

# Bluetooth e Multimídia

Ricardo Augusto Rabelo Oliveira

*rabelo@dcc.ufmg.br*

**Resumo.** Criado por um consórcio das maiores empresas de telecomunicações e computação do mundo, o *Bluetooth* foi inicialmente projetado como uma alternativa para a substituição dos cabos associados a dispositivos periféricos. Neste artigo é apresentado o seu esquema de funcionamento e a maneira que ele é adaptado ao tráfego multimídia.

**Palavras chave:** Bluetooth, multimídia.

## 1. Introdução

O uso da comunicação sem fio na computação introduziu diversos desafios com relação ao desenvolvimento de aplicações voltadas para essa área. Este novo paradigma proporciona aos usuários uma grande mobilidade, onde estes têm acesso a diversos serviços, independente de sua localização ou mobilidade. Como a interoperabilidade entre estes diversos dispositivos móveis é um ponto importante para a comunicação, surgiram diversos padrões com o objetivo de permitir tal funcionalidade. Das diversas propostas de tecnologias de comunicação sem fio, o *Bluetooth*[1] tem recebido uma maior atenção.

Criado em 1998, por um consórcio das maiores empresas de telecomunicações e computação do mundo, o *Bluetooth* é uma proposta de tecnologia de baixo custo para conectividade sem fio. Inicialmente projetado como uma solução para substituição dos fios usados na comunicação de periféricos por comunicação via rádio, ele abrange a conexão entre dispositivos de um modo geral, com o objetivo de fornecer generalização na formação destas conexões, formando redes ad hoc.

Um dos cenários abordados neste artigo é a utilização do Bluetooth em ambientes multimídia, sendo esse seu principal atrativo comercial. Uma aplicação clássica de Multimídia consiste em transmissão de vídeo e som entre um servidor e uma aplicação cliente. Estas aplicações possuem certas peculiaridades que as diferenciam da maioria das aplicações, dentre as principais estão:

- grande volume de dados

- dependência temporal
- sincronização entre dispositivos

Mas estas características são difíceis de serem alcançadas num ambiente de computação móvel, onde existem algumas restrições como um alto índice de perda de pacotes, baixa banda passante, alta latência de acesso aos dados, dispositivos com pouca capacidade de processamento, armazenamento e energia. Enquanto a Multimídia é caracterizada pelo alto volume de dados e uso de recursos computacionais, o ambiente sem fio possui uma baixa capacidade de comunicação de dados; entre outras carências de recursos computacionais, como processamento e memória.

## 2. Protocolos de Camada de Enlace

O *Bluetooth* é um protocolo de comunicação da camada de enlace. No modelo OSI da ISSO, ele se encontra no nível 2, onde são feitos os controles de acesso ao meio físico. O funcionamento de protocolos da camada de acesso ao meio em redes sem fio deve considerar alguns fatores que as diferenciam das redes fixas. Abaixo segue uma breve descrição destes:

- *Operação em Half-duplex*: quando um nodo transmite os dados, uma grande fração da energia do sinal interfere com o sistema de recepção, efeito denominada auto-interferência. Isto ocorre porque os níveis de energia para transmissão e recepção diferem em diversas ordens de magnitude. A transmissão do sinal é tipicamente muito maior do que o sinal recebido, impossibilitando efetuar a recepção do sinal no momento da transmissão. Dessa forma fica impossível a aplicação do Full Duplex, caso a frequência de recepção e envio seja a mesma;
- *Canal variante no tempo*: os sinais de rádio propagam de acordo com três mecanismos: reflexão, difração e dispersão. O sinal recebido pelo nodo é a superposição de diferentes e atenuado do mesmo sinal transmitido. Como resultado, a potência do sinal recebido varia como função do tempo. Este fenômeno é chamado de propagação *multipath*. Para verificar o canal normalmente é usada uma técnica de *handshaking* que verifica a qualidade do link. Quando dois nodos querem comunicar entre si, eles trocam pequenas

mensagens para testar o canal, e em caso de sucesso, o processo normal de comunicação ocorre;

- *Erros de rajada*: Como consequência da variação do canal no tempo e da variação da energia do sinal, os erros surgem em rajadas devido ao distanciamento dos nodos, uma vez que a qualidade do canal entre eles decai. A perda de pacotes devido a rajadas de erros pode ser minimizada através do uso das seguintes técnicas:

- *Pacotes pequenos*
- *Códigos FEC para correção de erros*
- *Métodos de retransmissão*

Este último método é o mais usado, através de pacotes de *acknowledgments* usados para detectar os erros;

- *Deteção do canal*: A sensibilidade do canal de transmissão é uma função da posição do nodo em relação ao transmissor. Essa característica acarreta as seguintes dificuldades no momento da transmissão:
- *Nodos escondidos*: É um nodo que se encontra mais próximo do nodo de destino, mas fora do alcance do nodo de origem. Dessa forma esse terceiro elemento não percebe a transmissão que está ocorrendo e começa a transmitir, interferindo no processo;
- *Nodos expostos*: Neste caso o nodo se encontra próximo do nodo transmissor, mas fora do alcance do destino. Assim o terceiro elemento detecta o início da transmissão, mas não efetua a sua transmissão, apesar de não atrapalhar na recepção do primeiro. Dessa forma a banda fica subutilizada;
- *Captura*: A captura ocorre quando um receptor recebe claramente a transmissão simultânea de dois nodos, e a captura do sinal ocorre no que possuir maior potencia. Os protocolos de camada MAC devem ser ajustados para controlar essa percepção do sinal.

## 2.1 Tipos de protocolos MAC

Os protocolos da camada MAC para redes sem fio foram desenvolvidos visando diferentes tipos de aplicações e dispositivos. Desta forma, cada protocolo possui características próprias que levam em consideração diversos fatores das redes sem fio de maneira diferenciada. Uma primeira caracterização destes protocolos é descrita a seguir:

- *Acesso aleatório*: neste caso os nodos fazem a contenção na hora de efetuar o acesso ao meio. Quando apenas um nodo tenta efetuar a transmissão, ela ocorre com sucesso. Mas no momento que mais de um tenta acessar o meio, ocorre uma colisão e os protocolos de acesso aleatório tentam resolver este caso com um conjunto de regras de utilização ordenada do meio;
- *Acesso garantido*: neste caso os nodos acessam o meio de maneira ordenada, usualmente em *round robin*. Existem duas maneiras de efetuar essa transmissão. A primeira é através da configuração mestre-escravo, onde o mestre nomeia os nodos que irão transmitir, e esses retornam os dados necessários. A outra maneira é através de *tokens*, onde somente a estação que possui o *token* transmite;
- *Acesso híbrido*: neste caso é feita uma mistura das duas técnicas. Um nodo efetua um processo de requisição para transmissão de dados. Este processo é feito de maneira aleatória. Em seguida, o outro analisa as capacidades necessárias vindas na requisição, retornando uma confirmação para iniciar a transmissão de dados. Neste momento, todos os recursos necessários para essa transmissão já foram reservados pelo transmissor, sendo liberados de acordo com padrões pré-determinados de Qualidade de Serviço ou mesmo de maneira aleatória.

O *Bluetooth* pode ser classificado de duas maneiras: durante o processo de conexão efetua o acesso aleatório, e quando esta é estabelecida efetua o acesso garantido, usando a política de mestre e escravo. Para avaliar o perfil de funcionamento de um protocolo de enlace de acordo com seu objetivo é necessário estabelecer algumas métricas. No caso do suporte a tráfego multimídia, é necessário levar em conta:

- *Atraso*: O atraso é definido como o tempo médio dispendido por um pacote na fila da camada MAC, a partir do momento entra nela até a transmissão completa. O suporte ao tráfego multimídia em tempo real deve minimizar este atraso;
- *Throughput*: Usado para medir a fração do canal usada para transmissão de dados. O objetivo do protocolo da camada MAC é maximizar a taxa de transferência enquanto minimiza o atraso do acesso, produzindo um valor de *throughput* aceitável para as aplicações. Se o tamanho médio de uma mensagem é de  $P$  bits, o tempo de transmissão de cada pacote é  $T$  segundos e  $C$  b/s é a capacidade do canal, o *throughput* é dado por  $P/TC$ ;

- *Fairness*: O protocolo MAC deve apresentar condições de preferência de escolha de canal no momento que mais de um nodo decide transmitir sobre o canal, caso contrário ocorre o mau uso da banda passante. No caso do tráfego multimídia é suportado, ele deve apresentar uma política diferenciada de acesso;
- *Estabilidade*: Devido ao *overhead* no protocolo, o sistema deve ser habilitado para controlar cargas menores que a capacidade de transmissão do canal, minimizando o desperdício de banda passante;
- *Robustez*: O meio de comunicação sem fio é muito tendencioso a erros, e o sinal de transmissão é muito variante, de forma que um protocolo da camada MAC deve ter políticas de tratamento destes comportamentos instáveis;
- *Consumo de energia*: Como a maioria dos dispositivos sem fio possui uma bateria limitada, estes protocolos têm o suporte a diferentes métodos de economia de energia, sendo que eles podem influenciar nas características do tráfego gerado;

Assim, para o suporte a multimídia são criados mecanismos que tratam os pacotes de várias aplicações, a partir de restrições associadas ao atraso de transmissão. Duas políticas comuns nestes casos são as prioridades de acesso e o escalonamento. As prioridades de acesso provêem um serviço diferenciado permitindo que certos nodos tenham acesso aos serviços de rede com maior probabilidade do que outros. O escalonamento efetua o controle do acesso ao meio de maneira ordenada, alocando os recursos preferencialmente para os pacotes multimídia.

### **3. Bluetooth**

O termo *Bluetooth* se refere a uma tecnologia que permite a comunicação de voz e dados através de um enlace de rádio de baixo alcance. Esta tecnologia foi, inicialmente, desenvolvida para a substituição dos cabos associados a dispositivos periféricos.

A especificação do *Bluetooth* [2] define um sistema completo a partir da camada de enlace até a camada de aplicação, sendo a pilha de protocolos geralmente implementada parcialmente em hardware e software. O seu núcleo é formado pela *Baseband*, o *Link Manager Protocol* (LMP), o *Logical Link Control and Adaptation Protocol* (L2CAP) e o *Service Discovery Protocol* (SDP). A *Baseband* e o *Link Controller* controlam o enlace de rádio-frequência (RF) entre as unidades *Bluetooth*, permitindo a formação de mini-redes de comunicação conhecidas como *piconets*. O

*Link Manager Protocol* (LMP) é responsável pela configuração do enlace estabelecido entre os dispositivos *Bluetooth* como os modos de economia de energia e os estados operacionais dos dispositivos dentro de uma mini-rede. O *Logical Link Control and Adaptation Protocol* (L2CAP) é responsável pela adaptação dos dados provenientes das camadas superiores da pilha de protocolos de forma que possam ser manipulados pelas camadas inferiores. A Figura 1 mostra como essas camadas estão relacionadas.

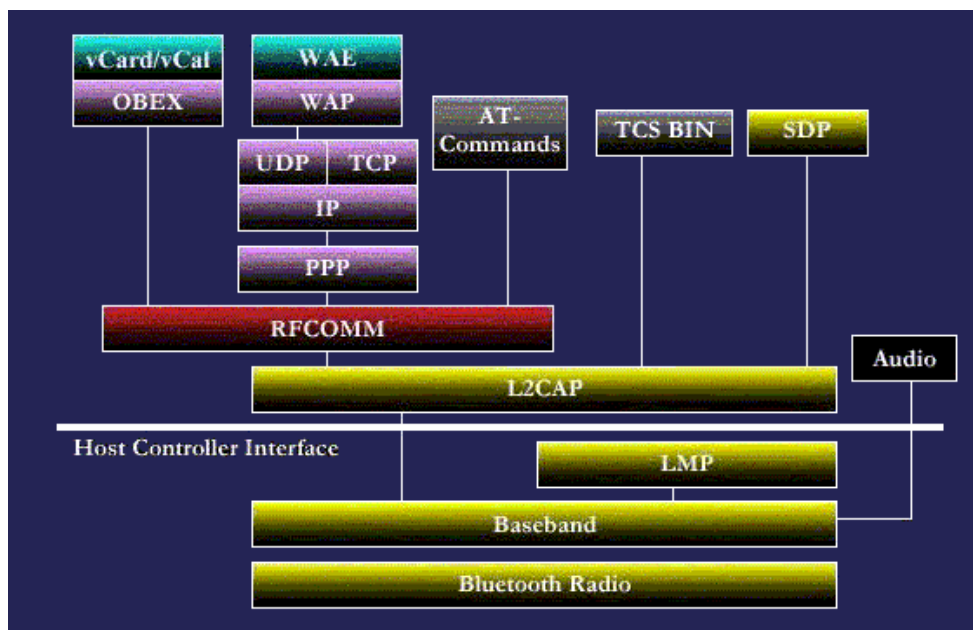


Figura 1- A Pilha de Protocolos do Bluetooth

A estrutura básica de comunicação no *Bluetooth* é chamada de *piconet*, e pode ser descrita como uma rede onde um nodo central, denominado mestre, se comunica ativamente com os outros nodos, chamados de escravos, formando uma topologia em estrela. Segundo a especificação, podemos ter no máximo oito elementos ativos dentro de uma *piconet*, incluindo o mestre. Os dispositivos *Bluetooth* operam na faixa de frequência de 2.4 GHz. Esta banda é reservada para uso geral em aplicações industriais, científicas e médicas, e por essa razão recebeu o nome de ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Como esta faixa é utilizada por muitos tipos de aplicações é comum ocorrerem interferências durante as transmissões. Para evitar estas interferências é utilizada uma técnica de salto de frequência (*Frequency Hopping* - FH). No *Bluetooth*, a taxa de saltos de frequência é de 1600 hops/seg no modo conectado e 3200 hops/seg no modo de procura /sincronização. Este esquema completo é chamado de *Frequency Hopping Code Division Multiple Access*, FHCDMA. Nos sistemas *Bluetooth*, a banda ISM é dividida em 73 “canais de salto”. Cada um desses canais é usado por 625 µs (um slot), ocorrendo posteriormente um salto para outro canal que é escolhido pseudo-

aleatoriamente. Neste novo canal, a transmissão se dará por outros 625  $\mu$ s, ocorrendo novamente um salto para outra frequência, processo este que se repete até que a transmissão seja encerrada. Esta técnica é conhecida como *time-division duplex*, TDD. Desta forma, a técnica de saltos de frequência espalha o tráfego *Bluetooth* sobre toda a banda disponível, proporcionando ao sistema uma boa proteção contra interferências.

### 3.1 Tipos de Enlace

Dois tipos de enlace foram definidos pela especificação *Bluetooth*: assíncrono sem conexão *Asynchronous Connectionless* (ACL) e síncrono orientado à conexão *Synchronous Connection Oriented* (SCO). Diferentes pares de mestre-escravos na mesma *piconet* podem utilizar diferentes tipos de enlace, sendo que o tipo de enlace adotado pode ser alterado durante uma sessão.

Os enlaces ACL foram definidos para transmissão de dados em rajadas como, por exemplo, tráfego de pacotes. Eles suportam conexões simétricas e assimétricas, comutadas por pacotes e ponto-a-multiponto, sendo possível o envio de mensagens de *broadcast*. Pacotes *multi-slot* utilizam o enlace do tipo ACL e podem alcançar uma taxa de transmissão de 723.2 kbit/s em uma direção e 57,6 kbit/s na direção oposta se nenhuma correção de erro for utilizada.

Apenas um único enlace ACL pode existir entre dois dispositivos durante uma transmissão, embora um mestre possa ter inúmeros enlaces ACL não ativos com diferentes escravos. Sendo assim, o mestre nem sempre transmite informações aos escravos de uma maneira regular. A escolha de qual escravo receberá ou enviará a informação é de responsabilidade do mestre. Um escravo só tem o direito de enviar um pacote ACL após receber previamente um pacote do mestre endereçado a ele. Além disso, a unidade mestre controla a largura de banda do enlace ACL, assim como a simetria do tráfego, e decide quanto da largura de banda total cada escravo da *piconet* poderá utilizar.

Os enlaces SCO suportam conexões simétricas, comutadas por circuito e ponto-a-ponto sendo, portanto, utilizadas tipicamente para o tráfego de voz. Eles provêm uma largura de banda reservada para o canal de transmissão e troca de dados com periodicidade regular sob a forma de *slots* reservados.

Um mestre pode suportar até três enlaces SCO para um mesmo escravo ou para escravos diferentes, enquanto um escravo pode suportar até três enlaces SCO para um

mesmo mestre. Um mestre transmite pacotes SCO a um escravo em intervalos regulares, normalmente referenciado como o “intervalo SCO” e é contado em *slots*.

### 3.2 Gerenciamento de energia

Desenvolvida com o foco em economia de energia, a especificação do *Bluetooth* define três tipos diferentes de classes de radio, com valores variando de 1mW a 100mW. A título de comparação a potência típica de um outro padrão o IEEE802.11b que é em torno de 1000mW.

Outra característica importante do *Bluetooth*, é que a conexão entre o mestre e um escravo possui diversos modos de funcionamento que possibilitam o gerenciamento de energia. No modo *active* ocorre a comunicação direta, no modo *sniff*, o escravo desliga e periodicamente volta a escutar o *slot* de transmissão por alguma requisição do mestre, no *hold* o nodo escravo para de comunicar com o mestre por um tempo pré-determinado, voltando à comunicação após o fim deste e no modo *parked*, o nodo escravo abdica de seu endereço de comunicação ativa com o mestre, assumindo um endereço de *parked* e se desliga da *piconet*, mas periodicamente pode voltar a comunicar, sem precisar passar pelos procedimentos de *inquiry* e *paging*.

### 3.3 Scatternets

Um dos tipos de conexões previstos no *Bluetooth* é a conexão *inter-piconet*, denominada *scatternet*. A *scatternet* pode prover uma conectividade entre os dispositivos sobre distâncias ainda maiores que o alcance dos rádios. Os cenários e aplicações de uso do *Bluetooth* influenciam na formação das *scatternets*, pois elas configuram a utilização dos componentes inclusos na rede.

Como o *Bluetooth* mescla o TDD com o FHCDMA, a comunicação *inter-piconet* trás diversas peculiaridades como a necessidade de sincronização e descobrimento entre as *piconets* vizinhas. A comunicação *inter-piconets* é feita utilizando os modos de economia de energia, onde os elementos que pertencem a mais de uma *piconet* negociam os intervalos de conexão ativa entre as *piconets*. A formação das *scatternet* pode ser caracterizada de duas formas: como um evento controlado, onde uma aplicação, utilizando funcionalidades de diversas *piconets* conhecidas, cria uma *scatternet* para acessá-las, ou de maneira ad hoc, onde algum tipo de serviço é requerido e não se encontra em nenhuma *piconet* conhecida. O último caso requer duas funcionalidades: o roteação, onde os nodos possuem a capacidade de encaminhamento



de pacotes entre diferentes *piconets* e a descoberta de serviços, onde é necessário verificar as capacidades e funcionalidades dos nodos comunicáveis entre as diferentes *piconets*. Um dos pontos principais da formação das *scatternets* são as topologias, uma vez que os dispositivos passam por procedimentos de descoberta e formação de links ponto-a-ponto de maneira explícita.

Em paralelo ao *Bluetooth*, o grupo de estudos do IEEE, o 802.15, estuda a criação de uma padronização para as *Wireless Personal Area Networks*, WPANs. Alguns cenários estão sendo avaliados, como a interoperação com o padrão 802.11, redes de grande capacidade de transmissão para tráfego multimídia e redes de baixa capacidade energética, como as redes de sensores.

### 3.4 Profiles

Os chamados *Profiles* do Bluetooth definem o funcionamento de toda a pilha do protocolo de acordo com o dispositivo e a aplicação envolvida. Neste ponto são configurados e estabelecidos todos os perfis de funcionamento. No caso do tráfego multimídia, essas configurações definem o uso dos pacotes e o tipo de enlace adequado para a aplicação. No caso de voz, um canal SCO é configurado, e o som é amostrado e capturado dentro dos *slots* dedicados do SCO. No caso de transmissão de imagens, um canal ACL, com múltiplos *slots* é utilizado.

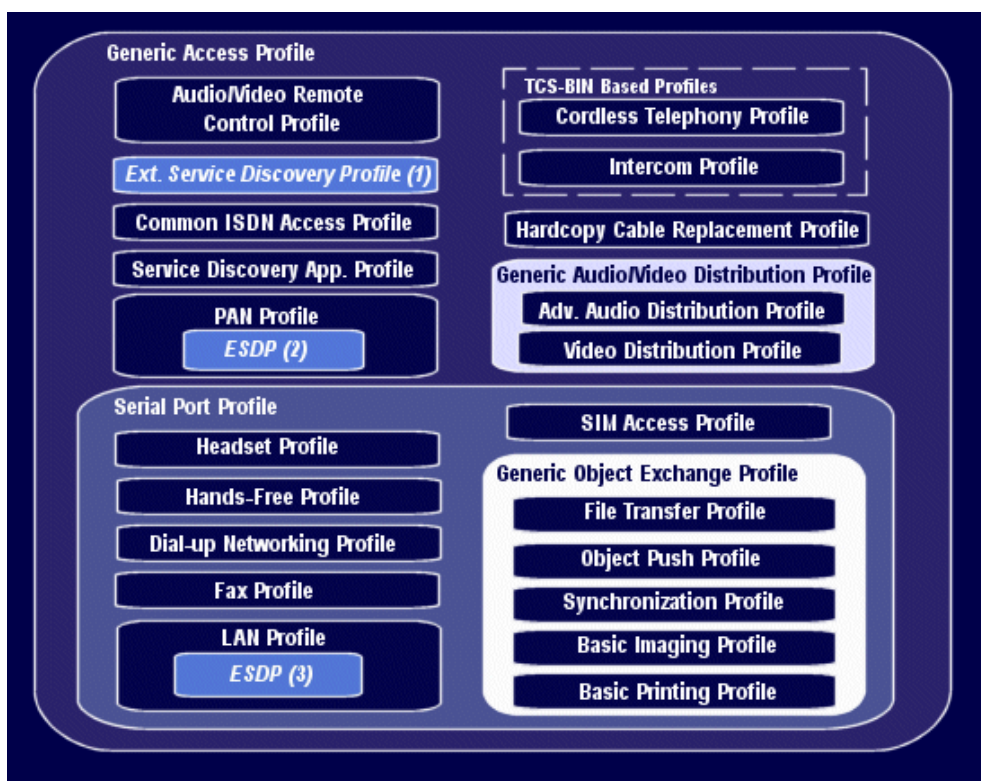


Figura 2. O esquema de *Profiles* do *Bluetooth*.

## 4 Multimídia

Atualmente existem projetos que comprovaram, tanto tecnologicamente como comercialmente, a viabilidade do uso de multimídia em meios de comunicação sem fio. Um projeto de grande repercussão é o FOMA (*Freedom Of Mobile multimedia Access* [11]). Neste serviço da NTT, uma operadora de telefonia celular japonesa, os usuários podem fazer vídeo-chamadas, ou seja, pode-se ver a pessoa com quem se está falando em tempo real.

Outro esforço importante nesta área é a convergência dos padrões de transmissão multimídia em ambientes móveis sobre a especificação do Multimedia Messaging Service (MMS, vide [12] e [13]). O MMS consiste em uma especificação de como podem ser trocados mensagens com conteúdo de vídeo e voz entre telefones celulares e dispositivos móveis em geral. Baseada em XML e construída para ser implementada sobre o WAP 1.2, a MMS permite exibição de imagens em formato JPEG, WBMP, GIF87a e GIF89 que podem ser mostradas em múltiplos quadros e sincronizadas com texto e voz. O MMS se aplica apenas a comunicação assíncrona, em tempo não real. Os usuários recebem a mensagem por partes e podem acessá-la apenas quando todas as partes foram recebidas.

Como citado na sessão anterior, o Bluetooth fornece um suporte a serviços multimídia de maneira mais eficiente, de acordo com a descrição dos perfis. Alguns produtos utilizam o Bluetooth para acesso a diferentes mídias, como por exemplo, o acesso à Internet, através da conexão GPRS do celular, disponível através das operadoras que utilizam redes GSM. Atualmente já existem alguns modelos de aparelhos no mercado equipados com o Bluetooth como o Sony Ericsson T68i e o Nokia 7650.

Outro tipo de aplicação multimídia que utiliza o Bluetooth, é o novo celular da Nokia, o N-Gage, dispositivo que combina console para jogos e telefone, e permite jogos entre vários usuários conectados em rede local (via interface Bluetooth) ou remota (por meio da rede celular). Vendidos em cartões, os jogos têm gráficos, som e cenários de alta qualidade. Para oferecer ainda mais diversão, o N-Gage vem com gravador MP3 e rádio FM estéreo. Opera em redes GSM 900/1800/1900 MHz.



Figura 3. Imagens Promocionais do Celular N-Gage ([www.n-gage.com](http://www.n-gage.com))



Figura 4. Fone de ouvido do N-Gage, com conexão Bluetooth

Os trabalhos para a versão 2.0 da especificação *Bluetooth* estão focados na definição de mais *profiles* de substituição de fios, como para câmeras fotográficas digitais, impressão, sistemas automotivos (em vez de fios interligando os sensores de gasolina e temperatura do motor ao painel, teremos conexões *Bluetooth*) e vídeo em tempo real. Também estão sendo feitos estudos para a definição de taxas de

transferência e raios de alcance maiores que ainda assim exijam pouca potência da bateria.

## 5. Bibliografia

- [1] Jennifer Bray and Charles Sturman. *Bluetooth Connect Without Cables*. PrenticeHall, 1 edição, 1999.
- [2] *Bluetooth* Forum. <http://www.Bluetooth.com>.
- [3] IEEE 802.15, Wireless Personal Area Network, <HTTP://WWW.IEEE802.ORG/15/>, Agosto, 2002
- [4] Oliveira, R. A. R., Loureiro, A. A., Caracterização de Topologias Dinâmicas no *Bluetooth*, III Workshop de Comunicação Sem Fio, Recife, 1999.
- [5] Oliveira, R. A. R., Loureiro, A. A., Metodologia de Verificação Formal de um Protocolo de Comunicação sem fio: *Bluetooth*, submetido *Proceedings of SBRC 2003, Maio*.
- [6] Couto, R.P., Oliveira, R.A. R., Loureiro, A. A., "Compressão Adaptativa de Arquivos HTML em Ambientes de Comunicação Sem Fio", aceito *Proceedings of SBRC 2003, Maio*.
- [7] Baatz, Simon, Matthias Frank, Carmen Köhler, Peter Martini, Christoph Scholz, *Bluetooth Scatternets: An Enhanced Adaptive Scheduling Scheme*, *Proceedings of IEEE Infocom 2002, Junho*
- [8] Law, Ching, Amar K Mehtam Kai-Yeung Siu. A New *Bluetooth* Scatternet Formation Protocol. In *Proceedings of the ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing 2001*, Long Beach, California, USA, October 2001.
- [9] Projeto Smart-Its, [www.inf.ethz.ch/vs/res/proj/smartits.html](http://www.inf.ethz.ch/vs/res/proj/smartits.html)
- [10] Priess, W. R.F.José, Pirmez, L. Carmo, L.F.R.C, Um Mecanismo de Escalonamento Parametrizável para Scatternets *Bluetooth*, *Proceedings of SBRC 2003, Maio*
- [11] Freedom Of Mobile multimedia Access (FOMA). Serviço de dados multimídia da operadora japonesa NTT DoCoMo.  
<http://forma.xttdocomo.com.jp/english/service/index.html>
- [12] Projeto Dinamic TAO. <http://choices.cs.uiuc.edu/2k/dynamicTAO>
- [13] Nokia N\_Gage. <http://www.n-gage.com>