



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Informática



Trabalho de Graduação em Engenharia da Computação

# **Comunicação *NFC* (*Near Field Communication*) entre Dispositivos Ativos**

**Autor: Onildo Luciano de Souza Ferraz Filho**

**Orientador: Sérgio Vanderlei Cavalcante**

Recife, dezembro de 2010

Trabalho de Graduação intitulado “Comunicação *NFC (Near Field Communication)* entre Dispositivos Ativos”, defendido por Onildo Luciano de Souza Ferraz Filho e aprovado a 20 de dezembro de 2010, em Recife, Pernambuco, pela banca examinadora constituída pelos professores:

---

**Sérgio Vanderlei Cavalcante**  
**Centro de Informática – UFPE**  
**Orientador**

---

**André Santos**  
**Centro de Informática – UFPE**  
**Avaliador**

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao meu pai e à minha mãe, por terem investido com tanto carinho em minha formação, sem medir esforços. Ao meu irmão Rodolfo, por me servir como exemplo de empenho, perseverança e criatividade. À minha namorada Janete, pela paciência durante tantos fins-de-semana enfiado em livros, pelo suporte emocional nas horas mais difíceis do curso, e por aquele empurrãozinho extra tão importante na reta final de cada maratona “interminável” de estudos. A meus grandes amigos Lucas, Romero, e Rui, pelo companheirismo e incentivo. A todos os que estudaram comigo, em especial àqueles que ajudaram a tornar o curso muito mais divertido e enriquecedor: Drow, Nelson, Monstro, Jamaj, Davi, Emanuel, Rosana, Lessa, Diogo, Cleunio, Renan, Eric, Daniel, Gabriel, Igor e Luis! Ao meu orientador Sérgio, pela confiança depositada, e por me apresentar ao ramo mais emocionante da profissão, antes que o curso acabasse. Enfim, dedico a realização desse sonho à minha família e a todos os que torceram ou contribuíram de alguma forma para que eu chegasse até aqui.

“Procure a liberdade, e torne-se escravo de seus desejos.  
Procure a disciplina, e encontre sua liberdade.”

*Frank Herbert*

## Resumo

Na comunicação com fio, há cenários em que a frequência de conexão e desconexão é alta, o que gera um desgaste mecânico na interface de contato, além de uma série de outros problemas não funcionais. Este trabalho faz um estudo detalhado sobre tecnologias de comunicação sem fio que se apresentam para o propósito de substituir tais interfaces entre os dispositivos ativos, especialmente a *Near Field Communication (NFC)*.

# Sumário

1. Introdução .....	12
2. O Estado da Arte .....	14
2.1 O Sistema de Comunicação Sem Fio Ideal .....	14
2.2 Representatividade dos parâmetros .....	14
2.2.1 Alta vazão de dados .....	14
2.2.2 Imunidade à interferência .....	15
2.2.3 Boa convivência com outras tecnologias .....	15
2.2.4 Uso mundial sem restrições .....	16
2.2.5 Facilidade de uso .....	16
2.2.6 Aproveitamento da infraestrutura presente .....	16
2.2.7 Projeto simples .....	16
2.2.8 Tamanho e peso reduzidos .....	16
2.2.9 Baixo consumo energético .....	17
2.2.10 Baixo custo .....	17
2.2.11 Segurança dos dados transmitidos .....	17
2.2.12 Segurança para a saúde do usuário .....	17
2.2.13 Comprometimento entre os parâmetros .....	18
2.3 Padrão <i>IrDA</i> .....	18
2.3.1 O que é <i>IrDA</i> .....	18
2.3.2 Histórico .....	18
2.3.3 A Tecnologia .....	19
2.3.4 Aplicações e Futuro .....	27
2.4 <i>Bluetooth</i> .....	27
2.4.1 O que é <i>Bluetooth</i> .....	27
2.4.2 Histórico .....	27
2.4.3 A Tecnologia .....	28
2.4.4 Versões .....	36
2.4.5 Aplicações .....	37
2.5 <i>Ultra-Wide Band (UWB)</i> .....	38
2.5.1 O que é <i>UWB</i> .....	38
2.5.2 Histórico .....	38
2.5.3 A Tecnologia .....	41
2.5.4 Aplicações .....	47

2.6 <i>Wireless USB</i> .....	49
2.6.1 O que é <i>Wireless USB</i> .....	49
2.6.2 História .....	49
2.6.3 A Tecnologia.....	50
2.6.4 Aplicações.....	51
2.7 Comparativo.....	53
3. <i>Near Field Communication</i> .....	56
3.1 O que é <i>NFC</i> .....	56
3.2 Modos de operação .....	57
3.2.1 <i>PCD</i> e <i>VCD</i> .....	57
3.3 Comportamento Ativo e Passivo.....	58
3.4 Arquitetura de Camadas .....	58
3.4.1 Subcamada de Controle de Enlace Lógico .....	58
3.4.2 Subcamada de Controle de Acesso ao Meio.....	59
3.4.3 Camada Física .....	66
3.5 Aplicações.....	68
4. Estudo de Caso .....	71
4.1 Ferramentas utilizadas .....	71
4.1.1 <i>Software</i> .....	71
4.1.2 <i>Hardware</i> .....	71
4.2 Aplicação .....	73
4.2.1 Fluxo de funcionamento .....	73
4.2.2 Melhorias propostas .....	77
4.3 Programação do módulo <i>Jogtek TM-001</i> .....	77
4.3.1 Formato de requisição .....	77
4.3.2 <i>Flags</i> .....	77
4.3.3 Requisições.....	79
5. Conclusão .....	81
Apêndice A– <i>International Telecommunication Union</i> .....	83
Apêndice B – <i>Spread Spectrum</i> .....	84
Apêndice C – <i>Amplitude Shift Keying</i> .....	86
Apêndice D – <i>Frequency Shift Keying</i> .....	87
Apêndice E – <i>Phase Shift Keying</i> .....	88
Apêndice F – <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> .....	91

Apêndice G – <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> .....	92
Bibliografia .....	95

# Índice de Figuras

Figura 1 - Um feixe de luz e seu ângulo de abertura.....	20
Figura 2 - Espectro da luz solar (Soultek) .....	21
Figura 3 - Pilha de protocolos dos padrões <i>IrDA</i> (Derf, 2010).....	22
Figura 4 - Estabelecimento de conexão dos protocolos <i>IrDA</i> padrão e <i>IrSimple</i> (Shah, Ara, Kitazumi, & Matsumoto, 2006).....	26
Figura 5 - Perfis de funcionamento para dispositivos <i>Bluetooth</i> (Palo Wireless) .....	28
Figura 6 – Pilha de protocolos do núcleo <i>Bluetooth</i> (McDermott-Wells, 2004).....	29
Figura 7 - Interoperabilidade de <i>Bluetooth</i> com protocolos já existentes (McDermott-Wells, 2004) .....	30
Figura 8 - Faixa de espectro utilizada por <i>Bluetooth</i> (Design & Reuse) .....	32
Figura 9 - Formato padrão de um pacote <i>Bluetooth</i> .....	32
Figura 10 - <i>Scatternet</i> composta por duas <i>piconets</i> . Cada nó corresponde a um dispositivo. Os nós M são os mestres; os nós S, escravos.....	34
Figura 11 - Estados de um dispositivo <i>Bluetooth</i> (McDermott-Wells, 2004).....	35
Figura 12 - Procedimento para descoberta e conexão de dispositivos <i>Bluetooth</i> (Palo Wireless) .....	36
Figura 13 - <i>WiMedia Common Radio Platform</i> (How it Works: UWB, WPAN and WiMedia Radio Space, 2008).....	42
Figura 14 - Bandas de frequência <i>WiMedia</i> (How it Works: UWB, WPAN and WiMedia Radio Space, 2008).....	43
Figura 15 - Estado regulatório mundial para <i>UWB</i> em julho de 2008 (How it Works: UWB, WPAN and WiMedia Radio Space, 2008).....	43
Figura 16 - Estrutura do superquadro da camada <i>MAC</i> da <i>WiMedia</i> (Daneshi & Ruby) .....	44
Figura 17 - Espectro utilizado pelo <i>DS-UWB</i> (Fialho & Florêncio).....	46
Figura 18 - Limitação de emissões <i>indoor</i> para <i>UWB</i> imposta pela <i>FCC Part 15</i> (James, 2002) .	47
Figura 19 - Transmissor e receptor <i>UWB</i> para multimídia de alta definição da Gefen. Usa o grupo 1 do espectro para transmitir vídeo de alta resolução (1080p) e som de 6 canais, comprimidos. (Gefen) .....	48
Figura 20 - Topologia do <i>Certified Wireless USB</i> (DeviceForge.com).....	51
Figura 21 - Belkin F5U302 Certified Wireless USB. Hub e adaptador, à esq.; parte traseira do Hub, à dir. (Amazon.com) .....	51
Figura 22 – Encapsulamento dos padrões <i>NFCIP-2</i> e <i>NFCIP-1</i> . Padrões <i>RFID</i> suportados e modo <i>Peer-to-Peer</i> (NFC Portal).....	57
Figura 23 - Inicialização geral e detecção de dispositivo (ISO/IEC 18092).....	60
Figura 24 - Fluxo de ativação do modo ativo de comunicação (ponto de vista do dispositivo iniciador) (ISO/IEC 18092) .....	61
Figura 25 - Fluxo de ativação do modo passivo de comunicação (ponto de vista do dispositivo iniciador) (ISO/IEC 18092) .....	63
Figura 26 - Formato do bloco do protocolo de troca de dados do <i>NFC-IP-1</i> (ISO/IEC 18092)....	65
Figura 27 - Transferência de dados entre duas bobinas magneticamente acopladas (Rinner, Witschnig, & Merlin, 2008) .....	66
Figura 28 - Módulo <i>RFID Jogtek TM-001</i> .....	71
Figura 29 - Cartões <i>RFID</i> compatíveis com padrão <i>ISO 15693</i> .....	72

Figura 30 – Aplicação: abrindo porta e inicializando o módulo <i>RFID</i> .....	74
Figura 31 - Aplicação: escolha de linha e de horário.....	75
Figura 32 - Aplicação: escolha de poltrona. ....	75
Figura 33 - Aplicação: tela de confirmação de passagem comprada.....	76
Figura 34 - Exemplo de <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> aplicada. O sinal original e o pseudo-ruído são usados para obter o sinal espalhado (Globalspec) .....	85
Figura 35 - Modulação <i>ASK</i> com dois níveis lógicos (YourDictionary.com) .....	86
Figura 36 - Modulação <i>FSK</i> com dois códigos (duas frequências) (YourDictionary.com) .....	87
Figura 37 - Modulação <i>PSK</i> . Cada valor de bit corresponde a um deslocamento de fase da onda portadora (YourDictionary.com).....	88
Figura 38 - Diagrama de constelação para <i>QPSK</i> com <i>Gray Coding</i> . O eixo das abscissas é o real, e o das ordenadas é o imaginário (Wikipedia).....	89
Figura 39 - Diagrama de constelação para $\pi/4$ - <i>QPSK</i> com <i>Gray Coding</i> (Wikipedia) .....	90
Figura 40 - Exemplo de modulação $\pi/4$ - <i>QPSK</i> de uma mensagem 11000110, de acordo com a codificação da figura. (Wikipedia).....	90
Figura 41 - Diagrama de Constelação de uma modulação <i>16-QAM</i> retangular com <i>Gray Coding</i> (Wikipedia).....	91
Figura 42 - Espectro de um sinal <i>OFDM</i> com oito canais (Oliveira, 2008) .....	92
Figura 43 - Um símbolo <i>OFDM</i> e seu prefixo cíclico .....	93

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - <i>Special Interest Groups (SIGs)</i> da <i>Infrared Data Association</i> , e seus objetivos. (About IrDA) .....	19
Tabela 2 - Especificações da camada física <i>IrDA</i> (de <i>SIR</i> a <i>VFIR</i> ) .....	22
Tabela 3 - Camadas físicas <i>IrDA</i> e suas taxas de transmissão .....	22
Tabela 4 - Implementações <i>Giga-IR</i> da <i>KDDI</i> exibidas na <i>Wireless Japan 2009</i> ( <i>Gigazine</i> ).....	23
Tabela 5 - Comparação entre protocolos <i>IrDA</i> para a transferência de uma imagem de 2 megapixels (aproximadamente 500KB) ( <i>DeviceForge.com</i> ) .....	25
Tabela 6 - Comparativo entre as tecnologias de comunicação de campo próximo .....	53
Tabela 7 - Arquitetura de Camadas e Pilha de Protocolos <i>NFC</i> .....	58
Tabela 8 - Protocolos suportados pelo <i>Texas Instruments TRF7960</i> .....	72
Tabela 9 - Formato de Requisição .....	77
Tabela 10 - <i>Flags</i> para <i>Register Write Request</i> .....	78
Tabela 11 - <i>Flags</i> para <i>Inventory Request</i> .....	78
Tabela 12 - <i>Flags</i> para <i>Read Single Block Request</i> .....	78
Tabela 13 - <i>Flags</i> para <i>Write Single Block Request</i> .....	79
Tabela 14 - <i>Register Write Request</i> .....	79
Tabela 15 - <i>Inventory Request</i> .....	79
Tabela 16 - <i>Read Single Block Request</i> .....	80
Tabela 17 - <i>Write Single Block Request</i> .....	80

# 1. Introdução

Embora a inevitável e irrecuperável dependência da humanidade nos computadores já não seja algo causador de espanto e admiração a alguns, há outro fenômeno talvez tão impactante quanto que muitas vezes passa despercebido por essas mesmas pessoas: a popularização das interfaces de comunicação sem fio entre computadores. A adoção dessas interfaces sem fio tem se dado em etapas, e curiosamente, o estilo de vida da população tem mudado drasticamente a cada uma delas.

Sob esse cenário, em primeiro lugar veio o espalhamento das redes de telefonia celular. Potencialmente em qualquer lugar e a qualquer momento, todos se tornaram comunicáveis, atingíveis ao menos por voz. Além de trazer mais eficiência ao âmbito profissional, facilitou e incentivou o uso do serviço telefônico.

Posteriormente veio a difusão das redes sem fio para computadores pessoais (*PCs*). *Notebooks*, que antes só se conectavam à *Internet* através de cabos em escritórios e *cybercafes*, passaram a se conectar em aeroportos, *shopping centers*, lanchonetes, pátios e jardins de universidades. A essa altura, voz e dados haviam se libertado da infraestrutura de cabeamento nas pontas da rede, sem falar que a poluição visual e inconvenientes na instalação e manutenção de cabos foram eliminados em inúmeros estabelecimentos.

Essa difusão de redes sem fio, juntamente com a evolução da miniaturização eletrônica, abriu oportunidade à adoção em massa dos *smartphones*. O acesso à *Internet*, assim como ela é vista através dos *desktops*, tornou-se possível a todos os que possuem um celular capaz. Isso marca o momento presente.

Não obstante, a humanidade ainda é bastante dependente das interfaces de conexão que usam contatos sólidos (soquetes). Alguns equipamentos eletrônicos que usam esse tipo de interface têm de lidar diariamente com elevado número de conexões e desconexões. O seu desgaste mecânico natural e inevitável é a principal causa de mau funcionamento, e por consequência, de prejuízos.

Outro problema trazido pelas interfaces mecânicas é que estas costumam ser diferentes para cada aplicação, forçando o indivíduo a carregar consigo diversos cartões, chaveiros e cabos. Com interfaces sem contato, o usuário não precisa pensar em como encaixar os contatos, ou o quão rápido passar o cartão, por exemplo. Basta aproximar.

Interfaces *contactless* de campo próximo eliminam não só as perdas financeiras do desgaste físico das interfaces e a consequente interrupção dos serviços, como também permitem que apenas um dispositivo ativo (i.e. um *smartphone*) seja suficiente para inúmeras aplicações.

Além desses benefícios, a ausência do manuseio por parte de estranhos evita a troca de fluidos e partículas entre as pessoas, o que fecha uma das portas para a disseminação de doenças contagiosas, terminando por contribuir para a saúde pública.

A comunicação de campo próximo entre dispositivos ativos marcará a próxima grande etapa na disseminação das interfaces de comunicação sem fio. Este trabalho faz um estudo

detalhado das tecnologias que se apresentam para esse propósito, em especial a *Near Field Communication (NFC)*.

A princípio, o caso de uso planejado para ser executado neste trabalho consistia no desenvolvimento de uma aplicação *NFC* entre dois dispositivos ativos. No entanto, surgiram dificuldades em se obter kits de desenvolvimento e/ou avaliação, uma vez que em alguns casos os mesmos apresentaram preços proibitivos, e em outros os fornecedores não demonstraram real interesse em vendê-los ou fornecer mínimas informações técnicas a seu respeito. Diante disso, a aplicação desenvolvida teve de mudar e passou a se basear na comunicação *NFC* entre um dispositivo ativo e um passivo.

No capítulo 2 será abordado o estado da arte em termos de comunicação sem fio de campo próximo. Já o capítulo 3 será dedicado à tecnologia *Near Field Communication (NFC)*. O capítulo 4 apresenta um estudo de caso com o uso de *NFC* entre um dispositivo ativo e um passivo. Enfim, o capítulo 5 encerra o trabalho com a apresentação das conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

## 2. O Estado da Arte

### 2.1 O Sistema de Comunicação Sem Fio Ideal

Há diversas tecnologias competindo entre si no mercado de dispositivos de comunicação sem fio. Com o crescimento desse mercado, o número de opções tecnológicas para se embarcar em um dispositivo só tende a aumentar. Para avaliar quais são os pontos fortes e fracos das opções de comunicação que constituem o estado da arte, é necessário primeiro estabelecer parâmetros de comparação.

Para descobrir que parâmetros são esses, basta propor como seria uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance ideal. Tal tecnologia teria as seguintes características, todas simultaneamente:

1. Alta vazão de dados;
2. Imunidade à interferência de fontes externas e internas;
3. Boa convivência com outras tecnologias de comunicação;
4. Facilidade de uso;
5. Projeto simples;
6. Tamanho e peso reduzidos;
7. Baixo custo de fabricação;
8. Baixo consumo energético;
9. Aproveitamento da infraestrutura presente;
10. Segurança dos dados transmitidos;
11. Segurança para a saúde do usuário;
12. Uso mundial sem restrições;

### 2.2 Representatividade dos parâmetros

Esta seção descreve o que cada um dos parâmetros apresentados significa, e o papel que cada um representa em um contexto de mercado.

#### 2.2.1 Alta vazão de dados

Medida em bits por segundo (bps), a vazão de dados, ou taxa de transmissão, é provavelmente a mais importante característica de um sistema de comunicação, pois ela limita fortemente o número de aplicações de uma tecnologia, em qualquer cenário. Quanto maior a taxa de transmissão, menor será o tempo em que o usuário ou outro sistema dependente terá de esperar para transmitir seus dados; assim como menor será o tempo em que os transceptores permanecerão ligados consumindo energia.

Para este trabalho, o *overhead* dos protocolos de comunicação não é levado em consideração na comparação entre as tecnologias, portanto as taxas de transmissão exibidas serão as totais (brutas). As razões para isso são as dificuldades de:

- Obter equipamentos de todas as tecnologias para uma medição em teste prático;
- obter documentação oficial de algumas das tecnologias, a qual é disponibilizada apenas para empresas afiliadas aos grupos de interesse.

## 2.2.2 Imunidade à interferência

Em um ambiente repleto de dispositivos de comunicação sem fio, o sinal transmitido entre dois dispositivos em particular corre grande risco de sofrer interferências externas. A interferência pode corromper a transmissão, terminando por causar mau funcionamento da aplicação; seja pela perda de dados no caminho, seja pelo recebimento de dados incorretos.

A interferência ocorre por uma simples razão: o espectro eletromagnético utilizável é limitado. Como há muitas tecnologias competindo pela utilização desse, é vital regulamentar seu uso, determinando quem pode usar cada faixa de frequências. São as agências nacionais de telecomunicações que fazem essa regulamentação (no Brasil é a ANATEL), mas também existe cooperação internacional nesse sentido: o órgão mais conhecido é a *International Telecommunication Union - ITU* (ver Apêndice A).

Dependendo da intensidade do uso da faixa do espectro eletromagnético, ou seja, da banda de rádio frequência utilizada pela tecnologia, a performance de uma aplicação pode se tornar bastante degradada, a ponto de se tornar inviável.

Além de interferências externas, existem as internas, causadas pelo próprio equipamento. Estas também são prejudiciais e devem ser levadas em consideração numa análise.

Posto isso, é fundamental que a tecnologia seja suficientemente capaz de lidar com esse problema, o qual só tende a aumentar devido ao crescente mercado de dispositivos sem fio.

## 2.2.3 Boa convivência com outras tecnologias

Basta uma pessoa mal-educada gritar, para atrapalhar a comunicação verbal de várias outras. Regras de boa convivência em sociedade sugerem que não se deve perturbar o ambiente compartilhado com outros. Da mesma forma, dispositivos sem fio devem saber “se comportar” de forma a não prejudicar os que já se encontram em atividade, compartilhando o mesmo meio de transmissão. Caso isso aconteça, fatalmente um deles terá de ser desligado, ao contrário de uma pessoa mal-educada (infelizmente).

Comumente, as técnicas usadas para se evitar interferências externas acabam por também evitar que o próprio dispositivo cause interferência em primeiro lugar.

## 2.2.4 Uso mundial sem restrições

Trata-se da ausência da necessidade, em qualquer lugar do mundo, de se pedir autorização a um órgão regulador para implantar ou usar a tecnologia.

Se a tecnologia for inofensiva a outras em seu contexto de operação, será bem provável que não precise de uma concessão de espectro. Caso contrário, uma alternativa viável é operar em uma banda mundialmente não licenciada *Industrial Scientific Medical* (ver Apêndice A).

## 2.2.5 Facilidade de uso

O grau de adoção da tecnologia pelo público final é uma boa medida da facilidade de seu uso. No século 21 não há mais espaço para dispositivos bons, suficientes para seus propósitos, mas complicados de usar. Em se tratando de tecnologias de comunicação sem fio, a usabilidade é um diferencial quando se tem como consumidor alvo o usuário comum. Quanto menos este tiver de pensar, lembrar que a tecnologia existe, tão melhor esta será.

## 2.2.6 Aproveitamento da infraestrutura presente

A facilidade de uso está fortemente relacionada com a compatibilidade que o dispositivo ou aplicação em particular tem com os outros dispositivos/aplicações que já existem. A interação entre os dispositivos deve ser suave, invisível, intuitiva. Para se conseguir tal virtude, a tecnologia deve se adaptar às tecnologias mais comuns, ou gozar da vantagem de já ser largamente adotada no mercado.

## 2.2.7 Projeto simples

Um projeto simples, seja no embasamento teórico de uma tecnologia, seja na sua implementação de hardware, influenciará positivamente na sua adoção por parte dos fabricantes de equipamentos. Quanto mais simples for um projeto, menos problemas (bugs e/ou defeitos de fabricação) surgirão, e mais fácil será a instalação (embarque) e manutenção.

## 2.2.8 Tamanho e peso reduzidos

Quanto menor for a implementação do sistema (processador, memória, transceptor, etc), mais fácil será embarcá-lo em um dispositivo. A exigência de tamanho reduzido se faz pelo pouco espaço disponível nos equipamentos (devido à sua miniaturização) e por restrições de peso.

A miniaturização dos componentes eletrônicos já ultrapassou em muito a miniaturização de baterias, portanto as dimensões e o peso de um equipamento portátil sem fio são limitadas pelo tamanho da bateria que este utiliza. Isso faz com que tamanho reduzido ande de mãos dadas com o baixo consumo energético.

## **2.2.9 Baixo consumo energético**

O tamanho da bateria é uma função da potência do equipamento. Equipamentos muito econômicos tendem a ter pequenas baterias. Um baixo consumo de energia também traz economia para o usuário final, dado que este terá de gastar menos com baterias/conta de luz; além de permitir que o equipamento funcione ininterruptamente por mais tempo (caso use pilhas). Tecnologias de comunicação sem fio devem se preocupar com a eficiência energética se quiserem ser adotadas em dispositivos portáteis.

Dispositivos energeticamente eficientes tendem a ter o projeto simplificado, pois baixa potência significa menor temperatura de operação. Uma menor temperatura de operação traz menores preocupações com a dissipação do calor gerado (menos dissipadores, menos aberturas de ventilação), sem mencionar que diminui seu peso (baterias são relativamente pesadas).

## **2.2.10 Baixo custo**

A adoção de uma tecnologia de comunicação sem fio em particular, entre diversas que atendem aos mesmos requisitos do sistema, pode ser decidida pelo custo que esta agregará ao produto final. De nada adiantam todas as virtudes de uma tecnologia se seu custo for proibitivo.

O custo do embarque de uma tecnologia depende de diversos fatores, incluindo alguns já citados, como: número e diversidade de componentes, infraestrutura fabril necessária para a montagem, tamanho, peso, eficiência energética (necessidade de baterias/circuitos extras), adoção no mercado, licenciamento, etc.

## **2.2.11 Segurança dos dados transmitidos**

Os maiores inconvenientes dos enlaces de comunicação sem fio são: a insegurança que trazem em termos de privacidade dos dados enviados, e a incerteza da autenticidade dos dados recebidos. Enlaces sem fio são muito mais fáceis de serem interceptados do que os cabeados. Desta forma, deve-se levar em consideração quais mecanismos de segurança da informação são implementados por uma tecnologia de comunicação sem fio, antes de aplicá-la.

Um fator positivo inerente à comunicação sem fio de campo próximo é a menor chance de interceptação dos dados, uma vez que o ambiente, ou seja, o espaço para o qual o sinal se propaga, é menor, e portanto, mais controlável.

## **2.2.12 Segurança para a saúde do usuário**

Há diversos estudos acerca da influência de campos eletromagnéticos em organismos vivos. (Behari, 2008) (Bhargava, 1999) (Lias, Mat, Kipli, & Marzuki, 2009) (Rotaru, Ciobanu, Rusu, Betskii, & Ghitu, 2007 )

Esses demonstram a preocupação da humanidade com os efeitos adversos que novas tecnologias podem trazer. Felizmente, a intensidade do campo eletromagnético emitido pelos dispositivos de curto alcance é pequena se comparada a de um telefone celular (Mat, et al., 2010) (Mamoon, 2003 ) por exemplo. Outra característica animadora é que as aplicações em que o transceptor fica a centímetros do cérebro humano (caso do telefone celular) são uma minoria<sup>1</sup>.

### 2.2.13 Comprometimento entre os parâmetros

Infelizmente há um comprometimento entre esses parâmetros. Isto é, cada tecnologia tem pontos fortes e pontos fracos, os quais podem ser efeitos colaterais dos pontos fortes. É importante frisar que, no escopo deste trabalho, só interessa a comunicação a curta distância, e que a comunicação *broadcast* ou *multicast* é opcional. A seguir serão apresentadas e avaliadas algumas tecnologias que visam este mercado atualmente. São elas: *IrDA*, *Bluetooth*, *UWB*, e *Wireless USB*.

## 2.3 Padrão *IrDA*

### 2.3.1 O que é *IrDA*

Padrão de comunicação óptica de curto alcance. Transfere dados através de pulsos de luz infravermelha emitidos tradicionalmente por diodos emissores de luz (*LEDs*).

A sigla *IrDA* costuma ser vista como um sinônimo de comunicação via luz infravermelha. Mas na verdade a *Infrared Data Association (IrDA)* não inventou esse tipo de transmissão; ela apenas criou padrões que foram largamente adotados pela indústria.

### 2.3.2 Histórico

A *Infrared Data Association (IrDA)*, fundada em 1993 por cerca de 50 empresas da indústria de computadores e comunicações, é uma organização sem fins lucrativos com o objetivo de estabelecer especificações para uma tecnologia sem fio de curto alcance, fácil de usar, e de baixo custo, através do uso de luz infravermelha. É dividida em diversos grupos de interesse especial (*Special Interest Groups - SIGs*) que trabalham em novos protocolos de acordo com seus interesses (ver Tabela 1 ).

---

<sup>1</sup> Um campo eletromagnético é composto de um campo elétrico e um campo magnético. A intensidade do campo elétrico decai com o quadrado da distância. Já a intensidade do campo magnético decai com o cubo da distância. Posto isso, quanto maior a distância entre o cérebro e o transmissor, melhor para a saúde.

<b>SIG</b>	<b>Objetivo</b>
<i>IrSimple</i>	Desenvolver um protocolo para comunicação simples e rápida para transmissão de fotos entre telefones celulares e/ou câmeras digitais.
<i>Giga-IR</i>	Desenvolver um protocolo que suporte uma taxa de dados de 1Gbps para transmissão de arquivos entre um dispositivo móvel e uma <i>docking station</i> conectada a um <i>PC</i> , e para transmissão direta entre dispositivos móveis.
<i>IrUSB</i>	Desenvolver um novo protocolo <i>IrDA</i> para conexão sem fio dentro das camadas <i>USB</i> , chamado <i>IrUSB</i> . A intenção é usá-lo no lugar da conexão física de <i>USB</i> , que tem vida útil limitada devido ao desgaste físico.
<i>OBEX</i>	Desenvolver e manter um <i>Object Exchange Protocol</i> . Protocolo compacto, eficiente e binário que permita a um grande número de dispositivos trocar dados de forma simples e espontânea.

Tabela 1 - *Special Interest Groups (SIGs)* da *Infrared Data Association*, e seus objetivos. (About IrDA)

## 2.3.3 A Tecnologia

### 2.3.3.1 Transmissão por infravermelho em controles remotos

Quando ouve falar em comunicação por luz infravermelha, a primeira coisa que costuma vir à mente do usuário comum é um controle remoto doméstico. Apesar disso, há vários outros tipos de equipamento que usam infravermelho para fins de comunicação, geralmente através de padrões *IrDA*.

Controles remotos apenas enviam dados, não recebem. Além disso, tão poucos dados são enviados a cada aperto de botão (ligar, desligar, aumentar volume, etc), que as taxas de transmissão suficientes para tal propósito são baixíssimas: entre 300 e 1200bps. Como a comunicação normalmente é ponto-a-ponto (um controle para um dispositivo de cada vez), o controle emite um feixe de até 5 graus de abertura (ver Figura 1), o que exige que o usuário o aponte para o receptor. Além disso, não é necessária a comunicação no sentido reverso (voltando para o controle) para informar de sucesso ou falha, uma vez que o próprio usuário saberá facilmente se a comunicação falhou, bastando observar o equipamento controlado.

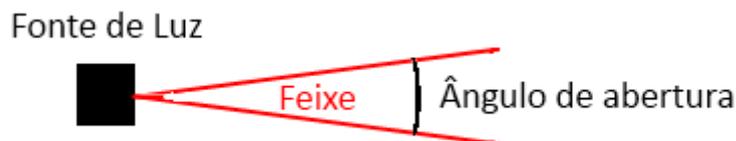


Figura 1 - Um feixe de luz e seu ângulo de abertura

Para a transmissão de grandes quantidades de dados contíguos, esta forma de comunicação não é suficiente por não haver detecção automática de erro, pelo alto consumo de energia e pela taxa de transmissão muito baixa.

### 2.3.3.2 Economia de energia

O padrão *IrDA* de comunicação, por outro lado, reduz o consumo, aumenta a taxa de transmissão, emprega mecanismo de detecção de erro, e além de tudo permite comunicação duplex.

Criado como uma idéia para a substituição de cabos, o alcance é de 1m e a abertura do feixe é de 30 graus para facilitar o posicionamento.

Com uma taxa de transmissão maior, diminui o tempo em que o emissor de luz necessita ficar ligado para uma mesma quantidade de dados. Isso traz economia de energia. E como a distância máxima de operação entre os dispositivos comunicantes é menor do que a do controle remoto (o qual chega a 5m), pode-se economizar também na intensidade da luz emitida.

### 2.3.3.3 Luz x Rádio

Há um receio de que os campos eletromagnéticos causem danos à saúde. A luz infravermelha emitida por *LEDs*, por outro lado, é completamente inofensiva.

Entrando no mérito das taxas de transmissão, é tecnicamente difícil aumentar a vazão de dados na transmissão via rádio por conta de uma série de fatores tecnológicos, ambientais e regulamentares.

Devido a seu comprimento de onda muito menor do que os das ondas de rádio frequência (RF), a luz oferece largura de banda muito maior. Por conta disso, pode transmitir grandes quantidades de dados em menor tempo. Através de luz já foi possível atingir vazões de dados da ordem de centenas de petabits por segundo ( $10^{15}$ bps) em redes de fibras ópticas (Alcatel-Lucent), algo imensamente distante dos gigabits por segundo já alcançados em transmissões experimentais *Ultra-Wide Band (UWB)*, por exemplo, uma tecnologia em estado ainda prematuro. O problema de trazer tal tecnologia de transmissão óptica para uma aplicação doméstica de comunicação sem fio está no perigo que a classe dos *lasers* utilizados oferece aos olhos.

Felizmente para *IrDA*, este problema já foi resolvido com a invenção de um *laser* infravermelho seguro para os olhos. (Tetsuo Nozawa, 2008) O método de fabricação desse *laser* é tão simples

quanto o dos usados em CD-players. *Lasers* de semicondutor costumam ser muito mais eficientes do que *LEDs*, e têm uma velocidade de modulação muito maior. O *laser* infravermelho deve ser usado nas camadas físicas *UFIR* e *Giga-IR*. (ATSUSHI, TAKUMA, NAOYUKI, & HIDENORI, 2004), (Tetsuo Nozawa, 2008)

Para usar luz infravermelha como meio de transmissão, não é preciso pedir autorização do governo, já que, por ser direcional, a luz não introduz interferência em outros dispositivos/aplicações, como ocorre com rádio frequência.

Por outro lado, dispositivos com interface infravermelha são passivos de sofrer muita interferência da luz solar, pois uma boa parcela desta luz se encontra no intervalo infravermelho do espectro (ver Figura 2).

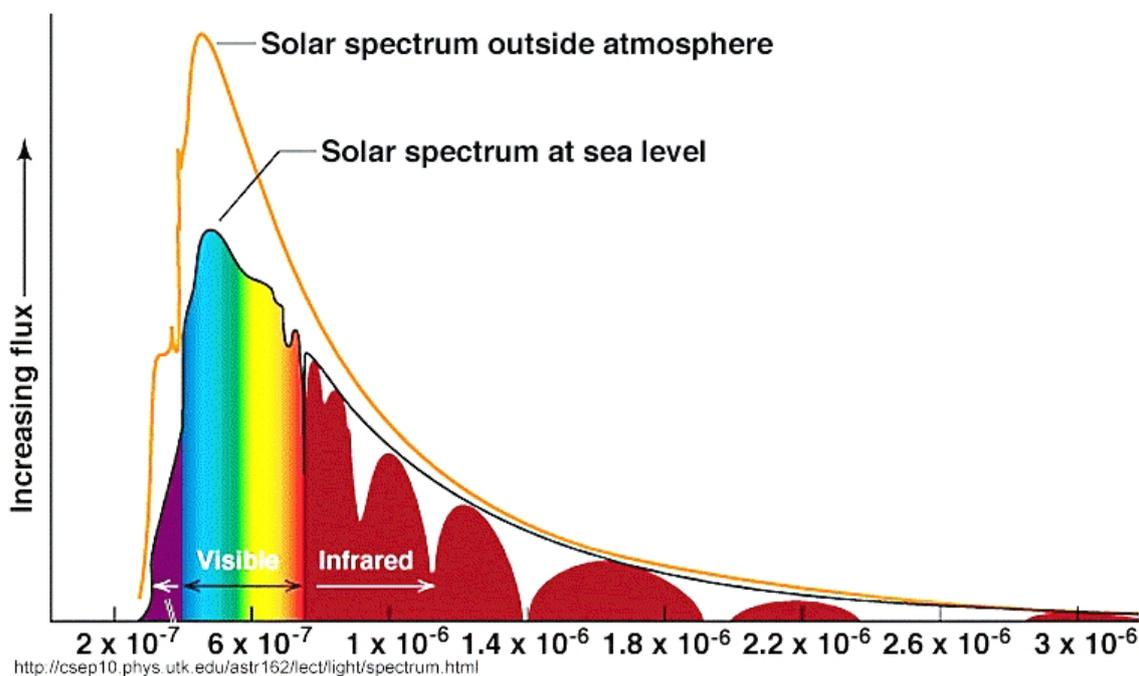


Figura 2 - Espectro da luz solar (Soultek)

#### 2.3.3.4 Pilha de protocolos

Na Figura 3 está a pilha de protocolos dos padrões *IrDA*. Segue uma breve descrição de cada protocolo.

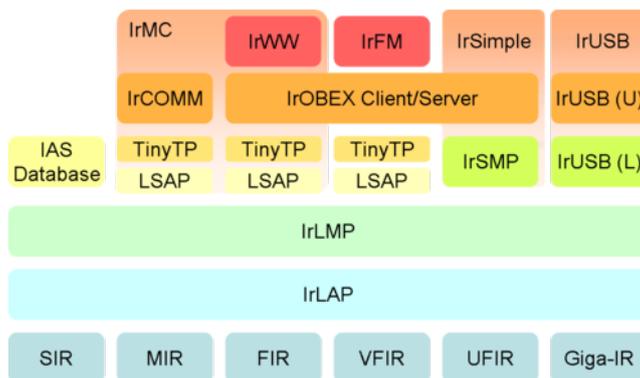


Figura 3 - Pilha de protocolos dos padrões IrDA (Derf, 2010)

### Infrared Physical Layer (IrPHY)

É a camada mais baixa das especificações IrDA. Define o meio físico através do qual se fará a comunicação. Normalmente, o emissor de um dispositivo costuma ofuscar seu próprio receptor, portanto só é possível operar em modo half-duplex. As características mais importantes (de SIR a VFIR) estão na Tabela 2.

Alcance	Ângulo mínimo:	Modulação	Comprimento de onda
1m	Cone 30°	Baseband (sem portadora)	875 +-30nm

Tabela 2 - Especificações da camada física IrDA (de SIR a VFIR)

Para o padrão IrDA já foram desenvolvidas seis versões para a camada física, cada uma capaz de uma diferente taxa de transmissão (ver Tabela 3). Segue a descrição de cada uma delas.

Camada física	Taxa de transmissão
SIR	115kbps
MIR	1Mbps
FIR	4Mbps
VFIR	16Mbps
UFIR	100Mbps
Giga-IR	1Gbps

Tabela 3 - Camadas físicas IrDA e suas taxas de transmissão

### Serial Infrared (SIR)

Define uma transmissão assíncrona e serial. Opera em taxas de transmissão tipicamente suportadas por portas seriais (9600bps, 19200bps, 38400bps, 57600bps, 115200bps). A descoberta e negociação entre os dispositivos é feita a 9600bps.

### Medium Infrared (MIR)

Taxa de transmissão de 1,152Mbps.

### Fast Infrared (FIR)

Taxa de transmissão de 4Mbps. Todos os dispositivos *FIR* devem suportar *SIR*.

#### **Very Fast Infrared (VFIR)**

Taxa de transmissão de 16Mbps. Todos os dispositivos *VFIR* devem suportar *FIR* e *SIR*.

#### **Ultra Fast Infrared (UFIR)**

Taxa de transmissão de 100Mbps. Ainda não há produtos com *UFIR* no mercado.

#### **Giga-IR**

Criada para a transmissão de grandes arquivos, sua especificação foi aprovada e distribuída aos membros da *IrDA* em 2009. Oferece uma taxa de transmissão em torno de 1Gbps. De acordo com a pesquisa realizada nesta monografia, no momento só existe uma empresa exibindo aplicações práticas da tecnologia. Esta empresa, a japonesa *KDDI*, exibiu na feira *Wireless Japan 2009* um estande com telefones celulares equipados com transceptores *Giga-IR*. (Gigazine) O estande alegou que os aparelhos exibidos possuíam as especificações exibidas na Tabela 4.

Protocolo	Distância de operação	Taxa de Erros de Bit	Modulação
GigaR 1,28Gbps	1cm	$\leq 10^{-10}$	2-ASK, 4-ASK
GigaR 640Mbps	5cm	$\leq 10^{-10}$	2-ASK

Tabela 4 - Implementações *Giga-IR* da *KDDI* exibidas na *Wireless Japan 2009* (Gigazine)

O embutimento de *Giga-IR* no aparelho celular não requer espaço maior do que as implementações *IrDA* mais tradicionais. *Giga-IR*, ao contrário destas, não usa um *LED*, mas sim um *laser* de semicondutor como emissor de luz. (Tetsuo Nozawa, 2008) O *laser* será Classe 1 (potência de alguns miliwatts), a mais segura para os olhos. A *KDDI* espera que o custo por unidade do módulo, quando produzido em massa, vá se equivaler aos módulos tradicionais (entre ¥10 e 20). (Tetsuo Nozawa, 2008) O consumo energético por unidade de tempo (potência) do transmissor *Giga-IR* é consideravelmente maior, porém a transmissão é muito mais breve, o que reduz o consumo do dispositivo que o contém.

Neste mesmo estande, a *KDDI* divulgou o uso de adaptadores USB2.0 para *Giga-IR*, o que é no mínimo curioso, pois o padrão USB2.0 transmite no máximo a 480Mbps, tornando-se evidentemente um gargalo.

A *KDDI* já havia exibido demonstrações em vídeo do *Giga-IR* na *Internet* (1 Gbps Infrared Communication). Ainda não há produtos com *Giga-IR* no mercado.

#### **Infrared Link Access Protocol (IrLAP)**

Fica logo acima da IrPHY e corresponde à camada de enlace do modelo OSI<sup>2</sup>. Ele é responsável pelo controle de acesso, descoberta de dispositivos, estabelecimento de conexão, distribuição dos papéis de dispositivo primário/dispositivo secundário e negociação de parâmetros QoS.

O dispositivo primário controla os dispositivos secundários, determinando quando eles podem transmitir.

### ***Infrared Link Management Protocol (IrLMP)***

Localizado na terceira camada das especificações *IrDA*, este protocolo é subdividido em dois: *LM-MUX* e *LM-IAS*.

### ***Link Management Multiplexer (LM-MUX)***

Se posiciona diretamente sobre o protocolo *IrLAP*. Ele é responsável por prover múltiplos canais lógicos através da multiplexação dos enlaces criados pelo *IrLMP* e por permitir mudança de papéis primário/secundário para os dispositivos.

### ***Link Management Information Access Service (LM-IAS)***

Provê uma lista de todos os serviços *IrDA* que o dispositivo oferece. Assim, um dispositivo pode descobrir os serviços oferecidos por outro fazendo uma requisição a este protocolo.

### ***Tiny Transport Protocol (TinyTP)***

Protocolo opcional sobre o *IrLMP*, que permite a transmissão de mensagens maiores que o tamanho de quadro da camada de enlace. Para tanto, faz segmentação e reconstrução da mensagem. Também faz controle de fluxo.

### ***Infrared Simple (IrSMP)***

É um protocolo opcional sobre o *IrLMP*, que tem as mesmas funções do *TinyTP*: provê serviços de segmentação e remontagem para a camada superior *IrOBEX* e à camada inferior *IrLMP*. Além disso, oferece checagem e correção de erros de sequenciamento.

### ***Infrared Communications Protocol (IrCOMM)***

Permite que o dispositivo infravermelho se comporte como uma porta serial ou paralela. Fica logo acima do protocolo *IrLMP*.

### ***Infrared Object Exchange (IrOBEX)***

Permite a troca de objetos entre dispositivos. Se põe acima do protocolo *TinyTP*.

### ***Infrared Local Area Network (IrLAN)***

Permite que o dispositivo infravermelho se conecte a uma LAN em um de três modos: ponto de acesso, hospedeiro e *Peer-to-Peer*. Este protocolo também depende do *TinyTP*.

---

<sup>2</sup> *Open Systems Interconnection (OSI): modelo que divide as redes de computadores em sete níveis (camadas) de abstração, onde cada camada se baseia nos serviços da camada inferior para prover serviços à camada superior.*

***Infrared Mobile Communications (IrMC)***

Protocolo de aplicação para troca de cartões, notas, calendários e pequenos textos entre dispositivos móveis.

***IrDA for Wrist Watches (IrWW)***

Protocolo de aplicação para comunicação entre relógios de pulso.

***IrDA Financial Messaging (IrFM)***

Protocolo de aplicação para realização de pagamentos no atacado e varejo.

***Infrared USB (IrUSB)***

Protocolo *IrDA* para conexão *wireless* dentro das camadas *USB*, substituindo os contatos físicos.

***IrSimple***

*IrSimple* (não confundir com o protocolo *IrSMP*) é um protocolo relativamente recente (2005). Trata-se de uma simplificação dos protocolos *IrDA* para aumentar a eficiência na transmissão de dados, oferecendo taxas líquidas de transmissão 4 a 10 vezes maiores do que a dos protocolos *IrDA* tradicionais (ver Tabela 5). É retrocompatível com os protocolos *IrDA* existentes, e as interfaces que ainda não o usam podem ser capacitadas através de uma atualização de software. (NTT DoCoMo)

<b>Protocolo</b>	<i>IrSimple</i>	<i>IrDA</i>	<i>IrDA</i>
<b>Camada Física</b>	<i>FIR</i> (4Mbps)	<i>FIR</i> (4Mbps)	<i>SIR</i> (115Kbps)
<b>Tempo de transferência</b>	1 segundo, aproximadamente	4 a 11 segundos, aproximadamente	50 a 100 segundos, aproximadamente

**Tabela 5 - Comparação entre protocolos *IrDA* para a transferência de uma imagem de 2 megapixels (aproximadamente 500KB) (DeviceForge.com)**

No protocolo *IrDA* padrão há um tempo de guarda (escuta de canal) seguido de mensagens de descoberta de dispositivos, o que dura aproximadamente 1060ms. (Shah, Ara, Kitazumi, & Matsumoto, 2006) Em seguida é enviada uma requisição de conexão.

O protocolo *IrSimple* elimina as etapas de escuta de canal e descoberta de dispositivos. No momento em que a camada superior requisita conexão, o *IrSimple* já envia a requisição de conexão com os devidos parâmetros.

### 2.3.3.5 Procedimento para estabelecimento de uma conexão

O estabelecimento de uma conexão *IrDA* padrão trilha os seguintes passos:

1. O dispositivo primário observa o canal por 500ms para se certificar de que não há tráfego *IrDA*.
2. Em seguida, envia uma mensagem broadcast de descoberta.
3. O dispositivo secundário responde a esta mensagem. Até este passo se passaram 1060ms.
4. O dispositivo primário envia um pacote de requisição de conexão (SNRM) ao dispositivo secundário, com parâmetros de transmissão.
5. O dispositivo secundário responde positivamente (UA), o que estabelece a conexão.

Quando usado o protocolo *IrSimple*, o estabelecimento de conexão pula os três primeiros passos supracitados, por uma simples razão: não há a necessidade de descoberta de dispositivos ou prevenção de colisão, uma vez que as conexões *IrDA* em geral são ponto-a-ponto, e não broadcast. A Figura 4 mostra a diferença entre os procedimentos de conexão e transmissão de dados entre *IrSimple* e *IrDA* padrão.

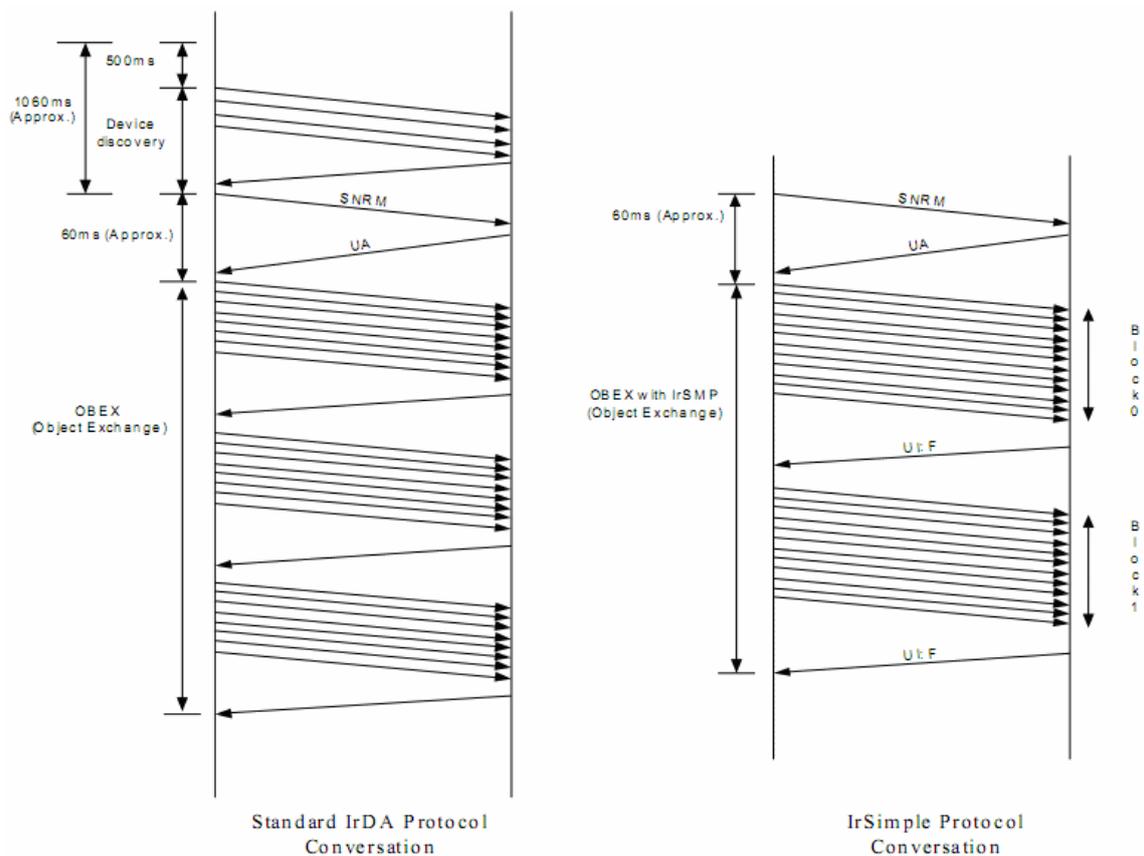


Figura 4 - Estabelecimento de conexão dos protocolos *IrDA* padrão e *IrSimple* (Shah, Ara, Kitazumi, & Matsumoto, 2006)

Para o protocolo *IrSimple*, a transmissão de dados é bastante simplificada em relação ao protocolo *IrDA* padrão, por isso que *IrSimple* consegue taxas de transmissão de 4 a 10 vezes maiores. (*IrDA IrSimple Connect Specifications*)

## 2.3.4 Aplicações e Futuro

Produtos que usam (ou já usaram) protocolos *IrDA* incluem telefones celulares, *paggers*, *PDA*s, câmeras fotográficas, impressoras, *notebooks* e relógios de pulso. No final dos anos 90, chegaram a ser fabricados 40 milhões de dispositivos com tecnologia *IrDA* ao ano. (Williams, 2000)

Com a evolução das tecnologias de rádio frequência, *IrDA* veio perdendo mercado desde o ano 2000 (especialmente para o, na época novo, padrão *Bluetooth*), principalmente pelas baixas taxas de transmissão, e pela necessidade de linha de visada direta entre os equipamentos, o que é um inconveniente do ponto de vista de usabilidade (do ponto de vista de segurança, porém, é uma vantagem). Além disso, a documentação oficial de *IrDA* só é liberada mediante filiação (pagamento), enquanto a de *Bluetooth* é aberta.

Não obstante, com o advento das camadas físicas *UFIR* e *Giga-IR*, surge um grande potencial para *IrDA* retomar seu mercado perdido e/ou alcançar novos mercados, especialmente se forem lançados adaptadores *USB*. O padrão *USB3.0* já começou a chegar ao consumidor em 2010 (Pavarin, 2008). Este, ao contrário da versão 2.0, oferece largura de banda suficiente (4,8Gbps) para acomodar transmissões *Giga-IR*. Ao longo da pesquisa deste trabalho, não foram encontrados produtos à venda que usassem algum desses dois padrões.

## 2.4 Bluetooth

### 2.4.1 O que é Bluetooth

*Bluetooth* é um padrão de comunicação sem fio de curto alcance para *Wireless Personal Area Networks (WPANs)*. Seu objetivo é substituir cabos que transmitem dados entre dispositivos eletrônicos domésticos portáteis e/ou fixos.

### 2.4.2 Histórico

*Bluetooth* começou a ser desenvolvida pela *Ericsson* em 1994 (McDermott-Wells, 2004). Esta em seguida se juntou a alguns fabricantes de eletrônicos: *IBM*, *Intel*, *Nokia* e *Toshiba*; para formar, em 1998, o *Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG)*. Desde então, empresas de telecomunicações, automação industrial, redes, e indústria automotiva têm se associado.

O antes codinome "*Bluetooth*", que acabou virando o nome do produto lançado, foi inspirado em um rei dinamarquês do século X, chamado *Haraldr blátǫnn Gormsson*. Isso porque a tecnologia foi primeiro desenvolvida na Escandinávia. (Bluetooth History)

Desde 1999 foram lançadas três versões principais:

- *Bluetooth 1.2*

- *Bluetooth 2.1 + EDR (Enhanced Data Rate)*
- *Bluetooth 3.0 + HS (High Speed)*

### 2.4.3 A Tecnologia

Algumas características que distinguem *Bluetooth* de outros sistemas de rádio são as dimensões mínimas de sua implementação em hardware, sua baixa complexidade, baixo custo e baixo consumo. (Haartsen, 2000 )

Os dispositivos *Bluetooth* não são todos compatíveis entre si. Para dois equipamentos se comunicarem, eles precisam compartilhar do mesmo perfil, ou seja, terem implementadas as mesmas partes da especificação. Um perfil é como uma fatia vertical da pilha de protocolos, determinando quais opções são obrigatórias. Por exemplo, para um *headset Bluetooth* conectar-se a um telefone celular *Bluetooth*, ambos os dispositivos devem possuir o *Headset (HS) Profile*. Atualmente há mais de 25 perfis de funcionamento, e alguns possuem dependências (ver Figura 5). O objetivo da especificação de perfis é de diminuir o risco de incompatibilidade entre dispositivos de fabricantes distintos.

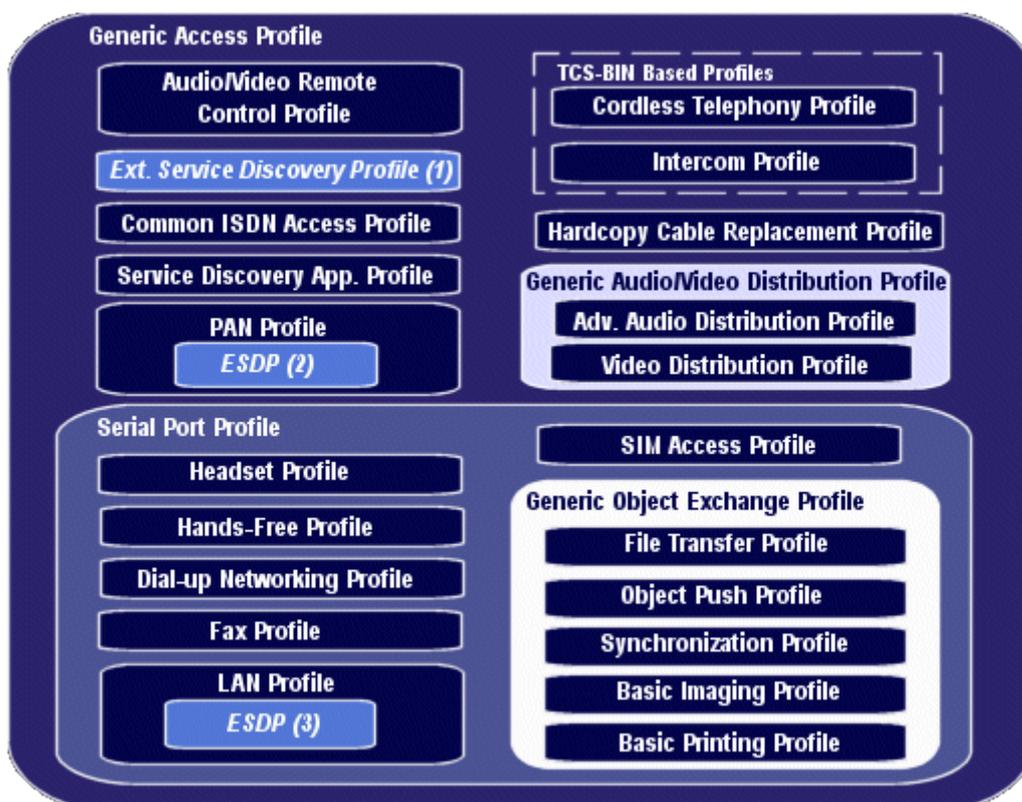


Figura 5 - Perfis de funcionamento para dispositivos *Bluetooth* (Palo Wireless)

#### 2.4.3.1 Pilha de Protocolos

A pilha de protocolos *Bluetooth* é dividida por sua especificação em três grupos lógicos: Grupo de Protocolos de Transporte, Grupo de Protocolos de *Middleware*, e Grupo de Aplicações (ver Figura 6). É preciso ressaltar que estes grupos não devem ser confundidos com camadas do modelo *OSI*.

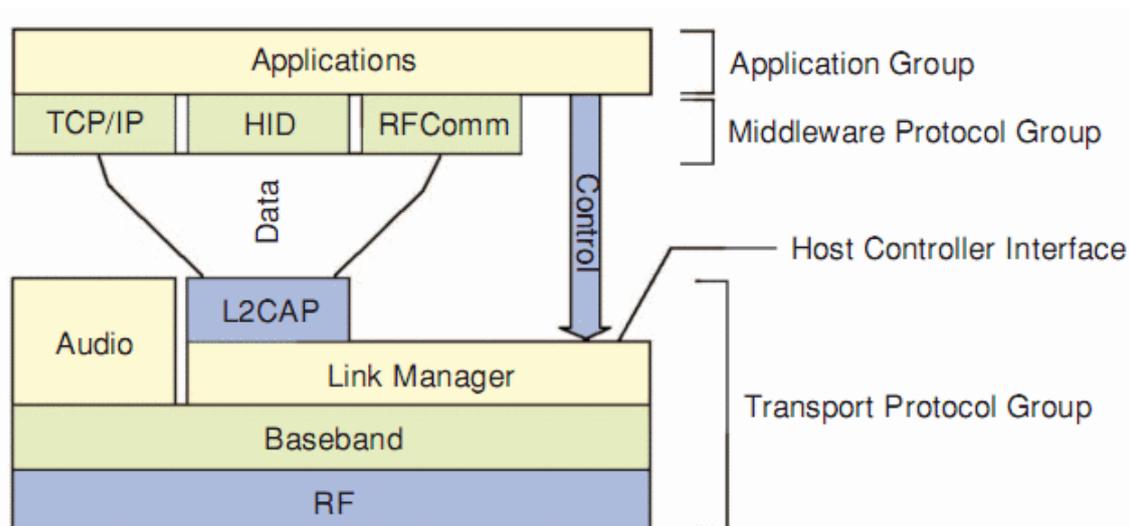


Figura 6 – Pilha de protocolos do núcleo *Bluetooth* (McDermott-Wells, 2004)

O Grupo de Transporte corresponde às camadas Física e de Enlace do modelo *OSI*. Esse grupo de protocolos permite que os dispositivos se localizem e estabeleçam conexões físicas e lógicas entre si. As camadas *Radio Frequency (RF)*, *Baseband*, *Link Manager*, *Logical Link Control and Adaptation (L2CAP)*, e a *Host Controller Interface (HCI)* suportam transmissão síncrona e assíncrona. Seus protocolos são necessários para dar suporte à comunicação entre dispositivos *Bluetooth*.

O Grupo de *Middleware* inclui tanto protocolos padrões da indústria, quanto protocolos terceirizados. Entre os padrões da indústria estão: *Point-to-Point Protocol (PPP)*, *Internet Protocol (IP)*, *Transmission Control Protocol (TCP)*, *Wireless Application Protocol (WAP)*, e o *Object Exchange Protocol (OBEX)*, adotado da *Infrared Data Association (IrDA)*.

Protocolos desenvolvidos pelo *Bluetooth SIG* incluem: *RFCOMM* (emulador de porta serial para aplicações legadas), *packet-based telephony control signal protocol (TCS)* para gerenciar operações telefônicas, e *service discovery protocol (SDP)*, o qual permite que os dispositivos descubram os serviços oferecidos por outros. Ao longo do desenvolvimento das especificações *Bluetooth*, alta prioridade foi dada ao reuso de protocolos já existentes, em prol de uma integração suave com a infraestrutura presente no mercado (ver Figura 7).

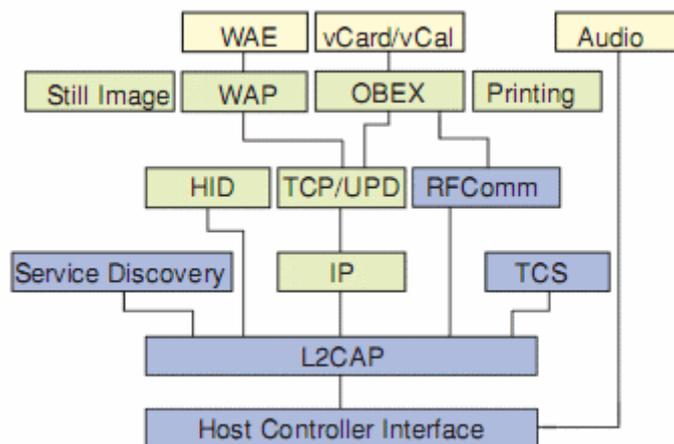


Figura 7 - Interoperabilidade de *Bluetooth* com protocolos já existentes (McDermott-Wells, 2004)

O Grupo de Aplicação engloba as aplicações que usam os enlaces *Bluetooth*. Estejam elas cientes disto ou não (e.g. aplicações legadas).

Segue uma leve descrição de cada protocolo do grupo de transporte:

#### **Camada *Radio Frequency***

Descreve os transceptores.

#### **Camada *Baseband***

Descreve os procedimentos de busca e conexão entre dispositivos, assim como os papéis de mestre e escravo (ver seção 2.4.3.3), e as sequências de salto de frequência usadas pelos dispositivos. Esses usam *Time Division Duplexing*<sup>3</sup> (*TDD*) e *polling*<sup>4</sup> através de transmissão de pacotes para compartilhar o meio. Mestre e escravo só transmitem em seus devidos *slots*<sup>5</sup> de tempo.

Aqui também estão definidos os tipos de pacote, estratégias de detecção e correção de erro, criptografia, e procedimentos para processamento, transmissão e retransmissão de pacotes.

A camada *Baseband* dá suporte a dois tipos de enlace: *Synchronous Connection Oriented* e *Asynchronous Connectionless*. Em uma *piconet* (ver seção 2.4.3.3), cada par mestre-escravo pode escolher seu tipo particular de enlace, e mudá-lo a qualquer momento.

Usado primariamente para transmissão de voz a 64Kbps, o enlace *Synchronous Connection Oriented (SCO)* é orientado a conexão, simétrico e ponto-a-ponto entre o dispositivo mestre e o escravo. Pode ser definido como conexão através de comutação de circuito, pois o mestre reserva *slots* de tempo do canal para dar prioridade aos pacotes *SCO* (um pacote *SCO* ocupa sempre um *slot*). Normalmente é usado para transmitir informação de tempo real (e.g. Voz), uma vez que não emprega retransmissões. Um dispositivo mestre pode manter até três

<sup>3</sup> *Time Division Duplexing (TDD)*: Aplicação da multiplexação por divisão do tempo para separar os sinais de ida e de volta, criando um canal half-duplex.

<sup>4</sup> *Polling*: Seleção sequencial.

<sup>5</sup> *Slot*: Janela.

enlaces *SCO*, seja para um mesmo dispositivo escravo, seja para escravos diferentes. Um dispositivo escravo, por sua vez, pode manter até três enlaces *SCO* de um mesmo mestre, ou dois de mestres diferentes. Enlaces *SCO* só podem ser estabelecidos após um enlace *ACL* tê-lo sido.

O enlace *Asynchronous Connectionless (ACL)*, por sua vez, faz pura comutação de pacotes (não há reserva de recursos) e é usado primariamente para transmissão de dados assíncronos, os quais surgem tipicamente em rajadas. Para garantir a integridade dos dados há retransmissões. Apenas um enlace *ACL* pode existir entre um mestre e um escravo. O dispositivo mestre escala os pacotes *ACL* nos *slots* de tempo não reservados pelos enlaces *SCO*. Pacotes *ACL* podem ocupar 1, 3 ou 5 *slots*, dependendo do tamanho de seu *payload*<sup>6</sup>.

### **Camada *Link Manager***

Esta camada implementa o protocolo de gerenciamento de enlace, o qual gerencia a alocação de largura de banda para dados em geral, reserva de largura de banda para tráfego de voz, autenticação, criptografia e controle de potência utilizada. O controle de potência é feito através da negociação de modos de operação de baixa potência e da determinação dos níveis de potência dos transmissores.

### **Camada *Logical Link Control and Adaptation (L2CAP)***

Trata-se de uma interface entre os protocolos de camada mais alta e camada mais baixa. Suporta a multiplexação de vários protocolos de camada superior, como *RFCOMM* e *SDP*, permitindo que múltiplos protocolos compartilhem o meio. Esta camada também é responsável pela segmentação e reconstrução de pacotes.

### **Camada *Host Controller Interface (HCI)***

Provê uma interface padrão para que aplicações de nível mais alto acessem as camadas mais baixas da pilha de protocolos.

## **2.4.3.2 Comunicação**

O transceptor *Bluetooth* opera na banda não regulada *ISM (Industrial Scientific Medical – ver Apêndice A)* centrada em 2,45GHz. O uso dessa banda permite que um dispositivo *Bluetooth* seja vendido para qualquer lugar do mundo, sem preocupação com as alocações regionais de espectro. O problema é que a mesma banda também é usada por uma miríade de outros transmissores/propagadores de ondas de rádio, indo de telefones sem fio a *LANs Wi-Fi* e fornos de microondas.

Uma grande preocupação de *Bluetooth* está nessa interferência advinda de outras conexões *Bluetooth* ou outros transmissores de maior potência na mesma banda. Para evitar essa interferência imprevisível e variante no tempo, é usada a técnica *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS – ver Apêndice B)*. A *Federal Communications Commission (FCC)*<sup>7</sup> limita o pico

<sup>6</sup> *Payload*: Carga útil.

<sup>7</sup> *Federal Communications Commission (FCC)*: Agência federal americana responsável pela regulamentação das telecomunicações.

máximo de potência de saída em 1W para *Bluetooth*, com o objetivo de diminuir sua interferência na banda *ISM*. O alcance do sinal emitido vai tipicamente de alguns centímetros a 10 metros.

Em seu esquema *FHSS*, *Bluetooth* divide sua banda de frequências em 79 sub-bandas com largura de 1MHz (ver Figura 8). Quando conectado a outro(s), um dispositivo *Bluetooth* realiza 1600 saltos (*hops*) pseudo-aleatórios de frequência por segundo, mantendo-se por 625us em cada sub-banda. Quando está no modo *page* ou *inquiry* (ver seção 2.4.3.4), realiza 3200 saltos por segundo, mantendo-se por 312,5us em cada sub-banda. O *FHSS*, além de diminuir a interferência, agrega segurança à transmissão, para a qual *Bluetooth* usa modulação por chaveamento de frequência (*FSK* - ver Apêndice D).

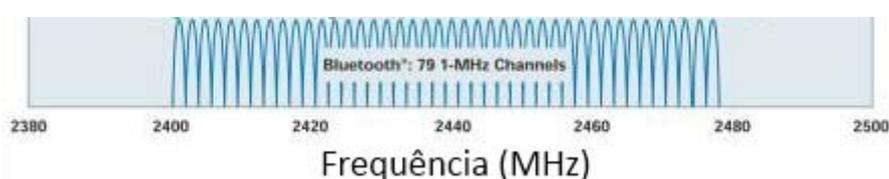


Figura 8 - Faixa de espectro utilizada por *Bluetooth* (Design & Reuse)

A comunicação entre dispositivos é *Half-Duplex*<sup>8</sup>, realizada através de *Time Division Duplexing* (*TDD*) com um *slot* de tempo de 625us, o suficiente para a transmissão de um pacote padrão de único *slot*. Na camada *Baseband*, um pacote consiste em: código de acesso, cabeçalho e carga útil, como pode ser visto na Figura 9.

Código de Acesso [72 bits]	Cabeçalho [54 bits]	Carga útil [0-2745 bits]
-------------------------------	------------------------	-----------------------------

Figura 9 - Formato padrão de um pacote *Bluetooth*

O código de acesso é usado para sincronização de tempo, compensação de *offset*, *paging* e *inquiry*. Existem três tipos de códigos de acesso: *Channel Access Code*, *Device Access Code* e *Inquiry Access Code*. O *Channel Access Code* (*CAC*) contém a identidade de uma *piconet*, e serve para que um nó filtre as mensagens de outras *piconets* às quais não pertence. O *Device Access Code* (*DAC*) é usado no procedimento de *paging*, e o *Inquiry Access Code* (*IAC*) no procedimento de *inquiry*.

O cabeçalho contém informações de controle de camada de enlace: confirmação de pacote (*acknowledgement*), numeração de pacote para reordenamento, controle de fluxo, e endereço do escravo. Para detecção e correção de erros de cabeçalho, este é codificado com *Forward Error Correcting* (*FEC*) à taxa de 1/3.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> *Half-Duplex*: Em uma comunicação de duas vias, os dados só trafegam em um sentido de cada vez.

<sup>9</sup> *Forward Error Correcting* (*FEC*): Correção de Erros de Repasse. Trata-se da capacidade do receptor de detectar e corrigir erros imediatamente. Técnicas *FEC* previnem o atraso de propagação da viagem de ida e volta de uma retransmissão de pacote defeituoso. Uma codificação *FEC* com taxa de 1/3 significa

A carga útil pode conter um campo de dados, um campo de voz, ou ambos. A carga útil também carrega um código *Cyclic Redundancy Check*<sup>10</sup> (CRC) de 16 bits para detecção e correção de erros (apenas de si mesma) e pode, opcionalmente, utilizar FEC. Pacotes SCO não contêm CRC. Para enlaces SCO, o pacote completo deve ocupar apenas um *slot* de tempo. Já para enlaces ACL, este pode ocupar um, três ou cinco *slots*, dependendo do tamanho de sua carga útil.

Os métodos FEC são usados porque reduzem o número de retransmissões. No entanto, por adicionarem *overhead* significativo, geralmente são evitados em ambientes relativamente livres de erro, com exceção dos cabeçalhos dos pacotes. *Bluetooth* também usa *Automatic Repeat Request*<sup>11</sup> (ARQ) em enlaces ACL.

Toda a comunicação entre dispositivos se dá em duas vias, através de *Time Division Duplexing* (TDD) entre mestre e escravo: não há comunicação entre escravos. O mestre faz um *polling* por todos os escravos para descobrir quem deseja transmitir. Uma vez que o escravo foi *polled* em um determinado *slot*, ele deve transmitir no *slot* imediatamente posterior. Em cada *slot* de tempo, uma diferente sub-banda é usada. Portanto, uma sequência de saltos e sua fase definem um canal *Bluetooth*. (Haartsen, 2000 )

### 2.4.3.3 Piconets e Scatternets

Uma rede de dispositivos *Bluetooth* que compartilham o mesmo canal se chama *piconet*. Uma *piconet* apresenta uma topologia estrela em que um dispositivo faz o papel de mestre enquanto o resto faz papel de escravo. Não há limite para o número de escravos, mas no máximo sete podem estar ativos. (McDermott-Wells, 2004) Cada dispositivo mestre tem uma sequência particular de saltos determinada pela sua identidade única. A sequência é cíclica e tem um período de quase 24 horas.

O mestre compartilha sua identidade única e seu clock com cada escravo da *piconet*. A partir destas informações, cada escravo deve recriar a sequência de saltos e o momento em que estes ocorrerão. O mestre também é responsável por instruir os escravos a mudarem de estado.

Qualquer dispositivo *Bluetooth* dentro de uma *piconet* pode funcionar como mestre ou escravo. Esses papéis são temporários e só existem enquanto a *piconet* existir.

---

que cada bit é enviado três vezes, de forma que seu valor original é determinado pelo receptor por voto de maioria.

<sup>10</sup> *Cyclic Redundancy Check* (CRC): Verificação de Redundância Cíclica. Técnica de detecção de erros amplamente usada nas redes de computadores.

<sup>11</sup> *Automatic Repeat Request* (ARQ): Solicitação Automática de Repetição. Protocolo em que o destinatário envia ao remetente respostas de reconhecimento positivo (ACK) ou negativo (NAK) dos pacotes que recebeu. Ao receber um NAK, o remetente entende que o pacote chegou com erro no destino, e o reenvia.

Um dispositivo ponte (também chamado de *gateway*) interconecta duas *piconets*. Ele participa das duas *piconets* através de Multiplexação por Divisão de Tempo<sup>12</sup> (TDM). O dispositivo ponte só pode se comunicar com uma *piconet* de cada vez; e toda vez que muda de *piconet*, precisa se sincronizar novamente, incorrendo em um overhead que pode torná-lo um gargalo. O dispositivo ponte pode ser escravo em uma *piconet* e mestre em outra, ou escravo nas duas. *Piconets* unidas por dispositivos ponte são denominadas *Scatternets* (ver Figura 10).

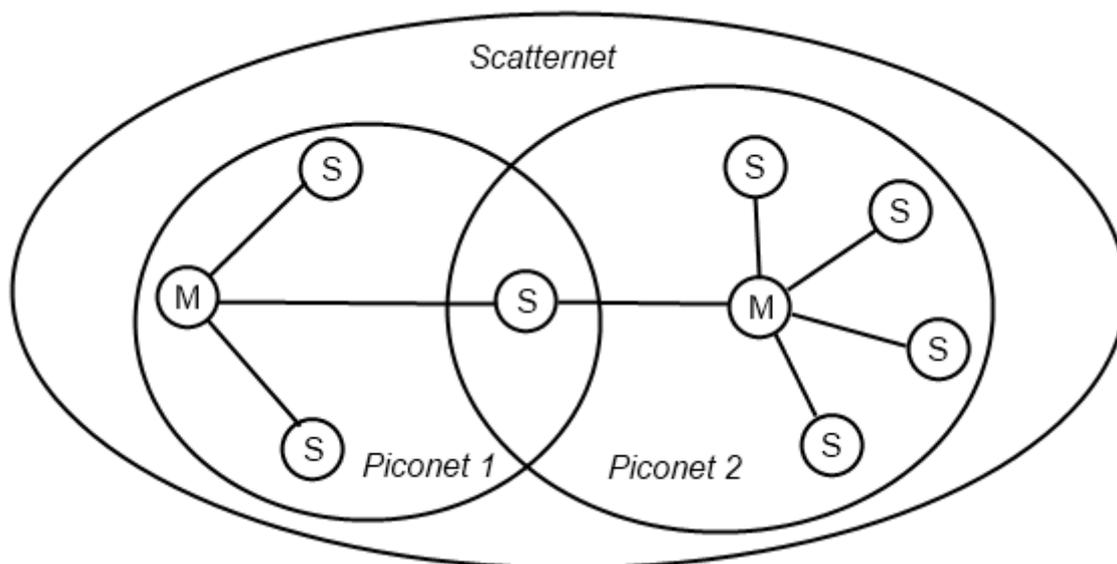


Figura 10 - *Scatternet* composta por duas *piconets*. Cada nó corresponde a um dispositivo. Os nós M são os mestres; os nós S, escravos.

A abordagem *FHSS* para divisão do canal permite que várias *piconets* independentes coexistam com mínima ou nenhuma colisão. Por outro lado, essa divisão da banda *ISM* 2.4GHz em 79 canais de banda estreita (1MHz) traz uma menor capacidade de transmissão para o canal.

#### 2.4.3.4 Estados de um dispositivo *Bluetooth*

Há oito estados que determinam o comportamento de um dispositivo *Bluetooth*. São eles: *standby*, *inquiry*, *page*, *connected*, *transmit*, *sniff*, *hold* e *park* (ver Figura 11). Um dispositivo em *standby* está ligado mas não pertence a uma *piconet*. Ele entra no estado *inquiry* quando envia mensagens de descoberta a fim de encontrar outros dispositivos. Em caso de sucesso, geralmente este dispositivo (o *inquirer*) se torna o mestre.

<sup>12</sup> *Time Division Multiplexing (TDM)*: Tipo de multiplexação em que dois ou mais sinais (ou *bit streams*) são transferidos aparentemente de forma simultânea no mesmo canal, mas que na verdade usam subcanais. Estes subcanais são formados por intervalos (slots) de tempo periódicos do canal.

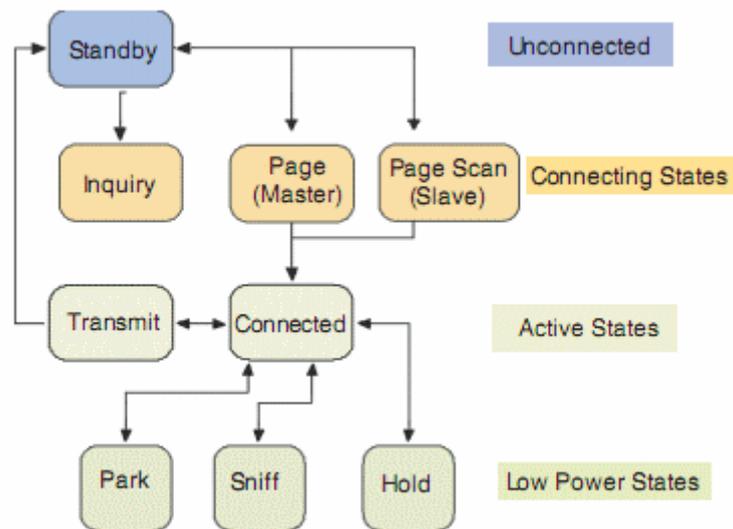


Figura 11 - Estados de um dispositivo *Bluetooth* (McDermott-Wells, 2004)

Quando um dispositivo mestre entra no estado *page*, ele envia requisições a dispositivos em modo *standby*, convidando-os a se juntar à sua *piconet*. Além de estarem sob alcance, estas unidades devem se encontrar ao mesmo tempo na mesma *hop carrier* (portadora em uma frequência de salto).

Uma unidade em modo *standby* fica em um estado de baixo consumo, onde dorme a maior parte do tempo. Ao completar cada período de dormência, acorda para escanear uma das 32 frequências de salto dedicadas para o estabelecimento de conexões. A unidade *pager* não sabe quando e em qual frequência um recipiente vai escanear, portanto envia *pages* de forma sequencial e rápida por todas as 32 frequências.

Quando um dispositivo consegue se comunicar com sucesso com um mestre, ele assume papel de escravo, entra no estado *connected* e recebe um endereço de ativo (o endereço de ativo tem 3 bits, já que apenas sete escravos podem estar ativos ao mesmo tempo). Quando quer transmitir, o escravo entra no modo *transmit*. Assim que termina sua transmissão, volta ao estado *connected*. Para entender melhor o procedimento, veja a Figura 12.

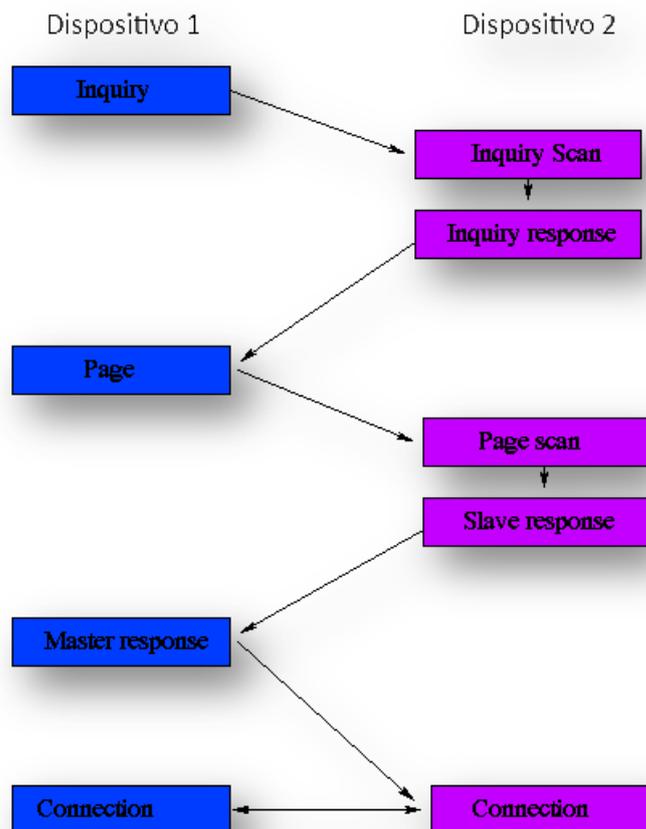


Figura 12 - Procedimento para descoberta e conexão de dispositivos *Bluetooth* (Palo Wireless)

O estado *sniff* é um estado de baixo consumo em que o dispositivo escravo dorme por um determinado número de *slots* e acorda para transmitir, periodicamente. O estado *hold*, por sua vez, mantém o escravo dormindo, mas por um tempo que é novamente determinado a cada vez que este acorda. Não há transmissão de dados no estado *hold*. Quando um dispositivo escravo não precisa mais transmitir nem receber dados, o dispositivo mestre pode instruí-lo a entrar no estado mais profundo de dormiência: *park*. Neste estado o dispositivo abre mão de seu endereço ativo, o qual o mestre pode ceder a outro dispositivo que esteja removendo do estado *park*.

## 2.4.4 Versões

### 2.4.4.1 *Bluetooth* 1.2

- Realiza *Adaptative Frequency Hopping*, técnica que visa reduzir a rádio interferência ao evitar o uso das frequências mais ocupadas na sequência de saltos (*hops*).
- Máxima taxa de transmissão de um canal é de 1Mbps (721Kbps úteis).
- Flexível, adaptável e robusta.

#### 2.4.4.2 Bluetooth 2.1 + Enhanced Data Rate (EDR)

- Ratificada em 2004. Teve produtos lançados a partir de 2005.
- Evolução da versão 1.2 com o objetivo de acompanhar a demanda do mercado por maiores taxas de transmissão.
- Mudanças de modulação e novos tipos de pacotes permitiram taxas de transmissão de até 3Mbps (três vezes maiores que a versão 1.2).
- Taxas de transmissão três vezes maiores significaram transceptores ligados por um terço do tempo, poupando dois terços da energia gasta na versão 1.2.
- Retrocompatibilidade total com a versão 1.2 permite a coexistência de dispositivos padrão 1.2 e padrão *EDR* em uma mesma *piconet*.

#### 2.4.4.3 Bluetooth 3.0 + High Speed (HS)

- Ratificada em 2009. Teve produtos lançados a partir do mesmo ano.
- Aguardada versão que usaria um combo alternativo de camadas *MAC & Física* para alta taxa de dados. Esperava-se que usasse o aguardado *WiMedia UWB*, mas acabou optando pelo mais maduro 802.11 (*Wi-Fi*).
- Taxas de transmissão de até 24Mbps.
- Retrocompatibilidade com as versões anteriores.
- Alterna dinamicamente entre os dois combos de camadas *MAC & Física*: para alta taxa de dados, usa 802.11; para baixa taxa de dados, usa *Bluetooth* (mais econômico).

#### 2.4.4.4 Bluetooth 4.0

- Ratificada em 2010. Deverá ter produtos lançados a partir de 2011
- A característica principal é um modo de baixíssimo consumo, o que permitirá que determinados equipamentos possam funcionar por anos com o uso de baterias do tamanho de moedas (coin-cell).
- Esse novo padrão abrirá mercado nas áreas de saúde, esportes, segurança, e entretenimento doméstico em que os dispositivos necessitem de tamanho reduzidíssimo, baixíssimas taxas de transmissão e baixíssimo consumo (e.g. redes de sensores).

### 2.4.5 Aplicações

*Bluetooth* é direcionada àqueles dispositivos que com maior frequência formam uma *Personal Area Network (PAN)*: fones de ouvido, mouses, teclados, celulares, automóveis (conexão com celulares para hands-free calling), impressoras, câmeras digitais, mp3 players, notebooks e outros.

Em contraste com as *Local Area Networks (LANs)*, a natureza das PANs implica em um mínimo de pré-configuração, ou seja, deve ser possível estabelecer a rede de forma *ad-hoc*, com pouca intervenção do usuário. *Bluetooth* atende a esse requisito.

Também é bem provável que a maioria dos dispositivos seja alimentado por bateria, o que eleva a preocupação com o seu eficiente uso. A arquitetura *piconet* do *Bluetooth* permite que o dispositivo mestre empreenda uma política rigorosa de acesso ao meio, o que lhe confere maior controle sobre o consumo energético, se comparada a uma política de acesso aleatório. Os dispositivos escravos só ligam seus transmissores quando autorizados pelo mestre, o que evita colisões entre nós de uma mesma *piconet*, as quais causariam perda de eficiência e capacidade. *Bluetooth* oferece baixo consumo em modo *standby* e provavelmente se manterá como conexão padrão para transmissões com baixa taxa de dados de mouses, teclados e headsets.

A documentação de *Bluetooth* é totalmente aberta, e o uso da tecnologia é gratuito e livre de licença. Esse conjunto de características tornam *Bluetooth* uma escolha atraente para a criação de produtos que empregam comunicação sem fio de curto alcance.

## 2.5 Ultra-Wide Band (UWB)

### 2.5.1 O que é UWB

O *ITU-R* e a *FCC* definem *UWB* como qualquer tecnologia de rádio que ocupe uma largura de banda maior do que  $\frac{1}{4}$  da frequência central, ou que tenha largura de banda maior que 500MHz. Uma transmissão de rádio frequência centrada em 1GHz que tenha pelo menos 250MHz de largura de banda e uma transmissão centrada em 4GHz com 500MHz de largura de banda são dois exemplos de transmissões em banda ultra larga.

Transmissões em banda estreita têm uma largura de banda muito menor: da ordem de 10% da frequência central. (James, 2002) Uma transmissão 802.11g, por exemplo, possui 22MHz de largura de banda e sua frequência central é próxima de 2.4GHz.

### 2.5.2 Histórico

O primeiro rádio *UWB*, baseado em pulsos, foi desenvolvido por *Guglielmo Marconi* no final do século 19, com o propósito de transmitir código *Morse*. A tecnologia, chamada *Spark Gap*, manteve-se dominante até que, no início do século 20, rádios de banda estreita (que não transmitiam pulsos, mas sim uma onda contínua) provaram ser melhores para transmissão de voz. Os rádios *Spark Gap* causavam distúrbios na transmissão dos já populares rádios de banda estreita baseados em onda portadora, por isso foram proibidos em 1924 para várias aplicações. (James, 2002)

Com o desenvolvimento do osciloscópio de amostragem por *Hewlett Packard* em 1962, a resposta ao impulso de redes de microondas passou a ser diretamente observável e mensurável. Medições demonstraram que a transmissão de pulsos poderia ser útil tanto para radares quanto para comunicações. Em 1973, o *Sperry Research Center* conseguiu a primeira patente de banda ultra larga, e a tecnologia começou a re-emergir. Na mesma década já passou a ser usada em radares de penetração de solo. (Barrett, 2000) (James, 2002)

No final da década de 1980, a tecnologia ainda era conhecida por vários nomes, tais como *Baseband*, *Carrier-Free* e *Impulse*; mas não como *Ultra-Wide Band*. Só passou a ser chamada assim a partir de 1989, pelo departamento americano de defesa. Até então, o desenvolvimento de técnicas usando esta tecnologia já acumulara trinta anos. (Fontana, 2004) (Barrett, 2000)

No final dos anos 90, houve uma forte discussão sobre sua possível interferência em sistemas de fraco sinal, em especial o sistema *GPS* de posicionamento global. Após um período tortuoso entre 1999 e 2002, a *FCC* estabeleceu os limites de emissões e de espectro para *UWB*, no entanto mudanças a essas regras continuaram em discussão nos anos que se seguiram.

Após a divulgação das regras da *FCC*, o IEEE<sup>13</sup> conduziu grupos de estudo para investigar a possível criação de um padrão *UWB*. Os comitês IEEE 802 têm, já há algum tempo, tradição na comunidade em liderar o desenvolvimento de padrões para *WLANs* e *WPANs*. Como primeiro passo, em janeiro de 2003, o comitê IEEE 802.15.3a foi formado e imediatamente abriu um chamado para o recebimento de propostas: vinte e uma submissões foram recebidas.

Esse elevado número de propostas significava que o comitê do IEEE iria demorar muito mais do que o desejado para avaliá-las. Cientes disso, as companhias com propostas semelhantes começaram a se agrupar para criar propostas conjuntas de forma a acelerar o trabalho do IEEE. Em maio do mesmo ano, o comitê IEEE 802.15.3a se reuniu novamente para avaliar as propostas, e conseguiu reduzir as vinte e uma propostas para apenas duas.

Desde então, uma competição vem se arrastando entre dois grupos com diferentes tecnologias *ultra-wide band*. Um grupo se chamava *Multiband-OFDM Alliance (MBOA)*, liderado pela *Intel*, e o outro se chamava *UWB Forum*, liderado pela *Freescale Semiconductor* (uma *spinoff* da *Motorola*) e a própria *Motorola*.

A proposta tecnológica da *MBOA* era de Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais (*Multi Band OFDM UWB* – ver Apêndice G), enquanto a proposta do *UWB Forum* era de Espalhamento no Espectro por Sequência Direta (*Direct Sequence UWB* – ver Apêndice B).

Ambos tentaram fazer com que sua tecnologia fosse adotada como padrão pelo grupo de trabalho IEEE 802.15.3a. Votação após votação, nenhum dos dois lados conseguiu atingir 75% da preferência, porcentagem mínima necessária para a adoção. Ao contrário de outros comitês que já haviam historicamente lançado dois métodos diferentes como parte do mesmo padrão, o IEEE 802.15.3a considerou que essa abordagem seria particularmente prejudicial para o mercado de *WPAN*, uma vez que dois padrões diferentes para a mesma tecnologia só confundiriam o mercado e dificultariam sua adoção.

O interessante desta contenda é que o *UWB Forum*, formado por 40 companhias de menor porte (exceto por *Motorola*), teve seu primeiro *chipset* (o *XS110*, capaz de transmitir a 110Mbps) pronto e aprovado em 2004 pelo regulamento da *FCC*; ao passo que a *MBOA*, uma

---

<sup>13</sup> Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE): organização profissional sem fins lucrativos fundada nos Estados Unidos. Um dos seus mais importantes papéis é o estabelecimento de padrões para computadores e protocolos de comunicação.

gigante de 170 companhias, incluindo *Intel*, *Texas Instruments*, *Nokia* e *Philips*, ainda não havia nem finalizado as especificações de sua camada física.

As duas propostas eram tão distantes tecnologicamente, que não foi possível entrar em acordo, e o grupo de trabalho IEEE 802.15.3a decidiu se desfazer em 2006 para deixar que o próprio mercado decidisse qual padrão deveria prevalecer. No mesmo ano, o *Bluetooth Special Interest Group* anunciou que adotaria o *UWB* da *WiMedia Alliance* (antes conhecida como *MBOA*) para sua nova especificação com alta taxa de transmissão. (Nass, 2006)

Em 2006, a tecnologia *UWB* da *WiMedia* foi padronizada pela *ECMA International*<sup>14</sup> como o padrão *ECMA-368*. Logo em seguida, em março de 2007, o *ISO*<sup>15</sup>/*IEC*<sup>16</sup> aprovou o padrão da *ECMA* como padrão internacional. A subcamada de acesso ao meio (*MAC*) e a camada física para redes *wireless* com altas taxas de dados entre dispositivos eletrônicos móveis e fixos, foram nomeadas *ISO/IEC 26907*, enquanto a interface entre estas camadas foi nomeada *ISO/IEC 26908*. Pouco antes, o *UWB WiMedia* havia sido aprovado pela *European Commission*<sup>17</sup>, tornando-se então hábil a ser comercializado por toda a Europa. (IHS, 2007)

Essa sucessão de homologações do padrão *WiMedia* entre 2006 e 2007 parece ter sido a pá de cal para o padrão *UWB Forum*, que no ano de 2006 já havia perdido a filiação de *Motorola* e *Freescale*, seus dois membros mais proeminentes. *Motorola* e *Freescale* se retiraram do *UWB Forum* sob a desculpa de focar mais esforços no padrão *Cordless USB* que desenvolviam. Um ato um tanto contraditório, uma vez que este usaria a tecnologia *Direct Sequence UWB* como interface aérea, a mesma defendida pelo *UWB Forum*. Aparentemente, tempos depois o *UWB Forum* se desfez, pois as últimas notícias que podem ser encontradas a seu respeito na *Internet* fazem menção à debandada de *Motorola* e *Freescale*. (Mannion, Freescale, Motorola pull out of UWB Forum, 2006)

Em 2009, após mais de uma *startup* desenvolvedora de *chips UWB* fechar as portas, as vezes que anunciavam a morte de *UWB* se adensaram. (Colombatto, 2009) De fato, até o padrão *Bluetooth High Speed* que, esperava-se, adotaria *UWB* como sua nova camada física/enlace, desistiu deste (ao menos temporariamente) e optou por usar o mais maduro *ISO 802.11*. (Duncan, UWB Bluetooth Picked to Link Home Devices, 2006)

No entanto, ao observar o histórico de tecnologias de sucesso como *Bluetooth* e *Wi-Fi*, percebe-se que elas passaram por problemas similares de startups falidas, problemas de interoperabilidade, demora com regulamentações; e se demoraram por vários anos para superar estes problemas e conquistar o mercado. *Bluetooth* teve uma vencedora, a *CSR*, entre dezenas de startups. Já *Wi-Fi* teve a *Atheros*, entre mais startups ainda. O critério de vitória dado por (Colombatto, 2009) nestes casos está no fato da companhia atingir 1 bilhão de dólares em valor no mercado de ações numa oferta pública inicial (Initial Public Offer - IPO).

<sup>14</sup> *ECMA International*: Antiga Associação Européia dos Fabricantes de Computadores, tornou-se internacional em 1994. Seu propósito é a padronização de tecnologias de informação e comunicação.

<sup>15</sup> *International Organization for Standardisation (ISO)*: Organização internacional cujo propósito é a padronização de tecnologias de informação e comunicação.

<sup>16</sup> *International Electrotechnical Commission (IEC)* : Organização internacional cujo propósito é a padronização de tecnologias de informação e comunicação.

<sup>17</sup> *European Commission*: Corpo executivo da União Européia

*Bluetooth* foi declarada morta já em 2002 (Mannion, *Bluetooth: dead or alive?*, 2004). Apesar disso, em 2008 vendeu só nos Estados Unidos (310 milhões de habitantes) mais de 19 milhões de headsets sem fio. (Duncan, *Bluetooth Headsets Shipments Down Sharply in 2009*, 2009)

Em 2009, a *WiMedia* iniciou um procedimento para transferir todo o desenvolvimento do *UWB* adiante para os grupos *Bluetooth SIG*, *Wireless USB Promoter Group*, e *USB Implementers Forum*, por uma mera questão de conveniência, já que a maioria das empresas da *WiMedia* também faz parte desses outros grupos. (Mannion, *WiMedia folds, UWB spec goes to Bluetooth, USB groups*, 2009)

## 2.5.3 A Tecnologia

### 2.5.3.1 *WiMedia Common Radio Platform*

Adotado pelo *Wireless USB Promoters Group*, pelo *Bluetooth SIG*, e suportado por mais de 350 companhias que hoje fazem a *WiMedia* (*WiMedia*), esse padrão parece ser o mais promissor para se tornar líder de mercado em redes pessoais sem fio (*WPANs*).

Baseado em um esquema de modulação *OFDM* multibanda, o *WiMedia Common Radio Platform* (chamado de *WiMedia Radio*) foi desenvolvido para que os dispositivos capazes coexistam com tecnologias de rede complementares e que sejam interoperantes, independente de fabricante.

Essa plataforma permite que os dispositivos se descubram automaticamente e transfiram grandes quantidades de dados (a 480Mbps) de forma rápida e econômica (consumo menor que 2mW/Mb, uma ordem de magnitude menor do que *Wi-Fi*). (How it Works: *UWB, WPAN and WiMedia Radio Space*, 2008)

A arquitetura *WiMedia Radio* provê mecanismos para descoberta de dispositivos, controle de acesso ao meio, gerenciamento de energia, e dois mecanismos independentes de transmissão de dados para troca segura de dados periódicos ou em rajadas.

Implementa requisitos de *QoS* para priorização de tráfego, especialmente para aplicações sensíveis a latência. Para tanto, controla o acesso ao meio através de um protocolo de distribuição de reservas (*Distributed Reservation Protocol - DRP*) e de um protocolo baseado em prioridades (*Priority-Based Channel Access - PCA*).

A Figura 13 ilustra como a plataforma *WiMedia Radio* dá suporte simultâneo a uma variedade de pilhas de protocolos. Essa flexibilidade lhe confere uma vantagem em termos de recebimento de novos protocolos sobre sua plataforma. Todos os protocolos, porém, devem obedecer a certas políticas para garantir a boa coexistência em ambientes com densa utilização do meio.

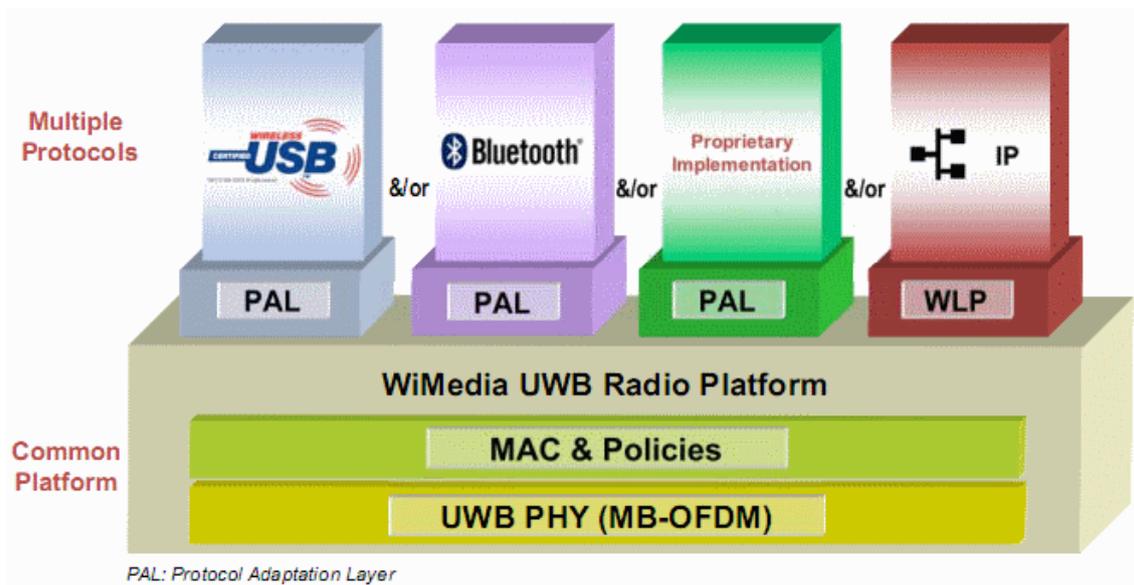


Figura 13 - WiMedia Common Radio Platform (How it Works: UWB, WPAN and WiMedia Radio Space, 2008)

Cada símbolo *OFDM* tem energia menor do que  $-41.3\text{dBm/MHz}$ , o que o deixa em conformância com as regras da *FCC*. (How it Works: UWB, WPAN and WiMedia Radio Space, 2008)

### Camada Física

Quando uma onda de rádio é emitida de uma antena, ela é refletida em várias superfícies, de forma que várias ondas (reflexões) vindo de direções diferentes chegam à antena receptora. Na recepção essas ondas podem se combinar fora de fase, causando interferência destrutiva (*fading*).

Esses caminhos múltiplos que o sinal toma trazem limitações técnicas ao envio de pulsos. Para mitigar os problemas de multicaminhos e ainda atingir a alta vazão prometida por *UWB*, foi escolhido o esquema *Multiband OFDM (MB-OFDM)*.

A plataforma *WiMedia* divide a faixa de espectro de 3.1 a 10.6GHz em catorze diferentes bandas de 528MHz de largura. As catorze bandas são reunidas em seis grupos (ver Figura 14). Os grupos de 1 a 4 têm três bandas cada um, e o grupo 5 tem duas. Por fim, o grupo 6 combina bandas dos grupos 3 e 4 para atender melhor a certos domínios regionais de regulamentação (ver Figura 15). A operação acima de 6GHz elimina o impacto de *UWB* sobre os rádios a 2.45GHz, e simplifica o desenvolvimento do filtro que isola os sinais *UWB* dos não-*UWB*; além de casar bem com as regulamentações mundiais pendentes para *UWB*.

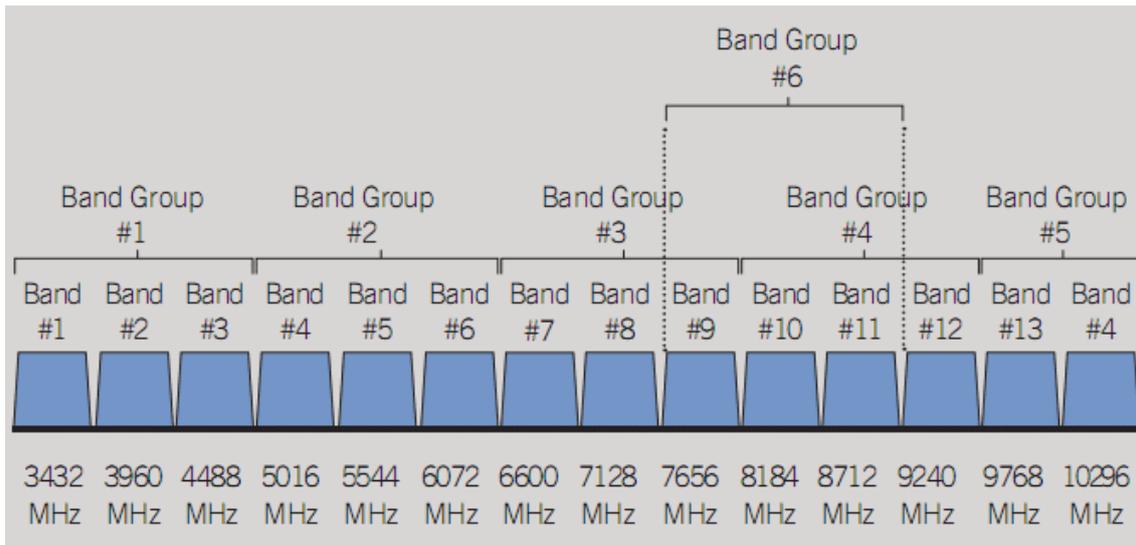


Figura 14 - Bandas de frequência *WiMedia* (How it Works: UWB, WPAN and *WiMedia* Radio Space, 2008)

Cada banda de 528MHz é dividida em 128 sub-bandas. Cada sub-banda abrigará uma onda portadora. Dessas 128 bandas, apenas 122 são utilizadas de fato. Das 122 bandas que sobraram, 100 levam dados, 12 são usadas como referência para controle, e as 10 remanescentes são de guarda. Cada símbolo em uma das portadoras persiste por 312,5ns e é modulado usando deslocamento de fase por quadratura (*QPSK* – ver Apêndice F).

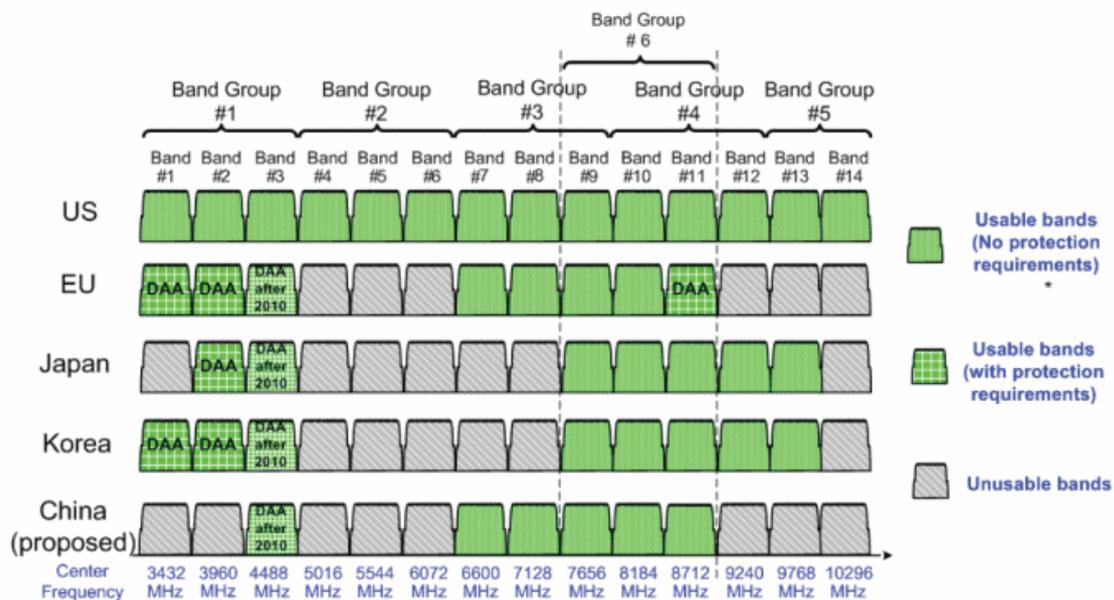


Figura 15 - Estado regulatório mundial para *UWB* em julho de 2008 (How it Works: UWB, WPAN and *WiMedia* Radio Space, 2008)

*MB-OFDM* usa espalhamento nos domínios da frequência e do tempo, e codificação *FEC* para prover um sinal robusto nos baixíssimos níveis de emissão permitidos pelas agências reguladoras. Os dados codificados são espalhados usando dois tipos de *time-frequency codes* (*TFCs*): *Time-Frequency Interleaving* (*TFI*), no qual o rádio salta entre duas ou três bandas; e

*Fixed-Frequency Interleaving (FF)*, onde os dados são transmitidos em uma banda única. Cada um dos grupos de bandas 1,2,3,4 e 6 tem dez canais definidos (*TFC*), consistindo em sete *TFIs* e três *FFIs*, enquanto o grupo 5 tem uma *TFI* e duas *FFIs*, totalizando 53 canais.

Os dados são modulados e demodulados em portadoras individuais usando uma Transformada Inversa Rápida de Fourier (*IFFT*) de 128 pontos no transmissor e uma Transformada Rápida de Fourier (*FFT*) no receptor. O período da *IFFT* é usado para adicionar à porção de dados do símbolo *MB-OFDM* um prefixo de zeros no início e um tempo de guarda no fim. Um prefixo cíclico (*Cyclic Prefix - CP*) é usado para prevenir de interferência intersímbolos<sup>18</sup> (*Inter Symbol Interference - ISI*) e entre canais (*Inter Channel Interference - ICI*).

### Subcamada de Controle de Acesso ao Meio (*MAC Layer*)

A subcamada de controle de acesso ao meio (pertencente à camada de enlace do modelo *OSI*) da plataforma *WiMedia Radio* apresenta uma arquitetura distribuída. Todos os dispositivos são capazes de executar funções equivalentes, como remover qualquer ponto de falha para melhorar a robustez da rede. As regras de arbitração para o controle de acesso ao meio são baseadas em reservas e prioridades. Além de prover uma arquitetura *Peer-to-Peer* robusta, o controle de acesso ao meio também permite a operação concorrente de sistemas *WPAN* controlados por um nó central (nó mestre), tais como *Wireless USB*.

O tempo de um canal é dividido em superquadros, os quais descrevem intervalos periódicos para facilitar a operação dos dispositivos. Um superquadro tem 65536us divididos em 256 intervalos de acesso ao meio (*Medium Access Slots - MASs*) com duração de 256us (ver Figura 16). Os dispositivos podem negociar para reservar um ou mais *MAS* para se comunicar com seus vizinhos. Em essência um superquadro permite que todos os dispositivos na *WPAN* se sincronizem com uma referência comum no tempo com precisão de 1us, e coordena quando eles transmitirão e escutarão: tanto para otimizar o uso do canal, como para controlar o consumo de energia.

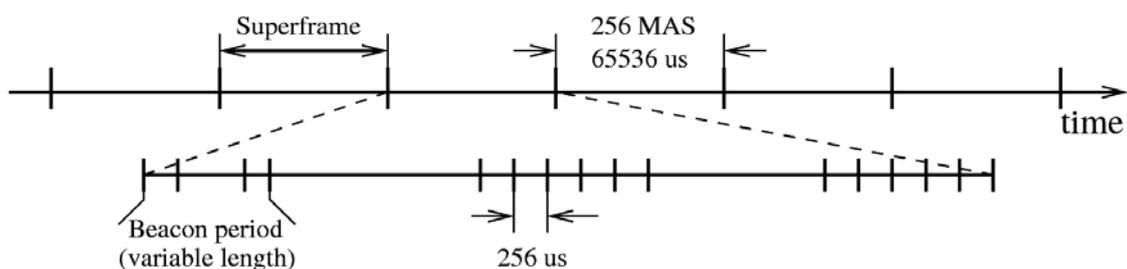


Figura 16 - Estrutura do superquadro da camada MAC da *WiMedia* (Daneshi & Ruby)

<sup>18</sup> Interferência Intersímbolos: Em um ambiente multicaminhos, o atraso de propagação dos símbolos pode fazer com que um símbolo chegue no receptor durante o período do símbolo seguinte, causando interferência. Quando trata-se de uma transmissão com alta taxa de símbolos, esse problema se agrava, pois o intervalo de tempo entre dois símbolos consecutivos diminui.

Um superquadro é dividido em: um período de *beacon* (*Beacon Period - BP*) e um período de transmissão de dados (*Data Transfer Period - DTP*). O *BP*, que tem uma duração variável, contém subintervalos usados pelos dispositivos para enviar *beacons* contendo informações de controle de rede e de dispositivo. Todos os dispositivos sincronizam suas operações de superquadro no *BP*.

Como o controle de acesso ao meio é distribuído, cada dispositivo pode definir seu próprio *BP*. Para prevenir múltiplos *BPs* e prover um acesso ordeiro ao meio, cada dispositivo escaneia o meio procurando por *beacons* antes de iniciar sua operação. Se o dispositivo receber *beacons* de outros já em operação, ele alinha sua operação à destes. Se não detectar nenhum *beacon*, cria um novo *BP* enviando seu próprio *beacon*. O procedimento de *beaconing* realiza um papel vital para a coexistência entre os dispositivos.

É no restante do superquadro, no chamado *DTP*, que os dispositivos acessam o meio. Nesse período, usam *slots* de tempo (*MASs*) predeterminados pelo protocolo de distribuição de reservas (*Distributed Reservation Protocol - DRP*) e/ou pela determinação de prioridades (*Prioritized-based Channel Access - PCA*). Ambos os protocolos de acesso provêm suporte a *QoS* em um meio compartilhado. O *DRP* permite que dispositivos reservem *slots* (*MASs*) para tráfego periódico. Já o *PCA* é um esquema “escute antes de transmitir” de baixo overhead, apropriado para transmissões assíncronas. As regras do *DRP* definem como os dispositivos devem negociar suas reservas e requerem que todos os dispositivos respeitem as reservas de seus vizinhos. Um dispositivo é capaz de usar simultaneamente *PCA* e reservas *DRP* para satisfazer seus requisitos de tráfego.

Enfim, várias outras funcionalidades são também realizadas através de *beacons*, tais como a sinalização de um dispositivo que pretende entrar em modo econômico (hibernação) ou trocar de canal físico.

### **Camadas de Adaptação de Protocolo**

A plataforma de rádio *WiMedia* possui diversas camadas de adaptação de protocolo (*Protocol Adaptation Layers – PALS*) já definidas, incluindo *Wireless USB* e *Bluetooth*. A taxa de dados da camada física (até 480Mbps, o mesmo do *USB 2.0*) é rápida o suficiente para dar suporte a muitos outros protocolos da indústria, como *Ethernet*, *DVI* e *HDMI*. Espera-se que esta evolua a números da ordem de 1Gbps para dar suporte a aplicações mais pesadas e exigentes.

#### **2.5.3.2 Direct Sequence UWB**

Este padrão foi fomentado pelo extinto *UWB Forum*, liderado pela *Freescale Semiconductor*.

Os dados são transmitidos em um esquema de espalhamento de espectro com sequência direta (*Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS*), ou seja, pequenos pulsos modulados por amplitude ou por fase, resultando em um espectro sem portadora. O pulso modulado pelo

*Direct Sequence UWB (DS-UWB)* tem um tempo de subida e descida muito curto, resultando em uma forma de onda que ocupa vários gigahertz de largura de banda.<sup>19</sup>

### Camada Física

Utiliza 2 bandas (ver Figura 17). Suporta teoricamente transmissão de dados a até 1320Mbps (embora a *XtremeSpectrum* tenha lançado apenas um *chip*, o *XS110*, limitado em meros 110Mbps).

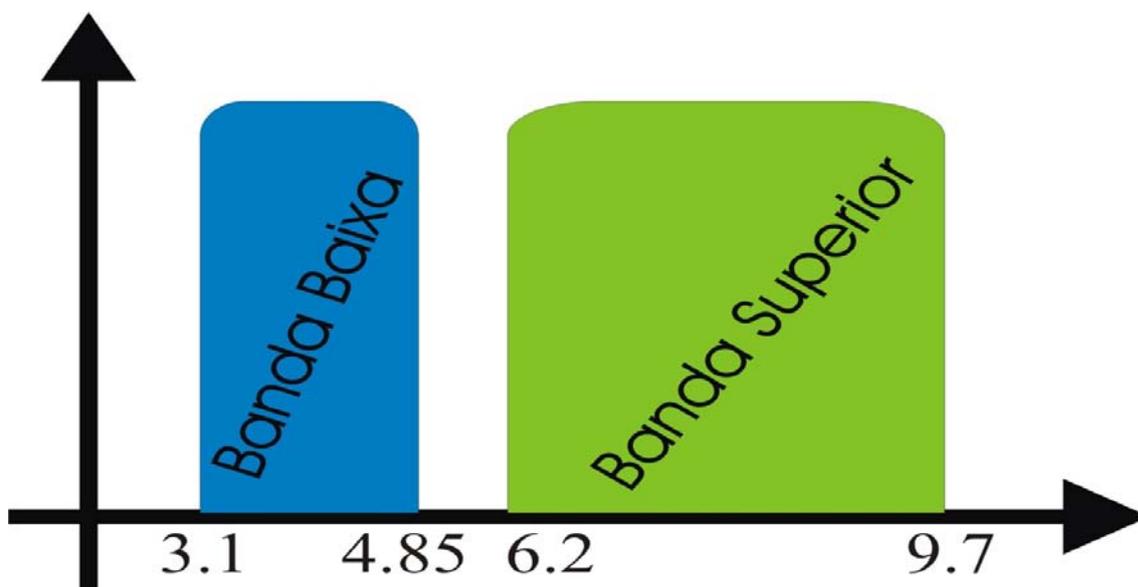


Figura 17 - Espectro utilizado pelo DS-UWB (Fialho & Florêncio)

Comparado com arquiteturas tradicionais de transceptores de rádio, a relativa simplicidade dos transceptores *DS-UWB* traz benefícios em custo de materiais e em consumo energético. (Foerster, Green, Somayazulu, & Leeper, 2001) Como o consumo médio de energia do transmissor *UWB* cresce linearmente com a frequência de repetição de pulsos, é fácil imaginar um rádio *UWB* que, controlado por software, poderia mudar dinamicamente seu consumo, taxa de dados, e alcance.

### 2.5.3.3 Baixa Densidade de Potência

A banda de frequências ultra larga aliada à baixa potência de transmissão conferem a *UWB* uma densidade de potência por banda muito baixa (-41dBm/MHz), pondo-lhe no mesmo nível de emissões não intencionais de PCs (imposição da *Part 15* da *FCC*, ver Figura 18); o que o torna inofensivo em termos de interferência a serviços de outras bandas de frequência licenciadas. (James, 2002)

<sup>19</sup> Para um sinal banda base, como *UWB*, a largura de banda equivale à máxima frequência de seu sinal. Como o pulso enviado por *UWB* tem uma frequência altíssima, assim o é sua largura de banda.

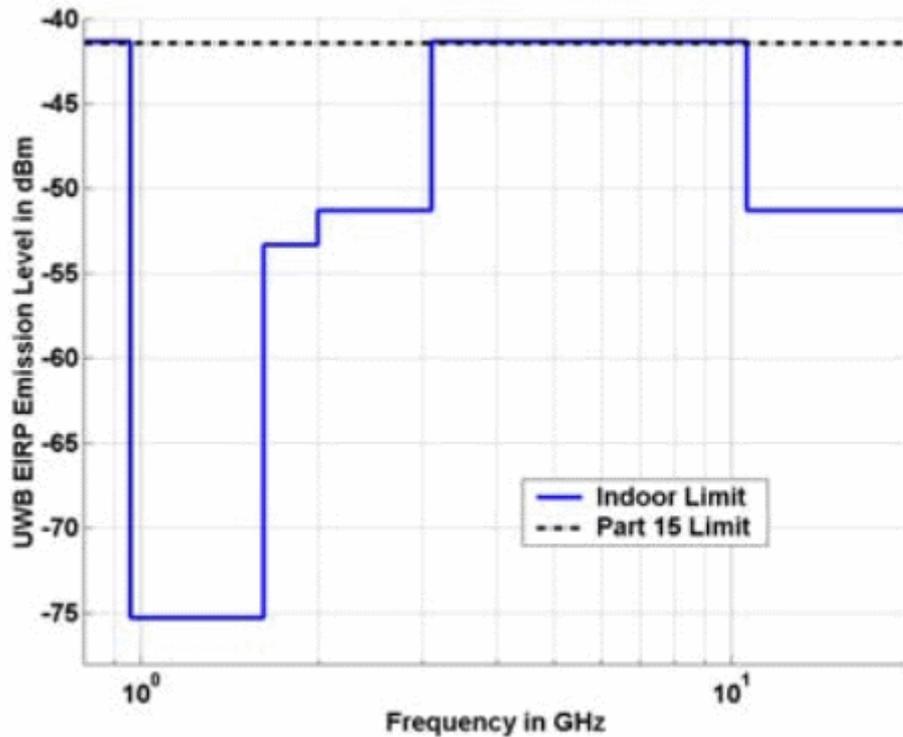


Figura 18 - Limitação de emissões *indoor* para UWB imposta pela FCC Part 15 (James, 2002)

## 2.5.4 Aplicações

UWB goza de propriedades únicas que o tornam bastante vantajoso para aplicações que requerem transmissão de altas taxas de dados a baixo consumo energético, porém a curto alcance. Isso o torna especialmente atraente para comunicação de campo próximo (*near field*), típica de *Wireless Personal Area Networks (WPANs)*. Já para *Wireless Local Area Networks (WLANs)* e *Wireless Wide Area Networks (WWANs)*, UWB não serve, pois precisar-se-ia de uma maior potência de transmissão, o que causaria interferência indesejada nos sinais de banda estreita usados por outros dispositivos.

Portanto, a conexão de periféricos a computadores pessoais e automóveis, como mp3 players, discos rígidos externos, câmeras digitais e projetores, é uma das possíveis aplicações. Outra aplicação doméstica é a transmissão de filmes em alta resolução entre *home theater pcs (htpcs)* ou tocadores de *bluray* e *home theaters* (ver Figura 19).



**Figura 19 - Transmissor e receptor UWB para multimídia de alta definição da Gefen. Usa o grupo 1 do espectro para transmitir vídeo de alta resolução (1080p) e som de 6 canais, comprimidos. (Gefen)**

Redes de sensores podem beneficiar-se da comunicação por *UWB*, especialmente aquelas que exigem um número elevado de sensores próximos uns aos outros, de baixo custo e baixo consumo. Uma rede como esta poderia ajudar as pessoas a encontrarem uma vaga livre em um estacionamento, ou informar as condições ambientais e/ou climáticas em grandes edificações. (James, 2002)

Radares para localização e posicionamento com alta precisão no tempo e no espaço foram um dos primeiros focos de pesquisa para o uso de banda ultra larga. O envio de pulsos curtos (sinais de banda ultra larga) provê reflexões detalhadas para a localização de alvos com resolução na ordem de centímetros. Essa propriedade especial de *UWB* tem inspirado aplicações médicas para escaneamento em três dimensões de tumores no corpo humano (Harker, Chadwick, & Harris, 2008), e de sensores sem fio para monitoramento de ritmo cardíaco e respiratório. Aplicações militares antes vistas apenas em filmes de ação, como radares para localizar objetos ou alvos vivos (pessoas) através de paredes, podendo inclusive informar suas taxas cardíaca e respiratória, são possíveis com *UWB*. (Chia, S.W., Sim, & Chan, 2005)

*UWB* provê a forma mais eficiente de se transferir multimídia de alta definição, economizando significativa bateria, chegando a ser uma ordem de magnitude mais econômica que *Wi-Fi* (How it Works: *UWB*, WPAN and WiMedia Radio Space, 2008). *UWB* possui boa eficiência espectral, robustez contra interferência advinda de multi caminhos, e boa coexistência com outras tecnologias do mesmo espectro.

No entanto, alguns dos poucos produtos inicialmente lançados não fizeram sucesso. Isso pode se justificar pela imaturidade da tecnologia (frente à expectativa que foi criada em torno desta) e pelas dificuldades que tem enfrentado em termos de legalização de espectro e emissões de rádio ao redor do mundo.

## 2.6 Wireless USB

### 2.6.1 O que é Wireless USB

Definido em 2002, o padrão *USB 2.0*, que permite transferências de até 480Mbps, tornou-se discutivelmente o padrão de interconexão de periféricos para *PC* mais popular de todos os tempos: foi-se o tempo em que para cada equipamento usava-se um cabo diferente. (Jones, 2006) No presente momento, os usuários mais leigos já “sabem” o que é *USB*; impressoras usam *USB* para se conectar diretamente a câmeras; mouses e teclados se conectam ao *PC* via *USB*. *USB* permitiu, pela primeira vez, que donos de *Macintoshes* e *PCs* usassem os mesmos periféricos. O protocolo *USB* vem sendo usado até em aplicações não tradicionais, como a automação industrial. (Wireless Universal Serial Bus Specification, Revision 1.1 , 2010)

A certeza exata que o usuário de hoje tem do que vai acontecer quando pluga seu cabo *USB* pode se perder na versão sem fio que está por vir. O motivo é simples: concorrência de formatos. Existirão dois formatos de *USB* sem fio que infelizmente serão incompatíveis.

A *Freescale Semiconductor* batizou o seu produto de “*Cord-Free USB*”, e aposta que a manutenção da pilha de protocolos *USB 2.0* original, com a simples troca de seu meio de transmissão, é a forma mais suave de se fazer a transição. Segundo Jerry Lynch, diretor da *Freescale*, *Cord-Free USB* tornará possível que “qualquer coisa certificada em *USB* funcione sem um cabo – e a transição será confortável para o usuário”. Não será preciso baixar drivers para usar os adaptadores *Cord-Free USB*. (Jones, 2006)

A tecnologia concorrente se chama “*Certified Wireless USB*” e é suportada pelo *USB Implementers Forum*<sup>20</sup>. Ao contrário do *Cord-Free USB*, o protocolo *Certified Wireless USB* foi construído do zero. Segundo Jeff Ravencraft, presidente do *USB Implementers Forum*, os motivos para isso foram “gerenciamento de energia, segurança, vazão de dados e suporte isócrona (uniforme no tempo) a aplicações como streaming de *TV* em alta definição especificamente para o ambiente sem fio”.

### 2.6.2 História

O *Wireless USB Promoter Group* foi fundado em 2004 para definir a primeira especificação de um padrão *USB* sem fio. Este grupo era formado por alguns gigantes como *Intel*, *Philips*, *NEC*, e *Microsoft*. Já em 2005 o grupo completou a primeira especificação.

Em outubro de 2006 a *FCC* aprovou a primeira solução *Wireless USB*: o *chipset WQST110/WQST101*, projetado pela startup *WiQuest Communications*. Na metade do ano seguinte, *IOGEAR*, *Belkin*, *Dell*, *Lenovo* e *D-Link* lançaram produtos com a tecnologia *WiQuest*: tanto soluções *hub/adaptador* (ver seção 2.6.4), quanto soluções embarcadas em Notebooks. (Wiquest wireless USB adapter earns FCC certification, 2006)

---

<sup>20</sup> *USB Implementers Forum*: organização responsável pelo desenvolvimento e certificação dos padrões *Universal Serial Bus (USB)*

Cerca de seis meses depois, no início de 2008, a tecnologia *WiQuest* se encontrava presente em 85% dos dispositivos *Wireless USB* presentes no mercado. (REUTERS, 2008) Mas, no dia 31 de outubro do mesmo ano, a *WiQuest* pediu falência. (Merritt, 2008)

Uma das razões alegadas para o fracasso foi a baixa adoção dos fabricantes de *notebooks*, devido ao alto preço dos *chips UWB*. Segundo Todd Brown, vice-presidente mundial de vendas da *WiQuest* à época, os fabricantes queriam pagar menos de US\$5 por *chip*, uma exigência advinda dos preços praticados para *chips Bluetooth* e *Wi-Fi*. (Merritt, 2008)

Outro motivo alegado para uma aceitação menor do que a esperada por parte dos fabricantes foi o consumo dos *chips Wireless USB*. Estes chegavam a consumir 1 watt, valor três vezes maior do que o desejado pelos fabricantes. A performance de transmissão dos *chips Wireless USB* também não agradou: 50Mbps. (Merritt, 2008)

Em setembro de 2010, o *USB Implementers Forum* anunciou a versão 1.1 do protocolo, a qual trouxe algumas melhorias à predecessora.

### 2.6.3 A Tecnologia

Uma importante virtude do padrão *Certified Wireless USB* é que cada hospedeiro poderá se comunicar com 127 dispositivos diferentes, dotados de transceptores *Certified Wireless USB*. Já o *Cord-Free USB*, que mantém a arquitetura *USB*, precisará de numerosos hubs conectados em cascata para poder atingir esse número de dispositivos: algo nada prático. (Jones, 2006)

Projetado para oferecer taxas de transmissão de 480Mbps a até 3 metros e de 110Mbps a até 10 metros de distância, o *Certified Wireless USB* provê criptografia *Advanced Encryption Standard (AES)* de 128bits para proteger as transmissões de interceptação. (Leavitt, 2007)

A *Wimedia UWB Common Radio Platform* foi a plataforma de rádio escolhida pelo *USB Implementers Forum* para realizar a transmissão de dados do *Certified Wireless USB*. Não apenas pelo fato de o *USB Implementers Forum* ter muitos membros em comum com a *WiMedia Alliance*, mas por esse padrão *UWB* exibir características compatíveis com *USB*: em especial a largura de banda de 480Mbps e o alcance limitado.

Da mesma forma, a *Freescale Semiconductor* pretende usar seu padrão *Direct Sequence UWB* como plataforma de rádio para o *Cord-Free USB*.

A arquitetura do *Certified Wireless USB* é baseada em uma topologia estrela, onde o dispositivo mestre fica no centro e os escravos ao redor (ver Figura 20). O mestre tem total controle sobre o meio de transmissão. A arquitetura não é simétrica entre mestre e escravo: os dispositivos podem implementar diferentes fatias do protocolo, de forma que um dispositivo pode ser capaz de ser mestre e escravo, enquanto outro pode ser apenas escravo.

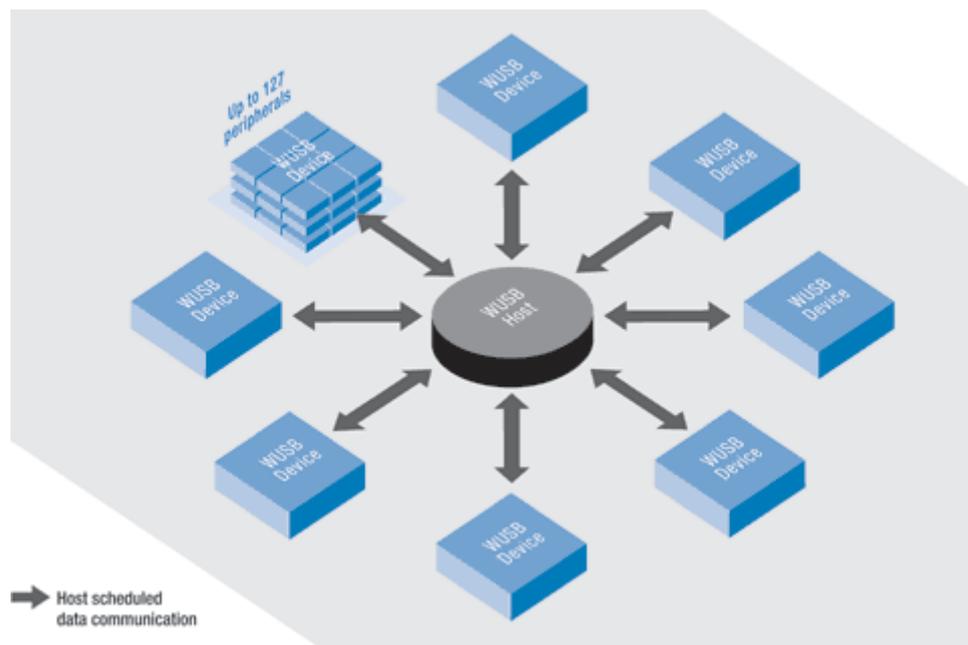


Figura 20 - Topologia do *Certified Wireless USB* (DeviceForge.com)

Na sua versão 1.0, *Certified Wireless USB* ocupava o primeiro grupo de bandas *WiMedia UWB* (3,1 a 4,8GHz). A versão 1.1, a mais nova, adicionou suporte ao uso de bandas de frequência acima de 6GHz, melhor consumo energético e associação de dispositivos através de *Near Field Communication* (ver Capítulo 3).

Ambos os padrões *Certified Wireless USB* e *Cord-Free USB* são fortemente dependentes das suas respectivas plataformas *UWB*, as quais são detalhadamente descritas na seção 2.5.

## 2.6.4 Aplicações

Os produtos lançados têm sido adaptadores *Wireless USB* para portas *USB 2.0* vendidos em par com hubs *Wireless USB* com portas *USB2.0* (ver Figura 21). A vantagem é que os hubs não precisam ser conectados a um computador, portanto podem ser posicionados mais livremente. (Newegg.com) Esse tipo de equipamento ainda não fez sucesso e é bastante difícil de encontrar à venda.



Figura 21 - Belkin F5U302 *Certified Wireless USB*. Hub e adaptador, à esq.; parte traseira do Hub, à dir. (Amazon.com)

O grande objetivo dos fabricantes é que os transmissores *USB* sem fio comecem a vir integrados aos *notebooks* e demais dispositivos, substituindo aos poucos as portas *USB*.

Se o *Wireless USB* realmente tiver a pretensão de ser a evolução natural do popular *USB*, terá de ser tão fácil de usar quanto este, que é *plug-and-play*. A marca sem dúvida é forte, e se bem aproveitada pode fazer frente aos concorrentes presentes no mercado há mais tempo, como *Bluetooth*.

## 2.7 Comparativo

Esta seção fará um confronto entre as tecnologias apresentadas neste trabalho (ver Tabela 6).

	<i>NFC</i>	<i>Bluetooth 1.2</i>	<i>Bluetooth 2.1 + EDR</i>	<i>Bluetooth 3.0 + HS</i>	<i>IrDA (MIR)</i>	<i>IrDA (FIR)</i>	<i>IrDA (VFIR)</i>	<i>IrDA (UFIR)</i>	<i>IrDA (Giga-IR)</i>	<i>UWB</i> <sup>21</sup>
Tipo de enlace	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Ponto-a-ponto	Broadcast
Alcance do sinal	<10cm	<10m	<10m	<10m	<1m	<1m	<1m	<1m	<5cm	<10m
Taxa de transmissão	424Kbps	1Mbps	3Mbps	24Mbps	1Mbps	4Mbps	16Mbps	100Mbps	1Gbps	480Mbps
Set up time	<0,1s	6s	>1s	>1s	1s	1s	1s	1s	<0,1s	>1s
Modos	Ativo/Passivo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo	Ativo/Ativo
Compatível com <i>RFID</i>	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Custo <sup>22</sup>	**	****	****	****	****	****	****	****	****	*
Tamanho/peso	****	****	****	****	****	****	****	****	****	**
Frequência de operação	13,56MHz	2,4GHz	2,4GHz	2,4GHz	3,4THz	3,4THz	3,4THz	3,4THz	3,4THz	3.1-10.6GHz
Problemas com regulamentação	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Imunidade a ruído	****	***	***	***	****	****	****	****	****	**
Simplicidade de projeto	****	***	***	**	****	****	****	****	****	*
Maturidade	****	****	****	***	****	****	****	****	****	*
Facilidade de uso	****	***	***	***	****	****	****	****	****	****
Penetração de mercado	*	****	****	*	****	****	****	-	-	*
Consumo energético	?	?	?	?	****	****	****	****	****	*

Tabela 6 - Comparativo entre as tecnologias de comunicação de campo próximo

O tipo de enlace para tecnologias de comunicação de campo próximo costuma ser ponto-a-ponto. O enlace *broadcast* de *UWB* lhe confere um diferencial para aplicações que necessitam desse tipo de enlace.

O pequeno alcance de sinal é desejável para as aplicações que usam tecnologias *near-field*. Evidentemente, todas atendem bem a esse requisito.

<sup>21</sup> As medidas para *UWB* dão uma excelente idéia sobre o desempenho de qualquer protocolo que a use como plataforma de rádio, inclusive *Wireless USB*.

<sup>22</sup> Devido à falta de dados numéricos confiáveis e/ou atualizados, foi feita uma comparação mais subjetiva, com uma nota de 1(\*) a 5(\*\*\*\*).

Em termos de taxas de transmissão, *UWB* e *IrDA* (com as camadas físicas *UFIR* e *Giga-IR*) possuem o maior potencial, no entanto a imaturidade destas ainda não permite o lançamento de produtos que realmente explorem esse potencial. *Bluetooth* e *IrDA* (com as camadas físicas *SIR*, *MIR*, *FIR*, e *VFIR*), por sua vez, rivalizam nesse aspecto, especialmente quando *IrDA* usa a simplificação *IrSimple*. Para o tipo de aplicação a que *NFC* está direcionado, as suas taxas de transmissão são suficientes.

Os tempos de *setup* (tempo necessário para estabelecer uma conexão) mais demorados são os das tecnologias menos simples: *Bluetooth* e *UWB*. Ambas já demonstraram interesse em usar a associatividade de *NFC* para aprimorar esse aspecto.

Apenas *NFC* possui um modo em que o dispositivo é passivo (não tem alimentação própria). Isso é uma herança do *RFID*.

Os dispositivos *IrDA* apresentam o menor custo. Os dispositivos *Bluetooth* vêm logo atrás, devido à sua simplicidade de projeto e razoável penetração de mercado. *NFC* a princípio será mais cara do que *Bluetooth* por uma simples questão de mercado; no entanto, baratear-se-á, já que apresenta um projeto simples. *UWB* é disparada a mais cara das opções por diversos motivos: projeto mais complexo, imaturidade, e baixa penetração de mercado.

Quanto a tamanho e peso, os produtos *UWB* lançados até agora apresentaram o maior tamanho, além de antenas externas (ausentes nas outras tecnologias). A implementações de *Bluetooth* e *IrDA* já são reconhecidamente compactas e embarcadas em todas as espécies de periférico. *NFC* também é compacta, afinal nasceu para ser embarcada em celulares.

Evidentemente que *UWB* é o padrão que mais sofre com problemas de regulamentação no mundo inteiro, já que seu espectro é ultra largo. Os dispositivos que usam a sobreutilizada banda ISM 2.4GHz não sofrem com esse problema, mas por outro lado têm de competir por esse pedaço de espectro com inúmeros outros dispositivos, o que lhes traz muita interferência. *NFC* e *IrDA* tampouco passam por dificuldades.

O padrão *IrDA* é indiscutivelmente o mais apto a operar em ambientes ruidosos, já que transmite através de luz direcionada. Entre os dispositivos que transmitem através de ondas de rádio, os dispositivos *NFC* não deverão ter problemas com interferência devido à curtíssima distância de operação e ao seu reduzido tráfego de dados. *Bluetooth* sofrerá mais com interferência do que *NFC*, pois além de transmitir mais dados, opera a distâncias um pouco maiores. *UWB*, por almejar ter as maiores taxas de dados, será o mais vulnerável e exigido nesse sentido.

De todos os padrões citados, *IrDA* possui a tecnologia mais simples e mais madura, ao passo que *UWB* possui a mais complexa e imatura. *Bluetooth* tem maior complexidade que *NFC*, porém possui maior maturidade.

O uso de *IrDA* e *NFC* se resume basicamente a apontar o dispositivo. Portanto, no quesito facilidade de uso, essas vencem *Bluetooth* e *UWB*, as quais requerem procedimentos mais sofisticados com intervenção do usuário para estabelecer uma conexão, por exemplo.

A penetração no mercado é uma função da maturidade da tecnologia. *IrDA* tem grande penetração, mas na última década veio perdendo terreno para *Bluetooth*. *Bluetooth* e *UWB* já passaram por más fases nesse quesito (*UWB* ainda não decolou), e *NFC* está em testes.

Postas essas observações, conclui-se que não há tecnologia ideal. É preciso avaliar as circunstâncias em que será usada para decidir entre uma delas. Por exemplo, *IrDA* aparece melhor do que as outras em quase todos os aspectos, mas nem por isso é recomendada para a maioria das aplicações. Sua grande fraqueza, o requisito de linha de visada direta, é determinante.

## 3. *Near Field Communication*

### 3.1 O que é *NFC*

*Near Field Communication (NFC)* é uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance entre dispositivos eletrônicos. A comunicação só ocorre quando os dois dispositivos são postos a centímetros de distância entre si. Usa indução magnética para permitir a troca de dados entre os dispositivos, formando na prática um transformador com núcleo de ar.

Tecnologia de plataforma aberta, *NFC* foi desenvolvida por *Philips* e *Sony* e seu padrão se chama *NFCIP-1 (Near Field Communication Interface and Protocol 1)*, contido nos documentos (ISO/IEC 18092:2004) e (ECMA 340). Esse padrão especifica os esquemas de modulação, codificações de bit, taxas de transmissão e formato de quadro para a interface aérea, assim como os mecanismos de inicialização e controle de colisão. No padrão *NFCIP-1*, também são definidos três tipos de comportamento que um dispositivo *NFC* pode apresentar: iniciador ativo, alvo ativo e alvo passivo.

Os dispositivos *NFC* atuais não só implementam o padrão *NFCIP-1*, mas também o *NFCIP-2*, que é descrito nos documentos (ISO 21841) e (ECMA 352). O padrão *NFCIP-2* especifica o mecanismo que detecta e seleciona um dos quatro modos de operação possíveis. Estes são:

- *Peer-to-Peer (ou Terminal-to-Terminal)*, padronizado no ISO 18092;
- *PCD (Proximity Coupling Device, ou “leitor”)*, padronizado no ISO 14443;
- *PICC (Proximity Integrated Circuit Card, ou “cartão”)*, padronizado no ISO 14443;
- *VCD (Vicinity Coupling Device, ou “leitor”)*, padronizado no (ISO 15693).

Os dispositivos *NFC* que implementam o *NFCIP-2*, já são, portanto, compatíveis com uma vasta infraestrutura de leitores e tags *RFID* já implantada em diversas partes do mundo (ver Figura 22 ). O dispositivo ativo *NFC* faz uma varredura por dispositivos compatíveis com os protocolos que suporta em menos de 200ms. (Fischer, 2009)

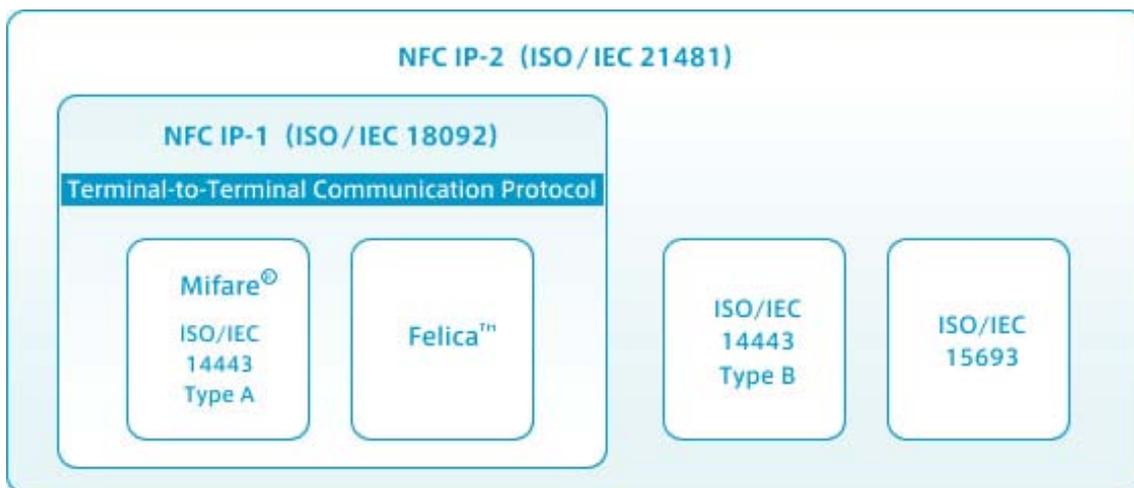


Figura 22 – Encapsulamento dos padrões *NFCIP-2* e *NFCIP-1*. Padrões *RFID* suportados e modo *Peer-to-Peer* (NFC Portal)

As principais tags *RFID* já são suportadas por *NFC*: os *smartcards Mifare* (um dos mais populares *smartcards* do mundo) e *FeliCa* (*smartcard* imensamente popular no Japão), por exemplo. (NFC Portal)

O *NFC Forum* especificou um formato de troca de dados e definições de tipo de registro para permitir a troca de dados entre dispositivos de diferentes fabricantes; e um protocolo de controle de enlace lógico para o modo *Peer-to-Peer*, com o objetivo de prover interoperabilidade entre as camadas mais altas.

## 3.2 Modos de operação

### 3.2.1 *PCD* e *VCD*

Mais conhecido como modo Leitor/Escritor. Neste modo o dispositivo *NFC* ativo inicia uma operação em uma *tag* passiva.

A diferença entre os modos *PCD* e *VCD*, ambos modos “leitor/escritor”, está na distância máxima de operação. O modo *PCD* permite a leitura de etiquetas a até 13cm de distância, enquanto o modo *VCD* permite uma distância de até 127cm.

### 3.2.2 Emulador de Cartão

Um padrão bastante usado em sistemas de controle de acesso e de trânsito no mundo é o de cartões de proximidade *ISO 14443*. *NFC* possui um modo emulador de cartão (*tag*) compatível, o que torna fácil e ecológica a substituição dos cartões pelo aparelho. No modo Emulador de Cartão, o telefone será visto por qualquer leitor/escritor como uma *tag* passiva, ou seja, o dispositivo *NFC* não gerará o seu próprio campo magnético.

O grande benefício desse modo é o de transformar o celular em uma carteira eletrônica: se o telefone estiver ligado, o usuário pode escolher uma entre várias tags para emular. Se desligado ou sem bateria, o telefone pode ainda ser energizado como uma *tag* passiva comum.

### 3.2.3 Peer-to-Peer

O modo *Peer-to-Peer* cria uma conexão de rede ponto-a-ponto entre dois dispositivos ativos (iniciador e alvo) para troca de dados.

## 3.3 Comportamento Ativo e Passivo

Dentro dos modos supracitados, os dispositivos *NFC* têm dois tipos de comportamento: modo ativo e modo passivo. Para a descrição destes é sempre usado um par de dispositivos como exemplo ilustrativo.

### 3.3.1 Comportamento Ativo

No modo ativo as informações são codificadas usando código *Miller* com 100% de modulação, atingindo uma taxa de transmissão de 106Kbps. Nesse modo, iniciador e alvo se comunicam gerando alternadamente seus campos magnéticos.

### 3.3.2 Comportamento Passivo

Com codificação Manchester à taxa de modulação de 10%, transmite a até 424Kbps. O iniciador provê um campo magnético portador, o qual induz corrente na antena do alvo, energizando-o, e este por sua vez responde modulando esse campo.

## 3.4 Arquitetura de Camadas

O *NFCIP-1* especifica apenas a camada física e a subcamada de controle de acesso ao meio, enquanto o *NFC Forum* especifica a subcamada de controle de enlace lógico, o que completa a camada de enlace (ver Tabela 7).

Camada (modelo OSI)	Protocolo
Subcamada de Controle de Enlace Lógico (Camada de Enlace)	LLCP
Subcamada de Controle de Acesso ao Meio (Camada de Enlace)	NFCIP-1
Camada Física	

Tabela 7 - Arquitetura de Camadas e Pilha de Protocolos NFC

### 3.4.1 Subcamada de Controle de Enlace Lógico

Trata-se da metade superior da camada de enlace do modelo *OSI*. Abaixo dela está a subcamada de controle de acesso ao meio, e mais abaixo a camada física.

O protocolo de controle de enlace lógico (*Logical Link Control Protocol – LLC*) é especificado pelo *NFC Forum*. Esse protocolo oferece os seguintes serviços:

- Ativação, supervisão e desativação de enlace;
- comunicação assíncrona balanceada;
- multiplexação de protocolo (o *LLCP* consegue acomodar vários protocolos de camada superior ao mesmo tempo);
- transmissão de dados orientada a conexão, para garantia de entrega de pacotes através de sequenciamento e retransmissões;
- transmissão de dados não-orientado a conexão, provendo menor *overhead* de protocolo. Pode ser usada se os protocolos de camada superior fornecerem controle de fluxo.

## 3.4.2 Subcamada de Controle de Acesso ao Meio

Esta camada é implementada pelo protocolo *NFCIP-1*, o qual é descrito no documento *ISO 18092*. O seu funcionamento é descrito a seguir.

### 3.4.2.1 Inicialização

Inicialmente todos os dispositivos devem estar no modo alvo, ou seja, devem aguardar silenciosamente (sem emitir campo de RF) por um comando vindo de um iniciador. Em seguida, a aplicação determina que um desses dispositivos passe para o modo iniciador, e que este opere no modo ativo ou passivo de comunicação a uma dada taxa de transmissão (ver Figura 23).

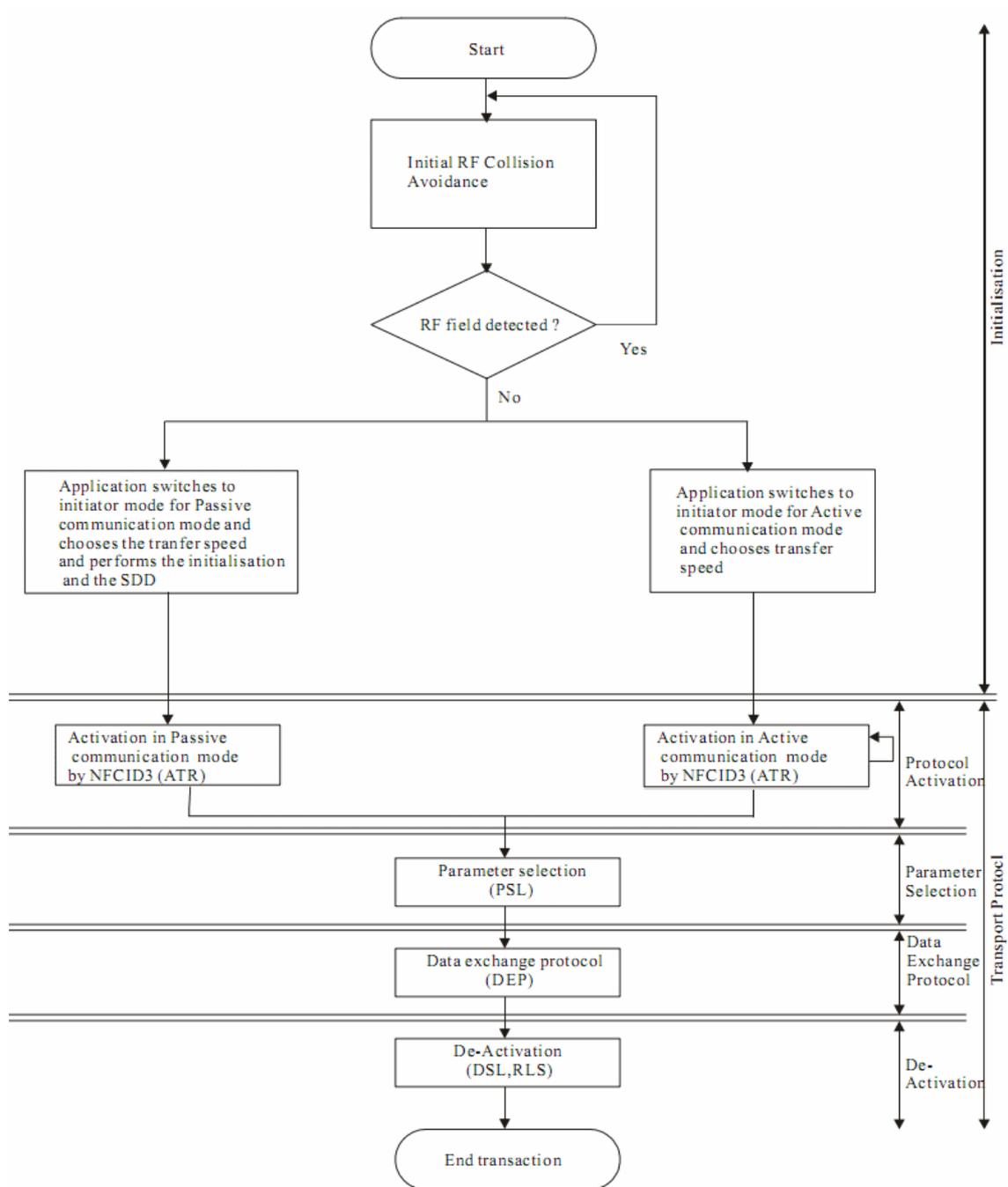


Figura 23 - Inicialização geral e detecção de dispositivo (ISO/IEC 18092)

Na etapa seguinte, o fluxo de ativação entra em execução. O fluxo de ativação difere entre os modos ativo e passivo.

### 3.4.2.2 Fluxo de ativação do modo ativo de comunicação

No modo ativo de comunicação (também chamado de *NFC* ativo), o fluxo (ver Figura 24) inicia-se com um passo de prevenção de colisão. Uma vez que o meio esteja livre, o dispositivo iniciador entra no modo *NFC* ativo.

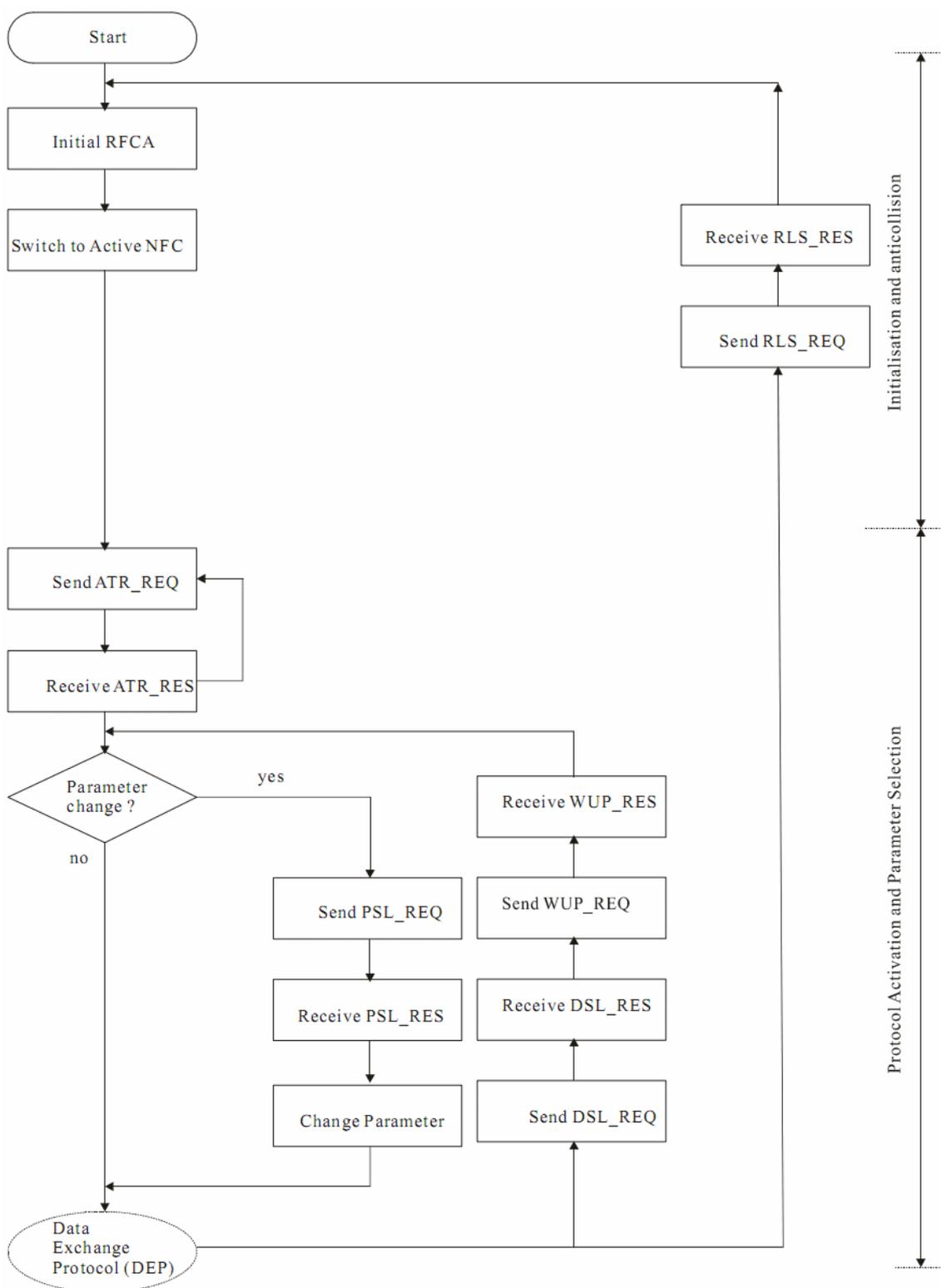


Figura 24 - Fluxo de ativação do modo ativo de comunicação (ponto de vista do dispositivo iniciador) (ISO/IEC 18092)

O iniciador deve executar o algoritmo de detecção de colisão para verificar se há algum campo RF externo. Se nenhum for detectado, ativa seu campo RF. Em seguida, envia um quadro de requisição de atributo (*Attribute Request – ATR\_REQ*) a uma taxa de transmissão que pode ser de 106Kbps, 212Kbps ou 424Kbps. O iniciador então desliga seu rádio e aguarda uma resposta.

Os parâmetros negociados nessa requisição são as taxas de transmissão de ida e de volta, e o limite máximo de dados para um quadro.

O alvo que recebeu o quadro *ATR\_REQ* executa o algoritmo de prevenção de colisão de resposta (vários alvos podem responder ao mesmo tempo, causando uma colisão). Se o meio estiver livre, o alvo envia o pacote de resposta de atributo (*Attribute Response – ATR\_RES*) de volta, na mesma taxa de transmissão, e desliga seu rádio.

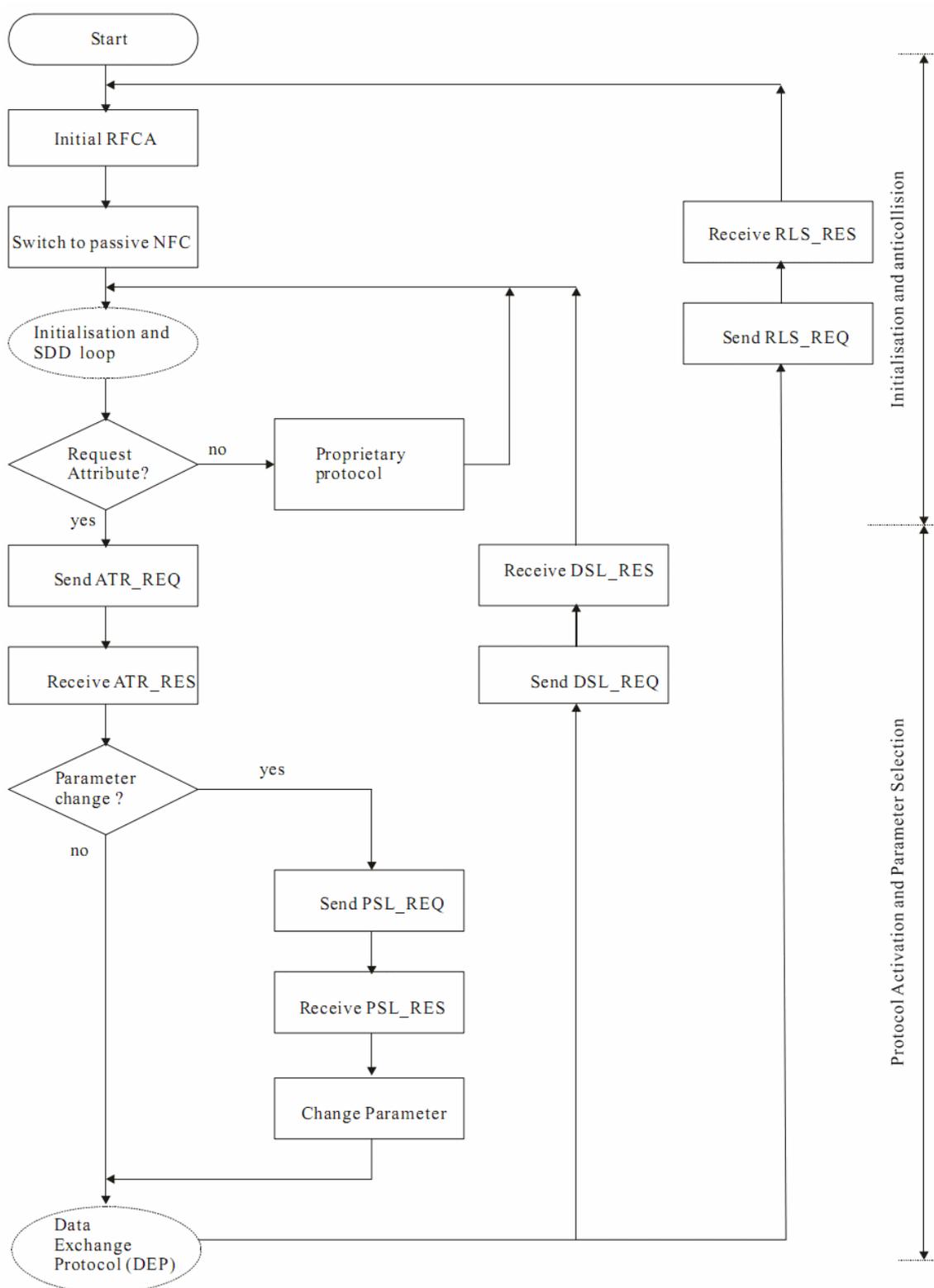
O iniciador faz uma detecção de colisão. Caso receba mais de uma resposta ao mesmo tempo (colisão), reenvia o quadro *ATR\_REQ*. Caso contrário, recebe o quadro de resposta contendo os parâmetros propostos pelo alvo. Se não estiver satisfeito com algum parâmetro, envia um quadro de requisição de seleção de parâmetro (*Parameter Selection Request - PSL\_REQ*) para mudar um parâmetro, e aguarda uma resposta *PSL\_RES*. Se estiver satisfeito, envia um quadro para iniciar o protocolo de troca de dados (*Data Exchange Protocol Request - DEP\_REQ*). Se der tudo certo, a essa altura o alvo terá um número de identificação (*Device Identification - DID*) ao qual o iniciador se referirá daí por diante.

Após terminar sua troca de dados, o iniciador pode desativar o protocolo de troca de dados. Ao enviar um quadro de requisição de remoção (*Deselect Request – DSL\_REQ*) a um alvo em particular, o alvo envia um quadro de resposta (*Deselect Response – DSL\_RES*) e entra em modo *sleep*. Neste modo, o quadro pára de responder ao protocolo de troca de dados. Para reativá-lo, o iniciador deve enviar um quadro (*Wake Up Request – WUP\_REQ*) que contém a identificação (*DID*) do alvo. Em seguida o alvo responde com outro quadro (*Wake Up Response – WUP\_RES*) e volta à ativa.

O iniciador pode liberar um alvo com o qual não deseja mais manter nenhum vínculo. Para isso, envia um quadro de requisição de soltura (*Release Request – RLS\_REQ*) e aguarda um quadro de confirmação do alvo (*Release Response – RLS\_RES*). Neste momento, o alvo perde seu número de identificação (*DID*) e fica livre para passar por outro processo de inicialização.

### 3.4.2.3 Fluxo de ativação do modo passivo de comunicação

No modo passivo de comunicação (também chamado de *NFC* passivo), o fluxo de ativação (ver Figura 25) inicia-se com um passo de prevenção de colisão. Uma vez que o meio esteja livre, o dispositivo iniciador entra no modo *NFC* passivo.



**Figura 25 - Fluxo de ativação do modo passivo de comunicação (ponto de vista do dispositivo iniciador) (ISO/IEC 18092)**

O próximo passo consiste em um loop em que ocorrem a inicialização e a descoberta de único dispositivo (*Single Device Discovery - SDD*). Esta etapa utiliza distintos protocolos de descoberta de dispositivo, de acordo com a taxa de transmissão escolhida pelo iniciador. A

106Kbps, usa-se o protocolo de detecção por colisão de bit. A 212 e 424Kbps, usa-se o protocolo de detecção por janela de tempo.

Os dispositivos alvo possuem os seguintes estados de funcionamento:

- Estado Desligado (*POWER OFF*): o alvo não está recebendo um campo magnético suficientemente forte para entrar em funcionamento;
- Estado Perceptivo (*SENSE*): o alvo está sendo alimentado por um campo magnético e encontra-se preparado para responder a iniciadores à procura de dispositivos alvo;
- Estado de Resolução (*RESOLUTION*): o alvo permanece neste estado enquanto participa do protocolo de descoberta de dispositivo. Uma vez que é descoberto, entra no Estado Selecionado;
- Estado Selecionado (*SELECTED*): neste estado, o alvo é capaz de responder aos comandos de determinação de parâmetros e de transmissão de dados, emitidos pelo iniciador;
- Estado Dormente (*SLEEP*): um alvo no Estado Selecionado que recebe uma requisição de remoção entra no Estado Dormente. Aqui o alvo só é capaz de responder à requisição para acordar (daí volta para o Estado de Resolução).

A detecção por colisão de bit funciona da seguinte forma:

1. O iniciador faz uma requisição para que todos os alvos respondam, de forma síncrona, com seus números binários de identificação única. O iniciador recebe todos os identificadores de uma vez, sobrepostos (totalmente colididos);
2. O iniciador verifica a primeira posição de bit (a posição do bit mais significativo). Caso tenha havido colisão (um valor 0 de um alvo e um valor 1 de outro), prevalece o nível alto (no caso, o valor 1). Então o iniciador faz uma nova requisição, para que respondam todos os alvos cujos identificadores contenham o valor 1 na primeira posição de bit;
3. Desta vez, os alvos cujos identificadores começam com 0 não respondem, e por conseguinte menos colisões ocorrem. O iniciador repete a etapa 2, mas desta vez verificando também a próxima posição de bit;
4. Este processo se repete até que o iniciador faça uma requisição com um identificador completo, à qual apenas um alvo irá responder (já que o identificador é único).

Na detecção por janela de tempo, o tempo é dividido em janelas. Os alvos escolhem janelas aleatórias para responder a uma requisição de *polling* do iniciador. Nas janelas ocupadas e sem colisão, o iniciador é capaz de recuperar os identificadores dos alvos. Funciona da seguinte forma:

1. O iniciador faz uma requisição de *polling*, com um determinado número N de janelas de tempo;
2. Cada alvo que recebeu a requisição gera aleatoriamente um número entre 1 e N. Assim que ocorrer a janela correspondente a seu número gerado, o alvo enviará seu identificador.
3. Um intervalo de tempo após a requisição de *polling* inicia-se a primeira janela de tempo;

4. O iniciador obtém um número de identificação de cada janela preenchida onde não houve colisão. Em seguida faz uma requisição de descoberta a cada número obtido, à qual apenas um alvo irá responder por vez.

Após o passo de inicialização e descoberta, o iniciador verifica se o dispositivo alvo suporta o protocolo *NFCIP-1*. Caso sim, o iniciador pode negociar parâmetros de conexão e em seguida iniciar o protocolo de troca de dados (Data Exchange Protocol – DEP). Caso não, o dispositivo iniciador volta à etapa de inicialização e descoberta.

Após trocar dados com um alvo em particular, o iniciador pode remover um alvo. Este alvo irá ao Estado de Dormência, e enquanto estiver nesse estado, não responderá a requisições de dados. O iniciador pode enviar uma requisição para acordá-lo e retorná-lo ao Estado de Resolução.

O iniciador pode encerrar o protocolo de troca de dados através de uma requisição de soltura (*Release Request – RLS\_REQ*): o iniciador volta a seu estado inicial, e os alvos voltam ao Estado Perceptivo.

#### 3.4.2.4 Protocolo de troca de dados

O protocolo de troca de dados de *NFCIP-1* chama-se *Data Exchange Protocol (DEP)*. Usa um regime *half-duplex* para uma transmissão orientada a blocos (quadros de camada de enlace), com detecção e correção de erro do campo de dados do bloco através de checagem de redundância cíclica (*CRC*). Retransmissões também são suportadas.

Logo após a sequência de ativação, o dispositivo alvo deve esperar por um bloco do iniciador, pois só este tem o direito de transmitir. Após transmitir o bloco, o iniciador deve aguardar o recebimento do bloco de resposta (ou um *timeout*), antes de poder voltar a transmitir. Todos os blocos que o alvo transmite são respostas a blocos recebidos do iniciador.

Um iniciador pode manter contato com múltiplos alvos ao mesmo tempo, mas só pode iniciar o processo de requisição/resposta com um alvo de cada vez.

Se a carga útil de uma transmissão não couber em apenas um bloco, esta pode ser dividida em blocos encadeados.

##### Formato do Bloco

A estrutura de um bloco pode ser vista na Figura 26. O tamanho máximo de um bloco é de 255 bytes. Cada campo contém um byte.

##### Data Exchange Protocol Header

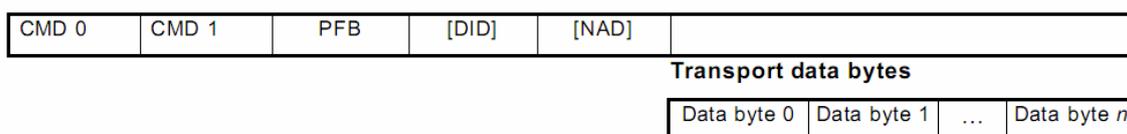


Figura 26 - Formato do bloco do protocolo de troca de dados do *NFC-IP-1* (ISO/IEC 18092)

Os campos são descritos a seguir:

**CMD 0 e CMD 1:** Determinam se o bloco é de requisição (enviada por um iniciador) ou de resposta (enviada por um alvo).

**PFB:** Carrega informações de controle que definem o tipo de bloco enviado. Há três tipos fundamentais de blocos:

- Bloco de informação (dados): o campo PFB possui uma flag para bloco encadeado e dois bits para número de sequência;
- Bloco de confirmação (*ACK/NACK*): para confirmar recebimento/pedir reenvio;
- Bloco de controle: usado para verificar se um alvo ainda existe, e para estender *timeouts*;

**DID:** Identificador do dispositivo

**NAD:** Identificador especial usado para criar mais de uma ligação lógica entre um iniciador e um alvo

**Bytes restantes:** Carga útil.

### 3.4.3 Camada Física

Em um circuito eletrônico, uma bobina de fio forma um elemento indutivo (um indutor). Se uma corrente variável passar por esse indutor, forma-se um campo magnético a seu redor. Quando dois indutores são postos um próximo ao outro, e no primeiro circula uma corrente alternada, um campo magnético variável é formado. O fluxo magnético que atravessa o segundo indutor induz uma corrente alternada neste. Esse fenômeno é conhecido como Lei da Indução Eletromagnética, ou Lei de *Faraday-Neumann-Lenz*, e é o princípio do funcionamento de alternadores e transformadores (ver Figura 27).

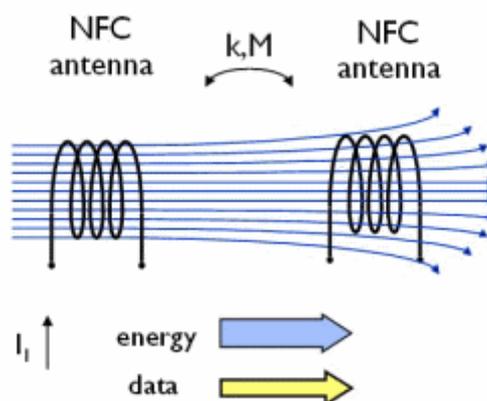


Figura 27 - Transferência de dados entre duas bobinas magneticamente acopladas (Rinner, Witschnig, & Merlin, 2008)

Na região próxima à antena, que é um indutor, há o chamado campo próximo reativo (*reactive near field*), o qual tem uma interessante propriedade: se parte da energia desse campo não for absorvida por outro indutor, será reabsorvida pelo indutor fonte (induzindo corrente neste) ao invés de irradiar-se pelo espaço. (Near and Far Field) Este campo próximo reativo é o meio de comunicação usado por *NFC*.

No caso prático de um leitor e uma etiqueta, o leitor modula a amplitude de seu campo magnético para enviar uma mensagem à etiqueta, e em seguida mantém este campo magnético sem modulação alguma, para poder energizar a etiqueta enquanto aguarda uma resposta. A etiqueta, após demodular a mensagem do leitor, envia sua resposta alterando (modulando) a carga de seu próprio circuito. Como toda a energia consumida por essa carga vem do campo próximo reativo gerado pelo leitor, uma alteração dessa carga gera uma alteração na energia consumida (pela etiqueta), que por sua vez gera uma alteração na energia reabsorvida pelo leitor. Em outras palavras, uma mudança na carga da etiqueta gera uma mudança na corrente da antena (indutor) do leitor. O leitor detecta essa mudança de corrente e demodula a mensagem enviada pela etiqueta. Esse método com o qual a etiqueta se comunica com o leitor chama-se “Modulação de Carga”.

Além disso, *NFC* possui um modo de operação (o *Peer-to-Peer*) em que os dois dispositivos comunicantes são ativos (auto-energizados). Ainda assim, há um iniciador e um alvo; a diferença é que o alvo também gera seu próprio campo magnético (ao invés de modular o campo do iniciador).

A distância típica de operação de dispositivos *NFC* é de menos de 10cm. Esta pequena distância é uma grande vantagem em termos de:

- segurança, pois dificulta a interceptação do sinal por outros dispositivos;
- usabilidade, pois em um ambiente repleto de etiquetas será ativada apenas aquela à qual o usuário apontar seu leitor (dado, obviamente, que haja uma separação mínima entre as etiquetas).

*NFC* opera com portadora em 13,56MHz na banda não regulada *ISM* com largura de banda de 1800KHz, disponível no mundo inteiro. O comprimento de onda a essa frequência supera os 22m, portanto o uso de pequenas antenas em loop permite bom acoplamento magnético e péssima eficiência de irradiação: combinação que colabora para manter a privacidade da comunicação. (Fischer, 2009) Um dispositivo *NFC* gera campos magnéticos não-modulados com intensidade entre 1,5 e 7,5A/m, e é capaz de detectar um campo magnético externo de no mínimo 0,1875A/m.

*NFC* usa diferentes técnicas de modulação de portadora, de acordo com a taxa de transmissão usada. As diferentes taxas de transmissão foram criadas para adequá-lo aos formatos já presentes no mercado: o *ISO/IEC 14443A* (106Kbps) e o *Sony FeliCa* (212 e 424Kbps).

## 3.5 Aplicações

Com *NFC*, o telefone celular ganha funcionalidade sensível a contexto. Quando e para onde o usuário apontar seu telefone dirá à interface homem-máquina do aparelho muito do que o usuário deseja. Neste momento se tornará clara sua intenção, devido às rígidas fronteiras de alcance impostas pela operação de campo próximo.

A implantação de aplicações para pagamento e transporte com cartões de proximidade (*RFID*) na Europa e na Ásia obteve um sucesso tão grande (Fischer, 2009) que foi gerada uma iniciativa para unificar os padrões e trazer a tecnologia para os telefones celulares. De fato, há três grandes vantagens em se trazer *NFC* para um telefone celular: a primeira é o aproveitamento da tendência em torná-lo o companheiro inseparável do dia-a-dia humano; a segunda está no poder de processamento/memória maiores do que os de uma etiqueta *RFID*; e a terceira está no acesso que o celular abre para as redes de telefonia e de computadores (redes locais ou a própria *Internet*). Estas duas últimas vantagens abrem oportunidade para a criação de um leque de aplicações muito mais complexas do que as possíveis com cartões de proximidade (tags *RFID*).

As aplicações de *NFC* podem ser divididas em dois tipos: aquelas que requerem rígida segurança para o controle de transações financeiras, e aquelas que são menos exigentes pois fazem a troca de dados menos críticos, como texto.

Para transações financeiras, a *GSMA*<sup>23</sup> *NFC Initiative* propõe o uso de um gerente confiável de serviço (*Trusted Service Manager - TSM*) entre o provedor de serviço e a operadora de rede móvel. Os *TSMs* seriam organizações terceirizadas, atendendo a requisitos de segurança e proteção aos dados armazenados e agindo como intermediários entre o provedor de serviço e o usuário. (Fischer, 2009)

A aplicação mais óbvia e aguardada é a carteira eletrônica. Os primeiros cartões de proximidade surgiram para controle de acesso em edificações, controle de ponto, e pagamento em transporte público. Em um futuro próximo será possível substituir todos esses cartões pelo celular.

As dificuldades surgem ao reunir os diferentes provedores de serviços (e.g. bandeiras de cartão de crédito, bancos, clubes de fidelidade/desconto) em um único dispositivo e isolar os dados de cada serviço, de forma que um provedor não pode sequer saber da existência de serviços de concorrentes no mesmo celular.

A carteira eletrônica deve ser protegida contra o roubo de informações pessoais através de comunicação sem fio. Além disso, uma vez perdido o celular, terá de ser possível desabilitar todos os seus serviços, assim como reobter suas respectivas configurações e dados através de uma ligação para o *TSM*.

---

<sup>23</sup> *GSM Association (GSMA)*: Associação de mais de 800 operadoras móveis devotada ao desenvolvimento do sistema *GSM* de comunicação móvel. (GSM World)

Existem problemas em potencial para o caso de o usuário resolver trocar de provedor de serviços. Ele deverá descobrir, de antemão, se o seu *TSM* tem contrato com o novo provedor. Há a possibilidade de provedores de serviço serem exclusivos de determinados *TSMs*. Outro problema surge na hora de trocar de *TSM*. Será que o *TSM* em questão irá a pedido do usuário transferir suas informações e assinaturas a um *TSM* concorrente, ou terá ele (o usuário) de recontratar todos os seus serviços e ainda reconfigurá-los?

Máquinas de venda (*vending machines*) surgem como outra aplicação em potencial. Poderão interagir com o celular de duas formas:

- O celular emulará um cartão (uma *tag*) do qual a máquina deduzirá créditos;
- O celular funcionará como cartão de crédito/débito e a máquina funcionará como um terminal para transmissão eletrônica de fundos (TEF).

Uma aplicação menos preocupada com segurança, mas que deverá ser bastante popular, chama-se pôster inteligente (*smart poster*). Uma *tag NFC* pode ser afixada a um pôster ou qualquer propaganda impressa. O usuário que se interessar poderá aproximar seu telefone do pôster e obterá da *tag* afixada/embutida um endereço *URL*, o qual a aplicação do celular usará para acessar a *Internet* e obter mais informações. Por exemplo: o pôster de um filme em cartaz no cinema poderá levar o usuário a um site onde é exibido o *trailer*, uma lista de cinemas e horários para exibição com opções de compra de ingressos *online*. Tudo isso engatilhado pelo simples gesto de aproximar o telefone ao pôster. Esse tipo de aplicação não envolve nenhum intermediário entre o proprietário do telefone e o provedor de serviço, o que o torna bastante viável economicamente.

Por mais inocentes que pareçam, é claro que *smart posters* podem trazer riscos. Uma pessoa mal intencionada pode substituir a *tag* de um pôster, ou sobrepô-la com outra *tag* que leve o usuário a um endereço *URL* diferente do original, oferecendo um download de vírus. Para combater esse tipo de fraude, podem ser usados certificados de autenticidade em tags, a própria aplicação do celular pode informar que o endereço *URL* não é confiável, ou que há mais de uma *tag* presente (colisões entre *smart posters* são indesejáveis, portanto sua presença já é um indício de fraude).

De todas as aplicações *NFC* para telefones, aquelas que pedem a instalação de uma nova infraestrutura formam o dilema do ovo e da galinha: deve-se vender telefones *NFC* o suficiente para justificar os investimentos em infraestrutura, ao mesmo tempo em que deve-se investir em infraestrutura para justificar a implantação de *NFC* nos telefones. É por causa desse dilema que a compatibilidade de *NFC* com a infraestrutura já existente de cartões de proximidade foi uma grande preocupação durante seu desenvolvimento.

*NFC* pode ser usado simbioticamente com outras tecnologias como *Bluetooth* e *Wi-Fi*. Por causa de seu automático e breve *setup*, essas outras tecnologias podem usar seu enlace para negociações de conexão fora-da-banda. (Ali, Elkilani, & Hadhoud, 2010) Farão uso dessa função de associação as aplicações que necessitarem de maior taxa de transmissão. Por exemplo, ao aproximar-se o telefone de uma impressora *NFC/Bluetooth*, uma aplicação do celular pede autorização para o estabelecimento de uma conexão *Bluetooth*. O usuário apenas confirma com um botão, e a conexão *Bluetooth* é automaticamente negociada através do

enlace *NFC*. Apenas com um gesto e um único aperto de botão foi possível estabelecer uma conexão *Bluetooth* para o envio de fotos para impressão imediata.

Na Áustria foi realizado um estudo de campo de larga escala focado no uso contínuo da tecnologia. (Geven, Strassl, Tscheligi, & Schwab, 2007) Neste estudo, 50 estudantes e 25 funcionários de uma universidade utilizaram por seis meses telefones celulares (*Samsung SGH-X700*) equipados com *NFC*. No campus da universidade quatro serviços foram instalados: acesso controlado a várias salas, pagamento na cantina, pagamento em uma máquina de café, e um terminal de informação em que o participante podia obter as últimas notícias. Cada participante anotou suas experiências do dia-a-dia em um diário.

Ao final do estudo, foram condensadas as seguintes observações:

- Nas primeiras tentativas, os participantes demonstraram dificuldade em descobrir como iniciar a interação: alguns procuraram opções no menu do celular (quando na verdade deveriam apenas aproximá-lo), outros não souberam como orientar o celular ao aproximá-lo (há um ponto especial do celular que deve ser aproximado), tampouco a que parte do equipamento alvo deveriam aproximá-lo (também havia um ponto especial neste);
- Os participantes tiveram dificuldade em compreender em qual etapa da interação se encontravam quando nem o celular e nem o alvo davam *feedback*;
- Na média, 75% dos participantes indicaram estar “muito satisfeitos”, ou “satisfeitos” (notas 5 e 4, respectivamente, em uma escala de 1 a 5) com seus novos celulares.

No final do estudo, foi feito um questionário *online*. Dos 75 participantes, 60 responderam. O serviço mais utilizado e mais satisfatório foi o de acesso controlado a portas do campus (95% de usuários “muito satisfeitos”, ou “satisfeitos”). O segundo serviço mais utilizado foi o de pagamento na cantina (para este, 91% se declararam “muito satisfeitos”, ou “satisfeitos”).

Neste questionário, também pediu-se que os participantes comparassem os serviços de controle de acesso e de pagamento aos métodos tradicionais:

- Para o controle de acesso, 58% relataram que *NFC* é mais rápido do que múltiplos cartões de acesso, 92% relataram ser mais confortável, 73% o alegaram mais seguro e 89% disseram ser mais fácil de usar;
- Pagamento: 89% relataram *NFC* ser mais rápido do que pagamento em dinheiro, 95% relataram ser mais confortável, 40% o consideraram mais seguro e 90% disseram ser mais fácil de usar;

É interessante perceber que 60% das pessoas se mostraram céticas quanto à segurança do uso do celular *NFC* para pagamentos. Em todos os testes houve dificuldades de uso a princípio, mas logo que os usuários criaram um “modelo mental” de como os serviços funcionavam, passaram a gostar da novidade e até preferi-la aos métodos tradicionais.

## 4. Estudo de Caso

Este capítulo apresenta a implementação de uma aplicação de compra de passagens rodoviárias em forma de cartões *RFID* (*ISO 15693 Vicinity Cards*).

A aplicação tem como público alvo os funcionários de guichês para venda de passagens em estações rodoviárias. A interface foi criada com grande preocupação em agilidade e usabilidade, de forma a facilitar sua aceitação por parte dos funcionários.

Atualmente, as passagens costumam ser vendidas em papéis impressos. A proposta desta aplicação é substituí-los por cartões *RFID* para serem usados como controle de subida e descida dos ônibus. Este controle seria muito mais prático do ponto de vista operacional, pois os funcionários (cobrador e/ou motorista) não precisariam mais ler o bilhete de cada passageiro que sobe no veículo, mas apenas observar o sinal positivo de um sistema (independente do apresentado aqui) com leitor *RFID*, posicionado na entrada/saída.

### 4.1 Ferramentas utilizadas

#### 4.1.1 Software

A aplicação suporta os sistemas operacionais *Microsoft Windows XP* e *7* com o *Microsoft .NET Framework 4.0* instalado. Foi utilizado o editor *Microsoft Visual Studio 2010 Professional*.

#### 4.1.2 Hardware

Foi utilizada uma placa de avaliação leitora/escritora *RFID* modelo *Jogtek TM-001* (ver Figura 28), ligada por sua interface serial a um cabo serial-*USB*, que por sua vez foi ligado à porta *USB* de um *PC*. Foram usados cartões *RFID* compatíveis com o padrão *ISO 15693* (ver Figura 29).



Figura 28 - Módulo *RFID* Jogtek *TM-001*



Figura 29 - Cartões *RFID* compatíveis com padrão *ISO 15693*

#### 4.1.2.1 Módulo *Jogtek TM-001*

O *Jogtek TM-001* possui um *chip Texas Instruments TRF7960*, um *chip* controlador *MSP430*, antena integrada e interface *RS232*.

O *TRF7960* é um *front-end* analógico e um sistema de enquadramento de dados para um leitor *RFID* operando na banda de 13,56MHz. Opções de programação interna lhe permitem ser usado para uma variedade de aplicações que envolvem cartões *proximity* e *vicinity*. Este *chip* é a parte mais importante do módulo, pois é ele que implementa os protocolos suportados (ver Tabela 8).

Protocolos suportados				
<i>ISO 14443A/B</i>			<i>ISO 15693</i>	<i>Tag-it</i>
106Kbps	212Kbps	424Kbps	<i>ISO 18000-3</i>	
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>

Tabela 8 - Protocolos suportados pelo *Texas Instruments TRF7960*

O protocolo que se deseja utilizar deve ser selecionado através da modificação de registradores no *TRF7960*. O acesso a esses registradores permite o ajuste fino de vários parâmetros do leitor.

O transmissor tem potência de saída ajustável em 100mW ou 200mW. O conjunto é capaz de detectar um cartão a até 10cm de distância.

Neste equipamento não é possível programar diretamente o *TRF7960*, mas sim o *MSP430*. Este *chip* oferece comandos que limitam a programação indireta do *TRF7960* a apenas dois protocolos: *ISO 15693* e *Tag-it*. O protocolo utilizado nesta aplicação foi o *ISO 15693*.

## 4.2 Aplicação

Esta seção apresentará o fluxo de funcionamento da aplicação desenvolvida e as melhorias propostas para uma nova versão.

### 4.2.1 Fluxo de funcionamento

Em primeiro lugar, a aplicação faz uma varredura pela portas seriais do computador, tentando abrir cada porta. Em caso de sucesso, envia pela porta aberta uma requisição de escrita de registradores (*Register Write Request*) para configurar o *TRF7960* como um dispositivo de protocolo ISO15693 com modulação ASK e 100% de potência de transmissão.

Caso não obtenha resposta de uma porta aberta, a aplicação fecha esta porta e tenta outra (ver Figura 30).

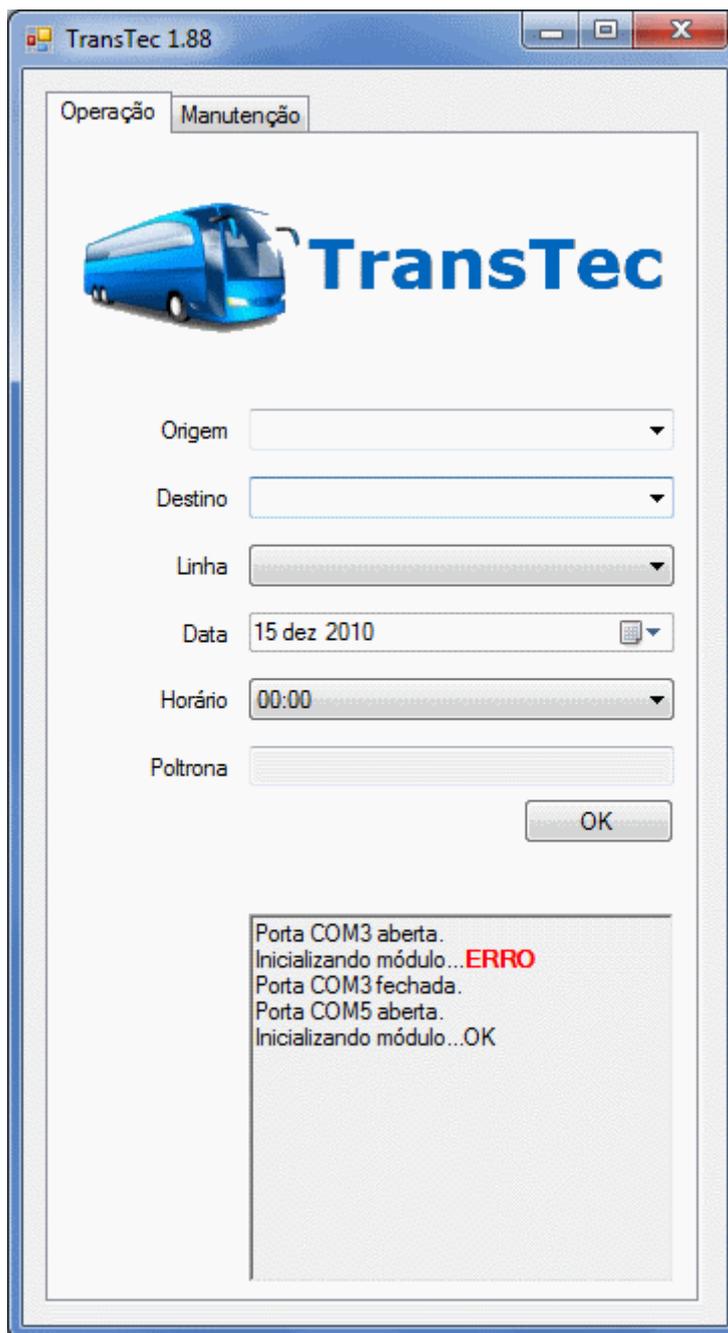


Figura 30 – Aplicação: abrindo porta e inicializando o módulo *RFID*

Uma vez inicializado o módulo *RFID*, o usuário (funcionário do guichê) deve posicionar um cartão por sobre o leitor. Em seguida pode escolher a origem e destino da viagem. De posse dessas informações, a aplicação sugere a menor linha de ônibus que leva de um ponto ao outro. No caso de haver mais de uma linha, o usuário tem a opção de escolher outra.

Em seguida, o usuário deve escolher a data e o horário da viagem (ver Figura 31). A data e horário automaticamente sugeridos pela aplicação são sempre os da viagem mais próxima da hora atual.

Operação Manutenção

**TransTec**

Origem Recife

Destino Afogados da Ingazeira

Linha 12

Data 12

Horário 16:00

Poltrona

OK

Operação Manutenção

**TransTec**

Origem Recife

Destino Afogados da Ingazeira

Linha 12

Data 17 dez 2010

Horário

Poltrona

de dezembro de 2010

dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
28	29	30	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8

Hoje: 15/12/2010

Figura 31 - Aplicação: escolha de linha e de horário

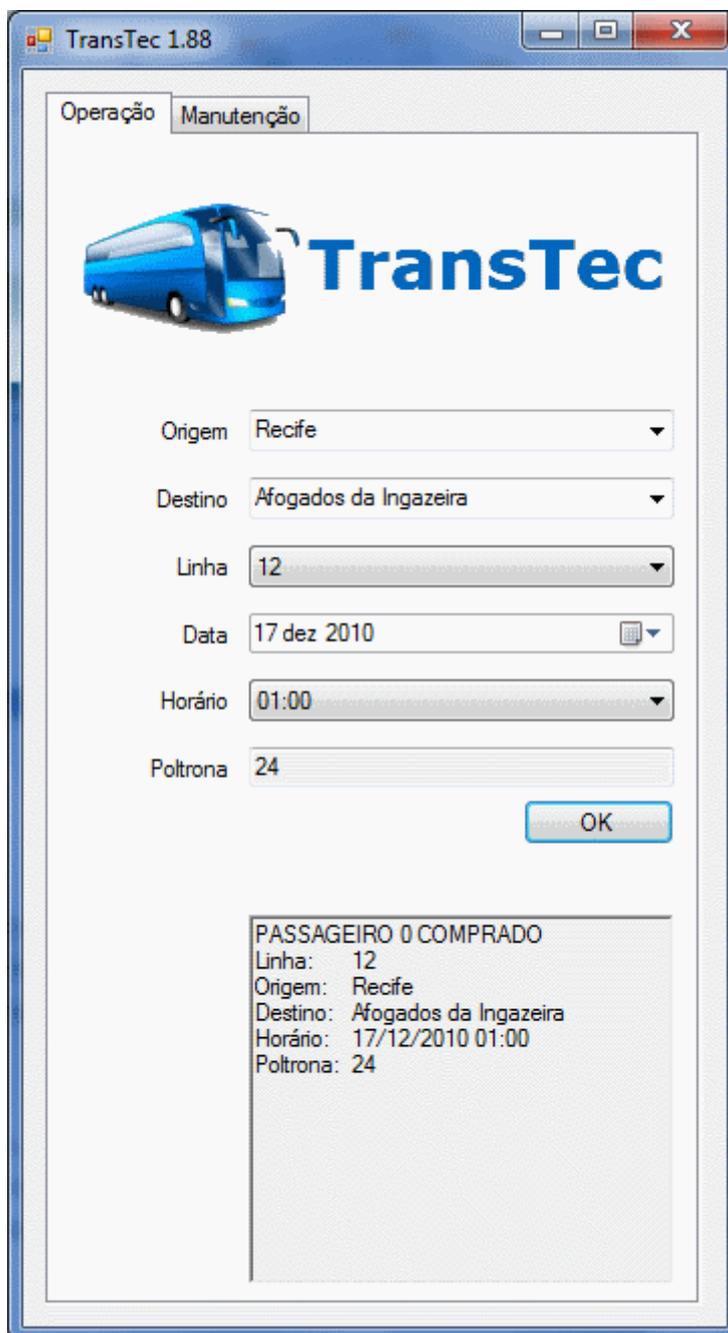
Uma vez escolhidos origem, destino, linha, data e horário, chega o momento em que o passageiro pode indicar na tela em qual poltrona do ônibus quer sentar. É exibido um mapa do ônibus com os lugares livres e ocupados devidamente marcados (ver Figura 32).

Form2

03	07	11	15	19	23	27	31	35	39		
04	08	12	16	20	24	28	32	36	40		WC
02	06	10	14	18	22	26	30	34	38	42	44
01	05	09	13	17	21	25	29	33	37	41	43

Figura 32 - Aplicação: escolha de poltrona.

Na tela de escolha de poltrona, as poltronas em cinza já foram compradas, as poltronas em verde estão vagas e a poltrona amarela corresponde à poltrona selecionada para este cartão. Escolhida a poltrona, o usuário só precisa apertar no botão OK e uma tela confirmando a compra é exibida (ver Figura 33).



The screenshot shows a software window titled "TransTec 1.88". At the top, there are two tabs: "Operação" and "Manutenção". Below the tabs is a blue bus icon and the "TransTec" logo. The main area contains several input fields:

- Origem: Recife
- Destino: Afogados da Ingazeira
- Linha: 12
- Data: 17 dez 2010
- Horário: 01:00
- Poltrona: 24

Below these fields is an "OK" button. At the bottom, there is a text box containing the following information:

```
PASSEIRO 0 COMPRADO
Linha: 12
Origem: Recife
Destino: Afogados da Ingazeira
Horário: 17/12/2010 01:00
Poltrona: 24
```

Figura 33 - Aplicação: tela de confirmação de passagem comprada

No momento em que o usuário remove o cartão do leitor, a tela de informações se apaga, indicando que o cartão foi retirado. Ao aproximar um cartão já escrito, a aplicação automaticamente detecta o cartão e exibe suas informações na tela. Para tanto, a aplicação realiza uma tentativa de leitura de cartão a cada 500ms.

## 4.2.2 Melhorias propostas

A aplicação no momento usa um sistema de arquivo para guardar informações sobre as linhas. Em um momento posterior, para uma versão comercial, seria interessante a sua conexão ao banco de dados da empresa rodoviária.

Com essa conexão seria possível não só recuperar em tempo real as linhas e horários disponíveis, mas também os ônibus de diferentes capacidades disponíveis para cada viagem. Outra função útil a se acrescentar seria o cálculo do preço da passagem.

## 4.3 Programação do módulo *Jogtek TM-001*

Esta seção descreve cada um dos comandos de requisição enviados ao módulo *RFID* para sua operação.

### 4.3.1 Formato de requisição

Todas as mensagens de requisição do *host* (*PC*) para o leitor têm 6 campos (valores em notação hexadecimal). Ver Tabela 9.

SOF	SIZE			COMMAND + PARAMETERS	EOF
01	--	00	0304	...	0000

Tabela 9 - Formato de Requisição

Estes campos são:

- *SOF (Start of File)*: toda requisição deve começar com o prefixo 0x01;
- *SIZE* (tamanho): quantidade de bytes da requisição, incluindo o prefixo e sufixo;
- *0x000304*: Bytes padrão;
- *COMMAND + PARAMETERS*: o comando em si e seus parâmetros;
- *EOF (end of file)*: toda requisição deve ter um sufixo com o valor 0x0000.

### 4.3.2 *Flags*

Dentro do campo *COMMAND+PARAMETERS* há um byte correspondente às *flags*. Cada requisição usará um conjunto de *flags*, de acordo com as tabelas 10, 11, 12 e 13.

<b>Register Write Request for ISO15693 Protocol with 1 out of 4 Modulation and Full Power</b>			
<b>Bit</b>	<b>Flag</b>	<b>Valor</b>	<b>Descrição</b>
7	RFU	0	Sempre 0
6	Option Flag	0	Este bit deve ser ativado apenas nos comandos de escrita
5	Address Flag	0	
4	Select Flag	0	
3	Protocol Extension	0	Sempre 0
2	Inventory	0	Este bit deve ser ativado apenas no comando Inventory
1	Uplink Data Rate	0	
0	Subcarrier	0	

Tabela 10 - Flags para Register Write Request

<b>Inventory Request</b>			
<b>Bit</b>	<b>Flag</b>	<b>Valor</b>	<b>Descrição</b>
7	RFU	0	Sempre 0
6	Option Flag	0	Este bit deve ser ativado apenas nos comandos de escrita
5	Number of Slots Flag	0	16 slots
4	AFI Flag	0	
3	Protocol Extension	0	Sempre 0
2	Inventory	1	Este bit deve ser ativado apenas no comando Inventory
1	Uplink Data Rate	0	
0	Subcarrier	0	

Tabela 11 - Flags para Inventory Request

<b>Read Single Block Request</b>			
<b>Bit</b>	<b>Flag</b>	<b>Valor</b>	<b>Descrição</b>
7	RFU	0	Sempre 0
6	Option Flag	0	Este bit deve ser ativado apenas nos comandos de escrita
5	Address Flag	0	
4	Select Flag	0	
3	Protocol Extension	0	Sempre 0
2	Inventory	0	Este bit deve ser ativado apenas no comando Inventory
1	Uplink Data Rate	0	
0	Subcarrier	0	

Tabela 12 - Flags para Read Single Block Request

Write Single Block Request			
Bit	Flag	Valor	Descrição
7	RFU	0	Sempre 0
6	Option Flag	1	Este bit deve ser ativado apenas nos comandos de escrita
5	Address Flag	0	
4	Select Flag	0	
3	Protocol Extension	0	Sempre 0
2	Inventory	0	Este bit deve ser ativado apenas no comando Inventory
1	Uplink Data Rate	0	
0	Subcarrier	0	

Tabela 13 - *Flags para Write Single Block Request*

### 4.3.3 Requisições

#### 4.3.3.1 Register Write Request for ISO15693 Protocol with 1 out of 4 Modulation and Full Power

Determina o protocolo, modulação do sinal e potência do transmissor (ver Tabela 14). Deve ser a primeira requisição feita após ligar o leitor *RFID*.

SOF	SIZE			COMMAND + PARAMETERS	EOF
01	0C	00	0304	1000210100	0000

Tabela 14 - *Register Write Request*

#### 4.3.3.2 Inventory Request

Verifica quantas e quais *tags* estão ao alcance do leitor (ver Tabela 15). Nesta implementação está sendo aceita apenas uma *tag* de cada vez; se mais de uma *tag* for posicionada, o comando retorna os 16 *slots* vazios. Caso exista uma *tag*, o seu identificador é retornado em um dos *slots*.

SOF	SIZE			COMMAND	FLAGS	IS ONE SLOT	AFI	EOF
01	0B	00	0304	14	04	01	00	0000

Tabela 15 - *Inventory Request*

### 4.3.3.3 Read Single Block Request

Lê um bloco. O número do bloco deve ser determinado no campo *BLOCK NUMBER*. Os cartões usados nesta aplicação têm 10 blocos de 32 bytes (ver Tabela 16).

SOF	SIZE			COMMAND	FLAGS	REQ. SECURITY	BLOCK NUMBER	EOF
01	0B	00	0304	18	00	20	--	0000

Tabela 16 - Read Single Block Request

### 4.3.3.4 Write Single Block Request

Escreve em um bloco. O número do bloco deve ser determinado no campo *BLOCK NUMBER*. O conteúdo a ser escrito é de 4 bytes e deve ser determinado no campo *DATA* (ver Tabela 17).

SOF	SIZE			COMMAND	FLAGS	RESP. TYPE	BLOCK NUMBER	DATA	EOF
01	0F	00	0304	18	40	21	--	-----	0000

Tabela 17 - Write Single Block Request

## 5. Conclusão

O mercado de dispositivos portáteis e conectados foi uma grande inspiração para o desenvolvimento deste trabalho. A crescente movimentação financeira em torno desses produtos, seja através da sua venda no varejo, seja pelo imenso mercado de serviços que os cerca, confere grande importância ao método com que eles se conectam ao mundo. Fugindo um pouco da questão comercial, estes dispositivos, em particular os *smartphones*, estão se tornando ferramentas representativas de uma era. Pode-se dizer, que os *smartphones* estão para o conjunto hardware/software da mesma forma que os motores estavam para o metal fundido e os machados estavam para a pedra polida.

Um subconjunto desses métodos de conexão foi o alvo de estudo, especificamente o de tecnologias de comunicação sem fio de campo próximo (*near field*). O estado da arte deste segmento elucidou a surpreendente heterogeneidade entre as tecnologias e o nível de sofisticação a que a indústria tem levado sua pesquisa e desenvolvimento. Na comparação entre os padrões, tornou-se claro que não existe um mecanismo melhor entre todos, e tampouco um pior. As aplicações, acima de tudo, escolhem a tecnologia. São estas que definem os parâmetros usados para comparação.

Nos primórdios de mercado para algumas tecnologias de conectividade, a quantidade de devoluções de produtos por parte dos consumidores era bastante alta. A principal causa desse problema era que produtos de diferentes fabricantes, embora cumprissem as especificações de um padrão, não interoperavam. Anunciar que esses produtos eram compatíveis com determinado padrão não era suficiente, uma vez que não é incomum um mesmo padrão oferecer opções de implementação não compatíveis entre si. Como cada fabricante escolhia o conjunto de opções que achava mais conveniente, apenas produtos de um mesmo fabricante conseguiam se comunicar; sem falar que muitas vezes os produtos não incluíam toda a funcionalidade esperada pelo usuário em relação àquele padrão: uma grande dor de cabeça para qualquer comprador.

Para evitar esse tipo de problema, algumas organizações (tais como a *Infrared Data Association*, o *USB Implementers Forum*, o *Bluetooth Special Interest Group* e a *WiMedia Alliance*) foram formadas. A competição entre padrões para um mesmo nicho de mercado exigiu esse tipo de iniciativa em prol do desenvolvimento de programas de certificação de interoperabilidade. Esses programas asseguram que dois produtos que carregam o mesmo selo (de certificação) são, de fato, interoperáveis; e além disso, garantem o funcionamento mínimo que o usuário espera do padrão a que pertencem. É fundamental para qualquer nova tecnologia que deseja conquistar o mercado que múltiplos produtos de múltiplos fabricantes sejam interoperáveis.

A criação de padrões abertos é importante para a introdução de novas tecnologias de comunicação. O uso de um padrão aberto provê a mais rigorosa e ampla revisão das especificações técnicas, e leva distintos usos da tecnologia a serem considerados durante o processo de desenvolvimento. Padrões abertos são encorajados por agências reguladoras e acordos comerciais, um fator vital na construção de uma adoção internacional.

Mercados para uma nova tecnologia tendem a crescer se esta atender às seguintes condições:

- Não for fragmentada em padrões incompatíveis;
- tiver padrão aberto, de forma que as empresas que decidirem usá-la não fiquem reféns de detentores de propriedade intelectual;
- puder ser adotada mundialmente, sem restrições.

O planejamento para a parte prática deste trabalho precisou ser refeito em função da imaturidade da principal tecnologia estudada, a *Near Field Communication*. A pequena variedade, reduzida disponibilidade, e altas cifras exigidas pelos kits de desenvolvimento *NFC* com suporte a modo *Peer-to-Peer* tornaram inviável a implementação de um projeto de comunicação entre dois dispositivos ativos. Sem fugir do tema, porém, foi criado um projeto para comunicação entre um dispositivo ativo (o módulo leitor) e um passivo (uma etiqueta *RFID*).

Esta implementação trouxe à tona os detalhes de mais baixo nível do protocolo *ISO15693*, além de exercitar os conhecimentos de usabilidade adquiridos durante o curso. Por isso, foi um projeto bastante enriquecedor. Ver a tecnologia estudada em funcionamento também é gratificante.

Como trabalhos futuros, pode-se ampliar este estudo para a abordagem de outras tecnologias de comunicação sem fio de curto alcance, e munido de equipamentos que utilizam todas as tecnologias estudadas, realizar uma prática de *benchmark* para obter informações mais precisas, em especial a respeito do consumo energético e das taxas de transmissão.

## **Apêndice A– *International Telecommunication Union***

Existe uma agência internacional para a coordenação das tecnologias de comunicação, chamada *International Telecommunication Union (ITU)*. Por 145 anos a *ITU* tem coordenado o uso global do espectro de rádio, promovido cooperação internacional no posicionamento de satélites, trabalhado para melhorar a infraestrutura de telecomunicações, e estabelecido padrões internacionais. Atualmente sua sede fica em Genebra, Suíça, e tem 192 países membros, incluindo o Brasil.

O setor de radiocomunicação da *ITU* se chama *ITU-R* e é responsável pelo desenvolvimento de padrões para sistemas de radiocomunicação e pela regulamentação para o bom uso do espectro de rádio frequência.

A Tabela de Alocação de Frequências da *ITU-R*, contida no Artigo Quinto do Volume 1 de suas Regulamentações de Rádio, regulamenta quais serviços e tecnologias podem operar em cada banda do espectro, de forma a não haver conflitos que tornem inviável o uso da radiocomunicação. De acordo com essa tabela, algumas bandas de frequência podem ser usadas livremente para aplicações industriais, científicas e médicas (*Industrial, Scientific and Medical - ISM*). Entre essas bandas, estão a que vai de 13,553 a 13,567MHz, utilizada por *NFC*, e a que vai de 2,4 a 2,5GHz, utilizada por telefones sem fio e conexões *Wi-Fi*.

## Apêndice B – *Spread Spectrum*

Para qualificar-se como sinal *spread spectrum*:

- O sinal transmitido deve ocupar uma largura de banda muito maior do que a largura de banda do sinal original;
- Alguma função deve ter sido empregada no sinal original para determinar esta largura de banda resultante.

Atualmente as aplicações comerciais de *spread spectrum* vão de *WPANs* a redes de telefonia celular. Antigamente a tecnologia era usada apenas para fins militares por sua capacidade de resistir a ruídos e por sua dificuldade de interceptação.

A razão para essa dificuldade é que sinais *spread spectrum* são difíceis de detectar, e uma vez detectados são difíceis de demodular. Da mesma forma que é improvável que sejam interceptados por um oponente militar, é também improvável que interfiram com outros sinais comerciais – mesmo aqueles transmitidos nas mesmas frequências.

Transmissores *spread spectrum* emitem níveis de potência semelhantes aos dos transmissores de banda estreita. Mas devido à larga banda, o sinal emitido exibe uma densidade de potência espectral (medida em watts por hertz) muito menor, localizada no nível do ruído, e permite que sinais de banda estreita e sinais *spread spectrum* coexistam na mesma banda com pouca ou nenhuma interferência entre si. Esta é a razão principal da aceitação da tecnologia, que vem ganhando cada vez mais aplicações no mercado.

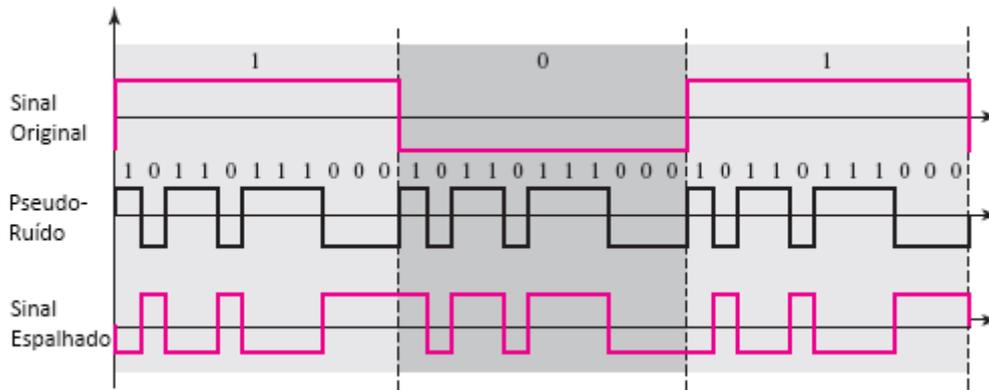
A maioria dos sistemas comerciais *spread spectrum* transmitem um sinal de rádio com largura de banda 20 a 254 vezes maior do que a largura de sua banda base<sup>24</sup>. Os sistemas *spread spectrum* mais comuns são o de sequência direta (*direct sequence spread spectrum*) e o de saltos de frequências (*frequency hopping spread spectrum*).

### ***Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)***

Sistemas *Direct Sequence Spread Spectrum* usam um gerador de sequências binárias pseudo aleatórias. Por se assemelhar a um ruído, a sequência binária gerada costuma ser chamada de pseudo-ruído. O transmissor e o receptor devem estar sincronizados e devem usar a mesma sequência binária pseudo aleatória. Esta sequência deve possuir uma frequência muito maior do que a da mensagem a ser transmitida (ver Figura 34).

---

<sup>24</sup> Banda base (baseband): Faixa de frequências original de um sinal antes de este ser modulado.



**Figura 34 - Exemplo de *Direct Sequence Spread Spectrum* aplicada. O sinal original e o pseudo-ruído são usados para obter o sinal espalhado (Globalspec)**

Dada uma mensagem binária a ser transmitida com taxa de bits  $m$ , o transmissor realiza, para cada bit dessa mensagem, uma operação XOR com a sequência pseudo-aleatória (que possui taxa de bits  $p$ ). O resultado dessa operação é uma mensagem com uma taxa de bits  $m \cdot p$ , logo, com uma largura de banda muito maior (pois quanto maior a frequência máxima de um sinal, maior é a sua largura de banda). Essa mensagem se assemelha ao ruído branco, como a estática de uma gravação de áudio.

De posse do mesmo código do transmissor, o receptor realiza, da mesma forma, a operação XOR sobre o sinal spread spectrum recebido, recuperando assim a mensagem binária original.

### ***Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)***

Apesar de os sistemas *Direct Sequence Spread Spectrum* proverem uma maior vazão de dados, os sistemas *Frequency Hopping Spread Spectrum* são mais simples, baratos de implementar, e menos suscetíveis a ruído. Um sistema *Frequency Hopping Spread Spectrum* divide o espectro em vários intervalos (sub-bandas) de mesma largura de banda. Então, de acordo com uma sequência pré-estabelecida, o transmissor transmite em uma sub-banda, depois salta para a próxima sub-banda da sequência, onde transmitirá, e assim segue.

Uma sequência de bits conhecida pelo transmissor e receptor determina a ordem dos saltos. A frequência com que os saltos ocorrem também deve ser acordada por ambos.

### ***Adaptive Frequency Hopping Spread Spectrum (AFH)***

Trata-se de uma variação do *Frequency Hopping Spread Spectrum*. É mais resistente à rádio interferência de outras fontes porque elimina da sua sequência de saltos as sub-bandas mais ocupadas do espectro.

Esta técnica, portanto, precisa vir aliada a um procedimento que determina quais são as boas e as más sub-bandas.

## Apêndice C – Amplitude Shift Keying

*Amplitude Shift Keying (ASK)* é uma forma de modulação em que um sinal digital é representado por variações na amplitude de uma onda portadora através do chaveamento da mesma. Fase e frequência são constantes. Ver Figura 35.

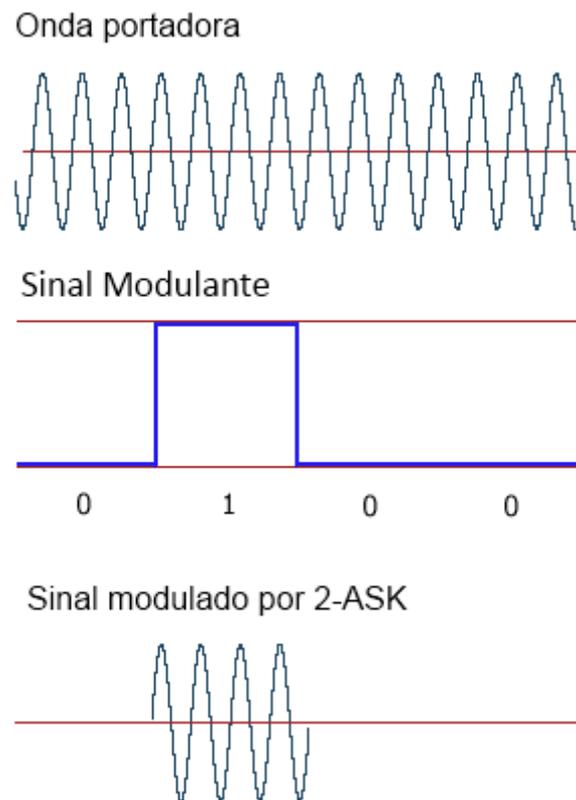


Figura 35 - Modulação ASK com dois níveis lógicos (YourDictionary.com)

O modulador pode ser entendido como uma chave que liga ou desliga a transmissão da onda portadora. Durante o tempo de duração de um bit, a ausência de onda portadora representa o valor 0, enquanto sua presença representa o valor 1.

A modulação ASK é simples e barata de implementar. Também é usada por transmissores *LED*, onde o nível lógico alto é representado pela luz, e o nível lógico baixo é representado pela ausência desta. Em *lasers*, a luz é emitida continuamente, mas a sua amplitude determina o nível lógico.

### **M-Ary Amplitude Shift Keying**

A modulação da portadora em dois níveis de amplitude também é conhecida como 2-ASK, e é o modo mais simples de modulação por chaveamento de amplitude.

Modos mais sofisticados de modulação ASK trabalham com mais de dois níveis lógicos. 4-ASK, por exemplo, modula a onda portadora em quatro amplitudes diferentes, representando as cadeias de bits 00, 01, 10 e 11.

## Apêndice D – *Frequency Shift Keying*

*Frequency Shift Keying (FSK)* é uma forma de modulação em que o sinal digital modulante (ou seja, aquele que se deseja transmitir) modula a onda portadora através do chaveamento de valores de frequência.

O modulador chaveia a frequência da onda portadora de amplitude constante através de um código pré-definido em que cada frequência transmitida durante um intervalo de tempo determinado representa uma sequência de bits. Ver Figura 36.

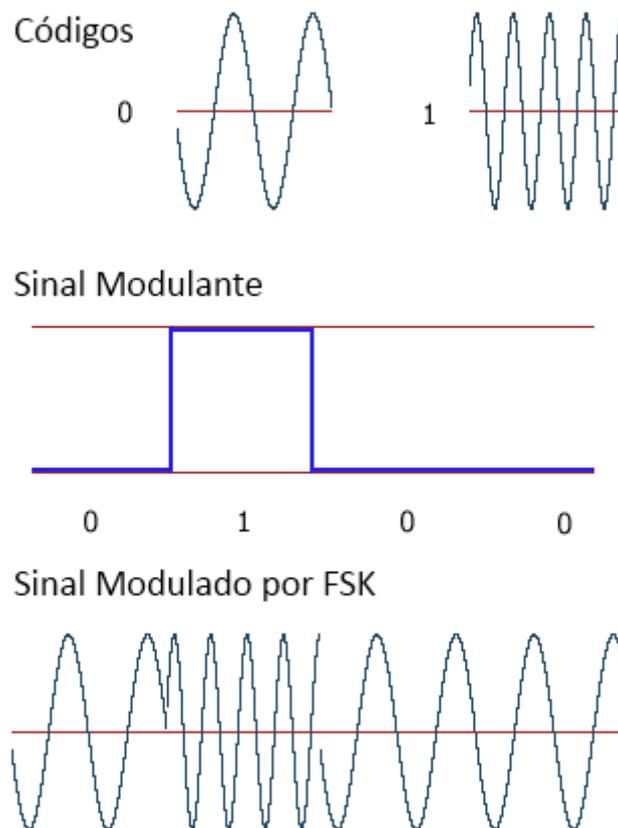
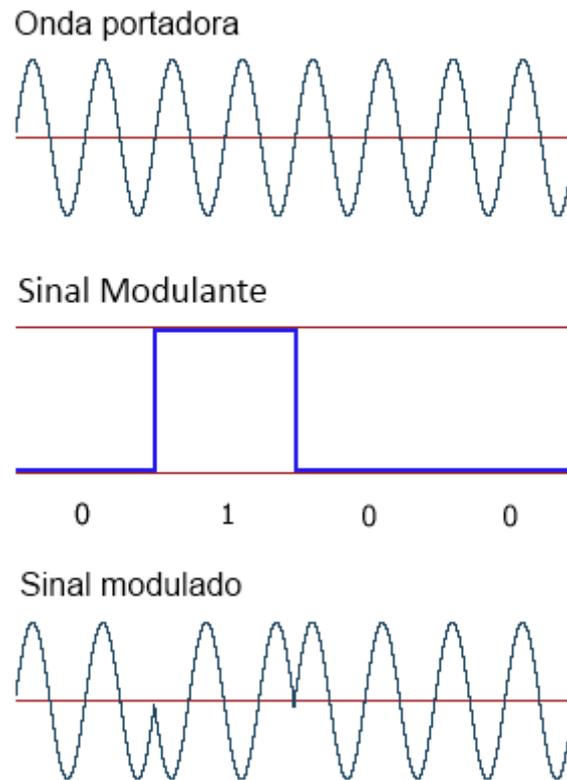


Figura 36 - Modulação FSK com dois códigos (duas frequências) (YourDictionary.com)

## Apêndice E – *Phase Shift Keying*

*Phase Shift Keying (PSK)* é uma forma de modulação em que o sinal digital modulante modula a onda portadora através do chaveamento de sua fase (ver Figura 37).



**Figura 37 - Modulação PSK.** Cada valor de bit corresponde a um deslocamento de fase da onda portadora (YourDictionary.com)

Há duas formas de fazê-lo: *Coherent Phase Shift Keying (CPSK)* e *Differential Phase Shift Keying (DPSK)*.

No *CPSK*, o modulador chaveia uma fase diferente para cada padrão de bits. Assim, o demodulador precisa conhecer o sinal de referência (a portadora original) para poder descobrir quais fases deste está recebendo, e assim recuperar a informação.

No *DPSK*, de acordo o padrão de bits o modulador muda a fase em relação ao sinal emitido, e não a um sinal de referência. Assim, cada padrão de bits corresponde a uma variação de fase. É mais fácil de implementar do que *CPSK*, porque o demodulador não precisa ter uma cópia do sinal de referência para decidir qual a fase do sinal recebido. O lado ruim deste modo é que ele faz mais demodulações errôneas do que o *CPSK*.

Uma forma conveniente de representar esquemas *PSK* é em um diagrama de constelação (ver Figura 38). Ele representa o sinal como pontos com espaçamento angular uniforme, dispostos em um círculo concêntrico com a origem dos eixos de um plano complexo. Os eixo real e

imaginário estão em quadratura<sup>25</sup> e seus valores correspondem à amplitude de uma onda cosseno e seno, respectivamente. Os pontos são dispostos nesse círculo porque a amplitude dos sinais é constante (logo, o módulo dos números complexos que representam será o mesmo).

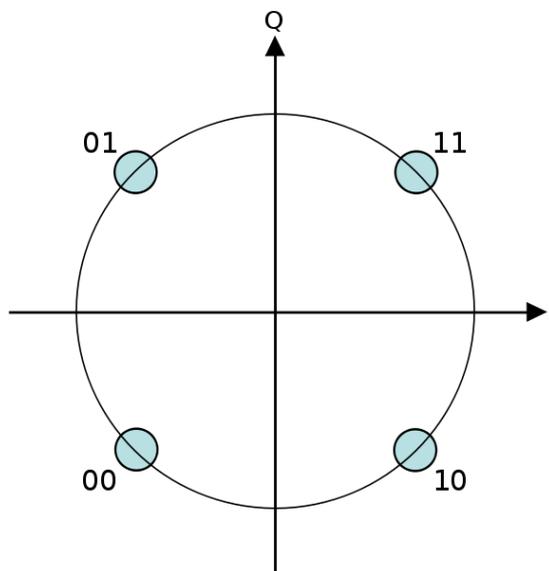


Figura 38 - Diagrama de constelação para QPSK com Gray Coding. O eixo das abscissas é o real, e o das ordenadas é o imaginário (Wikipedia)

Dois exemplos comuns de PSK são o *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*, que usa duas fases, e o *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*, que usa quatro fases. Embora qualquer número de fases possa ser usado, costuma-se usar potências de dois para representar sinais binários.

Uma análise matemática fora do escopo deste trabalho demonstra que o QPSK dobra a taxa de dados de BPSK, mantendo a mesma largura de banda, ou mantém a taxa de dados diminuindo a largura de banda pela metade. A desvantagem é que os transceptores QPSK são mais complexos que os BPSK. (Phase-shift keying)

#### $\pi/4$ -QPSK

QPSK limita a mudança de fase entre dois símbolos a quatro possibilidades:  $\pm 90^\circ$  e  $\pm 180^\circ$ . Quando ocorre uma mudança de fase de  $180^\circ$ , há uma mudança muito grande e rápida da amplitude da portadora, o que gera um componente de alta frequência na onda e por conseguinte aumenta bastante a largura de banda do sinal.  $\pi/4$ -QPSK traz uma melhoria nesse quesito, limitando a mudança de fase entre símbolos a outras quatro possibilidades:  $\pm 45^\circ$  e  $\pm 135^\circ$ .

$\pi/4$ -QPSK usa duas constelações idênticas com uma diferença de fase de  $\pi/4$  radianos ( $45^\circ$ ) (ver Figura 39).

<sup>25</sup> Fase e Quadratura: Se duas ondas periódicas têm uma diferença de fase equivalente a  $1/4$  de seu período, costuma-se dizer que estão em quadratura. Se duas ondas periódicas não têm diferença de fase, então costuma-se dizer que estão em fase.

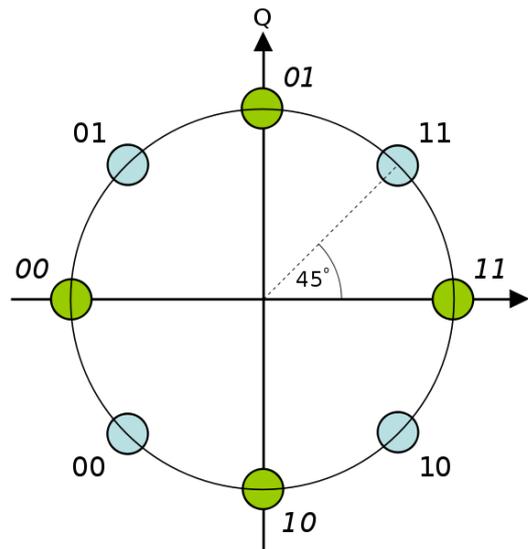


Figura 39 - Diagrama de constelação para  $\pi/4$ -QPSK com Gray Coding (Wikipedia)

A Figura 40 mostra um exemplo em que ocorre a transmissão do padrão 11000110 com modulação  $\pi/4$ -QPSK de acordo com a codificação da Figura 39. Os sinais I e Q correspondem à projeção do sinal nos eixos imaginário e real do plano complexo, respectivamente. A partir dessas projeções, pode-se obter a posição do sinal no diagrama de constelação, e portanto o padrão de bits transmitido.

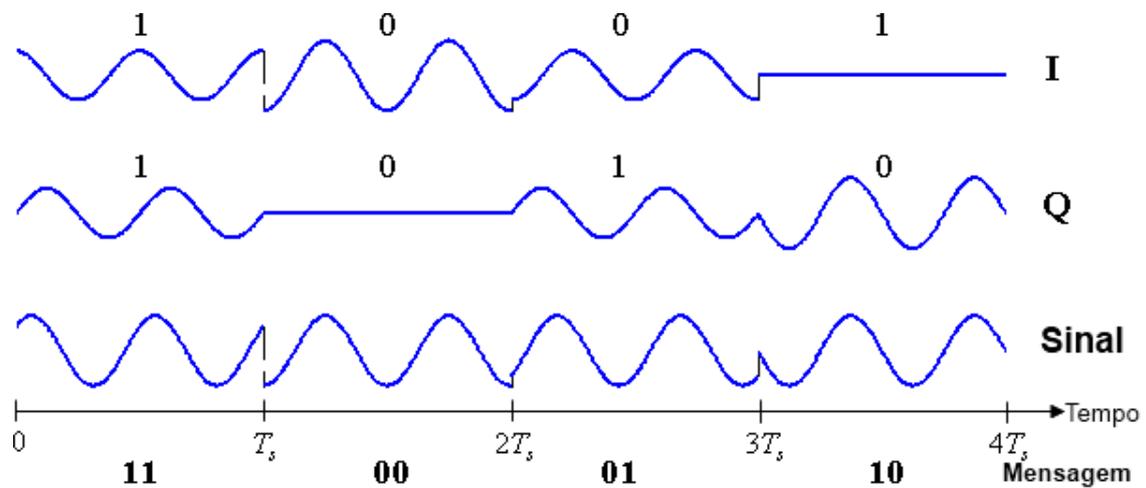


Figura 40 - Exemplo de modulação  $\pi/4$ -QPSK de uma mensagem 11000110, de acordo com a codificação da figura. (Wikipedia)

## Apêndice F – Quadrature Amplitude Modulation

Na *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*, amplitude e fase são usadas para modular o sinal. Duas ondas portadoras em quadratura são moduladas em amplitude (daí o nome) e depois somadas. Essas ondas são chamadas componentes em quadratura. O resultado da soma é uma combinação de *Phase Shift Keying (PSK)* e *Amplitude Shift Keying (ASK)*.

Em *QAM*, os pontos de constelação geralmente são organizados em um *grid* retangular, com igual espaçamento horizontal e vertical entre eles (ver Figura 41). Esse tipo de constelação é facilmente modulável e demodulável. A primeira constelação retangular de *QAM* é a *16-QAM*, pois uma modulação *2-QAM* corresponde exatamente à modulação *BPSK*; uma modulação *4-QAM* retangular corresponde exatamente à modulação *QPSK*; e a modulação *8-QAM* retangular tem uma taxa de erros quase igual à de *16-QAM*, *mas apenas*  $\frac{3}{4}$  de sua taxa de dados (portanto não é usada).

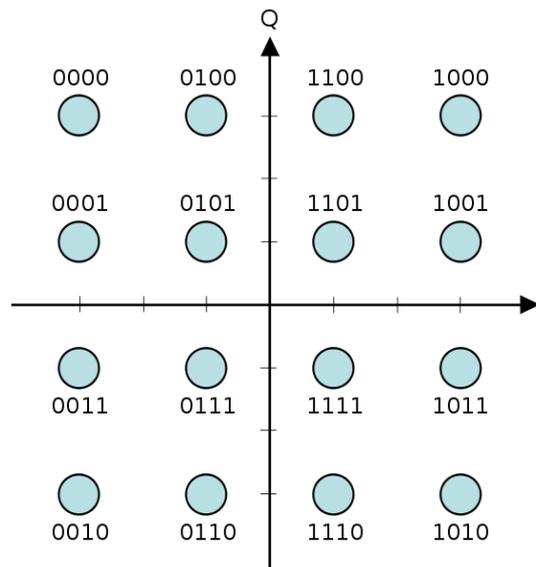


Figura 41 - Diagrama de Constelação de uma modulação *16-QAM* retangular com *Gray Coding* (Wikipedia)

*QAM* é largamente utilizada em telecomunicações.

## Apêndice G – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

*Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* é uma técnica de modulação para transmitir grandes quantidades de dados que divide o espectro em várias sub-bandas. Esta técnica requer um alto poder de processamento.

A Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência se assemelha à Multiplexação por Divisão de Frequência (*FDM*) no que diz respeito à divisão do espectro em várias subportadoras. A principal diferença entre *OFDM* e *FDM* está no fato de que em *OFDM* o espaçamento entre as portadoras é menor, devido a estas serem ortogonais entre si, podendo então ser superpostas (ver Figura 42). As portadoras são posicionadas de forma que os zeros de cada uma coincidam com os zeros das outras no domínio da frequência.

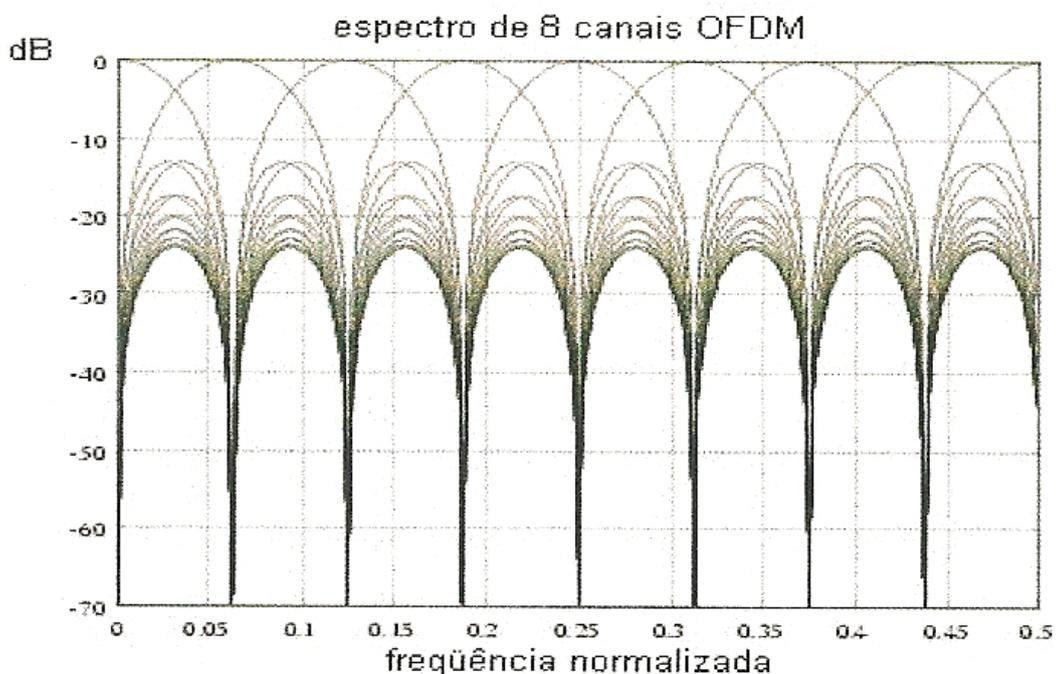


Figura 42 - Espectro de um sinal *OFDM* com oito canais (Oliveira, 2008)

O uso de várias subportadoras também permite que aquelas que estejam sofrendo forte distorção ou atenuação sejam descartadas.

A modulação segue as seguintes etapas:

1. O espectro é dividido em várias sub-bandas de mesma largura, nas quais ficarão as portadoras;
2. A cada portadora é designada uma parte dos dados que se quer transmitir;
3. Cada portadora é modulada de acordo com uma modulação escolhida, que pode ser PSK ou QAM, com uma baixa taxa de símbolos por segundo;

4. O sinal é convertido de volta ao domínio do tempo através de uma Transformada Inversa Rápida de Fourier, mantendo a ortogonalidade das portadoras no domínio da frequência.

Ao usar portadoras ortogonais, não se usa bandas de guarda como em *FDM*, e portanto a eficiência espectral é consideravelmente maior. Na recepção, as portadoras moduladas podem ser recuperadas individualmente sem interferência mútua, através da Transformada Rápida de Fourier (FFT).

Em um ambiente multicaminhos, o atraso de transmissão dos símbolos pode fazer com que um símbolo *OFDM* chegue no receptor durante o período do símbolo seguinte, causando interferência. Quando trata-se de uma transmissão com alta taxa de símbolos, esse problema se agrava, pois o intervalo de tempo entre dois símbolos consecutivos diminui.

Uma técnica bastante usada em conjunto com *OFDM* é o prefixo cíclico (ver Figura 43), com o objetivo de eliminar a interferência intersímbolos. Nesta técnica, uma parte inicial de cada símbolo *OFDM* é repetida ao fim do mesmo. A duração total do símbolo é  $T_{total} = T + T_g$ , onde  $T$  é a duração do símbolo, e  $T_g$  é a duração do prefixo (também conhecido como intervalo de guarda). Uma vez que o intervalo entre o sinal original e o seu eco mais longo seja mais curto do que o intervalo do prefixo cíclico, a transmissão fica menos susceptível a problemas de múltiplos caminhos. Entretanto, há uma queda na eficiência de utilização do canal, pois nenhuma informação útil é enviada durante o intervalo do prefixo cíclico.

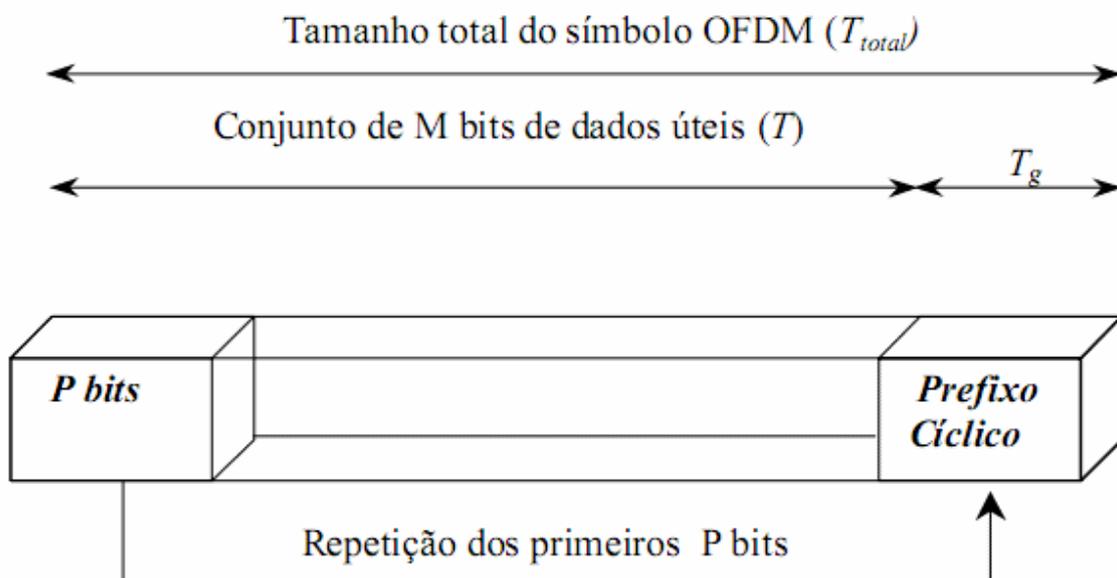


Figura 43 - Um símbolo *OFDM* e seu prefixo cíclico

A vantagem primária de *OFDM* sobre esquemas de portadora única está em sua capacidade de suportar severas condições do canal (por exemplo, interferências de banda estreita, e *frequency-selective multipath fading*). Com o uso da técnica de prefixo cíclico, *OFDM* também se torna resistente à interferência inter-símbolos.

*OFDM* é usada nos padrões IEEE 802.11a, g e n; na tecnologia *Long Term Evolution* (3ª e 4ª geração de celulares); em *Wi-MAX* (4ª geração de celulares); e na especificação de *UWB* proposta pela *WiMedia Alliance*.

## Bibliografia

(n.d.). Retrieved novembre 2010, from WiMedia: <http://www.WiMedia.org/en/index.asp>

(n.d.). Retrieved from GSM World: <http://www.gsmworld.com/about-us/index.htm>

(n.d.). Retrieved from Newegg.com:

[http://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=N82E16812196637&cm\\_re=Certified\\_Wireless\\_USB-\\_12-196-637-\\_Product](http://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=N82E16812196637&cm_re=Certified_Wireless_USB-_12-196-637-_Product)

(n.d.). Retrieved 2010, from Soulttek: <http://www.soulttek.com/>

(n.d.). Retrieved 2010, from Gigazine:

[http://en.gigazine.net/index.php?/news/comments/20090722\\_Wireless\\_japan\\_2009\\_kddi2/](http://en.gigazine.net/index.php?/news/comments/20090722_Wireless_japan_2009_kddi2/)

(n.d.). Retrieved 2010, from Design & Reuse: [http://www.design-](http://www.design-reuse.com/articles/7655/pressure-mounts-in-next-gen-mobile-phone-designs.html)

[reuse.com/articles/7655/pressure-mounts-in-next-gen-mobile-phone-designs.html](http://www.design-reuse.com/articles/7655/pressure-mounts-in-next-gen-mobile-phone-designs.html)

(n.d.). Retrieved 2010, from DeviceForge.com:

[<http://www.deviceforge.com/articles/AT9015145687.html>]

(n.d.). Retrieved 2010, from Globalspec:

<http://www.globalspec.com/reference/10510/121073/Chapter-6-2-3-Direct-Sequence-Spread-Spectrum>

(n.d.). Retrieved 2010, from YourDictionary.com:

<http://computer.yourdictionary.com/amplitude-modulation>

(n.d.). Retrieved 2010, from YourDictionary.com:

<http://computer.yourdictionary.com/frequency-modulation>

(n.d.). Retrieved 2010, from YourDictionary.com: <http://computer.yourdictionary.com/phase-modulation>

(n.d.). Retrieved 2010, from Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying](http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying)

(n.d.). Retrieved 2010, from Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying](http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying)

(n.d.). Retrieved 2010, from Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying](http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying)

(n.d.). Retrieved 2010, from Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/QAM>

(n.d.). Retrieved novembre 2010, from DeviceForge.com:

<http://www.deviceforge.com/news/NS7351692307.html>

(n.d.). Retrieved novembre 2010, from NTT DoCoMo:

<http://www.nttdocomo.com/pr/2005/000684.html>

(n.d.). Retrieved from Amazon.com: <http://www.amazon.com/Belkin-Certified-Wireless-Adapter-F5U302/dp/B000UYWTWS>

*1 Gbps Infrared Communication*. (n.d.). Retrieved Novembro 2010, from YouTube:  
<http://www.youtube.com/user/IrDAAdmin>

*About IrDA*. (n.d.). Retrieved novembro 2010, from Infrared Data Association:  
<http://www.irda.org/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=4>

Alcatel-Lucent. (n.d.). *Os Laboratórios Bell Labs da Alcatel-Lucent anunciam novo recorde de transmissão óptica e quebra a barreira dos 100 Petabit por segundo*. Retrieved Novembro 2010, from Alcatel-Lucent: [http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/newsreleases/detail?LMSG\\_CABINET=Docs\\_and\\_Resource\\_Ctr&LMSG\\_CONTENT\\_FILE=News\\_Releases\\_2009/News\\_Article\\_001797.xml](http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/newsreleases/detail?LMSG_CABINET=Docs_and_Resource_Ctr&LMSG_CONTENT_FILE=News_Releases_2009/News_Article_001797.xml)

Ali, W., Elkilani, W., & Hadhoud, M. (2010). Simulation of NFCIP-1 protocol over NS-2. *Informatics and Systems (INFOS), 2010 The 7th International Conference on* (p. 1). Cairo: Fac. of Comput. & Inf., Menoufia Univ., Shebin El-Kom, Egypt .

ATSUSHI, S., TAKUMA, H., NAOYUKI, M., & HIDENORI, K. (2004). Development of Ultra Fast IrDA (UFIR) using Eye-Safe Laser Diodes. *Journal of the Japan Society of Infrared Science and Technology* , 19-26.

Barrett, T. (2000). History of UltraWideBand (UWB) Radar & Communications: Pioneers and Innovators. *Progress In Electromagnetics Symposium 2000 (PIERS2000)*. Cambridge.

Behari, J. (2008). Mobile phone frequency exposure and human health. *Recent Advances in Microwave Theory and Applications, 2008. MICROWAVE 2008. International Conference on*. Jaipur.

Bhargava, S. (1999). Power-frequency (ELF) electromagnetic fields in the studies of their hazardous effects on living beings. *Electromagnetic Interference and Compatibility '99. Proceedings of the International Conference on* (p. 453 ). Bharat Heavy Electr. Ltd., Hyderabad, India .

*Bluetooth History*. (n.d.). Retrieved novembro 2010, from BlueTomorrow.com:  
<http://www.bluetomorrow.com/about-Bluetooth-technology/history-of-Bluetooth/Bluetooth-history.html>

Chia, M., S.W., L., Sim, C., & Chan, K. (2005). Through-wall UWB radar operating within FCC's mask for sensing heart beat and breathing rate. *Radar Conference, 2005. EURAD 2005. European* (pp. 267 - 270). Paris: Inst. for Infocomm Res. .

Colombatto, M. (2009, fevereiro 20). *Viewpoint: Staccato CEO on the future of UWB*. Retrieved novembro 2010, from EE Times: <http://www.eetimes.com/electronics-news/4081434/Viewpoint-Staccato-CEO-on-the-future-of-UWB>

Daneshi, M., & Ruby, R. A. (n.d.). *Video Streaming over UWB Networks*. Retrieved novembro 2010, from Department of Computer Science, University of Victoria: <http://wiki.bc.net/atl-conf/display/BCNETPUBLIC/Video+Streaming+Over+UWB+Networks>

- Derf, F. (2010, fevereiro). *IrDA protocol stack*. Retrieved 2010, from [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Irda\\_protocol\\_stack\\_basic.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Irda_protocol_stack_basic.png)
- Duncan, G. (2009, outubro 26). *Bluetooth Headsets Shipments Down Sharply in 2009*. Retrieved novembro 2010, from Digital Trends: <http://www.digitaltrends.com/mobile/Bluetooth-headsets-shipments-down-sharply-in-2009/>
- Duncan, G. (2006, março 28). *UWB Bluetooth Picked to Link Home Devices*. Retrieved novembro 2010, from Digital Trends: <http://www.digitaltrends.com/gadgets/UWB-Bluetooth-picked-to-link-home-devices/>
- ECMA 340*. (n.d.). Retrieved from <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-340.htm>
- ECMA 352*. (n.d.). Retrieved from <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-352.htm>
- Fialho, F., & Florêncio, R. (n.d.). *Ultra-Wide Band*. Retrieved dezembro 2010, from UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro: [www.gta.ufrj.br/grad/07\\_1/uwb/uwb\\_apres.pp](http://www.gta.ufrj.br/grad/07_1/uwb/uwb_apres.pp)
- Fischer, J. (2009, junho). NFC in cell phones: The new paradigm for an interactive world [Near-Field Communications]. *Communications Magazine, IEEE*, p. 22 .
- Foerster, J., Green, E., Somayazulu, S., & Leeper, D. (2001). Ultra-Wideband Technology for Short- or Medium-Range Wireless Communications. *Intel Technology Journal Q2, 2001* .
- Fontana, R. (2004, maio). *A brief history of UWB communications*. Retrieved novembro 2010, from Ferret: <http://www.ferret.com.au/n/A-brief-history-of-UWB-communications-n681131>
- Gefen, L. (n.d.). *The First Wireless for HDMI Extender featuring Cable-Free High Definition Extension up to 30 Feet*. Retrieved dezembro 2010, from Gefen, LLC: [http://www.gefen.com/kvm/dproduct.jsp?prod\\_id=4318](http://www.gefen.com/kvm/dproduct.jsp?prod_id=4318)
- Geven, A., Strassl, P., Tscheligi, M., & Schwab, H. (2007). Experiencing Real-World Interaction – Results from a NFC User Experience Field Trial. *MobileHCI '07 Proceedings of the 9th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services* . Wien: CURE - Center for Usability Research and Engineering, Wien, Austria.
- Haartsen, J. (2000 ). Bluetooth™: a new radio interface providing ubiquitous connectivity. *Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st* (p. 107 ). Tokyo : Ericsson Radio Syst. BV, Emmen .
- Harker, B. J., Chadwick, A. D., & Harris, G. L. (2008). ULTRA-WIDEBAND 3-DIMENSIONAL IMAGING. *Roke Manor Research Limited* .
- How it Works: UWB, WPAN and WiMedia Radio Space*. (2008, agosto). Retrieved novembro 2010, from WiMedia Alliance: [http://www.wimedia.org/imwp/idms/popup/pop\\_download.asp?contentID=13836](http://www.wimedia.org/imwp/idms/popup/pop_download.asp?contentID=13836)

IHS. (2007, março 22). *Ultra-Wideband Platform Published as ISO, IEC Standard - ISO/IEC 26907*. Retrieved novembro 2010, from IHS: <http://electronics.ihs.com/news/WiMedia-ultra-wideband.htm>

*IrDA IrSimple Connect Specifications*. (n.d.). Retrieved Novembro 2010, from Infrared Data Association: <http://www.irda.org/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=7>

*ISO 15693*. (n.d.). Retrieved from [http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=3&ved=0CDcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.iso.org%2Fiso%2Fcatalogue\\_detail.htm%3Fcsnumber%3D39694&ei=3WIOTc6yOMWblgeZ5\\_XrCw&usg=AFQjCNHCSYfxMjBLaJY8mvtZ5WJpxanpOA&sig2=pDZOIfWIT8Wqar-xKS511A](http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=3&ved=0CDcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.iso.org%2Fiso%2Fcatalogue_detail.htm%3Fcsnumber%3D39694&ei=3WIOTc6yOMWblgeZ5_XrCw&usg=AFQjCNHCSYfxMjBLaJY8mvtZ5WJpxanpOA&sig2=pDZOIfWIT8Wqar-xKS511A)

ISO/IEC 18092:2004. (n.d.).

James, W. (2002, setembro). *Ultra-Wideband / a Disruptive RF Technology?* Retrieved novembro 2010, from Intel: [http://www.intel.com/technology/comms/uwb/download/Ultra-Wideband\\_Technology.pdf](http://www.intel.com/technology/comms/uwb/download/Ultra-Wideband_Technology.pdf)

Jones, W. (2006). No strings attached [wireless USB]. *Spectrum, IEEE*, 16.

Leavitt, N. (2007). For Wireless USB, the Future Starts Now. *Computer*, 14.

Lias, K., Mat, D., Kipli, K., & Marzuki, A. (2009). Human health implication of 900MHz and 1800MHz mobile phones. *Communications (MICC), 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on*. Kuala Lumpur.

Mamoon, A. (2003). Biological potential hazards of electromagnetic fields: the case of mobile phones. *Radio Science Conference, 2003. NRSC 2003. Proceedings of the Twentieth National*, (p. INV3).

Mannion, P. (2004, outubro 10). *Bluetooth: dead or alive?* Retrieved novembro 2010, from EE Times: <http://www.eetimes.com/electronics-news/4050345/Bluetooth-dead-or-alive->

Mannion, P. (2006, abril 6). *Freescale, Motorola pull out of UWB Forum*. Retrieved novembro 2010, from EE Times: <http://www.eetimes.com/electronics-news/4059719/Freescale-Motorola-pull-out-of-UWB-Forum>

Mannion, P. (2009, março 16). *WiMedia folds, UWB spec goes to Bluetooth, USB groups*. Retrieved novembro 2010, from EE Times: <http://www.eetimes.com/electronics-news/4081838/WiMedia-folds-UWB-spec-goes-to-Bluetooth-USB-groups>

Mat, D., Kho, F., Joseph, A., Kipli, K., Sahrani, S., Lias, K., et al. (2010). The effect of headset and earphone on reducing electromagnetic radiation from mobile phone toward human head. *Information and Telecommunication Technologies (APSITT), 2010 8th Asia-Pacific Symposium on* (p. 1). Kuching: Dept. of Electron. Eng., Univ. Malaysia Sarawak, Kota Samarahan, Malaysia.

McDermott-Wells, P. (2004). What is Bluetooth? *Potentials, IEEE*, 33.

Merritt, R. (2008, outubro 31). *Wireless USB startup WiQuest folds*. Retrieved dezembro 2010, from EE Times: <http://www.eetimes.com/electronics-news/4079758/Wireless-USB-startup-WiQuest-folds-item-1>

Nass, R. (2006, março 3). *EE Times*. Retrieved novembro 2010, from Bluetooth SIG picks WiMedia Alliance's MB-OFDM UWB: <http://www.eetimes.com/electronics-blogs/mobile-handset-designline-blog/4034009/Bluetooth-SIG-picks-WiMedia-Alliance-s-MB-OFDM-UWB>

*Near and Far Field*. (n.d.). Retrieved dezembro 2010, from Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Near\\_and\\_far\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Near_and_far_field)

*NFC Portal*. (n.d.). Retrieved dezembro 2010, from <http://www.nfc-world.com/en/about/>

Oliveira, H. M. (2008). *Engenharia de Telecomunicações*. Recife: Departamento de Eletrônica & Sistemas - Universidade Federal de Pernambuco.

*Palo Wireless*. (n.d.). Retrieved 2010, from <http://www.palowireless.com/Bluetooth>

Pavarin, G. (2008, novembro 18). *USB 3.0 já está finalizado*. Retrieved novembro 2010, from INFO Online: <http://info.abril.com.br/aberto/infonews/112008/18112008-20.shl>

*Phase-shift keying*. (n.d.). Retrieved novembro 2010, from Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying](http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying)

REUTERS. (2008, janeiro 7). *WiQuest Enabling over 85% of Certified Wireless USB Consumer Products*. Retrieved dezembro 2010, from REUTERS: <http://www.reuters.com/article/idUS147223+07-Jan-2008+BW20080107>

Rinner, D., Witschnig, H., & Merlin, E. (2008). Broadband NFC - A system analysis for the uplink. *Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, 2008. CNSDSP 2008. 6th International Symposium on* (p. 292). Graz: NXP Semicond., Gratkorn.

Rotaru, A., Ciobanu, N., Rusu, D., Betskii, O., & Ghitu, D. (2007). Theoretical contributions concerning biophysical mechanisms of interaction between external millimeter wave electromagnetic field and living biological systems. *Electromagnetics in Advanced Applications, 2007. ICEAA 2007. International Conference on* (p. 1044). Torino: State Univ. of Moldova, Chisinau.

Shah, A., Ara, S., Kitazumi, G., & Matsumoto, M. (2006). IrSimple Modeling and Performance Evaluation for High-Speed Infrared Communications. *Global Telecommunications Conference, 2006. GLOBECOM '06. IEEE* (p. 1). San Francisco: GITS, Waseda Univ., Tokyo.

Tetsuo Nozawa, N. E. (2008, julho 25). *[Wireless Japan] KDDI Demonstrates 1Gbps Infrared Communication*. Retrieved Novembro 2010, from Tech-On!: [http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS\\_EN/20080725/155461/](http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20080725/155461/)

Williams, S. (2000). IrDA: past, present and future. *Personal Communications, IEEE*, 11.

*Wiquest wireless USB adapter earns FCC certification.* (2006, outubro 24). Retrieved dezembro 2010, from Tom's Hardware: <http://www.tomshardware.co.uk/wiquest-wireless-usb,news-22492.html>

*Wireless Universal Serial Bus Specification, Revision 1.1 .* (2010).