

---

---

# Rede sem Fio:Estudo Comparativo dos Protocolos Bluetooth e ZigBee aplicados em Ambientes Industriais.

**André Lisboa da Conceição Júnior**

**Graduado em Engenharia Mecatrônica**

**Alcj\_com@yahoo.com.br**

---

---

**Resumo:** Este artigo apresenta a temática das redes sem fio,tendo como delimitação o estudo comparativo dos protocolos Bluetooth e ZigBee aplicados em ambientes industriais. São analisados os aspectos físicos:frequência,consumo energético e alcance, e os aspectos tecnológicos:Topologia de rede,taxas de transferência e sensibilidade ao ruído destes protocolos.

A metodologia utilizados para o desenvolvimento do trabalho fora oriunda de uma criteriosa pesquisa bibliografia em livros e artigos,além da análise de relatórios técnicos de pesquisas experimentais. Ao final desse trabalho conclui-se que o Bluetooth mesmo tendo taxas de transmissão de dados superiores ao ZigBee,a sua aplicabilidade é limitada em ambientes industriais,por ter maior sensibilidade a interferências e consumo energético restringindo-se a utilização da rede elétrica como fonte de alimentação.

**Palavras-chave:** Bluetooth; ZigBee; redes sem fio;Automação industrial;

**Abstract:**This article introduces the topic of wireless networks, with the demarcation comparative study of Bluetooth and ZigBee protocols used in industrial environments. We analyze the physical aspects: frequency, energy consumption and range, and technological aspects: network topology, transfer rates and sensitivity to noise of these protocols.The methodology used for developing the work arising out of a thorough literature search of books and articles, technical reports of analysis of experimental research. At the end of this study concluded that even with Bluetooth transmission rates greater than ZigBee, its applicability is limited in industrial environments, to have greater sensitivity to interference and energy consumption by restricting the use of the grid as a source of supply.

**Keywords:**Bluetooth, ZigBee, wireless networks, industrial automation, industrial environments.

## 1-INTRODUÇÃO

Segundo Kioskea(2009),as redes sem fio foram criadas para serem redes complementares às redes cabeadas,sendo estas capazes de promover a mobilidade e a visualização rápida dos dados independente da localização dos seus usuários.

Neste tipo de rede, dados são transmitidos tendo como meio físico, o ar ou espaço livre ,que se constituem como meios naturais de propagação eletromagnéticas,promovendo uma interconexão completa ,permitindo uma grande flexibilidade na localização das estações.

Sendo esse a principal diferença entre as redes sem fio e as rede cabeadas (Silva,2004).O processo de desenvolvimento das redes sem fio continuou com o incremento de velocidade de transmissão de dados,contribuindo com a diversificação dos serviços, e no desenvolvimento da infraestrutura tornando-a mais simplificada e reduzindo o consumo de energia.

As redes sem fio não tardaram em chagar ao chão de fabrica, devido a otimização do espaço, flexibilidade,redução de custos com instalação e a ampliação da mobilidade. A sua utilização em ambientes industriais também tem função de complementar as redes convencionais ou cabeadas(CNX ANIXIER,2009).

## 2-COMPARAÇÃO ENTRE OS PROTOCOLOS BLUETOOTH E ZIGBEE

Com a crescente utilização dos protocolos de rede sem fio na industria e o desenvolvimento destes, o estudo comparativo,torna-se inevitável para análise das particularidades de cada um dos protocolos.

Inúmeros protocolos de redes sem fio poderiam ser utilizados na indústria,independentes de seu raio de abrangências (WPAN,WLAN.WMAN E WWAN) desde que aspectos como: sensibilidades,alcance,segurança e taxas de transferências fossem observados.

Devido a sua flexibilidade diante das redes cabeadas e a redução dos custos pela sua crescente utilização, protocolos como: Bluetooth,ZigBee e Wi-Fi ganharam destaque.

O ZigBee primordialmente foi desenvolvimento para atuar exclusivamente na automação industrial. O Bluetooth surgiu pela necessidade do estabelecimento da interconexão entre dispositivos móveis, posteriormente passou a ser utilizado em ambientes industriais e o ZigBee em interconexão entre dispositivos móveis e no

controle remoto de eletroeletrônicos.(JOHNSON,2006).

## 2.1 Bluetooth

O Bluetooth é o nome dado ao protocolo de rádio baseado em saltos de frequências de curto alcance(10 à 100 metros) que visa complementar ou substituir às redes<sup>i</sup> convencionais cabeadas,cujo o meio físico de transmissão é o cabo de par trançado,cabo coaxial e fibra óptica.

Este protocolo surgiu em 1994 após a empresa dispositivos móveis Ericsson, hoje a Sony-Ericsson,identificar a deficiência que os dispositivo tinham em estabelecer uma interconexão entre si como,por exemplo:fone de ouvido, aparelhos celulares, impressoras,auto radio e etc.

Quatro anos após a investigação as empresas IBM,NOKIA,INTEL e TOSHIBA se uniram a Ericsson e desenvolveram o protocolo Bluetooth e a este grupo formado foi dado o nome de Bluetooth Special Interest Group(SIG). Um ano depois,se incorporaram ao SIG a com 3com,Lucente Technologies,Microsoft e Motorola com a proposta de maior penetração no mercado.(BLUETOOTH SIG,2010).

O protocolo recebeu esse nome , pois foi uma homenagem ao primeiro rei Cristiano da Dinamarca , o rei Harald Bluetooth , por conseguir comandar os reinos da Dinamarca e da Noruega a distância. A sua primeira versão foi lançado em 1999 e hoje se encontra na versão 4.0 que atinge a velocidade de 24Mbps,trazendo a otimização do consumo,além da mesma ser compatível com as versões anteriores(ALECRIM,2008).

## 2.2 Zigbee

O ZigBee é um protocolo de rede sem fio,classificado como Wpan (redes pessoais sem fio),já adotadas em alguns países, apesar de não ser muito popular,possui varias qualidades como: A Infraestrutura de rede mais simples e baixo consumo de energia.

Diferentes dos demais padrões de redes sem fio, protocolos Wi-Fi e ao seu principal concorrente o Bluetooth,ele possui baixas taxas de transmissão, o que possibilita a utilização de baterias como fonte de alimentação.(GISLASON,2007).

Seu nome é uma alusão ao trabalho colaborativo das abelhas,em termos de mobilidade, troca de informações com os outros membros(distancia e localização de alimentos,por exemplo) que através da dança ou zig zag. Daí vem á fusão com a palavra inglesa bee,logo a expressão ZigBee é uma forma análoga de uma rede sem fio de transmissão de dados em malha (GISLASON,2007).

## 3- ALCANCE DAS REDES BLUETOOTH E ZIGBEE

O alcance de um rede sem fio é um fator determinante para cada tipo de aplicação estabelecendo a sua capacidades de transmissão expressa diretamente do raio de alcance do grupo de rede sem fio utilizado,sendo um beneficio , por tornar a rede extremamente flexível.(GARCIA,2003).

Em função dessa mobilidade ,os seus usuários só possuem um limitante que é a sua área de abrangência ou raio de alcance. Essas características atribuem a necessidade especificas como a utilização de softwares e técnicas elaboradas para o controle de rotas para estabelecendo uma eficiência no processo e a confiabilidade e segurança no envio das informações(ROCHA,2007).

No caso dos protocolos Bluetooth e ZigBee, classificados como redes Wpan's, tem alcance minimo de 10 metros e máxima de 100 metros(GISLASON,2007).

Em tese qualquer protocolo de rede poderia ser utilizado para acionamento e controle de equipamentos industriais,mas essa ação é limitada a uma área geográfica especifica,não existindo a necessidade de utilização de protocolos de redes com alcances superiores ao ZigBee e Bluetooth.

O fator “Alcance” também está ligado a uma infraestrutura complexa que demanda um custo maior para implementação.

### 3.1 Frequências dos protocolos de Bluetooth e ZigBee

Segundo Tanebaum(2007),Define-se frequência como o número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética.

A frequência ou espectro magnético propriamente dito é considerado um dos recursos de grande valia,já que se trata do meio de transmissão da informações. Este não exaurível, por que existem um infinidade de frequências, só que cada faixa é utilizada para um determinada finalidade e está limitada por região.

As frequências são adquiridas juntos a órgãos governamentais já que o espectrométrico é um patrimônio publico (TUDE,2007).O espectro magnético é adquirido através de licitações e acabaram sofrendo com a burocracia e a disponibilidade do governo para abertura de licitações para aquisição de tais licenças, inviabilizando a utilização dessa frequências em aplicações com infraestrutura mais simples.

A maioria dos países disponibiliza algumas bandas de frequências gratuitas, que são chamadas de ISM(Industrial Scientific Medical),para uso sem

aquisição de licença de brinquedos controlados por rádio frequência, uso medicinal e outros aparelhos domésticos que usam essa frequência(TANEBAUM,2007).

O Bluetooth e o ZigBee usam frequências ISM em seus dispositivos, no Brasil e na maioria dos países usam faixa de 2,45Ghz.

#### 4. CONSUMO DE ENERGIA DOS PROTOCOLOS

O “ calcanhar de Aquiles” de uma rede sem fio é o consumo energético. Por conta disso , esforços não são medidos pelos desenvolvedores de equipamentos para o desenvolvimento de equipamentos que economizem energia.

Este item é estratégico e está relacionado com uma baixa complexidade que possibilita a economia a tal ponto de um dispositivo de transmissão poder utilizar até mesmo baterias como fonte de alimentação.

Por isso, na industria , esse aspecto é tão importante quanto as taxas de transferência, já que tal característica pode manter a vida útil das baterias. Em consonância com a utilização de lógicas que aperfeiçoem a busca por melhores caminhos para o envio da informação para o menor consumo possível(ROCHA,2007).

Segundo o NISHIRARA(2004), o protocolo Bluetooth conta com transmissores com consumo de 1mW(0dbm) até 100mW(20dBm). Já o Zigbee, segundo Hester (2002),tem sua potências de irradiação que variam de 0,001mW(-3dBm) até 32mW(20dBm), o que possibilita que os seus módulos sejam alimentados com pilhas do tipo AA. Além disso , é muito comum nos dispositivos Zigbee a função “sleep” ou “hibernar” que possibilita que os módulos consumam o mínimo de energia necessária. (GISLASON,2007).

#### 5. TEMPO DE DETECÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE REDE

O tempo de detecção ou tempo de busca do dispositivo de uma rede é uma característica estratégica na gestão do consumo de energia de uma rede sem fio.Pois agilidade na visualização dos dispositivo do sistema, tem como consequência uma resposta ágil a um dispositivo inserido.

O Bluetooth leva de 2,5ms a no máximo 10,24s ,na pior das condições ou seja em ambientes com muita interferência eletromagnéticas e obstáculos físicos(Paredes,portas e etc.),para detectar um outros dispositivo(SOARES,2007).

Já o ZigBee leva por volta de 30ms para encontrar os participantes de sua rede e o que está em modo de espera, leva cerca de 15ms para se torna ativo novamente.

Ressaltando que a rede ZigBee pode ter mais de 65000 dispositivo de rede,já o Bluetooth só pode ter 8 dispositivos por rede,que são controlados por um master e 7 escravos criando as chamadas piconets. As redes Bluetooth ainda permitem a junções de varias piconets que se agrupam e recebem o nome de scarnets,suportando até 255 nós ou scarnets por rede(MESSIAS,2008).

Outras redes concorrentes como a Wi-Fi,demoram cerca de 30 segundos para efetuar a conexão.

#### 6. SENSIBILIDADE AO RUÍDO DOS PROTOCOLOS

Ao utilizar o ar como meio físico como meio de transmissão,existe uma constante variação das condições que variam de periodicamente com altas taxas de bits com erros(Ber),por culpa de interferências e até fatores naturais. As taxas de erros estão relacionadas com nível de ruído,quanto menor for o ruído, menor será a degradação do sinal e conseqüentemente serão menores a quantidade de bits com erros.

O padrão Zigbee tem um excelente performance no aspecto de não sofrer com as interferências causadas por ruídos ,sendo a sua tolerância maior do que a dos padrões concorrentes como mostra a figura 1 .

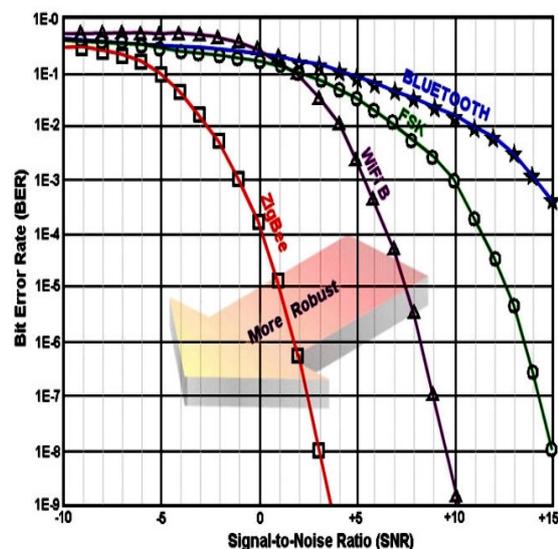


Figura 01: Comportamento das Redes Wireless em relação ao Ruído

O ZigBee utiliza a modulação DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) que consiste numa utilização de uma faixa do espectro maior do que a necessária na qual toda energia é espalhada por todo o espectro envolvido, o que proporciona um sinal de ruído.

Essa técnica sofisticada possibilita que numa mesma faixa operem vários dispositivos e evita interferências, propositais ou não,já que banda de operação é muito grande e vive em constante movimentação da informação

que fica “ pulando” entre as faixa de frequência com um amplitude muito baixa.

O Bluetooth utiliza a técnica Frequency Hopping Spread Spectrum(FHSS)que combate a degradação do sinal e promove as constante mudanças em 79 canais (Chamados hops ou saltos) de Amplitude de 1Mhz, utilizando uma combinação de canais chamados células,o que é eficiente nessa circunstâncias e que causa problemas de latência e incertezas nos canais que se encontra em modo de espera, ocorrem também perdas durante transferências de bandas ou na relação banda ocupada por tempo(CUNHA,2004).

Como a faixa ISM é muito usada por outros equipamentos, o Bluetooth sofre muito com tais interferências o que ocasiona perda do serviço ou falha na comunicação(NISHIRARA,2004).

As chamadas faixas ISM(Industrial Scientific Medical) são faixas que não necessitam de licenças para serem utilizadas,sendo utilizadas por :Brinquedos radio controlados,uso medicinal e outros aparelhos domésticos(TANEBAUM,2007).

O Bluetooth e o Zigbee usam frequências ISM em seus dispositivos, no Brasil e na maioria dos países usam a faixa de 2.4Ghz.

## 7. SEGURANÇA

A segurança são procedimentos utilizados para minimizar a vulnerabilidade de bens e recursos, onde a vulnerabilidade é qualquer fraqueza explorada para violar um sistema ou informações que ele contém.

Numa rede industrial vocacionada para o acionamento e controle o quesito segurança está relacionada a integridade dos dados trafegados, a comunicação entre os dispositivos e até a execução de um comando.

Tais ações demandam um certa preocupação com a segurança sendo que muitas vezes tais dados são sigilosos e precisam ser mantidos como tal.

Atualmente as redes mistas tem se tornado uma tendência ,em locais com grande dificuldades no uso de cabos ou até mesmo possibilidade de flexibilizar a planta, podendo modificá-la a qualquer momento dependendo da necessidade,sendo que tais cuidados precisam ser levados em consideração.(SOARES,2007).

### 7.1- Segurança no ZigBee

O ZigBee possui uma grande confiabilidade nos dados trafegados, isso por que a filosofia de concepção foi baseada na simplicidade ,fruto da inclusão de microcontroladores,assim como a criptografia simples e a adoção de um algoritmo de segurança simplificado de roteamento.

A AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) em conjunto com o AES (Advanced Standard) que é algoritmo de criptografia do ZigBee , descrevem uma variedade de rotinas de segurança ; que surgem em virtude da força das quantidade das combinações para o estabelecimento de rotas e ações seguras que por padrão é 32bits, mas que podem ser de até 128bits.

Essas rotinas tem o objetivo de manutenção da integridade de segurança,mas são as camadas MAC que realiza o processamento de segurança,mas são as camadas superiores que controlam o processo ,ajustando as chaves de criptografia e determinando os níveis de segurança que deverão ser usados(GISLASON,2007).

### 7.2- Segurança no Bluetooth

O protocolo Bluetooth usa modulação FHSS que promove constantes mudanças de frequências,delimitando á aquela que é necessária para manutenção da segurança, dividindo-a em até 79 canais durante um segundo permutando 1600 vezes; tornando difícil existirem dois dispositivos utilizando as mesmas frequências.

Além disso o protocolo possui níveis de segurança como:Autenticação;modo inseguro;Serviço level Security e Link level Security(CARNEIRO,2007).No nível de Autenticação não é permitido o envio de informações de origens duvidosas,assim como acessos não desejados a funções ou dados importantes do dispositivo, que trabalham em consonância com a criptografia evitando escuta ou aquisições de informações.

No modo inseguro não existe aplicações criticas,apenas trafega-se dados ou informações sem grande importância ,como por exemplo,informações que a operação foi realizada,sendo que existe uma operadora na supervisão das operações das operações;trata-se de um típico caso de transferência de dados(CARNEIRO,2006).

No modo de serviço SLS ou Service Level Security,permite um procedimento diversificado de acesso dinâmico usado para acionar aplicações com diferentes níveis de segurança em paralelo.No nível de segurança Link Level Security ou LLS é comum a todos as aplicações que são iniciadas neste nível sendo que este é menos flexível,mantendo um nível de segurança comum e mais fácil de operar do que o SLS.

Quando é exigida a comunicação do protocolo se faz uso de uma criptografia de 128 bits solicitada pelo dispositivo, sendo que a informação só é liberada após a confirmação do PIN(Número de identificação Pessoal) disponibilizado assim, a troca de informações(CARNEIRO,2006).

## 8- TAXA DE TRANSFERÊNCIA

Devidos ao desempenho na velocidade de transmissão de dados das redes sem fio, tornaram-se uma opção

promissora para utilização dos protocolos na indústria, por conta disso surgiram investimentos que resultaram em novas tecnologias, com taxas de transferências cada vez maiores (BULHMAN, 2006).

## 8.1- Taxas de Transferência do Bluetooth

O Bluetooth está disponível em três versões, cujo a evolução mais significativa foi o incremento nas taxas de transmissões e correção de das intemperabilidade e de conexão que foram resolvidos em conjunto com o aperfeiçoamento das scarnets da versão 1.0. O consumo excessivo de energia , incremento das informações inquiry que permitiam uma seleção melhor na escolha dos dispositivos, o que melhorou a conexão e diminuiu o tempo de busca entre os dispositivos, além de atingir a velocidade de transmissão de 3Mbps na versão 2.0.

A versão 3.0 recentemente lançada traz um capacidade de transmissão de 24Mbps e a compatibilidade com as versões anteriores. (ALECRIM, 2008)

## 8.2- Taxa de Transferência do ZigBee

O protocolo ZigBee tem taxas de 20 a 250 kbps , que é a menor taxas de transmissão entre os padrões IEEE. Mesmo com a sua última atualização conhecida como *ZigBee 2006 Specification*, as taxas foram mantidas e apenas atualizações de segurança e conectividade com dispositivos foram melhoradas (GISLASON, 2007).

## 9-INFRAESTRUTURA DOS PROTOCOLOS

A infraestrutura está ligada a vários aspectos, não está restrita apenas Hardwares e a softwares, mas também a capacidade de proporcionar uma manutenção simples, para isso tal infraestrutura tem que ter uma arquitetura enxuta. O desejável é que essa infraestrutura seja simples ou que possua características de auto organização com as redes ad hoc.

Segundo Sakuragui (2006), as Redes ad hoc são redes desprovidas de infraestrutura ou organização central , composta por dispositivos moveis sem fio que, dada a sua mobilidade e liberdade , podem entrar ou sair da rede em modo “aleatório”.

Está simplicidade só deve preocupar com a disposição física dos dispositivos, dentre as quais: as distâncias entre os nós e as topologias adotadas. É desejável que os elementos de rede possuam a capacidade de autoconfiguração, ou seja, sem auxilio, defina tantos os endereços lógicos ( a não ser por uma necessidade eminente de segurança), assim como o roteamento dos envios das informações.

Essa características são essências em redes indústrias já que possibilitam uma complementação das redes

convencionais de uma forma menos traumática e mais acessível, já que a configuração e a montagem da redes são bem simples.

A possibilidade de autoconfiguração possibilita a adaptação e a constante mudança no leiaute da rede em um chão de fabrica.

## 9.1- Topologia Bluetooth

A comunicação entre os dispositivos é simétrica ou seja, eles podem alterna a posição cliente ou servidor quando necessário. A cada endereço de 48 bits são ativos dois ou mais dispositivos formando um ad hoc chamada piconet's.

A piconet é um unidade básica de um rede Bluetooth, trata-se de um conjunto de dispositivo ligados de forma "ad-hoc", onde a Frequency Hopling é quem define qual o dispositivo ira se comunicar em cada slot de tempo. Toda a comunicação de uma piconet é realizada entre um mestre e um escravo e nunca entre os escravos. Cada mestre pode controlar 7 dispositivos escravos ativos. (COIMBRA, 2003).

A comunicação só é realizadas entre os servidores e só por eles. Dentro de um piconet's existe um sincronização do clock interno ( frequentemente hop ou FHSS) do cliente com o servidor, cabendo a cada piconet's usar um FHSS diferente. Ainda existe a possibilidade de ligar várias piconets criando uma scatternet, embora a piconet's seja limitada a um único servidor, os cliente podem participar de um outra piconet's usando o time division multiplexing. (FERNANDES, 2006).

São três os elementos utilizados para o estabelecimento das conexões : O Scan que verificar os dispositivos disponíveis para conexão, Inquiry que envia a mensagem para os dispositivo de mesma área de alcance dos dispositivo solicitante e as informações que devem ser sincronizadas e a Page que transmite os pedidos de conexão entre as diferentes portadoras a cada 1,25ms. (FREITAS, 2001).

Os dispositivos que compõe a rede Bluetooth devem possui as seguintes características com no mínimo seis componentes :

- Host Controller : Responsável pelo processamento em alto nível , tanto em aplicações quanto nas camadas inferiores da pilha de protocolos Bluetooth de controle lógico , RFCmn, L2CAP e outras funcionalidades.
- Link Control Processor : Trata-se de um microprocessador das camadas mais baixas como link manager e link controller, que em alguma aplicações embarcadas pode ser comunicar com a Host Controller por meio de

- um único chip.
- Baseband Controller: Bloco lógico responsável pelo controle do transceiver de rádio frequência(RF).
- Transceiver RF : recupera o clock ,detecta dados ,contem o sintetizador de rádio frequência e filtros Gaussianos.
- RF Front-end : possui filtro de banda passante da antena ,amplificador de ruídos e de energia, também é responsável pela trocas de estado emissor versus receptor.
- Antena : pode ser interna ou externa,sendo integrada em componente de terceiros. (QUEIROZ,2009).

## 9.2- Pilha Protocolar do Bluetooth

A arquitetura básica dos protocolos que correspondem ao padrão Bluetooth é dividida em camada física ou de rádio que é a responsável pela movimentação dos bits entre mestres e escravos,como também a emissão dos sinais e alocação de canais. A camada de baseband que transforma um grupo de bits em frames e definir alguns formatos importantes ,assim como a divisão do slot para comunicação entre os dispositivos mestre e escravo.

A camada (L2CAP) que gerencia a potência ,qualidade e autenticidade do serviço. estabelecendo os canais lógicos entre dispositivos,encapsulando os detalhes da transmissão enviados para camadas superiores,através de um protocolo de adaptação e controle de enlace lógico (L2CAP-*Logical Link Control Adaptation Protocol*) que nomeia a camada estabelecendo as suas três principais funções: Recebimento de pacotes,gerenciamento da multiplexação e demultiplexação dos pacotes e gerenciamento de parâmetros de qualidade.

A cama de transporte que permite que os dispositivos Bluetooth ,localizem uns aos outros e gerencie o endereços físicos e lógicos para camadas superiores. Desse modo, a camada de transporte não equivale a camada de transporte do modelo OSI (utilizado na especificação de protocolo de rede). Ao invés disso,essa camada corresponde ás camadas físicas e de enlace do modelo OSI.

As camadas de rádio frequência (RF),Baseband,Link manager,L2CAP estão todas inclusas nas camadas de transporte. Essas camadas suportam tanto a comunicação síncrona quanto assíncrona e todos estes são indispensáveis para a comunicação entre os dispositivos Bluetooth.(SIQUEIRA,2006).

Na camada de Middleware se encontra os protocolos relacionados com os outros padrões como WAP (*Wireless Application Protocol*),TCP(*Transmission Control*

*Protocol*), IP(*Internet Protocol*). Os demais protocolos afins ou não como por exemplo o protocolo de descoberta de serviço, possibilitando que os dispositivos obtenha informações sobre as ações de outros dispositivos. (SIQUEIRA,2006).

## 9.3- Infraestrutura do ZigBee

As redes ZigBee podem assumir diversas configurações,podendo esses dispositivos de rede assumirem três posições diferentes que são : O coordenador ou ZigBee Coordinator(ZC),roteador ou ZigBee Router(ZR) e o dispositivo final ou ZigBee End Device(ZED).

Zigbee Coordination(ZC) ou coordenador,são dispositivos mais importantes da rede,sendo este responsável pela interconexão entre a rede e o nó raiz de uma rede Zigbee. Este dispositivos fazem até 255 conexões,apresentando maior complexidade e normalmente apresenta interface de configuração do usuário com a rede. Em cada rede só existe um dispositivo exceto em topologias malha, são FFD (Full Function Device), ou seja , recebem e enviam informações além de roteá-las.

Já como o ZigBee Router(ZR) ou roteador,Atua como um roteador intermediário comum,repassando dados de um ponto a outro quando necessário,seu uso variam de médio a grande e elevadas quantidades de nó,devendo prevalecer a quantidade de nó,principalmente a localizadas no centro,esse dispositivos também são FFD.

Como Zigbee End Device(ZED) ou dispositivo final,são dispositivos mais simples e de menor custos para aquisição dessa infraestrutura,possuem capacidade de transmitir e receber informações e por ter baixo custo de aquisição são recomendados para pequenas redes em topologia estrela e pares em topologia árvore. Esse dispositivos podem permanecer em estado de espera economizando energia e são os únicos do tipo RFD (Reduced Function Device).(SALEIRO,2008).

As redes ZigBee admitem três topologias diferentes que podem ser implementadas dependendo da: sua situação ou necessidade,aplicação,distancia entre nós,complexidade, disposição,custos e interferências.

Uma rede ZigBee pode ser configurada de acordo com as seguintes topologias: estrela, agrupamento em árvore e malha.Na topologia Estrela ou Star,os dispositivos atuam como coordenador das ações da PAN, tal configuração é indicada para pequenas redes com poucos nós. Nessa topologia o ZC se comunica com todos os dispositivos da rede exercendo a função de FFD,mesmo utilizando um ZD.

As redes em Malha ou Mesh,nessa configuração existe conectividade de FFDs que atuam na coordenação da PAN com outros FFDs permitindo a expansão da rede. Esse modo traz mais confiança na entrega das

informações, pois existem mais dispositivos FFDs criando mais redundância no caminho da informação até o destino final através de um roteamento entre nós e é indicado para redes onde não é possível localizar ZC com facilidade.

A topologia Árvore (Cluster Tree) é um mix das duas anteriores, tendo como principal vantagem a expansão da topologia malha e controle setorizado da topologia estrela que possui um dispositivo final ZR que se comunica com um ZC. Principal vantagem é a expansão da cobertura geográfica (SALEIRO,2008).

## 9.4- Pilha protocolar do Padrão ZigBee

Como toda rede padronizada pelo IEEE, o ZigBee possui uma pilha protocolar de comunicação, sendo que está possui quatro camadas básicas: Físicas, Rede, Transporte e Aplicação. Cada uma delas se comunica com a camada adjacente seguindo o modelo RM OSI (*Reference Model For Open System Interconnection*) que é base de todas as redes de comunicação. (GISLASON,2007).

### 9.4.1- Camadas Física

A camada física (PHY) foi projetada para acomodar as necessidades da interface possibilitando elevados níveis de integração. O uso da técnica de transmissão direta (DSS) permite que o protocolo ZigBee utilize equipamentos simples em sua infraestrutura, possibilitando implementações mais baratas (PINHEIRO,2004).

Essa camada é responsável pela recepção do sinal de um canal físico de rádio frequência (RF), fornecendo parâmetro LQI (Link Quality indicator) que caracteriza o qualidade do sinal recebido. A camada PHY possui a função de ativar, desativar o transceptor através da detecção de energia (RED- Receiver Energy Device), modula e desmodula as informações. Essa camada é definida como norma IEEE 802.15.4 (GISLASON,2007).

### 9.4.2 Camada Mac

A camada Mac ou de transporte foi desenvolvida para abrigar topologias múltiplas, como no caso do controle de energia, controle de acesso aos canais de rádio utilizando o CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance) que evita as colisões, colocando em modo de espera a camada que está predisposta a colisões, interrompendo de imediato a transmissão até que seja possível transmitir.

A camada Mac ainda utiliza o padrão AES (Advanced Encryption Standard) que tem a incumbência de criar diversas rotinas de segurança. A camada Mac efetua esse processamento de segurança, controlando as camadas superiores que controlam todo o processo, ajustando chaves de criptografia e determinando os níveis de segurança que deverão ser utilizados (GISLASON,2007).

### 9.4.3- Camada de Rede

É a camada responsável pelo nível de rede ou comunicação, fazendo uso de algoritmos que permitem que a pilha protocolar balanceie os custos oriundos da camada de aplicação específica e consumo energético, otimizando assim o desempenho (SALEIRO,2008).

Esta otimização é dada pelo uso das melhores rotas, e em suas funções ainda estão incluídas: Conexão e desconexão de dispositivos de rede, aplicação de segurança e roteamento. Nessa camada os dispositivos ZC tem a função de iniciar a rede e associar endereços de novos dispositivos (LEITE,2008).

### 9.4.4 Camada de Aplicação

Esta camada responde pela gestão e suporte das aplicações e está dividida em três componentes: Suporte à aplicação, Zigbee Device Object e um função de dispositivo de rede.

Os serviços são os descoberta de dispositivos que estejam no alcance daquele mais próximo e outro que realiza a união de dois ou mais dispositivos dependendo da necessidade e serviços chamados de Binding.

O ZigBee Device Object tem o papel de coordenar as ações de roteamento ou de “end device”, além de definir a metodologia de segurança e nas solicitações do Binding. (GISLASON,2007).

## 10- APLICAÇÕES NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Os dois protocolos apresentam uma gama diversificada de aplicações tanto em âmbito doméstico como para ambiente industriais, tais aplicações são focadas no uso racional da energia como também na complementação das redes convencionais ou cabeadas.

A crescente necessidade de um dinamismo maior na aquisição dos dados em tempo real do chão de fábrica, para um perfeito controle das variáveis do processo, volume de produção e a rastreabilidade do mesmo estão cada vez mais ligadas a protocolo de rede sem fio, por conta da flexibilidade e mobilidade na aquisição das informações.

A sua utilização possibilita que a mudança de layout do chão de fábrica, não sofra interferência da rede ou vice versa, tornando mais flexível a rede, possibilitando acionamento a distância em ambiente inóspitos ou não.

Poder dizer que a escolha correta da rede sem fio, faça parte de uma estratégia de competitividade industrial, por a mesma possibilita a integração entre diversos setores de uma indústria, fazendo o papel de redes complementar as redes cabeadas ou não. (SOUZA; OLIVEIRA, 2003).

## 11-ANALISE COMPARATIVA

**Tabela 01:** Comparação das características desejadas entre Bluetooth e ZigBee.

| Característica            | ZigBee   | Bluetooth                    |
|---------------------------|--|------------------------------|
| Consumo de Energia        | $2,22 \times 10^{-6}$ à $1 \times 10^{-3}$ mAH | $6 \times 10^{-1}$ mAH       |
| Taxas de Transferências   | 20-250kbps                                     | 1024kbps-                    |
| Alcance das Redes         | 10-100m  | 10-100m                      |
| Tempo de Detecção         | 15 à 30ms                                      | 2,5ms a 10240ms              |
| Segurança                 | AODV-AES                                       | FHSS                         |
| Sensibilidade ao Ruído    | Baixa  | Alta                         |
| Índice de uso             | Pouco conhecido                                | Muito Conhecido              |
| Dispositivo por Rede      | 65000 dispositivos                             | 8 dispositivos por piconets  |
| Topologia de Rede         | Estrela, malha e árvore                        | Ad Hoc, piconets e Scarnetts |
| Frequência dos protocolos | 2,4Ghz   | 2,4Ghz                       |

A comparação entre os dois protocolos propicia o entendimento acerca de suas limitações, tanto o Bluetooth quanto o ZigBee, são classificados como Wpan's ou redes pessoais sem fio, cujos os respectivos alcance são de no máximo de 100 metros.

O alcance de rede determina o potencial de transmissão que além de ser um fator limitante, traz a necessidade de utilizar algoritmos ou lógica de roteamento para que se faça a transmissão da informação no menor trajeto possível.

A diferença se dá na quantidade de dispositivos dentro desse raio de alcance, que no ZigBee são 65000 e no Bluetooth são 8 (1 mestre e 7 escravos), formando um piconets (MESSIAS, 2008)

O ZigBee pode ter até 65000 dispositivos dentro do seu raio de ação, utilizando uma rede formal que é um layout de rede com uma geometria pré-estabelecida, com caso do protocolo: Arvore, malha e estrela. Esse escopo possibilita um acesso fácil aos partícipes e a localização facilitada dos 65000 dispositivos dispostos no raio de abrangência do protocolo.

O Bluetooth possui 8 dispositivos por rede, sendo 1 mestre e 7 escravos, utilizando uma topologia informal chamada Adhoc que não possui geometria alguma e não possui um nó ou terminal especial, onde todos alternam entre si, ora funciona como mestre e outrora. Esse tipo de relação entre os dispositivos possibilita a criação simples e rápida de uma conexão entre os membros da rede.

O tempo de detecção, funciona como uma resposta ao sinal ou informação iniciada, quanto mais rápido for o sinal enviado, mais rápido teremos a resposta ao

comando. O protocolo Bluetooth leva de 2,5ms à 10240ms máximos na pior das condições ou em ambientes com excessiva interferência eletromagnética e obstáculos naturais, já o ZigBee leva em torno de 15ms para dispositivo em modo de esperar se tornarem ativos e 30ms para que o ponto central encontre todos os outros dispositivos independentes das interferências.

A frequência utilizada pelos dois protocolos é a 2,4Ghz, que é uma frequência ISM, cujo o espectro eletromagnético não é lícitado, ou seja, não é uma faixa que precisa ser adquirida em nenhum processo licitatório junto ao órgão governamental, o que diminui consideravelmente seu custo de implantação.

O consumo de energia é um fato de grande valia, já que existem locais que não possuem alimentação por rede elétrica, sendo assim alimentação é um ponto chave na hora da escola. A utilização de baterias e a não necessidade de substituí-las em um curto período deve ser levado em consideração (ROCHA, 2007).

Os dispositivos que utilizam o protocolo ZigBee consome  $2,22 \times 10^{-6}$  mAH no modo de espera ou stand by, no modo ativo ele consome  $1 \times 10^{-3}$  mAH. Os dispositivos com Bluetooth consomem  $6 \times 10^{-1}$  mAH, no modo ativo, por alternar constantemente o modo mestre e escravo, não existe o modo de espera. O consumo dos protocolos possibilita a utilização de baterias na alimentação dos dois, já que uma pilha AA segundo o manual da Sony consome  $2,5 \times 10^{-1}$  mAH.

A taxa de transferências de dados é a quantidade de dados transmitidas por um determinado tempo. O bitrate como também é conhecido essa taxa, tem sua eficiência relacionada diretamente com o consumo de energia,

quanto maior for a taxa de transmissão menor será o tempo de envio da informação. O protocolo de rede Zigbee tem taxas de transmissão de 20 à 250 Kbps, sendo que 20Kbps é a velocidade utilizada para varredura de rede, que é uma verificação dos dispositivos se encontram em modo de espera. As taxas de 250Kbps é a velocidade de transmissão no modo ativo.

O protocolo de rede Bluetooth tem três versões ou atualizações, que se diferenciam uma das outras por um incremento na velocidade de transmissão. A versão 1.0 tem bitrate de 1024kbps e a versão mais recente a 4.0 tem velocidade de 24576Kbps.

Existem interferências de incidência natural, como paredes e até desníveis de terreno, como ocasionais de equipamentos ligados no entorno da rede, são um dos grandes transtornos que os protocolos de rede, precisam superar para serem capazes de funcionar utilizando o ar como meio físico, essas condições variam período a período, com uma taxa de erro de bit chamada Ber (TANEMBAUM,2007).

A Ber é diretamente proporcional ao nível de ruído, quanto menor o ruído, menores serão as taxas de erro no bit. Em transmissões digitais os eventuais transtornos ocorridos são : aumento no consumo energético e até a interrupção de transmissão. O protocolo ZigBee é considerado um protocolo mais robusto ou menos sensível aos ruídos do que o Bluetooth, e as signal noise ratio ou taxa de ruído dos dois protocolos são: -1 para o ZigBee e 15 para o Bluetooth dentro da mesma taxa Ber de 1E-3.

Por está presente em diversos dispositivos móveis o protocolo Bluetooth é mais conhecido do que o protocolo ZigBee, com a utilização de sistemas de monitoria móvel está em franca acessão através de Tablet e Smartphones, o protocolo Bluetooth presente nesse dispositivos possibilita a utilização para monitoria e aquisição de dados diretos da rede.

## 12- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo a pesquisa sido desenvolvida com base em levantamentos bibliográficos em livros, artigos científicos e relatórios técnicos de pesquisas experimentais, foram descritos os aspectos necessários a aplicabilidade dos protocolos Bluetooth e Zigbee na automação industrial. Sendo a investigação baseada na análise dos aspectos físicos e tecnológicos dos protocolos; dão a sustentação para a seguinte afirmativa.

Na comparação entre os dois protocolos, o ZigBee mostrou-se mais aplicável a automação industrial do que seu concorrente o Bluetooth. Apesar das taxas de transferência do ZigBee serem menores do que as do Bluetooth ficou evidenciado que o consumo energético do mesmo é menor, possui uma tolerância maior a interferências eletromagnéticas e número de dispositivos

por rede chega aos 65000 contra os sete de uma piconet's.

Tal fato resulta numa rede com uma infraestrutura simples, em virtude da necessidade de um único servidor para todos os outros 64999 pontos, diferente do seu concorrente que precisaria criar 929 piconet's para ter a mesma quantidade de endereçamentos.

Em ambientes industriais essas características são fundamentais, já que as condições não são as mais favoráveis. Há insuficiência de pontos de alimentação e o número excessivo de equipamentos eletroeletrônicos, que geram campos magnéticos, ocasionando interferências na transmissão de dados. A facilidade da instalação e na visualização da rede, são fatores colaboram na diminuição de custos e com o treinamento do pessoal de manutenção.

Conclui-se, portanto, que mesmo o Bluetooth tendo taxas de transmissão de dados superiores ao ZigBee, a sua aplicabilidade em ambientes industriais é limitada. Por este ser mais intolerante a interferências eletromagnéticas e de incidências naturais e o seu consumo energético ser maior do que o ZigBee, restringindo o uso da rede elétrica como fonte de alimentação.

## REFERÊNCIAS

- ALECRIM, Emerson. (2008) Tecnologia Bluetooth. Disponível em <http://www.infowester.com/bluetooth.php> acessado em : 20 Jun 2009.
- BLUETOOTH SIG, (2010). Welcome to Bluetooth Technology 101, Disponível em: <http://www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx>. Acessado em: 12 Out 2011.
- CARNEIRO, F.S.P; CARDOSO, M.W.A. (2006). Bluetooth – Qualidade de Serviço (QoS) e Segurança. Disponível em: [www.cic.unb.br/~bordim/TD/FilesTD102006/MonografiaG11.pdf](http://www.cic.unb.br/~bordim/TD/FilesTD102006/MonografiaG11.pdf). Acessado em 12 Set 2009.
- CNX ANIXTER. (2009) O futuro das LAN sem fio (I). Disponível em: [http://www.anixtersoluciones.com/latam/br/informao\\_geral/14112/o\\_futuro\\_das\\_redes\\_lan\\_sem\\_fio\\_i\\_po.htm](http://www.anixtersoluciones.com/latam/br/informao_geral/14112/o_futuro_das_redes_lan_sem_fio_i_po.htm). Acessado em 13 Nov. 2010.
- CUNHA, P.S. (2004). 802.15.4 e ZigBee. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/~rezende/cursos/eel879/trabalhos/zigbee/ConfiabilidadeeRobustez.html#Topic14>. Acesso em 15 Nov. 2009.
- FERNANDES, I (2006). Bluetooth. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/WPAN/Bluetooth.html>. Acessado em : 24 Set. 2009.

- FREITAS, A. M.(2001). Bluetooth novidade em Comunicações de Curta Distância Sem Fio. Disponível em: <http://www.usr.inf.ufsm.br/~aldacir/Bluetooth.html> acessado em 23 Jun 2009
- GISLASON,Drew(2008). Zigbee Wireless Network and Transceivers. 1ª Ed Oxford. Elsevier . 2008.3;10;27;41p
- KIOSKEA.(2009): WMAN - Redes metropolitanas sem fios. Disponível em:<http://pt.kioskea.net/contents/wireless/wman.php3>. acessado em 18 Jun 2009
- JOHNSON,Thienne M(2006).Redes de Sensores sem Fio (RSSSF) Disponível em:[http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thienne\\_johnson/rssf-intro.htm](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thienne_johnson/rssf-intro.htm). Acessado em 14 de Mai 2010
- LEITE,L.H.M;MARTINS,E.C. (2008) . Aplicações de Redes de Sensores sem Fio Disponível em: [http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/disciplina/seminarios/RSSF\\_Industria.pdf](http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/disciplina/seminarios/RSSF_Industria.pdf) . Acessado em : 18 Jul 2009
- MESSIAS, A.R. (2008). Xbee/ZigBeeWireless. Disponível em :<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm> . Acessado em 25 Jul 2009
- NISHIRARA,F.H(2004).Bluetooth. Disponível em:[grenoble.ime.usp.br/movel/Bluetooth.pdf](http://grenoble.ime.usp.br/movel/Bluetooth.pdf) . Acessado em 01 Out 2009
- PINHEIRO,J.M.S.(2004).As Redes com ZigBee. Disponível em: [http://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo\\_zigbee.php](http://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php) . Acessado em : 25 Set 2009
- QUEIROZ,L.E.C(2008).Protocolo de Redes Bluetooth. Disponível em:<http://www.scribd.com/doc/2869775/Protocolo-de-rede-a-Bluetooth> . Acessado em 12 Out 2009.
- ROCHA,J.W.V(2007).Rede de Sensores Sem Fio. Disponível em [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/pagina\\_5.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/pagina_5.asp) . Acessado em 15 Out 2009
- SAKURAGUI, R. R. M. (2006). Sistema de Localização de Serviços para Domínios de Segurança Locais e Remotos. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-14122006-101301/>. Acesso em 1 Mar 2009
- SALEIRO,M;Ey,E(2008). Zigbee Uma abordagem pratica. Disponível em: [http://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao\\_ao\\_Zigbee\\_-\\_por\\_msaleiro.pdf](http://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf). Acessado em 6 de Mai.2009
- SILVA,J.S.A. (2004).As Tecnologias de Redes Wireless. Disponível em : <http://www.rnp.br/newsgen/9805/wireless.html> Acessado em 13 Fev 2009
- SILVA, A. T. (2007). Módulos de Comunicação Wireless para Sensores. Disponível em: <http://www.fe.up.pt/~ee02055/RelatorioTEC15.pdf>. Acesso em 6 Mar 2009
- SOARES,L.F.G ;LEMONS,G;COLCHER,S.R e d e s d e Computadores:das LANs, MANs e WANs às redes ATM. Rio de Janeiro: Campus. 1995.710p.
- TANEBAUM,A.S.Computer Networks.5º Edtion. Rio de Janeiro.Campus 2007 94p
- SOUZA, Alessandro j.; OLIVEIRA, Luiz C. Automação Industrial. DCA – redes industriais. Natal: 2003.
- TUDE,E;DE SOUSA,J.L(2007).Telefonia Celular: Frequências Disponível em:[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcelb/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcelb/pagina_2.asp). Acessado em 13 Nov 2009