

Engenharia de Controle e Automação
Disciplina: Telecomunicações na Automação – 10º Período
Professor: José Maurício S. Pinheiro

AULA 4: Redes Sem Fio em Automação Industrial

A necessidade de automação nos diversos segmentos produtivos está associada, entre diversos aspectos, às possibilidades de aumentar a velocidade de processamento das informações, uma vez que as operações estão cada vez mais complexas e variáveis, necessitando de um grande número de controles e mecanismos de regulação que permitam decisões ágeis, aumentando os níveis de produtividade e eficiência do processo produtivo dentro das premissas da excelência operacional.

A introdução da comunicação sem fio (wireless) no ambiente industrial trouxe novas oportunidades e melhorias ao processo produtivo, tais como: redução no tempo de instalação, facilidade de operação, não há necessidade de criar infraestrutura para instalação, economia para montagem em campo, possibilidade de instalação em locais de difícil acesso, manutenção, entre outros.

1. Frequências de Uso Livre

As frequências de uso livre, ou ISM (Industrial, Scientific and Medical), são frequências de comunicação que seguem a resolução ANATEL nº 365, de 10 de maio de 2004, Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita, que determina as faixas de frequências para seu uso. Esse tipo de frequência não exige licença para funcionamento e possibilita transmissão de dados em banda larga (Figura 1).

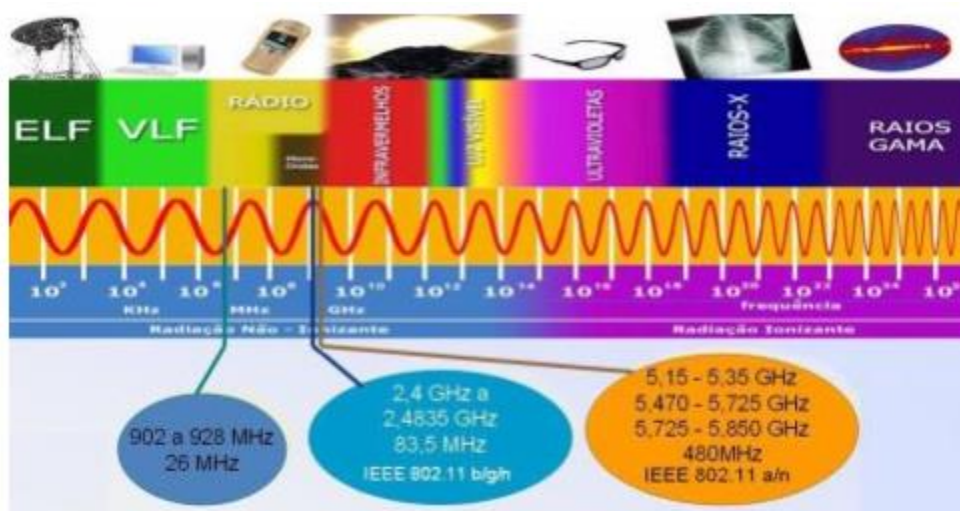


Figura 1 - Faixas ISM

Existem três bandas ISM licenciadas pela ANATEL: 900MHz, 2.4 GHz e 5.8 GHz. A banda de 900 MHz é usada para wireless faixa de frequências de 902 MHz a 928 MHz com largura de 26 MHz. A banda de 2,4 GHz é usada por dispositivos compatíveis com o padrão 802.11 e suas variações. Essa banda é definida na faixa de frequências de 2.4 até 2.5 GHz tendo largura de 100 MHz; somente a faixa de 2.400 GHz a 2.485 GHz tem sido usada por equipamentos sem fio. A Banda de 5,8 GHz ou 5 GHz usa a faixa de frequências de 5.725 até 5.875 GHz com largura de banda de 150 MHz.

2. Redes sem Fio Wi-Fi

Uma rede sem fio Wi-Fi é uma tecnologia que permite a comunicação entre equipamentos sem a necessidade de utilizar cabos. Os equipamentos enviam e recebem sinais através do ar, utilizando uma faixa de frequência não licenciada e, portanto, não necessitam de permissão para seu uso.

A rede sem fio permite uma maior mobilidade e redução de custo em relação às redes tradicionais, porque sua instalação é mais simples e rápida. A rede sem fio Wi-Fi está baseada no padrão IEEE 802.11 e apresenta as seguintes características:

2.1. Taxa de Transferência

A taxa de transferência (velocidade de transmissão) expressa a velocidade em milhões de bits por segundo (Mbps) com que um dispositivo de comunicação transmite os dados em uma rede. Em uma rede sem fio, a taxa de transmissão varia de acordo com a qualidade da comunicação entre os dispositivos.

A presença de obstáculos, interferências de outros equipamentos e distâncias maiores reduz a qualidade da comunicação. A ausência desses elementos possibilita maior velocidade na transmissão dos dados. A Tabela 1 apresenta a máxima taxa de transferência para os padrões 802.11a, b, g e n.

Tabela 1 – Exemplos de taxas de transferência em 802.11

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Maximum Throughput	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	300 Mbps
Frequency	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz
Modulation	OFDM	DSSS	DSSS/OFDM	OFDM

2.2. Alcance

Alcance ou área de cobertura do sinal de uma rede sem fio é a distância máxima com que um equipamento é capaz de trocar informações com uma rede sem fio. O alcance de uma rede sem fio pode chegar até 300m em ambientes abertos e sem obstáculos nos padrões mais recentes. Já em ambientes fechados, com paredes,

portas e até mesmo pessoas entre os equipamentos, em geral, o alcance fica em torno de 50m.

2.3. Frequências de Operação

Frequência é a taxa com que a onda eletromagnética se alterna, usualmente medida em Hertz. As redes sem fio Wi-Fi utilizam frequências que não necessitam de autorização para o seu uso (frequências entre 2,4 GHz e 5 GHz). Por não necessitarem de licenciamento, estas frequências também são utilizadas por outros equipamentos, como fornos de micro-ondas, telefones sem fio e dispositivos Bluetooth, por exemplo.

Os dispositivos domésticos que operam em 2,4 GHz são mais difundidos do que aqueles que operam em 5 GHz. Por conta de sua popularidade, estes dispositivos sofrem maior interferência, prejudicando a qualidade da comunicação e a eficiência da rede. Por sua vez, os dispositivos operando em 5 GHz, por sua menor popularidade, estão menos sujeitos a interferência.

A interferência dificulta a comunicação entre os dispositivos de uma rede sem fio, pois, quando um sinal desejado e outro indesejado (interferente) são recebidos simultaneamente por um dispositivo, este pode ser incapaz de distinguir (isolar) o sinal original, provocando a perda da mensagem.

2.4. Canais de Operação

Um equipamento de rede sem fio é configurado para operar em um determinado canal, o que significa que os dispositivos que operam nesta rede devem “sintonizar” este canal. No Brasil, a faixa de frequência de 2,4 GHz está dividida em 11 canais, numerados de 1 a 11. Cada canal tem uma largura de 22 MHz, separados um do outro por apenas 5 MHz. A implicação prática é que os canais vizinhos interferem uns nos outros. Os canais 1, 6 e 11, por estarem suficientemente separados, não interferem entre si, e por isso são chamados de canais ortogonais. A Tabela 2 apresenta os canais com suas respectivas frequências de operação.

Tabela 2 - Canais e frequências Wi-Fi

Canal	Frequência (MHz)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462

A escolha apropriada do canal de operação do ponto de acesso, ou seja, a procura de um com menos tráfego (ou ruído), é uma prática recomendada para a redução da interferência.

3. Padrão IEEE 802.11

À medida que a tecnologia de redes sem fio Wi-Fi evolui, o padrão IEEE 802.11 se expande de forma a melhorar aspectos da rede, como a taxa de transmissão e a segurança. Estas melhorias foram incorporadas sob a forma de “emendas”, designadas por letras acrescentadas ao nome do padrão. A seguir, algumas dessas emendas são explicadas sucintamente.

3.1.802.11b

O padrão 802.11b foi o primeiro padrão IEEE 802.11 a se popularizar. Ele opera na faixa entre 2,4 e 2,4835 GHz e tem a possibilidade de estabelecer conexões nas seguintes velocidades de transmissão: 1 Mbps, 2 Mbps, 5,5 Mbps e 11 Mbps. A Tabela 3 apresenta um comparativo entre as taxas de transmissão e o alcance.

Tabela 3 - Comparativo entre taxa de transmissão e alcance em 802.11b

VELOCIDADE	Alcance (interior)	Alcance (fora)
11 Mbps/s	50 m	200 m
5,5 Mbps/s	75 m	300 m
2 Mbps/s	100 m	400 m
1 Mbps/s	150 m	500 m

3.2.802.11a

O padrão 802.11a foi lançado no mesmo ano que o 802.11b (1999) e, apesar de oferecer taxas mais altas, não alcançou a mesma popularidade. As taxas adicionais oferecidas pela emenda “a” são: 6 Mbps, 12 Mbps, 24 Mbps, 36 Mbps, 48 Mbps e 54 Mbps. As frequências utilizadas por este padrão estão entre 5,725 e 5,875 GHz. Nesta faixa de frequência mais alta, o sinal é mais suscetível a perdas de propagação, diminuindo seu alcance em comparação com a faixa utilizada pelo IEEE 802.11b. Em contrapartida, o uso desta frequência pode ser conveniente por estar menos sujeita a interferência de outros dispositivos. A Tabela 4 apresenta um comparativo entre as taxas de transmissão e o alcance.

Tabela 4 – Comparativo entre taxa de transmissão e alcance em 802.11a

VELOCIDADE	ALCANCE
54 Mbps/s	10 m
48 Mbps/s	17 m
36 Mbps/s	25 m
24 Mbps/s	30 m
12 Mbps/s	50 m
6 Mbps/s	70 m

3.3.802.11g

O padrão 802.11g pode ser considerado o sucessor do padrão 802.11b, pois opera na mesma faixa de frequência. Dispositivos que implementam o 802.11g costumam também ser “retro-compatíveis”, isto é, implementam também o 802.11b, sendo muitas vezes especificados como dispositivos 802.11b/g. Sua principal vantagem é a possibilidade de operar com taxas de transmissão de até 54 Mbps, como o IEEE 802.11a, e ao mesmo tempo ter o alcance do IEEE 802.11b. A Tabela 5 apresenta um comparativo entre as taxas de transmissão e o alcance.

Tabela 5 - Comparativo entre taxa de transmissão e alcance em 802.11g

VELOCIDADE	Alcance (Interior)	Alcance (Fora)
54 Mbps/s	27 m	75 m
48 Mbps/s	29 m	100 m
36 Mbps/s	30 m	120 m
24 Mbps/s	42 m	140 m
18 Mbps/s	55 m	180 m
12 Mbps/s	64 m	250 m
9 Mbps/s	75 m	350 m
6 Mbps/s	90 m	400 m

3.4.802.11n

O padrão 802.11n pode operar nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz, o que o torna compatível com os padrões anteriores. Sua principal característica é o aumento considerável das taxas de transferência de dados de até 300 Mbps através da combinação de várias vias de transmissão (múltiplas antenas). Uma das configurações mais comuns é o uso de ponto de acesso com três antenas e estações com a mesma quantidade de receptores.

3.5.802.11ac

Uma das características do padrão 802.11ac é a transmissão de dados em 5 GHz. Outra mudança está no alcance do sinal que permite transmissões entre dispositivos que estejam a cerca de 200 metros de distância.

Além da melhoria da cobertura e da velocidade, no padrão 802.11ac, o sinal não se propaga de forma uniforme em todas as direções como nos padrões anteriores. Neste, os equipamentos (os roteadores) reforçam o sinal para as áreas aonde tem dispositivos conectados na rede. Essa técnica é conhecida como “*beamforming*” ou filtragem espacial, um processamento de sinal para a transmissão ou recepção de sinais direcionais, podendo ser usado em ambos os lados de transmissão e recepção a fim de alcançar a seletividade espacial, criando feixes estreitos sem fio para a comunicação. Com esse recurso problemas com os pontos cegos, ou seja, locais com ausência de sinal ou com nível de sinal insuficiente, são parcialmente resolvidos (Figura 2).



Figura 2 - Beamforming

A Figura 3 mostra um comparativo de alcances e taxas de transmissão entre os padrões 802.11n e 802.11ac.

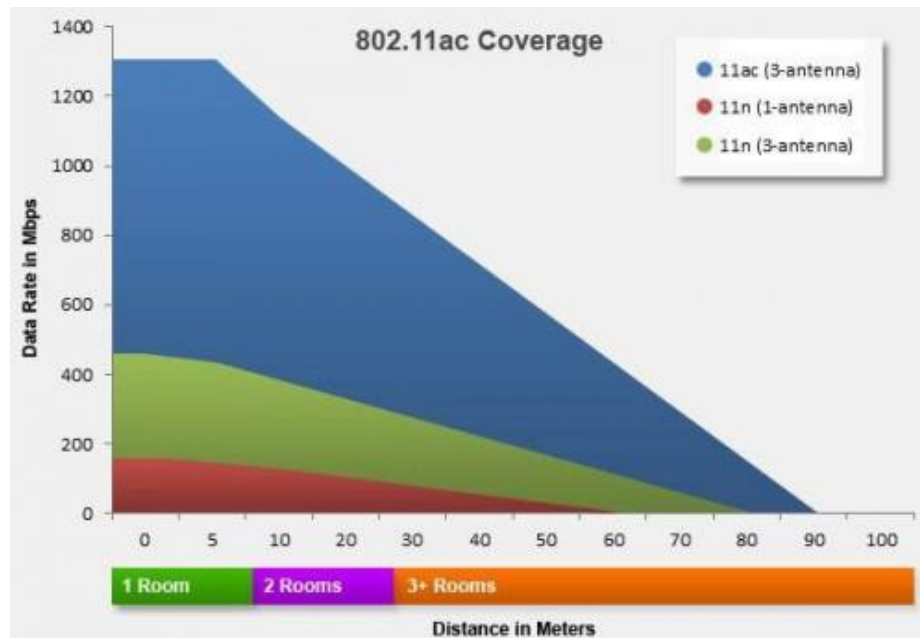


Figura 3 - Comparativo entre 802.11n e 802.11ac

4. Tecnologias sem Fio para Redes Industriais

As tecnologias de comunicação sem fio, voltadas para o segmento industrial, oferecem confiabilidade das informações vindas do processo, capacidade de tráfego de informações trafegadas, robustez, qualidade do serviço implantado e capacidade de interação com a rede cabeada já existente. Neste cenário, surgiram padrões (protocolos) específicos para a utilização da comunicação sem fio na indústria.

Atualmente existem no mercado diferentes redes proprietárias e também algumas padronizadas. Existem muitos protocolos relacionados com as camadas superiores da tecnologia (ZigBee, WirelessHART, ISA SP100) e o protocolo IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) 802.15.4 para as camadas inferiores.

4.1. ZigBee

O ZigBee é um padrão para comunicação sem fio que foi desenvolvido pela ZigBee Alliance, junto ao IEEE, com um objetivo de se obter uma nova tecnologia que oferecesse produtos de baixo custo, com baixo consumo de energia, que não necessitasse de altas taxas de transferência de dados (na faixa de 250 Kbps) para aplicações menos complexas, por exemplo, no controle de equipamentos eletroeletrônicos. O padrão ZigBee foi criado com o objetivo de apresentar alto rendimento de energia e versatilidade de aplicações. Sua criação atende os critérios do IEEE 802.15.4, assim o hardware usado pode ser produzido por diversas indústrias de tecnologia. A topologia de conexão dos dispositivos ocorre

em estrela, árvore e malha. A frequência de operação de 2,4 GHz, podendo ser utilizada a faixa de 915 MHz ou 868 MHz. Este padrão se enquadra no grupo WLAN (Wireless Local Area Networking) na qual corresponde ao padrão IEEE 802.15.4, protocolo que define as características da camada física e do controle de acesso ao meio para as LR-WPAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*).

O alcance entre os dispositivos pode variar de 10 até 100 metros, variando com as condições climáticas e potência do rádio utilizado. No protocolo ZigBee é possível estender o alcance da rede utilizando Hops (saltos), tornando possível para um dispositivo rotear uma mensagem utilizando seus vizinhos. Desta forma, mesmo em transmissões de potência reduzida é possível atingir longas distâncias.

Todos os dispositivos que utilizam o Padrão ZigBee operam na faixa de frequência ISM (Industrial, Scientific and Medical), em 2,4GHz, que não necessita de licença para funcionamento. Para fazer a transmissão dos dados, faz o uso da técnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) tendo uma taxa de transmissão de 250 Kbps. A faixa de frequência que o padrão ZigBee opera é dividida em 16 canais. O protocolo de acesso ao meio (canal) é o CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance).

As topologias encontradas para a rede ZigBee são: Estrela, Árvore e Malha. Já a estrutura da rede é dividida em dois tipos de dispositivos, o FFD (Full Function Device), que funciona como coordenador de rede, podendo funcionar em qualquer topologia e ter acesso a qualquer dispositivo da rede, e o RFD (Reduced Function Device) que são dispositivos mais simples que podem operar somente na topologia Estrela. A Figura 4 ilustra a topologia de uma rede ZigBee.

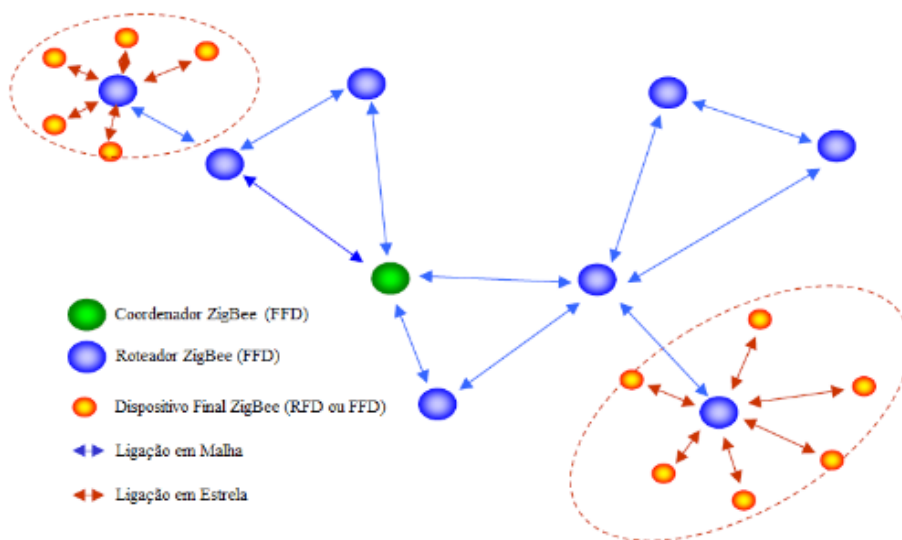


Figura 4 - Topologia ZigBee

4.2. Bluetooth

O Bluetooth é uma tecnologia sem fio de comunicação entre dispositivos como computadores, celulares, tablets, entre outros. Foi padronizada pelo IEEE originando o padrão 802.15.1, tornando-se uma solução totalmente aberta e padronizada. É uma tecnologia de baixo custo, baixo consumo de energia, além de possuir um alto nível de segurança. A limitação do sistema se deve ao fato de que a distância máxima para conseguir utilizar a tecnologia depende do tipo de tecnologia aplicada. Por se tratar de uma comunicação sem fio, os dispositivos não precisam estar em contato direto, caso a distância esteja dentro do alcance da tecnologia utilizada.

Uma rede de dispositivos Bluetooth opera na faixa de frequência ISM (na faixa de 2,4 GHz - 2,485 GHz) e o sinal de transmissão opera faixa centrada em 2,45 GHz. Por se tratar de uma faixa padronizada, é necessário garantir que o sinal não vá sofrer ou gerar interferências eletromagnéticas. Essa tecnologia utiliza comunicação FH-CDMA (Frequency Hopping - Code Division Multiple Access), dividindo a frequência em diversos canais que permitem a proteção de ruídos ao sistema. A faixa de operação é subdividida em 79 Frequências diferentes para comunicação entre mestre e escravo, espaçadas de 1MHz entre elas. A cada 1 segundo são feitos 1600 saltos de frequência de forma pseudoaleatória. Esta sequência de salto é ditada pelo mestre no início da comunicação.

Uma rede Bluetooth é chamada de Piconet na qual um Mestre (Master) tem capacidade de controlar até sete Escravos (Slaves) ativos, sendo que há possibilidade de haver até 255 escravos inativos aguardando comunicação. O mestre de uma Piconet pode pertencer à outra rede de forma simultânea, mas não exercendo o papel de mestre em ambas as redes. Esta topologia de rede é conhecida como Scarttnet.

Para diferenciar os diferentes tipos de dispositivos Bluetooth foram criadas três classes que os diferenciam quanto ao alcance, como mostrado na Tabela 6:

Tabela 6 – Comparativo entre as classes Bluetooth

Classe	Potência Máxima Permitida (mW/dBm)	Alcance Aproximadamente
Classe 1	100 mW (20 dBm)	Até 100 m
Classe 2	2,5 mW (4 dBm)	Até 10 m
Classe 3	1 mW (0 dBm)	1 m

A Figura 5 ilustra a topologia de uma rede sem fio Bluetooth.

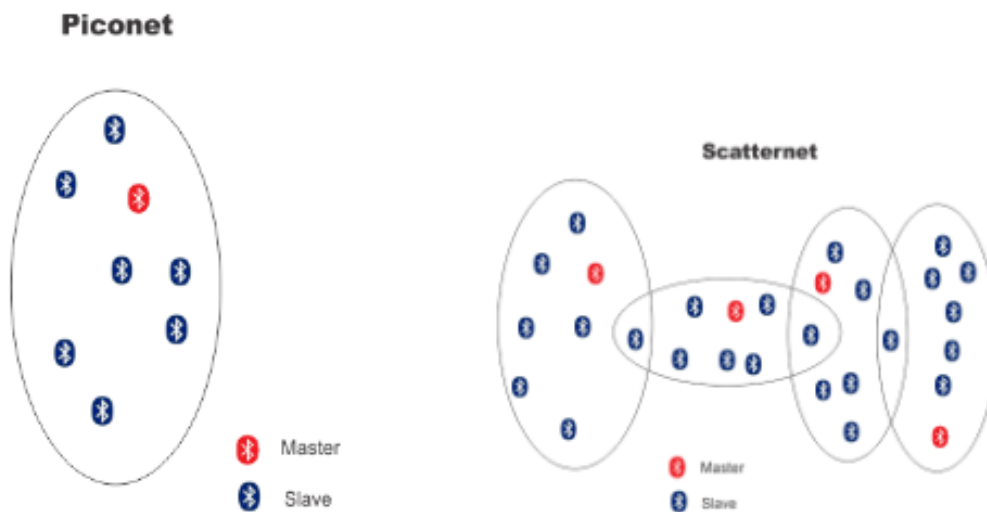


Figura 5 - Topologia Bluetooth

4.3.ISA SP100

O ISA-100 é um conjunto de padrões de comunicação sem fio desenvolvido pela Sociedade Internacional de Automação (ISA), a partir do comitê ISA-SP100, criado exclusivamente para o desenvolvimento deste novo padrão de comunicação sem fio exclusivamente para o ambiente industrial. O modelo pretende atender todas as áreas possíveis do segmento industrial. É um padrão muito interessante, pois suporta a implementação de protocolos como HART, Profibus, CIP (Common Industrial Protocol) e Foundation Fieldbus no topo da sua camada de aplicação.

Trata-se de um conjunto de padrões totalmente transparente perante aos diversos dispositivos de campo (HART, PROFIBUS, FIELDBUS e DEVICENET) atualmente existentes no mercado. A rede (o protocolo de comunicação ISA SP100) suporta os diversos padrões de protocolos de comunicação acima citados, provendo a comunicação segura e confiável entre os dispositivos de campo e a rede de controle/supervisão.

O ISA-100 visa atender uma grande faixa de aplicação dentro da indústria, tais como, controle de processos, identificação e rastreamento de pessoas e equipamentos, convergência entre diferentes padrões e aplicações de longa distância, e por estas áreas possuírem diferentes aspectos ambientais, o padrão foi dividido em seis classes de acordo com o nível de restrição temporal (latência). Estas classes ainda são subdivididas em três categorias: Segurança, Controle e Monitoramento. A Tabela 7 ilustra as categorias, classes e suas aplicações.

Tabela 7 - Categorias, classes e aplicações ISA 100

Categoria	Classe	Aplicação	Descrição
Segurança	0	Ação Emergencial	Restrição temporal sempre crítica
Controle	1	Sistema de Controle de Malha Fechada	Restrição temporal normalmente crítica
	2	Sistema de Controle de Malha Fechada	Restrição temporal não crítica
	3	Sistema de Controle de Malha Aberta	Restrição temporal quase desprezível
Monitoramento	4	Alerta	Aplicações com consequências operacionais de curto prazo
	5	Registro	Eventos menos urgentes

Para o desenvolvimento deste novo padrão, foram criados três grupos de trabalho específicos, o ISA-SP100.11, o ISA-SP100.14 e o ISA-SP100.21. Cada um destes grupos tem a responsabilidade de estabelecer um padrão que definirá como será a implementação da tecnologia wireless em diferentes tipos de aplicações industriais:

- **ISA-SP100.11:** padronização da comunicação sem fio dos dispositivos voltados para controle e medição nas classes da categoria Controle;
- **ISA-SP100.14:** padronização da comunicação sem fio dos dispositivos nas classes da categoria Monitoramento;
- **ISA-SP100.21:** padronização da comunicação sem fio dos dispositivos destinados ao rastreamento de objetos e pessoas em ambientes industriais.

A figura 6 representa a topologia básica do padrão ISA-SP100:

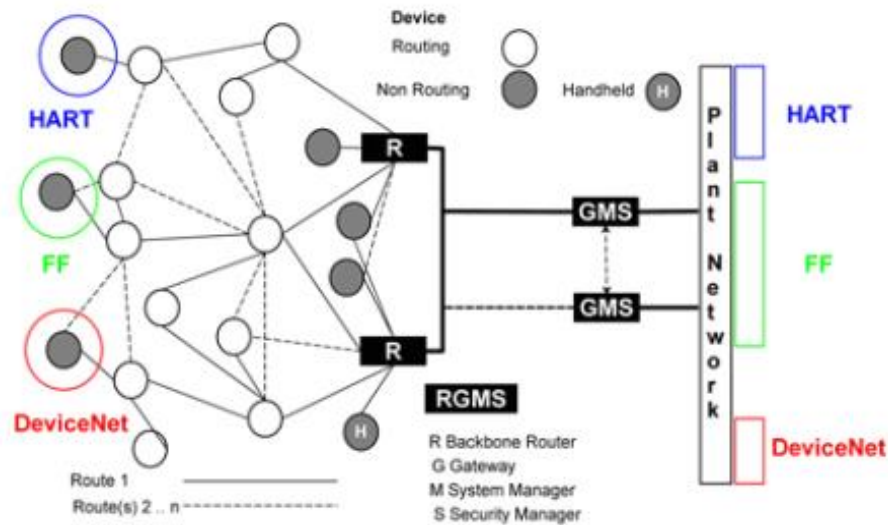


Figura 6 - Topologia ISA-SP100.11

Baseado no padrão de referência OSI (Open Systems Interconnection), o padrão ISA-SP100 é composto pelas camadas física, enlace, rede, transporte e aplicação, conforme mostrado na Figura 7.

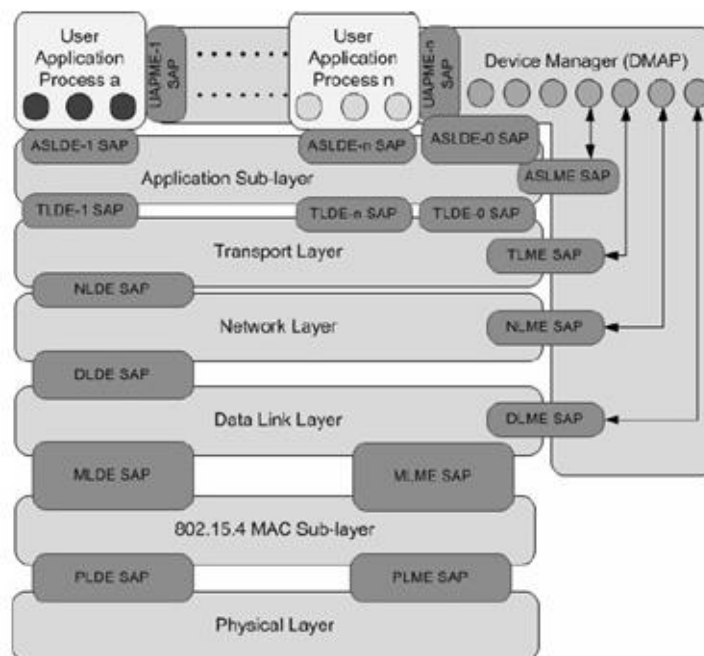


Figura 7 - ISA100 e o modelo OSI

Algumas características da ISA 100:

- Confiabilidade (detecção de erros aprimorada, salto de frequência);
- Previsibilidade (TDMA, níveis de qualidade em serviços);
- Segurança;
- Suporte a múltiplos protocolos: HART, Profibus, Modbus etc.
- Otimizado para aplicações com bateria de longa duração e também suporta roteadores alimentados por bateria;
- Aplicações em controle de processo e manufatura;
- Interoperabilidade;
- Vários fabricantes de ASIC's dedicados ao padrão;
- Topologia estrela e mista;
- Desenvolvido para atender as mais diversas classes de aplicações.

4.4. WirelessHART

O WirelessHART é uma tecnologia de transmissão sem fio para redes de automação industrial, originado do padrão de comunicação HART (Highway Addressable Remote Transducer). Criado pela HCF (HART Communication Foundation), o protocolo WirelessHART foi desenvolvido para manter total compatibilidade com padrão HART existente.

O propósito desse padrão é complementar os dispositivos cabeados já instalados em campo e não substituir a tecnologia existente, uma vez que este padrão se mantém totalmente compatível com o padrão HART. Isto faz com que novas ampliações na planta industrial se tornarem economicamente viáveis.

O padrão WirelessHART atua na faixa de frequência ISM em 2,4GHz, na qual utiliza a tecnologia FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) e o DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) para transmissão dos dados. A taxa de comunicação é de 250 Kbps. Para acessar os dados transmitidos faz o uso da tecnologia TDMA (Time Division Multiple Access). Esta tecnologia divide o canal de frequência em intervalos de tempo (slots) em 10ms, permitindo que cada instrumento de campo se comunique em um intervalo de tempo específico estando este totalmente sincronizado com os demais instrumentos da rede. Isso garante a inexistência de colisões no tráfego de informações, uma vez que todos os dispositivos se comunicarão no momento exato, estando em modo de espera até que seja feito o pedido para tal. A topologia utilizada pelo WirelessHART é a Malha e composto por três tipos de dispositivos:

- **Gerente de Rede:** é o mestre de toda a comunicação na rede WirelessHART. Ele é responsável por gerenciar (coordenar, configurar e programar as comunicações) dos dispositivos da rede, analisar o desempenho da rede e gerenciar as rotas das informações;

- **Gateway:** conecta a rede WirelessHART com a rede de automação da planta instalada. Ele fornece o acesso dos dispositivos de campo com o gerenciador da rede. Também possui a função de fazer a interpretação de protocolos de diferentes redes;
- **Instrumentos de Campo:** são os instrumentos que estão ligados ao processo. Estes instrumentos podem ser dispositivos Wireless HART puro ou dispositivos de campo HART simples que possuam um adaptador WirelessHART acoplado.

A Figura 8 mostra a arquitetura típica para uma rede WirelessHART. O protocolo é baseado no modelo de referência OSI, composto por apenas cinco das sete camadas existentes no modelo OSI: aplicação, transporte, rede, enlace e física.

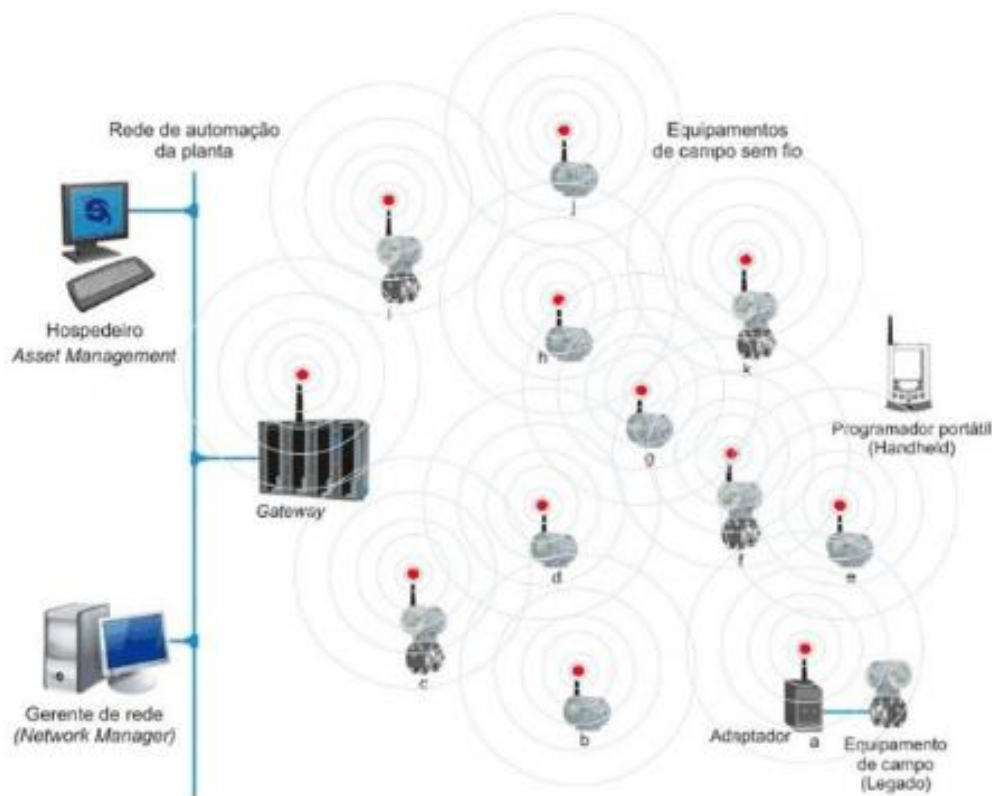


Figura 8 - Topologia WirelessHART