

Evolução das Redes Sem Fio: Um Estudo Comparativo Entre Bluetooth e ZigBee

Rafael Antônio Asatiany Costa¹, Luis Augusto Mattos Mendes¹

¹Universidade Presidente Antônio Carlos (UNIPAC)
Faculdade Regional de Ciências Exatas e Sociais de Barbacena (FACEC)
Campus Magnus – Rua Palma Bageto Viol, s/nº – Campolide
CEP: 36.200-108 – Barbacena – MG – Brasil

asatiany@gmail.com, luisaugustomendes@yahoo.com.br

Resumo. *O objetivo deste artigo é responder a questão “ZigBee pode substituir o Bluetooth?”. Para isso, este artigo apresenta a evolução das redes sem fio no âmbito da comparação entre duas tecnologias: Bluetooth e ZigBee. A comparação é feita entre o funcionamento, o protocolo, a segurança e outras características específicas de cada tecnologia que são descritas neste artigo.*

Palavras-chave: *Bluetooth, ZigBee, Redes Sem Fio.*

1. Introdução

O crescimento da tecnologia em redes wireless é cada vez mais evidente. As redes sem fio são um modo de facilitar a vida das pessoas. Na atualidade existem vários tipos de redes sem fio, e este artigo irá tratar de duas tecnologias muito conhecidas: Bluetooth e ZigBee.

Bluetooth é uma tecnologia muito disseminada no atual mercado tecnológico, principalmente na área de telefonia celular, mas com a chegada da ZigBee, vários estudiosos colocam-na como a substituta do Bluetooth. Assim, o ZigBee ocuparia o lugar do Bluetooth chegando, talvez, a excluí-la do mercado pelo fato deste padrão prometer baixo consumo, além de ter sido criado com o intuito de ser mais simples e mais barato que outras tecnologias, como o Bluetooth.

Este artigo tem como objetivo a comparação das duas tecnologias, e apresentar um resultado para a questão levantada por estudiosos na área de redes sem fio “ZigBee pode substituir o Bluetooth?”, analisando os dados característicos de cada tecnologia.

O artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta a tecnologia em redes em fio Bluetooth, dando ênfase ao funcionamento, o protocolo e a segurança. A seção 3 descreve a tecnologia em redes sem fio ZigBee, apresentando também seu funcionamento, protocolo e segurança. A seção 4 apresenta as comparações feitas entre as duas tecnologias. Na seção 5 são apresentadas as finais do artigo.

2. Bluetooth

O Bluetooth é uma tecnologia muito disseminada no mundo atual, devido ao seu uso em celulares, palms, laptops, computadores, fones de ouvido e outros dispositivos.

A origem do Bluetooth é datada em 1997, quando técnicos suecos desenvolveram o primeiro padrão para um dispositivo de comunicação via rádio de

curto alcance. Em 1998 foi criada a especificação “Bluetooth”, uma especificação aberta para conectividade sem fio entre dispositivos de computação e de telecomunicações. [1]

Bluetooth é o padrão de redes sem fio para conexões de curta distância que foi lançado em 1999 com a versão 1.0 pelo Bluetooth SIG (*Bluetooth Special Interest Group*), grupo formado por grandes empresas como Ericsson, Intel, IBM, Toshiba, Nokia, Lucent, Motorola e outras. Por solicitação do SIG o IEEE 802 adotou as especificações do Bluetooth como um standard IEEE 802.15.1 para “*Wireless Personal Area Network*” (WPAN).

Nesta seção dar-se-á ênfase a questões que envolvem funcionamento, protocolo e segurança na tecnologia Bluetooth.

2.1. Funcionamento

A tecnologia Bluetooth opera em uma frequência de 2,4 GHz a 2,483 GHz conhecida como ISM (*Industrial, Scientific & Medical*), que garante uma comunicação robusta em uma faixa de frequências compartilhada com outras aplicações como o WI-FI e ISM. Esta faixa de frequência é aberta para uso geral em um grande número de países, o que significa que cada dispositivo operando nesta faixa não necessita ser licenciado individualmente. Os dispositivos Bluetooth podem se comunicar dentro de uma mesma área, a uma taxa de aproximadamente 1 Mbps na versão 1.2 e a 3Mbps na versão 2.0, sendo que o alcance do sinal fica entre 1m e 100m, como definido pela Bluetooth SIG. [2]

A conexão dos dispositivos Bluetooth se dá da forma mestre-escravo (*master-slave*). Assim, o dispositivo que faz a conexão é chamado de mestre (*master*), os outros são os escravos (*slaves*), mas pode haver troca de mestre com escravo, já que esse papel é definido dinamicamente. Devido a limitação tecnológica não pode haver mais de oito dispositivos conectados, sendo um deles, o mestre e os outros sete, os escravos. Esta formação recebe o nome de *piconet* a qual só pode haver comunicação entre o mestre e os demais escravos, nunca ocorrendo comunicação entre escravos.

Ainda pode existir um outro tipo de conexão no Bluetooth, esta é chamada de *scatternet*. A *scatternet* representa a união de várias *piconets* independentes e não sincronizadas que podem se sobrepor ou existir em uma mesma área. Para que este tipo de conexão aconteça, deve haver sempre um dispositivo em comum entre as *piconets*. A Figura 1 apresenta a formação de uma *piconet* e de uma *scatternet*.

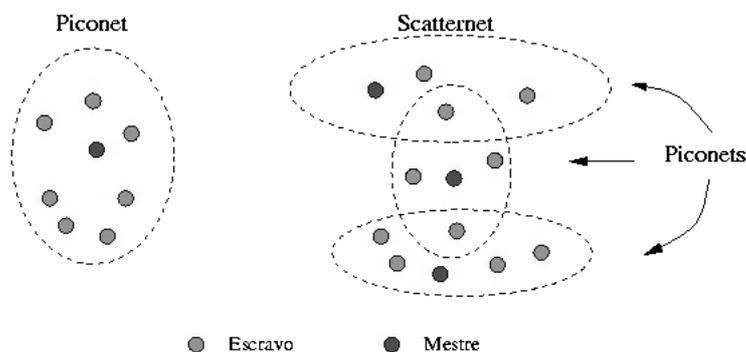


FIGURA 1. Piconet e Scatternet. [3]

2.2. Protocolo

O protocolo Bluetooth assim como os outros tantos protocolos de redes existentes, são regras predefinidas para iniciar um modo específico de comunicação entre dispositivos, definidas em camadas cada uma com a sua funcionalidade. No protocolo é definido o formato dos dados e como os dados serão enviados, recebidos e tratados em cada camada. Numa visão bottom-up, são apresentadas as camadas do protocolo Bluetooth na Figura 2, assim como a definição de cada uma delas em seguida: [4]

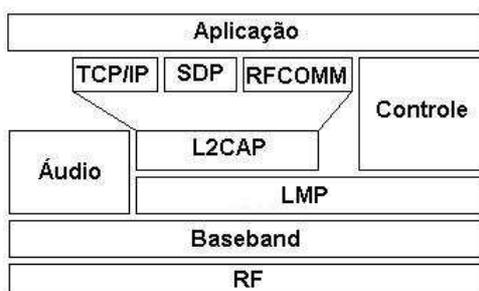


FIGURA 2. Arquitetura de Protocolo Bluetooth. [4]

- RF (*Radio Frequency*) – também conhecida como camada de *Radio*, esta camada lida com transmissão de dados via rádio frequência e é nela que são definidos os aspectos físicos da transmissão de sinal (potência de transmissão, modulação, tolerância da variação de frequência e nível de sensibilidade do receptor).
- Baseband – esta camada trata da transmissão de bits, especificando a forma de salto de frequência, os *slots* de tempo, o formato dos pacotes, o endereço dos dispositivos, os tipos de pacotes e os tipos de conexão. Os papéis de mestre e escravos são definidos nesta camada.
- Áudio – camada que funciona juntamente a camada *Baseband*, pois os dados de áudio são enviados diretamente da aplicação para camada *Baseband*, evitando as outras camadas. Isso estabelece essencialmente um link de áudio direto entre dois dispositivos Bluetooth.
- LMP (*Link Management Protocol*) – camada que trabalha junto com a camada de Controle, que gerencia o estabelecimento e controle de enlaces, bem como a gerência de consumo de energia, o estado do dispositivo na *piconet* e o controle de autenticação e criptografia.
- L2CAP (*Logical Link Control and Adaptation Protocol*) – para a transmissão de dados assíncronos, é utilizado a camada L2CAP que fornece serviços de dados orientados a conexão e sem conexão para as camadas superiores, fornecendo multiplexação do canal, segmentação e remontagem de pacotes, parâmetros de qualidade de serviço e abstração de grupos.
- TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) – camada para padrões industriais, que foi adotada pelo Bluetooth para facilitar a comunicação com qualquer outro dispositivo conectado à Internet.

- SDP (*Service Discover Protocol*) – camada desenvolvida pela SIG, permite dispositivos obterem informações sobre serviços disponíveis de outros dispositivos.
- RFCOMM (*Radio Frequency Communications port*) – camada também desenvolvida pela SIG, permite aplicações legadas operarem sobre os protocolos de transporte Bluetooth, o protocolo de sinalização e controle de telefonia baseada em pacotes.
- Aplicação – camada que é desenvolvida pela empresa fabricante do dispositivo Bluetooth.

2.3. Segurança

Quando se fala em Bluetooth, os usuários comuns não pensam, em geral, na sua segurança, até que acabam sofrendo algum dano por causa de alguma falha que esta tecnologia pode apresentar em algum dispositivo. Um grande problema que o Bluetooth pode apresentar, é devido ao fato de ser uma rede sem fio que usa sinais de rádio para comunicação, aonde esses sinais podem ser interceptados, por pessoas mal intencionadas, ou até mesmo sem intenção. Por isso é muito importante que os dispositivos Bluetooth tratem esse fato aspecto visando manter a segurança da informação.

Devido ao fato das aplicações Bluetooth terem diferentes demandas quanto à segurança, se faz necessária a flexibilidade nos níveis de segurança. Assim, há três modos de segurança que cobre a funcionalidade e aplicação do dispositivo. [5]

O primeiro é o tipo *Sem Segurança* que é usado com dispositivos que não tenham aplicações críticas. A troca automática de cartões de negócio eletrônico, é um típico exemplo de transferência de dados sem segurança; O segundo refere-se a *Segurança em Nível de Serviço (Service Level Security)*, o qual permite procedimento de acesso versátil, especialmente para acionar aplicações com diferentes níveis de segurança em paralelo; E o terceiro é a *Segurança em Nível de Ligação (Link Level Security)*, onde o nível de segurança é o mesmo para todas as aplicações a cada conexão que é iniciada. Embora seja menos flexível, este modo é adequado para manter o nível comum de segurança, e é mais fácil de implementar que o modo *Service Level Security*. [5]

Um dos principais modos de se assegurar a conexão Bluetooth é a autenticação, que evita o recebimento de mensagens de origem duvidosa e acesso não desejados a dados e funções importantes. Um outro modo de se assegurar a conexão, é a criptografia que evita escutas não autorizadas, mantendo assim a privacidade do canal. No protocolo do Bluetooth, há uma camada que fica responsável pela segurança da tecnologia, esta é a LMP que fica responsável pelo controle de autenticação e criptografia.

3. ZigBee

Como um padrão de rede sem fio de baixo consumo e curto alcance, o ZigBee, vem ao mercado tecnológico para tratar de ações de monitoramento e controle. ZigBee é uma tecnologia nova homologada pela IEEE em 2003, que corresponde ao IEEE 802.15.4 para redes WPAN (*Wireless Personal Area Network*) com o intuito de possibilitar um

controle seguro, de baixo custo e de baixa potência em redes sem fio para diversos equipamentos, incluindo soluções para a utilização de redes de sensores. O *ZigBee Alliance* é um grupo formado por várias empresas dentre elas Motorola, Philips, Mitsubishi Electronic Industrial, Agere Systems, Adcon, Telemetry AG e muitas outras.

Basicamente, esta tecnologia tem o propósito de permitir o controle de equipamentos domésticos (TV's, videocassetes, geladeiras, etc) e periféricos (teclados, mouse, impressoras, etc) remotamente, eliminando assim os cabos e tornando mais prática a operação desses equipamentos pelos usuários.

Esta seção irá tratar as questões que envolvem funcionamento, protocolo e segurança na tecnologia ZigBee.

3.1. Funcionamento

A tecnologia de redes sem fio ZigBee, tem seus dispositivos operando na faixa ISM, a qual não requer licença para funcionamento, incluindo as faixas de 2,4GHz (Global), 915Mhz (América) e 868Mhz (Europa) e com taxas de transferência de dados de 250kbps em 2,4GHz, 40kbps em 915Mhz e 20kbps em 868Mhz. Dependendo da velocidade de conexão que pode ser entre 10Kbps e 115 Kbps, o alcance de transmissão varia entre 10m e 100m, podendo chegar a mais, dependendo diretamente da potência dos equipamentos e de características ambientais, como obstáculos físicos e interferência eletromagnética, como definido pela ZigBee Alliance. [6]

A estrutura do funcionamento das redes ZigBee podem se dar de 3 formas (topologias): estrela, árvore, ou malha. Coordenador (*coordinator*), roteadores (*routers*), clientes (*end devices*) são os integrantes dessas redes. O coordenador é quem inicia a rede definindo o canal de comunicação usado, além de gerenciar os nós da rede e armazenar informações sobre eles. Os roteadores ficam responsabilizados pelo envio de mensagens entre nós da rede. E os clientes geralmente são dispositivos simples que apenas se comunicam com outro nó da rede. Dentro dessas definições existem outras duas referentes aos tipos de dispositivos que podem ser FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*). FFD pode funcionar em toda a topologia do padrão, desempenhando a função de coordenador da rede e conseqüentemente ter acesso a todos os outros dispositivos. Trata-se de dispositivos de construção mais complexa. RFD é limitado a uma configuração com topologia em estrela, não podendo atuar como um coordenador da rede, este pode comunicar-se apenas com um coordenador de rede e são dispositivos de construção mais simples. [7]

Na topologia estrela deve haver pelo menos um coordenador e os demais dispositivos podem ser do tipo cliente para reduzir o custo do sistema. A topologia árvore é formada por sub-redes que se comunicam entre si através de elementos roteadores. Aqui há mais de um elemento coordenador, cada um gerenciando uma rede diferente. Na topologia malha permite que, com a entrada de novos dispositivos, a rede se ajuste automaticamente durante sua inicialização, otimizando o tráfego de dados, as topologias árvore, estrela e malha podem ser observadas na Figura 3.

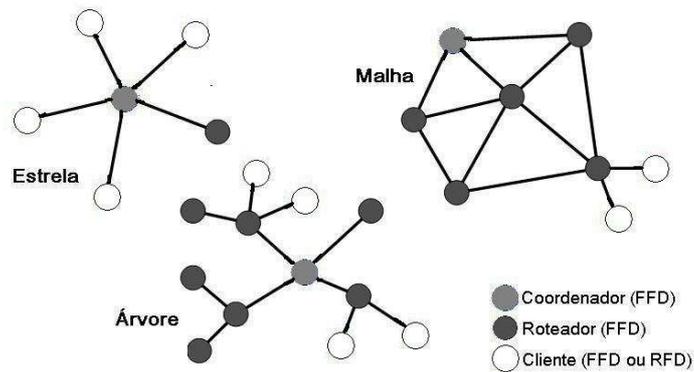


FIGURA 3. Topologias da rede ZigBee. [9]

3.2. Protocolo

A publicação do padrão IEEE 802.15.4, definiu interfaces com baixas taxas de transmissão (menores que 250Kbps) e estabeleceu uma estrutura de rede que incorpora os conceitos de redes *ad hoc*, características de conexão em malha e em multi-hop (múltiplos saltos). Adicionalmente, novos algoritmos de segurança e perfis de aplicação foram definidos objetivando garantir a segurança e a perfeita interação entre os diversos equipamentos. [7]

Com o intuito de ainda melhorar este padrão, foram feitos algoritmos de segurança para garantir uma melhor interação entre os vários dispositivos que podem ser conectados a uma rede ZigBee. Além dos algoritmos de segurança, foram definidos também perfis de aplicação para que esta interação se tornasse mais objetiva.

As camadas de protocolo das redes sem fio ZigBee podem ser definidas em 5 camadas, abaixo a definição de cada uma dessas camadas, considerando a pilha numa visão bottom-up como mostrado na Figura 4: [8]

Aplicação / Perfil	Usuário
Suporte a Aplicação	
Rede (NWK) / Segurança (SSP)	ZigBee Alliance
MAC	
PHY	IEEE 802.15.4

FIGURA 4. Pilha de camadas de protocolo das redes ZigBee. [10]

- PHY – camada definida pelo padrão IEEE 802.15.4, esta é a camada física que foi projetada para acomodar as necessidades de interfaces de baixo custo, permitindo níveis elevados de integração. A DSS (*Direct Sequence Spread*) é a técnica de transmissão usada nesta camada e que tem como objetivo permitir que os equipamentos nas redes ZigBee sejam muito simples, possibilitando implementações mais baratas.
- MAC – camada também definida pelo padrão IEEE 802.15.4, foi projetada com o intuito de permitir topologias múltiplas com baixa complexidade, o que se torna um ganho, pois a gerenciamento de energia não precisará de modos de operação complexos. Nesta camada, os dispositivos que se encontrarem na rede

como RFD (cliente), ou seja, como um dispositivo de funcionalidade reduzida, podem funcionar na rede sem a necessidade de grandes níveis de memória disponíveis, sendo que estes ainda podem controlar um grande número de dispositivos sem a necessidade de colocá-los em “modo de espera”.

- Rede (NWK) / Segurança (SSP) – camada desenvolvida pela ZigBee Alliance, esta camada é composta por outras duas camadas, uma delas é a camada de rede ou NWK (*Network*) e a outra é a camada de segurança ou SSP (*Security Service Provider*). A NWK visa balancear os custos das unidades em aplicações específicas, procurando desenvolver uma solução específica de custo-desempenho para cada aplicação, isto tudo feito através de um algoritmo que permite implementações da pilha de protocolos. Na SSP o objetivo é fornecer serviços de segurança, aonde acontece o estabelecimento e troca chaves de segurança, fazendo o uso destas para fazer as comunicações. A SSP não fixa os serviços de segurança em sua camada, pois camadas como MAC, NWK e APS precisam desses serviços para fornecer a segurança em cada nível.
- Suporte a Aplicação – camada também desenvolvida pela ZigBee Alliance, também conhecida como APS (*Application Support Sublayer*), esta é a camada responsável pelo envio de dados aos diferentes pontos da rede (nós) que se encontram em funcionamento.
- Aplicação / Perfil – esta camada é definida pelo usuário, ou seja, pelo fabricante do dispositivo ZigBee, que produz a aplicação do dispositivo que irá usar as funcionalidades disponíveis na camada de Suporte a Aplicação para haver a comunicação entre as várias aplicações dos usuários.

3.3. Segurança

A segurança do ZigBee é tratada já na definição do padrão IEEE 802.15.4, onde este define o uso de um algoritmo de segurança baseado na simplificação do algoritmo de roteamento, o AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*). [7]

O algoritmo de roteamento AODV foi desenvolvido com o propósito de ser utilizado em redes *ad hoc* por nós móveis. O protocolo oferece uma rápida adaptação as condições dinâmicas dos enlaces, baixo processamento e reduzida taxa de utilização da rede, e determina rotas para destinos dentro de uma rede *ad hoc*.

A segurança da rede ZigBee acontece na camada MAC, aonde um algoritmo de criptografia utilizando o padrão AES (*Advanced Encryption Standard*), descreve uma grande variedade de rotinas. Confidencialidade, integridade e autenticidade dos frames da camada MAC é de responsabilidade dessas rotinas. A MAC tem como funcionalidade fazer o processamento de segurança, mas serão as camadas superiores que ajustarão as chaves de criptografia de acordo com os níveis de segurança que deverão ser usados.

“Quando a camada MAC transmite (ou recebe) um frame, verifica o destino (a fonte do frame), recupera a chave associada com esse destino (fonte), e usa então esta chave para processar o frame de acordo com a rotina de segurança designada para a chave que está sendo usada. Cada chave é associada a uma única rotina de segurança e o cabeçalho do frame MAC possui um bit que especifica se a segurança para o frame está habilitada ou não.”[7]

4. Bluetooth x ZigBee

Esta seção apresentará comparações entre as duas tecnologias em redes sem fio: Bluetooth e ZigBee.

Uma das diferenças entre as duas tecnologias está no fato de cada uma ser apropriado para certas aplicações. A utilização do Bluetooth é mais apropriado na sincronização de PCs, telefones celulares e PDAs; aplicações de áudio como fone sem fio; transferência de arquivos entre PDAs, PCs e Impressoras. Enquanto que o Zigbee é mais adequado para as aplicações de Controle; rede de Sensores; redes com muitos dispositivos; com pequenos pacotes de dados e onde consumo de bateria é crítico. [8]

A Tabela 1 apresenta as principais características das duas tecnologias.

	<i>Bluetooth</i>	<i>ZigBee</i>
Taxa de Transferência	1Mbps-3Mbps	250Kbps
Corrente de Transmissão	40mA	30mA
Corrente em Standby	200 μ A	3 μ A
Memória	< 100KB	> 32KB
Tempo de Acesso a Rede	3s	30ms
Tempo de Transição de Escravos (dormindo para ativo)	3s	30ms
Tempo de Acesso ao Canal	2ms	15ms
Alcance	1m-100m	1m-100m+
Número de Dispositivos	8	65535
Consumo de bateria	dias	anos

TABELA 1. Comparações entre Bluetooth e ZigBee.

A Taxa de Transferência do Bluetooth pode chegar a aproximadamente 1Mbps na sua versão 1.2, e pode chegar a 3Mbps na sua versão 2.0, o que representa uma velocidade de transferência que chega a ser de 4 a 12 vezes mais rápida que a da ZigBee, que pode chegar a 250kbps, isto dependendo da versão Bluetooth utilizada. Dessa forma, os dispositivos Bluetooth possuem maior velocidade de transferência de dados que os dispositivos ZigBee.

A Corrente de Transmissão dos dispositivos Bluetooth geralmente usam corrente elétrica de cerca de 40mA, já os dispositivos ZigBee chegam a usar até 10mA a menos que os dispositivos Bluetooth, ou seja, os dispositivos ZigBee fazem uso de corrente de elétrica de cerca de 30mA.

A Corrente em *Standby* (modo de espera, aonde o dispositivo encontra-se ligado, mas não em funcionamento) dos dispositivos Bluetooth necessitam de corrente elétrica de 200 μ A, enquanto os dispositivos ZigBee necessitam 3 μ A, ou seja os dispositivos Bluetooth necessitam aproximadamente de 67 vezes mais de corrente elétrica para o modo *Standby* que os dispositivos ZigBee.

A Memória para transferência de dados no Bluetooth trabalha com envio de dados de no máximo 100KB, já a memória dos dispositivos ZigBee, trabalham com envio de no mínimo 32KB.

Quanto ao Tempo de Acesso a Rede, um dispositivo Bluetooth consegue acessar uma rede já existente em 3 segundos, enquanto um dispositivo ZigBee o acesso a sua rede é de 30 milésimos de segundo, ou seja, um dispositivo ZigBee acessa sua rede 100 vezes mais rápido que um dispositivo Bluetooth acessa a sua rede. O Tempo de Transição de Escravos de um dispositivo saindo de escravo (dormindo) para mestre (ativo) na rede Bluetooth é de 3 segundos, enquanto o tempo de transição de um dispositivo ZigBee na sua rede, saindo de cliente (dormindo) para coordenador (ativo) é de 30 milésimos de segundo. Dessa forma, um dispositivo ZigBee passa de dormindo para ativo 100 vezes mais rápido que um dispositivo Bluetooth.

Já o Tempo de Acesso ao Canal de um dispositivo Bluetooth é de 2 milésimos de segundo, enquanto num dispositivo ZigBee é de 15 milésimos de segundo. Ou seja, um dispositivo Bluetooth acessa um canal em sua rede aproximadamente 7 vezes mais rápido que um dispositivo ZigBee consegue acessar um canal em sua Rede.

Quando se fala em alcance de rede, o Bluetooth apresenta três tipos de classes, as quais tem diferentes alcances: na classe 1, o alcance chega a 1 metro; na classe 2 chega a 10 metros, geralmente usado em dispositivos móveis; na classe 3 chega a 100 metros, com uso principal em indústrias. [2] Já na ZigBee, o alcance também fica entre 10 e 100 metros, com a diferença que pode chegar além desses 100 metros de alcance, sendo que esse alcance além não é definido no site da ZigBee Alliance. [6]

De acordo com o número de dispositivos que podem possuir em uma única rede, no Bluetooth em uma rede “*piconet*”, como descrito na seção 2, pode haver no máximo 8 dispositivos. O ZigBee pode chegar ao número de dispositivos bem maior que o Bluetooth em sua rede, este número pode chegar aos 65.535 dispositivos em uma só rede.

Uma das questões mais relevantes na comparação entre as duas tecnologias, talvez, esteja no fato da alimentação de energia dos dispositivos das mesmas. Dispositivos Bluetooth consomem sua energia em cerca de alguns dias e estes devem ser carregados periodicamente para manter o seu funcionamento, como no caso de celulares e PDAs. Enquanto no caso dos dispositivos ZigBee que usam pouca energia podendo ser alimentados com pilhas alcalinas comuns, que acabam durando anos, geralmente a expectativa de duração das mesmas chegam a superar 2 anos. [11]

4.1. Funcionamento

O funcionamento das duas tecnologias possuem suas semelhanças e suas diferenças. Uma semelhança é fato de que nas duas podem operar em uma faixa de 2,4Ghz, faixa essa conhecida como ISM, que não requer licença para funcionamento.

As duas tecnologias também possuem um modo de funcionamento em suas respectivas redes bem parecidos. Visto que as duas tratam os dispositivos como ativo e dormindo, a diferença é que no caso do Bluetooth o ativo seria o mestre (master) e o dormindo, seria o escravo (slave), assim como especificado na seção 2 deste artigo. Já no ZigBee o ativo seria o coordenador (FFD), e o dormindo seria o cliente (RFD), como apresentado na seção 3.

Outra semelhança entre as duas redes sem fio é o fato das mesmas poderem mesclar suas respectivas redes para aumentar o número de dispositivos ligado a uma mesma rede. Como no caso do Bluetooth, onde várias *piconets* podem se juntar para

umentar a rede, a qual passa a se chamada de *scatternet*. E no ZigBee que uma rede com topologia em estrela pode ser aumentada, fazendo com que redes em estrela se juntem e formem uma rede maior, seja ela em topologia em árvore, ou em malha que pode gerar uma rede ainda maior do que a apresentada na topologia em árvore.

A grande diferença das duas, no entanto, está no funcionamento o qual vai ser caracterizado pela velocidade de transmissão de dados, como já descrito nesta seção e apresentado na Tabela 1. Assim, o Bluetooth terá uma maior velocidade de transmissão que o ZigBee.

Outra diferença está no tempo de funcionamento de cada tecnologia, que como demonstrando na Tabela 1, apresenta o ZigBee como sendo mais rápido que o Bluetooth quando observado a característica de acesso a rede e no tempo de transição de escravos. Em contrapartida, o Bluetooth é mais rápido no tempo de acesso ao canal.

No que se diz respeito ao funcionamento, as duas tecnologias são bem parecidas, considerando o fato de possuírem ativos e dormindo, e que estes mudam de acordo com a necessidade, o que diferencia é que o ZigBee é mais rápido na mudança de dormindo para ativo, assim como é mais rápido no acesso a rede, o Bluetooth por sua vez, leva vantagem no acesso ao canal.

4.2. Protocolo

Ao comparar-se os protocolos de rede das tecnologias em redes sem fio Bluetooth e ZigBee, as duas mostram ter protocolos bem diferenciados. O Bluetooth apresenta uma maior quantidade de camadas que a ZigBee, contudo, isso não significa que a tecnologia que apresenta uma maior quantidade de protocolos seja a melhor. Sendo assim, a determinação de uma melhor tecnologia quando observada a pilha de protocolos se dá pela implementação dos protocolos.

A implementação das camadas de protocolo do Bluetooth são complexas, enquanto a implementação das camadas de protocolo do ZigBee são consideradas simples, fazendo com que o ZigBee seja uma tecnologia mais simples de ser implementada e colocada em uso nos dispositivos.

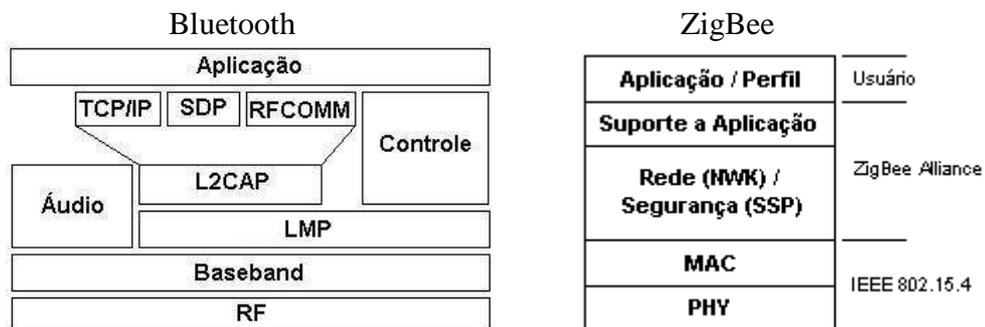


FIGURA 5. Comparação da Pilha de Protocolos Bluetooth e Zigbee [4] [10]

Apesar das pilhas de protocolos das tecnologias, Bluetooth e Zigbee, como apresentadas na Figura 5, serem diferentes na sua formação devido a quantidade de camadas, ainda sim elas possuem semelhanças. A camada de Aplicação da pilha de protocolos Bluetooth e a camada de Aplicação/Perfil da pilha de protocolos do Zigbee possuem a mesma especificação (funcionalidade) ficando a cargo do fabricante desenvolver esta camada. A outra semelhança está nas parte de segurança já que as duas

tecnologias oferecem serviços de criptografia e autenticação, sendo que no Bluetooth esta camada é a LMP e no ZigBee é a MAC.

4.3. Segurança

A segurança talvez seja o fator que mais se dê importância nos estudos de redes sem fio, já que diariamente se houve falar no meio da informática em tentativas de burlar a segurança das redes sem fio. Para isso é preciso ser dado um tratamento especial, a esse fator, e nas tecnologias Bluetooth e ZigBee isso não é diferente.

No protocolo do Bluetooth, há uma camada que fica responsável pela segurança da tecnologia, esta é a LMP que fica responsável pelo controle de autenticação e criptografia. Só que este tipo de segurança não é o suficiente. O *Bluetooth SIG* determina que as empresas utilizadoras do Bluetooth as quais desenvolvem os aplicativos para seus dispositivos que usam esta tecnologia, como os responsáveis pela segurança que o aplicativo deve prover ao usuário, uma vez que o aplicativo entrará em uso com o protocolo para ocorrer o funcionamento.

No ZigBee, a segurança é tratada também nas camadas de protocolo, uma das camadas que fica encarregada da segurança é a SSP que visa fornecer serviços de segurança, havendo o estabelecimento e a troca de chaves de segurança. No ZigBee não só a camada SSP cuida da segurança, mas também as camadas MAC, NWK e APS que fazem uso dos serviços de segurança da camada SSP para fornecerem segurança em cada nível. A segurança da rede ZigBee acontece na camada MAC, aonde faz-se uso de um algoritmo de criptografia, a mesma tem como funcionalidade fazer o processamento de segurança, mas serão as camadas superiores que ajustarão as chaves de criptografia de acordo com os níveis de segurança que deverão ser usados. Assim como no Bluetooth, o ZigBee também tem as empresas utilizadoras de sua tecnologia as quais são responsáveis por garantir a segurança dos aplicativos usados nos dispositivos ZigBee.

Quando se fala em segurança, o ZigBee parece demonstrar uma maior confiabilidade ao usuário, devido ao fato de seu protocolo tratar mais a segurança do que o protocolo do Bluetooth.

A segurança nas duas tecnologias precisam ainda ser melhoradas, pois possuem suas falhas, mas fica claro que a segurança do ZigBee é mais confiável do que a segurança apresentada no Bluetooth.

4.4. Mercado

Na concepção de mercado, dentre as duas tecnologias de rede sem fio, a mais usada é o Bluetooth devido a seu uso ser muito voltado para o uso em celulares, PDAs, computadores, independente de serem portáteis, podendo ainda atingir outras áreas como apresentado na Figura 6. Além disso, pelo fato de ser uma tecnologia que está a mais tempo no mercado já que o seu lançamento é datado em 1999, quando comparado com o ZigBee que é uma tecnologia relativamente nova, já que seu lançamento data de 2003.

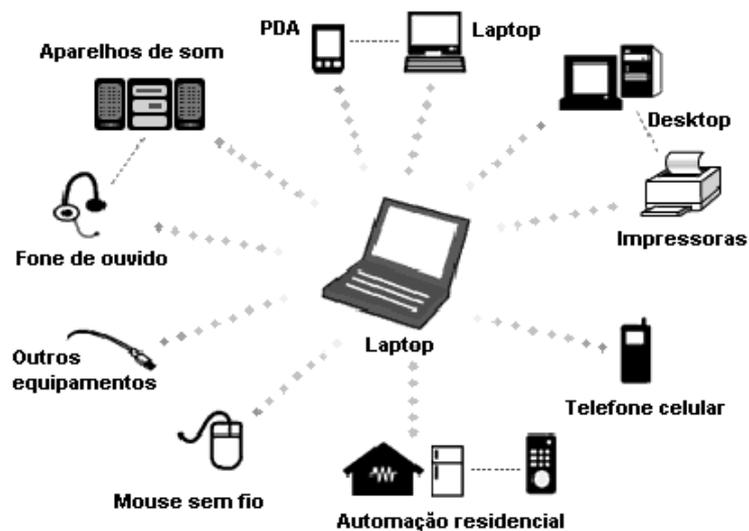


FIGURA 6. Aplicativos Bluetooth. [1]

No entanto, o ZigBee ainda não tem tanto mercado pelo fato do seu uso ser mais voltado à automatização de casas e de edifícios, monitoração industrial e controle de redes wireless de sensores. Mas também atinge as áreas em que o Bluetooth é líder, como mostrado na Figura 7.

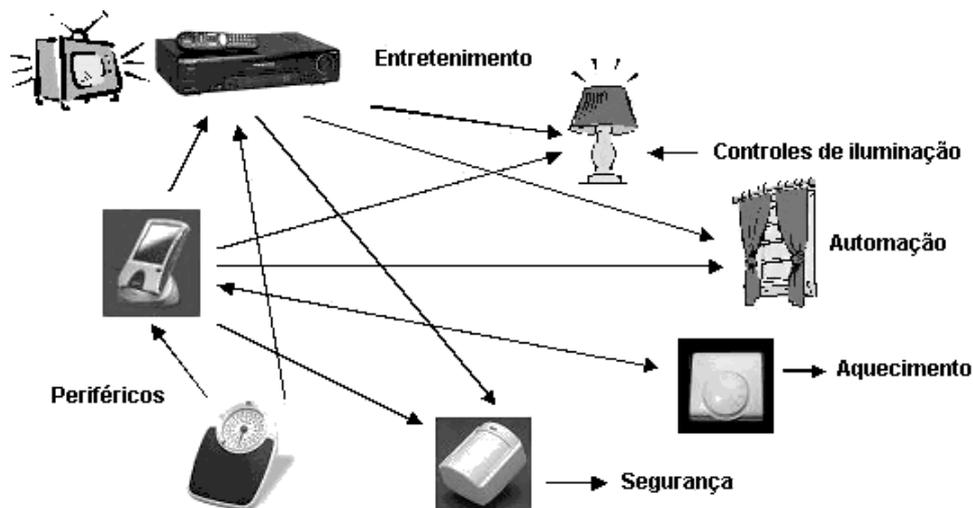


FIGURA 7. Aplicativos ZigBee. [8]

Apesar da situação de mercado ser diferente entre as duas tecnologias, que o ZigBee vem crescendo, podendo atingir também as áreas em que o Bluetooth domina o mercado. Atualmente, empresas como Siemens, Philips, Mitsubishi, Motorola, Honeywell, Freescale, Samsung, Texas Instruments, e outras, estão adotando cada vez mais o padrão ZigBee. Isto fica claro nas palavras Walter Veigel, vice-presidente de padronização e regulamentação da Siemens AG: [12]

"A Siemens investigou detalhadamente as diversas opções de controle wireless disponíveis no mercado e selecionou o ZigBee porque oferece um padrão reconhecido internacionalmente que se encaixa bem nas estratégias de produto em várias de nossas unidades de negócio".

(Walter Veigel)

5. Considerações Finais

A comparação feita neste artigo entre as duas tecnologias em redes sem fio, Bluetooth e ZigBee, apresentou semelhanças e diferenças que fazem com que cada tecnologia tenha a sua funcionalidade e especificidade diante de várias áreas que necessitam de suas características para o uso da mesmas.

O ZigBee é a melhor tecnologia a ser usada levando-se em consideração o consumo de energia dos dispositivos, além de ser melhor nos fatores de permitir um número bem maior de dispositivos em sua rede, uma velocidade maior no acesso a rede e na transição de escravos, uma segurança mais consolidada, e uma arquitetura de protocolo mais simples, o que acaba fazendo com que seus dispositivos cheguem ao mercado com um preço mais acessível em comparação com o Bluetooth.. Apesar do Bluetooth ter a velocidade de transmissão de dados e a velocidade de acesso ao canal maiores do que a do ZigBee, não demonstra ter capacidade de conseguir com que o ZigBee não a substitua, pois sua certa superioridade é apresentada principalmente na velocidade de transmissão de dados, o que faz que seus dispositivos se tornem mais caros, além de possuir uma implementação mais difícil, um número de dispositivos em sua rede bem inferior, e uma segurança mais frágil que a do ZigBee.

No âmbito de alcance de rede, as duas tecnologias apresentam características bem parecidas, sendo assim sobre este aspecto não daria para definir se uma tecnologia é melhor do que a outra.

Como sugestão para trabalhos futuros, fica a comparação do Bluetooth e do ZigBee com a WUSB que é também uma tecnologia em redes sem fio.

O ZigBee já vem substituindo o Bluetooth no mercado que procura levar aos usuários sempre o que há de melhor em tecnologia, e nada impede que possa haver uma reviravolta neste caso, mas no momento o ZigBee é a tecnologia a ser batida, e o Bluetooth ainda pode vir a surpreender. Contudo, o ZigBee pode vir a substituir o Bluetooth, mas não excluí-lo, pois o grupo Bluetooth SIG trabalha para que a sua tecnologia se torne a melhor, assim como o grupo ZigBee Alliance trabalha na sua tecnologia afim de melhorá-la.

6. Referências Bibliográficas

- [1] PINHEIRO, J. M. S. (2004). *Por dentro do Bluetooth*. Site Projeto de Redes. Disponível em: <http://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo_dentro_bluetooth.php>. Acesso em: 6 de maio de 2006.
- [2] BLUETOOTH SIG. (2006). *Bluetooth*. Website Oficial. Disponível em: <<http://www.bluetooth.com/bluetooth/>>. Acesso em: 29 de novembro de 2006.
- [3] FREITAS, A. M. (2001). Bluetooth – Novidade em Comunicações de Curta Distância Sem Fio. Disponível em: <<http://www-usr.inf.ufsm.br/~aldacir/Bluetooth.html>>. Acesso em: 13 de agosto de 2006.
- [4] LOUREIRO, A. A. F., NOGUEIRA, J. M. S., RUIZ, L. B., MINI, R. A. F., NAKAMURA, E. F. e FIGUEIREDO C. M. S. (2003). *Redes de Sensores Sem Fio*. Disponível em: <<http://www.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/sbrc03.pdf>>. Acesso em: 13 de agosto de 2006.

- [5] PAULA. (2000). *Bluetooth – Soluções Sem Fio*. Site do Grupo de Teleinformática e Automação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GTA / UFRJ), 2º Semestre de 2000. Seção Trabalho de Graduação. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/00_2/bluetooth/INDEX.htm>. Acesso em 2 de junho de 2006.
- [6] ZIGBEE ALLIANCE. (2006). *ZigBee*. Website Oficial. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/en/index.asp>>. Acesso em: 29 de novembro de 2006.
- [7] PINHEIRO, J. M. S. (2004). *As Redes com ZigBee*. Site Projeto de Redes. Seção Artigos. Disponível em: <http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php>. Acesso em 13 de agosto de 2006.
- [8] CORREIA, C. M. P. e REAL, F. J. C. (2006). *Rede Sensorial Wireless em Tecnologia ZigBee*. Disponível em: <<http://gtcom.de.utad.pt/~projectos/2006/Doc/PRJ-M%20RelatorioPreliminar%2001FEV2006.pdf>>. Acesso em: 13 de agosto de 2006.
- [9] CLN/MECAF TEAM. *Tecnologias Wireless*. Disponível em: <www.cin.ufpe.br/~hfn/Tecnologias%20Wireless_final.ppt>. Acesso em: 13 de agosto de 2006.
- [10] FRIAS, Renato Nogueira. (2004). *ZigBee*. Site da Teleco. Seção de Tutoriais. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdf/Tutorialzigbee.zip>>. Acesso em 2 de junho de 2006.
- [11] CARVALHO, P. M., PASSARELA, L. e SANTOS, D. (2006). *ZigBee*. Disponível em: <http://www.cic.unb.br/docentes/bordim/TD/Arquivos/G15_Monografia.pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2006.
- [12] REZENDE, E. (2006). *Siemens abraça padrão wireless ZigBee*. Site UOL WNEWS. Disponível em: <http://wnews.uol.com.br/site/noticias/materia.php?id_secao=4&id_conteudo=4296>. Acesso em: 13 de agosto de 2006.