidades do protocolo MPLS (*Muti-protocol label switching*), atualmente em vigor nas redes de telecomunicações. O GMPLS provisiona a sinalização e o roteamento do plano de controle, para conexões ou redes que operam com diferentes modos de comutação do tráfego, incluindo a divisão no tempo, a divisão por comprimento de onda, a divisão espacial (ou rota) e o roteamento do tráfego de pacotes IP. O plano de controle do GMPLS simplificará a operação e a gerência da rede de telecomunicações. Automatizará o provisionamento e a administrando dos recursos da rede, além de prover a garantia da qualidade de serviço.

- **ASON**

É uma tecnologia de comutação óptica automática para prover o gerenciamento e a operação de redes DWDM em telecomunicações. Baseia-se na proposta das recomendações G.807 e G.808 do ITU-T. A tecnologia ASON (*Automatic Switched Optical Network*) será implementada, principalmente na rede tronco, para difusão dos serviços de dados na transmissão em banda larga em redes locais e corporativas. A tecnologia ASON possibilita a conexão de rotas e a transmissão de canais ópticos, estabelecidos e liberados automaticamente pelos protocolos de sinalização. A arquitetura lógica da rede ASON é constituída de três planos. O plano de transporte que opera e comanda os comutadores ópticos ou OXCs (*Optical Cross connects*) e os enlaces de fibra óptica. O plano de controle, responsável pela sinalização com os comandos dos comutadores ópticos e dos enlaces das fibras. E, por último, o plano de gerenciamento da rede.

5.5. IP: conectividade

- **TV sobre Internet ou vídeo sobre IP**

Tecnologia baseada no protocolo IP para prover a distribuição de canais de vídeo em tempo real ou sob demanda. A radiodifusão é operacionalizada por um distribuidor (*Headend*) de vídeo, através de conexões ponto-multiponto (*Multicast*) e ponto-a-ponto (*Unicast*). A tecnologia busca a difusão dos serviços e aplicativos multimídia. O sinal de vídeo armazenado no servidor, codificado no padrão MPEG2 e encapsulado em pacotes IP, pode ser enviado em forma analógica ou digital pelo distribuidor. O serviço em tempo real de pacotes IP é garantido pelo protocolo de tempo real RTP (*Real time Transport Protocol*). A distribuição do conteúdo através da rede é administrada pelos roteadores IP, *switches* Ethernet ou concentradores ADSL, até próximo aos usuários. Estes, por sua vez, dispõem de um *set-top-box* localizado nas suas residências, que decodificam o sinal MPEG recebido. O *set-top-box* é o dispositivo de formatação do sinal exibido no aparelho de TV, e também de seleção do canal de TV pelo usuário. A tecnologia permite a interatividade do usuário com o provedor de serviços e distribuidor do vídeo.

- **VoIP – evolução do SIP**

A tecnologia voz sobre IP ou VoIP (*voice over IP*) é baseada na evolução do protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*), e deverá contribuir para

a difusão mais ampla dos serviços de voz e telefonia. O protocolo SIP habilita a infra-estrutura instalada nas redes de telecomunicações, para o provimento de serviços baseados no IP, tanto na oferta de serviços de voz e vídeo, como em soluções integradoras desses serviços. A tecnologia VoIP produzirá impacto na evolução dos serviços e aplicativos que serão oferecidos nas redes móveis e no mercado corporativo. Alguns exemplos que se destacam para as telecomunicações, são os serviços baseados no protocolo SIP, que incluem mensagens instantâneas, conferência e serviços de voz em redes virtuais corporativas VPNs (*Virtual Private Networks*). Outro exemplo é o dos serviços multimídia com mobilidade, que proverão transparência aos usuários para o deslocamento através de diferentes terminais e redes.

- **SoftSwitches de segunda geração**

A tecnologia abrange os equipamentos de telecomunicações para as redes de próxima geração NGN (*Next Generation Networks*). A tecnologia busca o provisionamento de novos serviços móveis de valor adicionado. A tecnologia favorecerá a difusão dos serviços de telefonia nas redes de telecomunicações. Os equipamentos *SoftSwitch* de segunda geração deverão centralizar o controle de chamadas na rede NGN. Para isso terão de ampliar sua capacidade e controle dos pontos de acesso (ou *gateways*) para efetuar interconexões com outras redes. A tecnologia permitirá a implementação de serviços de valor adicionado, como o *Value-Added Mobile Services*. Os servidores *Mobile SoftSwitch*, conhecidos como *MSC Server*, serão implementados para o controle das interfaces de acesso com as redes celulares de segunda e terceira gerações, e também para a integração das plataformas de serviços.

- **IP Phones (*physical cordless phones; soft-phones*)**

Aborda a tecnologia de dispositivos e equipamentos de telefonia ou de emulação de voz via software, baseados na tecnologia VoIP e no protocolo SIP. O *IP phone* ou telefone IP é o dispositivo que faz a captura do sinal de voz, para em seguida processá-lo através da digitalização e compressão de dados. Estes por sua vez, podem então ser transportados através das redes de comutação de pacotes. Os telefones IP serão elementos essenciais aos usuários e assinantes, para poderem usufruir todos os serviços de valor agregado que serão oferecidos nas redes convergentes do futuro. A conclusão das especificações de alguns padrões de sinalização,

como o H.323, T.38 e o SIP, deverão permitir a interoperabilidade entre dispositivos oriundos de diferentes fabricantes.

- **IPv6**

Representa a tecnologia da nova versão do protocolo IP. A tecnologia disponibiliza um maior espaço para o cabeçalho ou endereçamento dos pacotes na rede IP. O cabeçalho disponível aumentará dos 32 *bits* da versão atual IPv4, para os 128 *bits* na versão IPv6. No início, prevê-se a coexistência de ambas as tecnologias numa arquitetura integrada com o protocolo MPLS, visando essencialmente atender a demanda dos serviços de dados e telefonia nas redes NGN. A motivação do IPv6 reside na arquitetura mais flexível e adaptada à integração do endereçamento com o hardware, de modo a prover suporte dinâmico à rede na garantia da qualidade de serviço. O número maior de *bits* no cabeçalho satisfaz as exigências previstas com a expansão da Internet nos próximos anos, tanto no número de usuários, quanto na transparência dos aplicativos que serão disponibilizados na rede global IP.

5.6. Plataformas de serviços

- **Reconhecimento de voz**

São tecnologias de software com objetivo de disponibilizar inúmeros aplicativos para a implementação de interfaces de comunicação com seres humanos. Proverá a difusão dos serviços de telecomunicações para deficientes. A tecnologia possibilita o desenvolvimento de respondedores automáticos de serviços em geral, através do reconhecimento da voz humana.

As tecnologias de software de fala deverão contribuir para aperfeiçoar as interfaces homem-máquina, abrangendo várias áreas do conhecimento, a inteligência artificial, análise lingüística, reconhecimento de fala, redes neurais e análise estatística. Os desafios tecnológicos imediatos concentram-se nos aspectos práticos para a implementação das aplicações, destacando-se a influência de ruídos oriundos do ambiente, a dimensão do vocabulário a ser abordado e os aspectos semânticos da fala. As aplicações de maior impacto ocorrerão no desenvolvimento de novos conteúdos em multimídia.

- **Small Payment/Terminal celular de compra (“cartão de crédito”)**

São tecnologias de software, mais especificamente de *middleware*, que permitirão as

empresas operadoras de telefonia móvel oferecerem serviços de pequenos pagamentos através do aparelho celular. Há expectativas favoráveis quanto ao crescimento do comércio eletrônico, que deverá se tornar parte importante dos serviços de valor agregado dos futuros sistemas de telefonia móvel. Por outro lado existe a demanda reprimida do comércio eletrônico, na qual os usuários ou consumidores estão permanentemente conectados à rede de telecomunicações. Os terminais móveis passariam a operacionalizar também os pagamentos de qualquer tipo de serviço a um grande número de consumidores distribuídos em diversas localidades. Não obstante, a difusão ampla do pagamento eletrônico via telefone celular, ainda dependerá da maior confiança pela grande maioria dos consumidores, em aceitar os serviços do comércio eletrônico em geral.

- **Context based information & services**

São tecnologias de software para implementação em *middleware*, com o objetivo de disponibilizar informações sobre o contexto e a localização do usuário. Abrange os serviços e aplicativos que exploram dados disponíveis nas redes de telecomunicações, de modo a enviar informações de uso personalizado, como o alerta de estoque ou *stock alert*. Alguns serviços, como o PBS (*Presence Based Services*), informam a disponibilidade do usuário na rede, se está presente (*on-line*), ausente (*off-line*) ou retorna em breve (*away*). Também informam o local do usuário, como por exemplo, “no escritório”, “em férias” ou “trabalhando em casa”, associando o tipo de mídia disponível: voz, mensagem instantânea ou IM (*Instant Messaging*) e e-mail. Além do mais, enquadram-se nessa tecnologia os serviços de localização LBS (*Location Based Services*) que conforme o caso são também suportados pelos serviços de informação geográfica ou GIS (*Geographic Information Systems*). Esses serviços dispõem de funcionalidades para a localização do usuário que solicita o serviço, de modo a fornecer informações de seu interesse que estarão ao seu alcance mais imediato. Os serviços GIS baseiam-se em sistemas de posicionamento georreferenciados, tipicamente o sistema GPS (*Global Positioning System*), cujas principais funções são a localização da informação (*Location Based Information*), a localização da tarifação (*Location Sensitive Billing*), os serviços de emergência (*Emergency Services*) e o rastreamento (*Tracking*).

- **Web services para telecom**

Os serviços Web ou *Web Services* baseiam-se na linguagem XML para a padronização de

interfaces dos serviços na Internet. Normalmente, empregam sistemas de software livre com código aberto na implementação do *middleware*. Desse modo, permitem a integração de aplicativos desenvolvidos com diferentes tecnologias de software, para prover novos aplicativos e disponibilizar serviços mais avançados, que serão utilizados nas redes de telecomunicações. A implantação dos *Web Services* procura implementar a automatização mais efetiva de todas as formas de interação existentes entre os diversos clientes ou empresas, que utilizam ou disponibilizam seus serviços. Por exemplo, a tecnologia pode integrar aplicativos de negócios, oriundos de várias empresas com suas respectivas cadeias de valor, para automatizar todos os processos de negócios através da Internet. Por fim, a tecnologia propiciará um gerenciamento mais eficiente dos recursos e serviços oferecidos pela rede Internet.

- **Grid Computing**

O *Grid Computing* (ou computação em grade) é um sistema que integra os recursos computacionais paralelos e distribuídos, conectados em rede e baseados em múltiplos domínios administrativos. O *Grid* gerencia o compartilhamento, seleção e agregação dos recursos envolvidos, através da disponibilidade, capacidade, desempenho, custo e qualidade de serviço, solicitados pelos usuários. A tecnologia *Grid* enquadra-se em três categorias, conforme sua utilização: para maior provimento da capacidade de processamento; capacidade de análise e processamento de uma grande massa dispersa de dados; e acesso a aplicativos integrados e distribuídos com o objetivo de criar serviços mais sofisticados. A infra-estrutura computacional distribuída abrange tecnologias de software e hardware, incluindo processadores e discos rígidos para o armazenamento dos dados. As tecnologias envolvidas incluem protocolos de comunicação, *middleware*, serviços, aplicações, gerência, tarifação (*billing*) e segurança. Atualmente, existem *grids* computacionais para processamento e análise de dados, enquanto os *grids* para aplicativos ainda permanecem no campo da pesquisa. O órgão *Global Grid Forum* encarrega-se de padronizar a arquitetura *The Grid*, que segue o padrão da *Web Services* definida pela W3C, órgão das especificações da Web. A tecnologia *grid* deverá se difundir com o aumento da disponibilidade da banda passante. Atualmente contribui apenas para o armazenamento de dados nas áreas de saúde e astronômicos. No final da década, prevê-se um aumento considerável da capacidade distribuída do armazenamento e,

portanto, a tecnologia *grid* deverá se difundir bastante na indústria e nos serviços científicos. Em 2020, há previsões de ampla aplicação na exploração e no armazenamento de dados e dos serviços tecnológicos da rede de dados baseado nos sistemas *grids*.

- **TV digital interativa**

São tecnologias de software para o desenvolvimento do *middleware*, que procuram disponibilizar os serviços interativos da TV pública digital por radiodifusão. Essas tecnologias deverão dar uma contribuição significativa, a difusão dos serviços e aplicativos oferecidos pelas empresas operadoras de telecomunicações. O conteúdo audiovisual interativo será a provisionado pela plataforma da TV digital da rede pública de radiodifusão. Os serviços disponibilizados aos usuários, deverão garantir a segurança na interatividade e no armazenamento das informações, possibilitarem a procura e a recuperação do conteúdo audiovisual, e oferecer sistemas alternativos de comunicação com o provedor. A TV digital interativa dará suporte a diferentes redes para a oferta do canal de retorno. Por exemplo, o retorno poderá ser implementado via um canal de frequências na banda de VHF ou UHF, ou pela rede celular. Enfim, a tecnologia permitirá o acesso dos usuários aos serviços oferecidos na Internet.

- **Recepção móvel de TV digital**

Abrange as tecnologias de equipamentos e dispositivos para a recepção móvel da TV digital, através da rede de radiodifusão. Esta tecnologia terá impacto na difusão dos serviços móveis e aplicativos oferecidos pelas redes de telecomunicações. Os receptores de TV móvel utilizarão a rede de radiodifusão para a recepção do sinal constituído dos serviços e programas, e a rede móvel celular para acessar o canal de retorno com o provedor dos serviços da TV digital. Um dos desafios tecnológicos importantes para viabilizar a implementação dos serviços da TV Digital com mobilidade são os aparelhos receptores de baixo consumo em energia.

- **HDTV e novos CODECS de vídeo**

São tecnologias associadas à implementação da transmissão de TV digital com alta definição HDTV (*High Definition TV*). A tecnologia HDTV apresenta maior exigência quanto à largura de banda passante do que os sistemas de transmissão da TV digital por radiodifusão. Nesse sentido, o HDTV requer o desenvolvimento de algoritmos mais

eficientes de compressão e descompressão (*codecs*) para efetivar a transmissão de sinais multimídia. Os *codecs* deverão ser implementados nos servidores, terminais *set-top-box* e computadores PC. Por outro lado, equipamentos com o *codec* MPEG-4, orientado a objetos, serão implementados nas redes de acesso, para prover escalabilidade nos serviços oferecidos e adaptação da qualidade das imagens no receptor. Há também o interesse no desenvolvimento de novas tecnologias mais avançadas para a codificação, como os *wavelets*, fractais e o MPEG-21. Esses *codecs* serão decisivos para a difusão da tecnologia HDTV, em redes de acesso com menor largura de banda.

- **C-OFDM**

O COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) é uma técnica de modulação para a transmissão digital de vídeo DVB (*Digital Video Broadcasting*). A modulação do sinal de TV digital, transmitido por radiodifusão via multiplexação por divisão ortogonal de frequência codificada, habilita a recepção móvel e através de antenas internas. A implementação da tecnologia COFDM nos serviços da radiodifusão da TV digital pública proporcionará difusão dos serviços e aplicativos nas redes de telecomunicações. Além disso, terá desdobramentos no desenvolvimento de novos sistemas de transmissão e recepção, com características mais imunes à interferência, e portanto, mais adequados às exigências da recepção móvel. A modulação COFDM na TV digital, também deverá incorporar sistemas corretores de erro e antenas inteligentes, tanto na recepção móvel quanto fixa em ambientes internos.

5.7. Terminais & dispositivos de comunicação

RFID (*next generation*) – Os RFIDs (*radio frequency identification*) são dispositivos de comunicação de dados para leitura de etiquetas eletrônicas (*tags*) ativadas por RF. As etiquetas ou identificadores inteligentes são *chips* ou cartões eletrônicos de memória que possuem a capacidade de ler e processar informações. Essas, por sua vez, são armazenadas em circuitos integrados ativos ou passivos (com ou sem fonte de alimentação), e a transmissão somente é possível em curtas distâncias. As aplicações incluem a identificação sem contato físico, e possibilita efetuar pagamentos ou gerenciamento de arquivos de dados pessoais. A tecnologia proporcionará a difusão do comércio eletrônico e de vários serviços: bancários, transporte, telecomunicações e Internet. Atualmente, os RFIDs são empregados marginalmente, apesar

de várias empresas terem demonstrado interesse e esboçado planos para uso em massa. Os alvos principais são os inventários e o acompanhamento de estoques na cadeia de distribuição. A próxima geração de RFIDs deverá conter *chips* eletrônicos passivos de baixo custo e com dimensões extremamente reduzidas, para viabilizar diversas aplicações de larga escala. Há desafios no desenvolvimento de *chips* ativos para minimizar o consumo de energia. No final da década prevê-se uma difusão ampla de produtos com leitores RFID embutidos, incluindo PDAs e telefones celulares. Há previsão para a oferta de serviços de informações sobre o conteúdo de leitura das etiquetas. No final da próxima década, o acesso à informação, em muitos casos, será mediado por etiquetas embutidas em muitos produtos e utensílios. Por outro lado, as etiquetas baseadas em software serão embutidas nos serviços e nos bens não materiais.

- **Smartphones - Convergência PDA/ Celular/Notebook (para local & wide-area)**

Abrange tecnologias para plataformas de sistemas de software, com o objetivo de integrar as funcionalidades de terminais de acesso móvel hoje disponíveis no mercado, como o telefone celular, PDA (*Personal Digital Assistant*) e o computador portátil (*notebook*). Os serviços e aplicativos englobam o acesso simultâneo à rede de dados, a navegação na Internet e a telefonia. Os *smartphones*, ou telefones inteligentes, são aparelhos compactos e portáteis, similares ao telefone celular, que integram serviços de telecomunicações móveis, tanto da rede celular móvel quanto das redes locais sem fio WLAN, com os serviços oferecidos aos terminais PDAs. Os *smartphones* disponibilizam o acesso ao usuário via teclado ou voz com segurança à navegação pela Internet. A difusão da tecnologia dos smartphones dependerá dos progressos a serem alcançados na padronização e interoperabilidade dos diversos terminais com as tecnologias disponíveis de acesso sem fio. Há previsão para a maior integração e incorporar outros serviços, como a oferta de serviços multimídia e áudio, a execução de arquivos MP3 e o envio de e-mails *wireless*. No entanto, tal evolução ainda dependerá da evolução e da maior disponibilidade de banda passante nas redes de acesso sem fio.

5.8. Segurança

- **Segurança de rede**

São tecnologias com papel fundamental para o desenvolvimento dos serviços e de redes de

telecomunicações seguras. As características principais incluem a segurança na comunicação através da identificação, autenticação e integridade, para assegurar confidencialidade entre as partes envolvidas. Há desafios quanto à detecção de intrusos ou invasores nas redes em geral. As tecnologias de segurança de rede proporcionarão a difusão dos serviços de comércio eletrônico, transações bancárias e todos os serviços da rede IP. Os mecanismos de controle, acesso e monitoração da rede, fazem parte das tecnologias de segurança de rede. Por exemplo, os *firewalls*, os sistemas de detecção de intrusão IDS (*Intrusion Detection System*) e os sistemas prevenção de intrusão IPS (*Intrusion Prevention System*). Uma nova tecnologia de destaque é o *firewall* distribuído que emprega sistemas IDS e IPS para o bloqueio de um tráfego intruso, quando há tentativa de invasão em determinado segmento da rede. As pesquisas nessa área têm enfatizado a busca de mecanismos de detecção inteligentes, para tratar invasores desconhecidos e correlacionar eventos menores, de maneira a prevenir ataques mais sofisticados.

- **Dispositivos de armazenamento seguro de chaves**

São tecnologias de hardware e software para dispositivos de armazenamento seguro de chaves criptográficas. Os dispositivos armazenadores de chaves criptografadas terão grande impacto na difusão dos serviços da rede IP. Exemplos desses dispositivos são os cartões inteligentes (*smart cards*), os *tokens* e os módulos de segurança HSM (*Hardware Security Module*). Tais dispositivos podem apresentar vários níveis de segurança. Os mais sofisticados contêm tensores contra a violação, e são, portanto considerados à prova de falsificação ou *tamper-proof*. Há também dispositivos com capacidade de processamento, onde a informação das chaves armazenadas nunca é extraída do dispositivo. Estes visam aplicações como a autenticação de usuários e de outros dispositivos, porém ainda apresentam um custo relativamente alto, inibindo portanto, a adoção da tecnologia.

- **PKI – Infra-estrutura de chaves públicas**

A infra-estrutura da tecnologia PKI envolve duas chaves criptográficas, uma pública e outra privada, certificados e assinaturas digitais, além de chaves para protocolos de gerenciamento. A tecnologia provê mecanismos seguros de confiança necessários à difusão dos serviços comerciais oferecidos pela Internet. A informação

criptografada com chave pública somente pode ser acessada por aqueles que detêm a chave privada, assegurando portanto, um ambiente de confidencialidade e integridade aos usuários dos serviços da rede IP. A infra-estrutura de chaves públicas é a base dos serviços de emissão de certificados e de autenticação eletrônica. No Brasil, o Instituto Nacional de Tecnologia da Informação (ITI) é o responsável pela adoção da tecnologia no País. O setor de telecomunicações deverá favorecer a difusão dessa tecnologia, mas atualmente a contribuição ainda é pequena. Há previsões para maior segurança nas comunicações móveis nos próximos anos. A tecnologia PKI deverá aumentar sua importância no decorrer desta década, tendo em vista a maior necessidade dos usuários permanecerem conectados à rede (*always on*). À medida que a informação for sendo armazenada em muitos dispositivos nas residências, o acesso à informação de qualquer lugar será muito maior. Nesse contexto, a vulnerabilidade e a proteção da informação serão muito mais críticos. Os desafios serão maiores em consequência da interconectividade permanente e do número crescente de usuários e máquinas conectadas. As necessidades de segurança se tornarão um fator preponderante para a evolução das arquiteturas de comunicação. No entanto, haverá sempre a ameaça de ruptura com o advento da computação quântica, que tornará sem sentido a tecnologia PKI.

- **Criptografia quântica**

Tecnologia de criptografia baseada nas leis da física quântica, que garante segurança total ao transporte da informação. A segurança dos sistemas atuais de comunicação depende da velocidade de processamento na eletrônica, dos avanços da Ciência da Computação e do advento do Computador Quântico. A velocidade dos circuitos eletrônicos tende a baixar de acordo com as projeções da Lei de Moore, de maneira a tornar as técnicas de criptografia tradicionais mais vulneráveis aos ataques. Atualmente, já existem produtos comerciais disponíveis, baseados na criptografia quântica para comunicações totalmente seguras, utilizando fibras ópticas e fótons polarizados. O transporte seguro da chave criptográfica simétrica é feito o algoritmo *one-time pad*, que simplifica a distribuição das chaves, mas os equipamentos são ainda caros e possuem um limite quanto à distância máxima de transmissão óptica. Há desafios tecnológicos importantes para efetivar a difusão mais ampla dessa tecnologia. Inicialmente a implementação deverá abranger apenas alguns nichos de mercado em telecomunicações, envolvendo principalmente as redes

corporativas. Por outro lado, encontra-se ainda em debate, a possibilidade de empregar tecnologia similar nas comunicações via rádio. Um aspecto notável é a ruptura tecnológica prevista com a materialização do computador quântico, que poderá ocorrer de forma independente da evolução da criptografia quântica.

6. Discussão: desafios em um horizonte de longo prazo

É importante discutir dois pontos para permitir uma melhor apreciação do panorama tecnológico e seus desdobramentos no tempo. O primeiro se refere aos limites da convergência tecnológica entre as telecomunicações, a informática e o audiovisual. O segundo se refere às tecnologias emergentes, ainda em estágio de pesquisa no laboratório, mas que podem ter impacto relevante no setor a longo prazo.

6.1. Limites da convergência

Embora a convergência entre as telecomunicações, a informática e o audiovisual já tenha exemplos, dos quais o mais destacado seja a própria Internet, a completa fusão dessas áreas ou setores compreende vários desafios, tanto tecnológicos quanto institucionais.

Do ponto de vista da tecnologia é oportuna uma reflexão bem interessante sobre alguns limites para a convergência plena entre as duas grandes áreas¹. Telecomunicações e informática evoluíram por meio de estruturas paradigmáticas distintas, fortemente influenciadas pelos modelos de negócio dos atores envolvidos e com visões bem diferentes sobre outros aspectos, tais como arquitetura de rede, localização dos serviços, ciclo de vida dos serviços, requisitos dos recursos e prioridades operacionais.

As telecomunicações tiveram como princípio que a rede provesses serviços de rede de forma centralizada (por exemplo, telefonia, comunicação X.25), até o nível da sessão de cada usuário. Um outro princípio associado era o da rede demonstrar capacidade de prover cada usuário com um mínimo de qualidade de serviço (confiabilidade, banda passante, atraso, etc.). A abordagem tecnológica consagrada foi a comutação de circuitos.

Na informática, por outro lado, o foco era o processamento da informação. As redes de comunicação de computadores tiveram como princípio possibilitar a conectividade entre servidores e servidores e terminais, com foco nas

aplicações. Além disso, como consequência de um mercado não regulamentado e muito competitivo, as redes deveriam lidar com diferentes sub-redes e tecnologias heterogêneas. A abordagem tecnológica dominante foi a comutação de pacotes.

O fato de lidarem com princípios diferentes e com ambientes com paradigmas também diferentes, impõe desafios técnicos de outra ordem para a plena convergência das telecomunicações e informática. O problema aqui não é de tecnologia *per se* (isto é, artefatos – equipamentos, dispositivos, etc.), mas de padronização e acordo sobre protocolos e padrões. Um exemplo é a questão de qualidade de serviço nos protocolos IP, uma funcionalidade “importada” das telecomunicações. Uma vez testados os protocolos, os limites de sua aplicação e as possibilidades de serviço, a sua implementação em escala não é mais exatamente um problema tecnológico.

6.2. Tecnologias emergentes: desafios de longo prazo

É possível descrever grandes tendências para o horizonte além de 2010? Que tecnologias estão emergindo agora e cujo impacto se fará sentir dentro de 10 anos ou mais?

Como já foi dito, a resposta a este tipo de questão deixou de ser meramente uma projeção otimista de evolução das tecnologias atuais (o chamado “*forecasting*”). A Europa, por exemplo, é fortemente influenciada pela abordagem do “*foresight*” (que leva em conta os contextos social, político e econômico). Lá também se procura identificar primeiramente os grandes desafios, temas visionários que demandam significativos esforços de pesquisa e de engenharia. Que envolvem questões tecnológicas relevantes para o crescimento econômico. Mas que acima de tudo, sejam derivados de demandas da sociedade.

Os desafios identificados nos programas de prospecção tecnológica e nas novas chamadas dos programas de pesquisa para a Sociedade da Informação podem ser agrupados em três grandes “famílias”, comentadas a seguir. Note-se que, num cenário de longo prazo, fica mais difusa a distinção entre o que hoje se entende por telecomunicações e por informática, como áreas separadas.

• Componentes

O foco último das aplicações de tecnologias de comunicação e informação é o bem-estar, a saúde, o entretenimento a segurança e a

¹ Para uma discussão mais elaborada a respeito, ver a referência [Engelstadt, 2000].

conveniência de comunicação da população. Este foco exigirá avanços nas funcionalidades que devem ser acrescidas às plataformas tecnológicas baseadas em silício, o principal material para a eletrônica. Outros materiais, entretanto, poderão emergir, implicando a necessidade de se desenvolver suas interfaces com o silício. A nanotecnologia parece ser a tecnologia crítica para atender tais expectativas, capaz de estender a trajetória de contínua miniaturização dos componentes eletrônicos, porém requerendo o desenvolvimento de métodos de fabricação que sejam, ao mesmo tempo, economicamente viáveis e tecnicamente capazes de lidar com a enorme complexidade de sistemas e subsistemas que deverão integrar bilhões de novos dispositivos.

Duas frentes tecnológicas são potencialmente críticas para atender a essa agenda em sua maior parte:

- a) Nova base de hardware, baseada não apenas em fluxo de elétrons e fótons, mas também *spins*, moléculas e íons.
- b) Arquitetura de componentes não só baseada no paradigma tradicional de circuitos elétricos, mas também nos sistemas biológicos, com seus mecanismos moleculares cooperativos, em que o resultado sistêmico é muito mais importante do que o comportamento de um elemento individual.

- **Sistemas complexos**

As redes de comunicação, as grandes bases de dados, os sistemas de software e os sistemas de controle cada vez maiores são sistemas em que a informação é transmitida ou processada. Tais sistemas, ao contrário do passado, são cada vez mais sistemas abertos, que admitem livremente a entrada de novos elementos tornando difícil prever e controlar seu comportamento, tanto para a interação entre seus elementos quanto no conjunto.

Essa família de desafios terá importante impacto nos futuros sistemas de gerenciamento de redes e serviços de telecomunicação, assim como nos futuros sistemas de software de suporte à operação, gestão e decisão organizacional.

Algumas frentes tecnológicas críticas que podem ser enumeradas são:

- a) Modelagem dinâmica adequada de sistemas complexos, mesmo na ausência de informações completas sobre os sistemas.
- b) Fundamentos de engenharia de software (algoritmos, arquiteturas) para lidar com problemas de evolução temporal das

condições de contorno, comportamento dos agentes individuais (pessoas, elementos físicos ou organizacionais), aprendizagem e fenômenos emergentes. Também segurança, confiabilidade, escalabilidade, eficiência de recursos e qualidade de serviço.

- c) Princípios de projeto de sistemas de comunicação e processamento da informação que incluam o ser humano como parte do sistema, e não como externo a ele. Tais princípios devem levar em consideração a mutabilidade dos desejos e necessidades dos usuários como parte dos próprios sistemas complexos.

- **Inteligência e cognição**

A terceira família de desafios está ligada ao papel da tecnologia de inteligência artificial nos sistemas de informação. Seu domínio de aplicação cobre em menor escala as telecomunicações e em maior escala a informática (se esta nomenclatura ainda for válida nos próximos 10 ou 15 anos!) Por trás dessa visão está o uso de modelos biológicos para a construção de sistemas com propriedades de auto-manutenção e auto-regulação (um tema de grande afinidade com aqueles relativos a sistemas complexos, mencionados anteriormente). Das três famílias de desafios, esta é provavelmente a mais difícil, por exigir uma mudança mais radical de conceitos e uma intensa transdisciplinaridade.

7. Conclusão

O presente trabalho descreve como o processo de convergência tecnológica se estabeleceu no setor de telecomunicações, abrangendo as áreas de informática, o audiovisual e a eletrônica de consumo. A comunicação é um componente essencial para a convergência, pois é através dela que se constroem as redes sociais e humanas. Na perspectiva moderna das telecomunicações, o processamento de dados subsidia o objetivo maior que é a construção da Sociedade da Informação baseada no conhecimento.

A incorporação da noção das TICs, permite a compreensão que as redes são efetivamente uma infra-estrutura de suporte para todo um conjunto de serviços, envolvendo a interação entre pessoas, pessoas e máquinas e entre máquinas. A ênfase das tecnologias começa a se deslocar para as interfaces entre o ser humano e os serviços de comunicação e informação. Caberá às tecnologias de processamento e armazenamento da informação, o papel de constituintes básicos das funcionalidades mais nobres e mais adequadas à

interação dos seres humanos com seu ambiente. Esta interação se apóia essencialmente, na conexão dos usuários em rede, logo na comunicação.

O novo paradigma das telecomunicações é agora determinado pelos usuários: “serviços centrados no usuário” ou “serviços para uma sociedade da informação”. A tecnologia deve ser pautada pela própria evolução da sociedade. Este processo requer uma interação intensa entre o desenvolvimento da tecnologia em si, as estruturas organizacionais que precisam ser ajustadas à

prestação dos novos serviços e os próprios usuários que usufruirão diretamente destes serviços.

A mais longo prazo, os desafios antecipam a necessidade de novos paradigmas tecnológicos, seja no nível de componentes, com a exploração prática de outras propriedades da matéria além do transporte de elétrons, seja no nível dos sistemas, com a exploração de arquiteturas radicalmente novas, como por exemplo aquelas inspiradas nos sistemas biológicos.

8. Bibliografia

- [1] ACAMPORA, A. *Laser cobre o Último Quilômetro*. Scientific American Brasil, pp.75-79, agosto de 2002.
- [2] APARICIO, O.L., BROSNAN, G.A., BROWN, J.J.R., GRANATA, S. e SCHAREN-GUIVEL, J.H. *Telecommunications Technology Survey*. The Telecommunications Review, pp.9-32, 2004. Disponível no site <http://www.mitrectek.org>.
- [3] BING, B. e JAYANT, N. *A Cellphone for All Standards*. IEEE Spectrum, pp.34-39, maio 2002.
- [4] BOURREAU, M. e GENSOLLEN, M. *Trends in Information and Communications Technologies*. Communications & Strategies, no.53, pp.53-69, 1º semestre de 2004.
- [5] CM INTERNATIONAL. *Technologies Clés 2005*. Ministère de l'Industrie, França, outubro de 2000. Disponível no site <http://www.cm-intl.com>.
- [6] COOPER, M. *Antenas Inteligentes*. Scientific American Brasil, pp.83-89, agosto 2003.
- [7] CULLER, D.E. e HONG, W., Eds. *Wireless Sensors Networks*. Communications of the ACM, vol.47, No.6, pp.30-33, junho de 2004.
- [8] DE HOLANDA, G.M., LOURAL, C.A. e MARTINS, R.B. *Método e Inovação no Contexto de Planejamento de Serviços de Telecomunicações*. Anais do XXII Simpósio de Inovação Tecnológica, Salvador, Brasil, novembro de 2002.
- [9] DE MARCA, J.R.B., TAFAZOLLI, R. e UUSITALO, M.A., Eds. *Wireless World Research Forum Visions and Challenges for Future Wireless World*. IEEE Communications Magazine, pp.54-55, setembro de 2004.
- [10] DIGI WORLD 2003. *Digi World Atlas*. Fundação IDATE (Institut de l'Audiovisuel et Télécommunications en Europe), França. (<http://www.idate.org>).
- [11] ENGELSTAD, P. *Scientific structures and research programs in digital communication*. Obtido em: <http://www.unik.no/~paalee/PhD.htm>. Último acesso em 01/ago/2005.
- [12] ELSEYED, K. e LERNER, M., Eds. *Topics in Internet Technology: IP in 2005 – Directions in Wireless and Optical Transport*. IEEE Communications Magazine, p.135, janeiro de 2001.
- [13] FOSTER, I. *The Grid: A New Infrastructure for 21st Century Science*. Physics Today, fevereiro de 2002.
- [14] FRANSMAN, M. *Evolution of the Telecommunications Industry into the Internet Age*. Communications & Strategies, n.43, pp.57-113, 3rd. quarter, 2001.
- [15] FRODIGH, M., JOHANSSON, P. e LARSONN, P. *Wireless Ad Hoc Networking – the Art of Networking without a Network*. Ericsson Review, No.4, pp.248-263, 2000.
- [16] FURTADO, M.T., BORDEAUX-RÊGO, A.C. e LOURAL, C.A. *Tendências Tecnológicas nas Telecomunicações*. Série Estudos Setoriais 4, Setor Telecomunicações, Modelo Senai de Prospecção, CNI-Senai, pp.35-79, 2005.
- [17] GRACIOSA, H.M., BORDEAUX REGO, A.C.G., ZANCO FILHO, R. e LOURAL, C.A. *Adaptação de um Centro de P&D a Mudanças Estruturais no seu Setor de Atuação: o Caso do CPqD*. Anais do XXII Simpósio de Inovação Tecnológica, Salvador, Brasil, novembro de 2002.
- [18] GROVER, V. e SAEED, K. *The Telecommunication Industry Revisited – The Changing Pattern of Patterns*. Communications of the ACM, Vol.46, No.7, pp.119-125, julho de 2003.
- [19] IEEE SPECTRUM. *What's Wrong – What's Next, Special Report: 2003 Technology Forecast & Review*. Vol.40, No.1, janeiro de 2003.
- [20] JAJSZCZYK, A., Ed. *Telecommunications Networking at the Start of the 21st Century*. IEEE Communications Magazine, p.53, janeiro de 2001.
- [21] LATCHMAN, H.A. e YONGE, L.W., Eds. *Power Line Local Area Networking*. IEEE Communications Magazine, pp.32-33, abril de 2003.

- [22] LEEPER, D.G. *Promessas da Comunicação de Dados Sem Fio*. Scientific American Brasil, pp.73-75, junho de 2002.
- [23] LOURAL, C.A., ZANCO FILHO, R., BORDEAUX REGO, A.C.G. e OLIVEIRA, R.C. *Brazilian Telecom Industrial and Technological Development in Past Decades*. 15th Biennial Conference on Connecting Societies and Markets: Communication Technology, Policy and Impacts, Berlim, Alemanha, setembro de 2004.
- [24] LOURAL, C.A., DE HOLANDA, G.M., MENEZES, E. e OGUSHI, C.M. *A Service-Oriented Approach for Modelling Telecoms Value-Networks*. 15th Biennial Conference on Connecting Societies and Markets: Communication Technology, Policy and Impacts, Berlim, Alemanha, setembro de 2004.
- [25] MARPLES, D. e MOYER, S., Eds. *In-home Networking*. IEEE Communications Magazine, p.72, abril de 2003.
- [26] OSSO, R., Ed. *Handbook of Emerging Communications Technologies – The Next Decade*. Advanced and Emerging Communications Technology Series, Ed. Zamir, S., CRC Press, 2000.
- [27] NASCIMENTO, M.B. e TAVARES, A.C. *Tecnologia de Acesso em Telecomunicações*. São Paulo, Berkley, 2002.
- [28] SARACCO, R., BIANCHI, A., MURA, R.D. e SPINELLI, G., Eds. *WP2 Key European Trajectories: D2.1 First Report on Key European Trajectories*. IST-2001-37627, Fistera, 30/09/2003. Disponível no site <http://fistera.jrc.es>.
- [29] SARACCO, R. *Forecasting the Future of Information Technology: How to Make Research Investment More Cost-Effective?* IEEE Communications Magazine, pp.38-45, dezembro de 2003.
- [30] SARACCO, R. *Leveraging Technology and the Market to Bring Telecommunications Business into the Next Decade*. IEEE Communications Magazine, Global Communications Newsletter, pp. 1-4, fevereiro de 2005.
- [31] SOUZA, P., Ed. *Interoperability of Networks for Interoperable Services*. IEEE Communications Magazine, p.102, maio de 1999.
- [32] STROH, S. *Ultra-Wideband: Multimedia Unplugged*. IEEE Spectrum, pp.23-27, setembro de 2003.
- [33] WALDMAN, H e YACoub, M.D. *Telecomunicações: Princípios e Tendências*. Érica, 1997.
- [34] WANT, R. *RFID: Uma Chave para Automatizar Tudo*. Scientific American Brasil, pp.80-89, abril de 2004.
- [35] WU, J. e STOJMENOVIC, I. Eds. *Ad Hoc Networks*. IEEE Computer, pp.29-31, fevereiro de 2004.

Abstract

The economic sector of the Information and Communication Technologies (ICTs) has shown a steady growth in recent years, of approximately 5% per year, after a decline of almost 50% in the turn of the millennium. The consequence of new services offerings by the telecommunications operators had impacts on several sectors of the economy, such as management of telecommunications services. Companies holding fixed and mobile networks infrastructure may take advantage of new market opportunities, offering differentiated multimedia services by means of a broadband access. In this way, generation and multiplication of innovative companies in ICTs can represent an important contribution to leverage economy growth and country development. The present work assesses some consequences of the technological convergence in telecommunications. The Fransman's layers model represents the sector's value chain after the transformations caused by the Internet services and applications, based on the IP protocol. These are superimposed on top of the telecommunications network infrastructure and associated equipment. A prospective vision of emergent technologies that are expected to influence telecommunications evolutions in the near future is also presented as public administration and services, electric energy distribution, transportation and the scientific research. This new scenario promoted technological innovations through new business-oriented models for provisioning

Key words: Telecommunications. Prospective studies. Technological forecast.