



PMR3412 - Redes Industriais - 2023

Aula 15 - Redes Wireless

Prof. Dr. Newton Maruyama

30 de Novembro de 2023

PMR-EPUSP

Os slides que serão utilizados nesse ano são baseados no curso desenvolvido para os anos 2020, 2021 e 2022. Participaram da concepção do curso e desenvolvimento do material os seguintes professores:

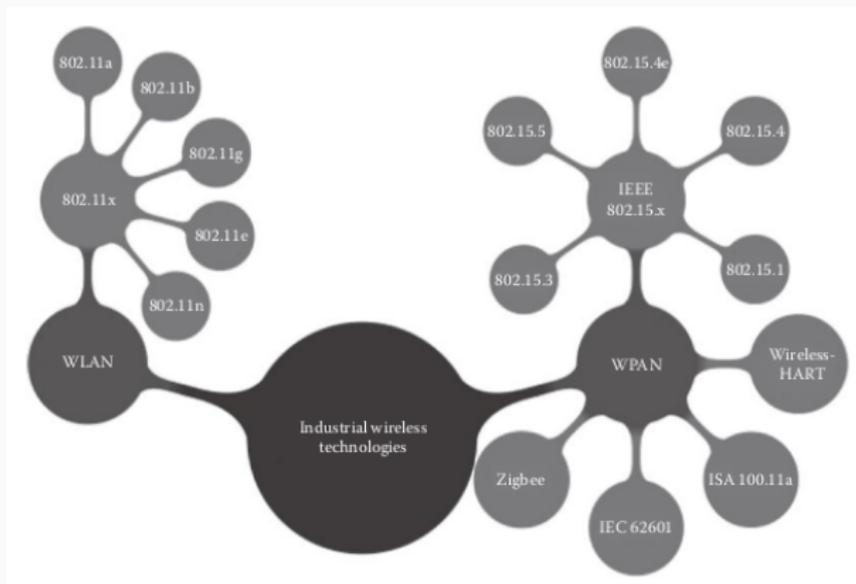
- ▶ Prof. Dr. André Kubagawa Sato
- ▶ Prof. Dr. Marcos de Sales Guerra Tsuzuki
- ▶ Prof. Dr. Edson Kenji Ueda
- ▶ Prof. Dr. Agesinaldo Matos Silva Junior
- ▶ Prof. Dr. André César Martins Cavalheiro

1. Barramentos de campo sem fio
2. Redes de sensores sem fio
3. Internet das Coisas
4. Sistemas Ciberfísicos
5. Indústria 4.0

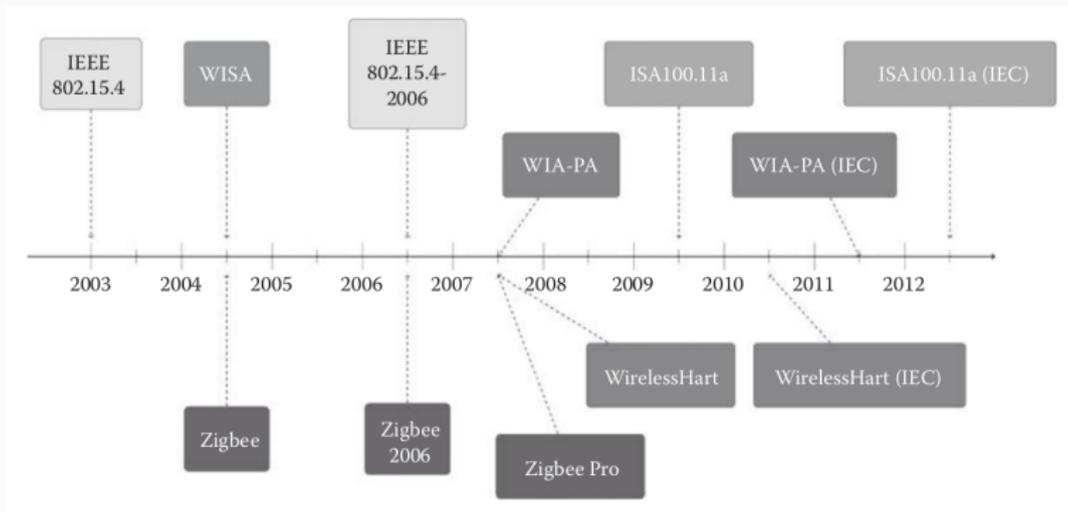
Barramentos de campo sem fio

- ▶ A utilização de barramentos de campo sem fio em ambientes industriais possui requisitos desafiadores.
- ▶ A velocidade de transmissão esperada deve ser a mesma dos barramentos de campo cabeados que oferecem velocidades de centenas de kilobits até dezenas de megabits por segundo.
- ▶ Os transceivers devem seguir padrões eletromagnéticos compatíveis restringindo sua potência e frequências de operação. Além disso deve ser imune a ruído eletromagnético.
- ▶ O suprimento de energia para dispositivos sem fio é um outro aspecto importante.
- ▶ Usualmente utilizam-se baterias ou dispositivos que podem ser carregados através de transmissão de energia sem fio.
- ▶ A capacidade limitada das baterias impõe que técnicas de transmissão de dados com baixo custo de energia deve ser previsto.

- ▶ Os barramentos de campo atualmente em uso podem ser classificados em dois grupos:
 - ▶ soluções baseadas na norma IEEE 802.11 WLAN (wireless local networks),
 - ▶ soluções baseadas na norma IEEE 802.15 WPAN (wireless personal area network) como os protocolos Zigbee, Wireless-HART, ISA 100.11a e IEC 62601.

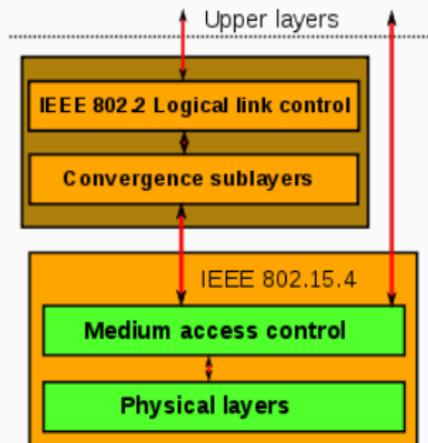


- ▶ A evolução das tecnologias de barramentos de campo sem fio é apresentada na figura abaixo:



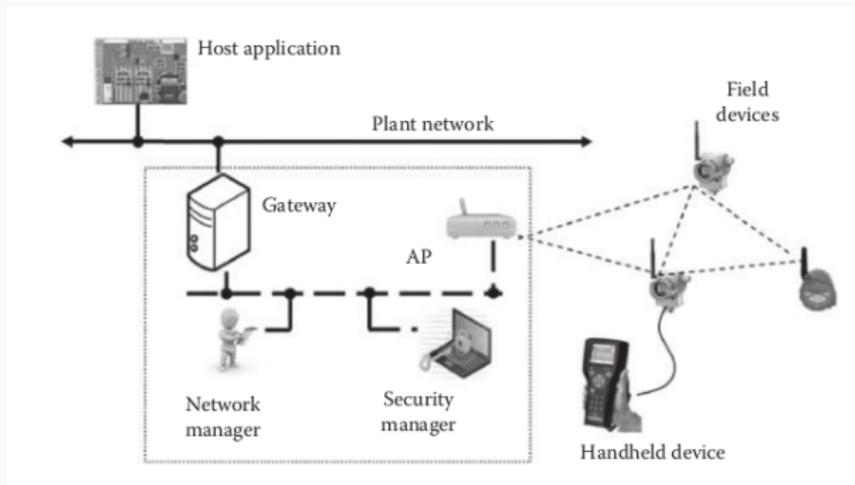
- ▶ O alcance de distância básico é definido como 10 metros a uma taxa de comunicação de 250 kbit/s.
- ▶ Para sistemas com maior restrição de consumo de energia taxas menores de comunicação podem ser utilizadas.
- ▶ As principais características do padrão incluem:
 - ▶ possibilidade de utilização em sistemas de tempo real devido à utilização de slots de tempo reservados (Guaranteed Time Slots - GTS),
 - ▶ evita colisões através de CSMA/CD,
 - ▶ suporte para comunicação segura,
 - ▶ funções para gerenciamento de energia,
 - ▶ suporte para aplicações sensíveis ao tempo e taxas de transferência devido a possibilidade de utilização dos modos CSMA/CD ou TDMA,
 - ▶ dispositivos podem usar diferentes frequências de comunicação (868/915/2450 MHz).

- ▶ O padrão IEEE 802.15.4 define apenas o protocolo da camada física.
- ▶ A interação com camadas superiores é realizada através de duas camadas denominadas sub-camada de convergência (convergence sublayer) e a sub-camada de controle lógico (IEEE 802.2 logical link control sublayer).



Redes Wireless - Wireless HART

- ▶ O protocolo HART foi desenvolvido inicialmente para prover dados diagnósticos utilizando o padrão 4-20mA.
- ▶ O protocolo Wireless HART é uma extensão do protocolo HART
- ▶ O desenvolvimento do protocolo teve início em 2004 pelo consórcio HART Communications Foundation.
- ▶ O lançamento oficial foi feito em 2007.
- ▶ A figura abaixo apresenta um diagrama esquemático de um sistema utilizando protocolo Wireless HART:



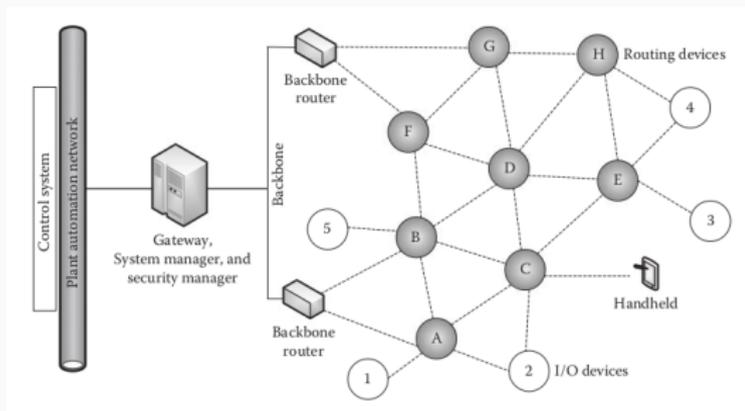
- ▶ As principais características do Wireless HART são resumidas a seguir:
 - ▶ baixo consumo de energia e dispositivos de baixo custo,
 - ▶ taxa de dados de 250Kbps por canal na faixa de 2.4GHz,
 - ▶ baseado no padrão IEEE 802.15.4,
 - ▶ o acesso ao meio físico é baseado nos métodos TDMA e CSMA/CA,
 - ▶ implementação de mecanismos de self-healing network, i.e., se um nó fica avariado é possível utilizar rotas alternativas para transmissão de dados,
 - ▶ totalmente compatível com o protocolo HART (versão cabeada).

- ▶ A tabela a seguir ilustra uma comparação ente os protocolos HART, Wireless HART e ZigBee:

TABLE 31.1 ISO/OSI 7 Layer Model: Comparison among HART, WirelessHART, and ZigBee

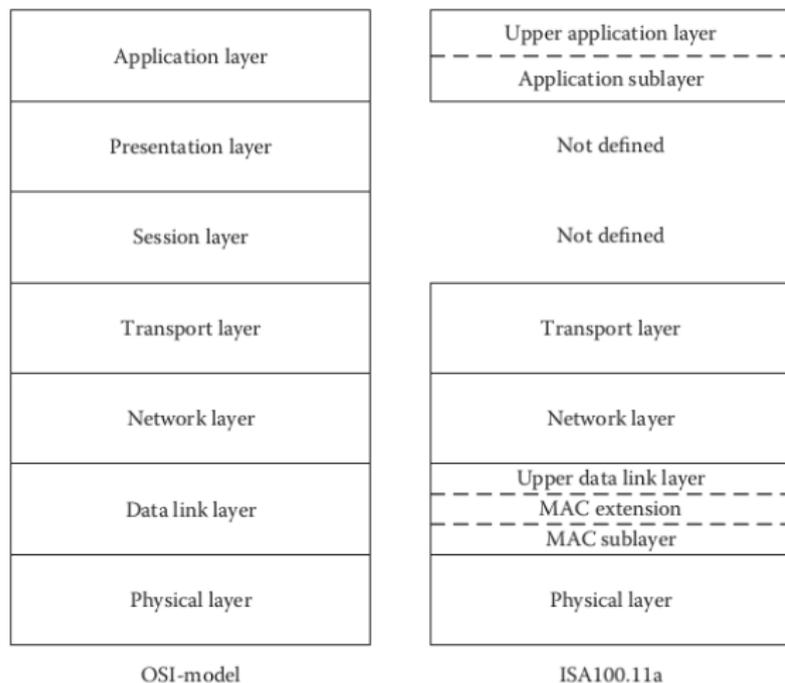
Standard Layer	HART	WirelessHART	ZigBee
Application	Command oriented, predefined data types and application procedures		Application and security
Presentation	—	—	—
Session	—	—	—
Transport	Auto-segmented transfer of large amount of data, reliable stream transport, and negotiated segment sizes		—
Network	—	Power Optimized redundant path mesh network	Ad-hoc routing, mesh networks
Data link	Token passing master/slave	Time synchronized channel hopping	IEEE 802.15.4-2006
Physical	Simultaneous analog and digital signaling (4–20 mA wire)	IEEE 802.15.4-2006 at 2.4 GHz	IEEE 802.15.4-2006

- ▶ O protocolo ISA100.11a cujo nome oficial é "Wireless Systems for Industrial Automation: Process Control and Related Applications" foi desenvolvido pelo International Society of Automation (ISA) e lançado em 2009.
- ▶ A figura abaixo ilustra um diagrama esquemático de uma típica configuração de equipamentos utilizando ISA100.11a:

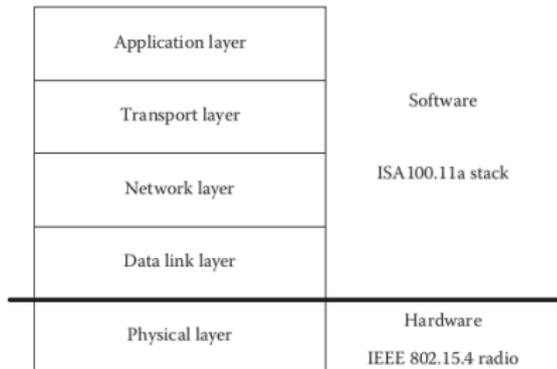
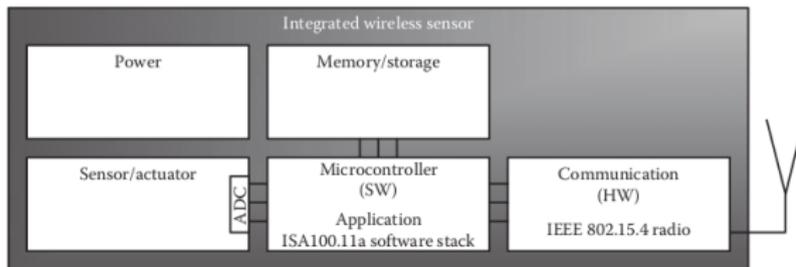


- ▶ O protocolo permite a utilização de várias topologias.

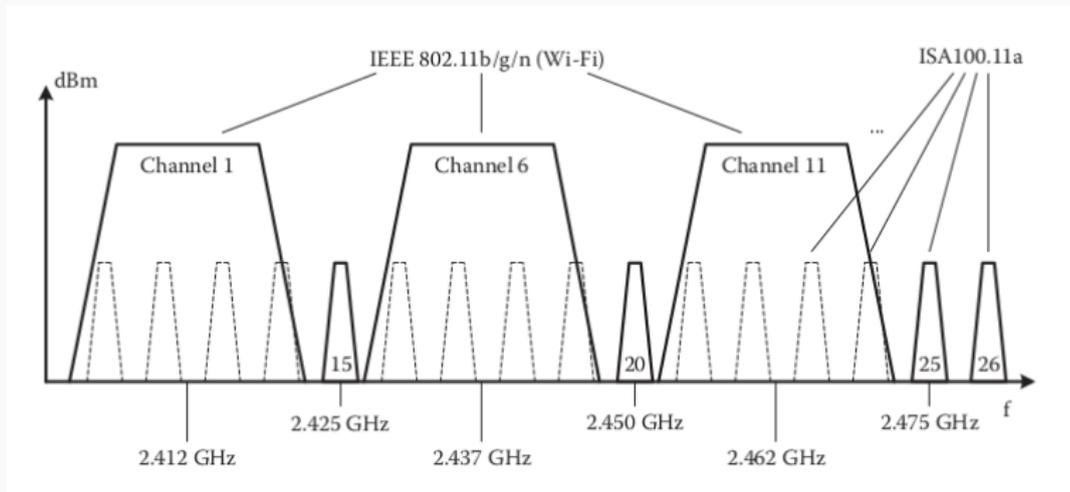
- ▶ A figura abaixo apresenta as camadas do modelo de referência que estão implementadas no protocolo ISA100.11a:



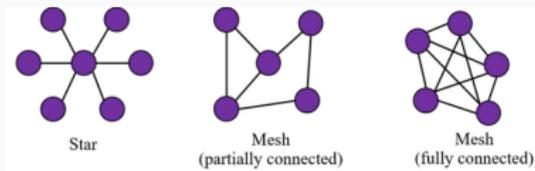
- ▶ Diagrama esquemático de um dispositivo enfatizando conexão via rádio 2.4Ghz:



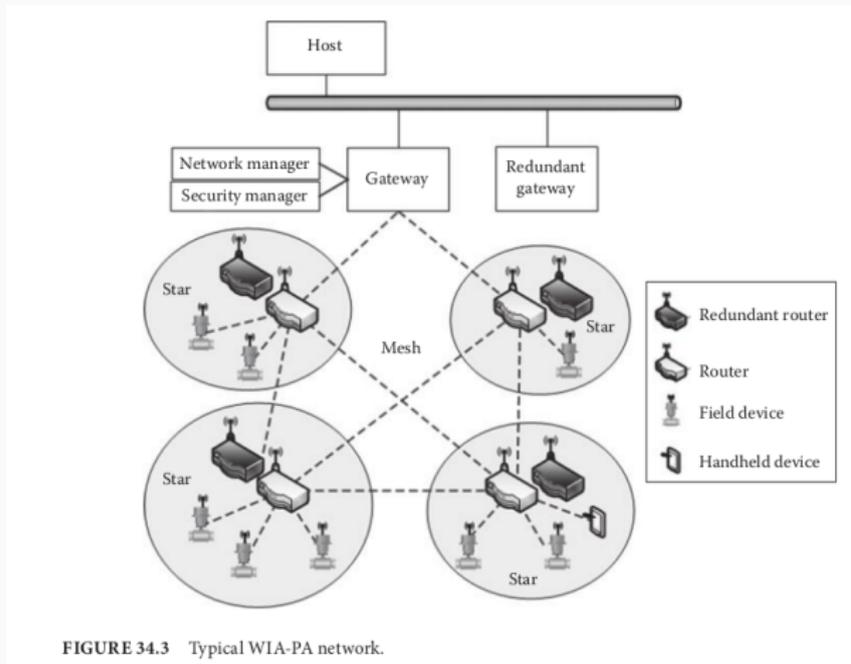
- ▶ Transmissão em frequências que permitem a coexistência com o protocolo IEEE 802.11b:



- ▶ O protocolo WIA-PA foi desenvolvido pelo Chinese Industrial Wireless Alliance (CIWA) e aprovado em 2007.
- ▶ Posteriormente o Institute of Electrotechnical Comission aprovou o protocolo como IEC 62601.
- ▶ Dois tipos de topologia podem ser utilizados: star e mesh-star.
- ▶ A comunicação entre roteadores segue uma topologia mesh, enquanto que a comunicação entre o roteador e um dispositivo de campo segue a topologia star.
- ▶ Dessa forma a comunicação entre o dispositivo de campo e o gateway segue a topologia mesh-star.

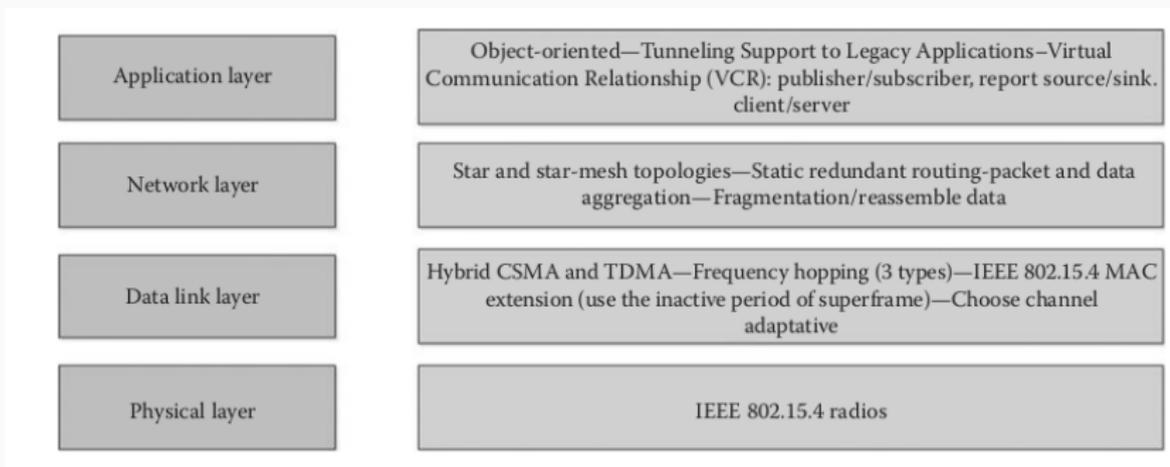


- ▶ Um diagrama esquemático de uma rede típica WIA-PA é apresentado na figura abaixo:



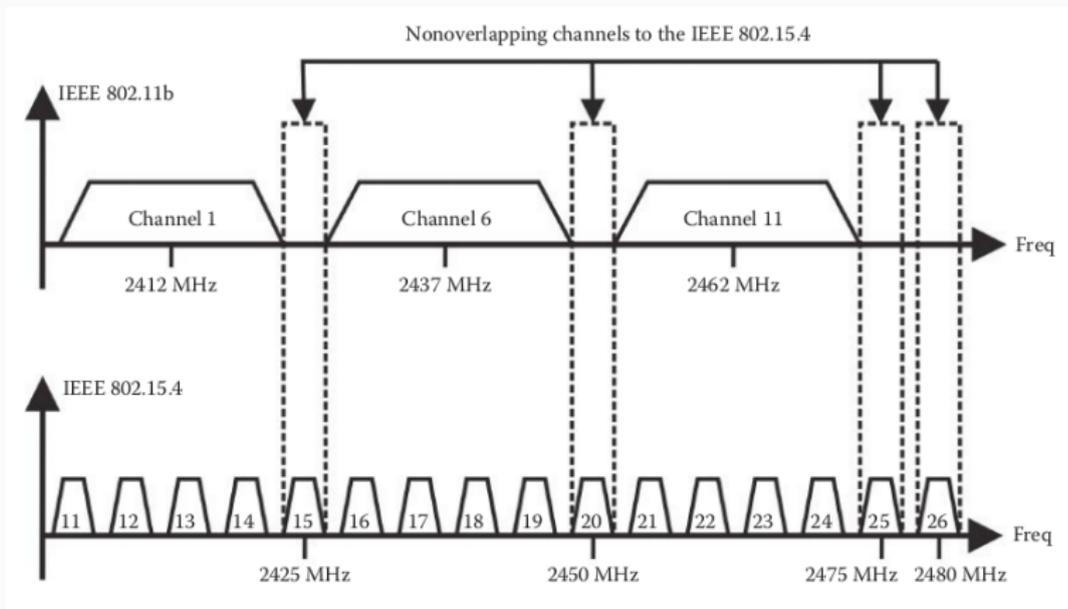
- ▶ A figura ilustra roteadores, dispositivos de campo e handhelds.
- ▶ É possível utilizar redundância de roteadores.

- ▶ Camadas do modelo de referência OSI implementados no protocolo WIA-PA é ilustrado na figura abaixo:



Redes Wireless - Coexistência

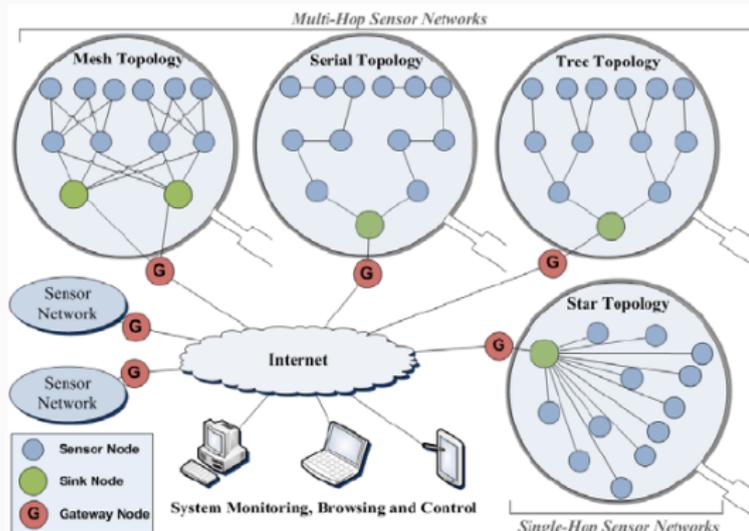
- ▶ O Protocolo pode utilizar 16 canais diferentes.
- ▶ Se é necessário a coexistência dispositivos utilizando IEEE 802.11b é possível uma solução com até 4 canais como pode ser observado na figura abaixo:



Redes de sensores sem fio

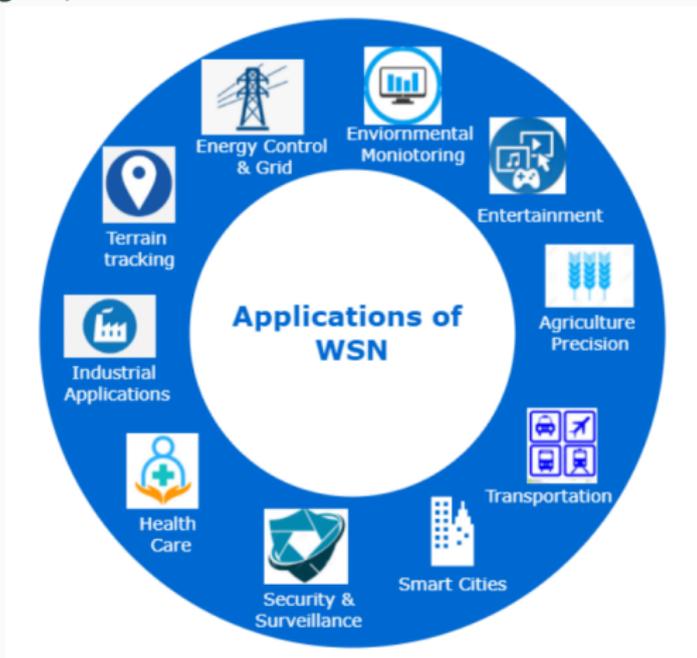
Redes Wireless - Redes de sensores sem fio

- ▶ Uma rede de sensores sem fio se refere a uma configuração de sensores (nós) dispersos espacialmente que monitoram e coletam dados do ambiente.
- ▶ Cada nó tem capacidade de processamento e acesso à rede.
- ▶ A topologia não é necessariamente estática, já que cada nó pode ter visibilidade de vários outros nós podendo escolher para qual nó propagar a informação. Isso é importante caso algum nó ficar avariado.



Redes Wireless - Áreas de aplicação

- ▶ Inicialmente as redes de sensores sem fio foram idealizadas para a monitoração do meio ambiente.
- ▶ Atualmente as aplicações de WSN são realizadas nas mais diversas áreas como: agricultura, controle de processos, saúde, cidades inteligentes (smart cities), smart grids, etc.



Libelium Smart World

Air Pollution

Control of CO₂ emissions of factories, pollution emitted by cars and toxic gases generated in farms.

Forest Fire Detection

Monitoring of combustion gases and preemptive fire conditions to define alert zones.

Wine Quality Enhancing

Monitoring soil moisture and trunk diameter in vineyards to control the amount of sugar in grapes and grapevine health.

Offspring Care

Control of growing conditions of the offspring in animal farms to ensure its survival and health.

Sportsmen Care

Vital signs monitoring in high performance centers and fields.

Structural Health

Monitoring of vibrations and material conditions in buildings, bridges and historical monuments.

Quality of Shipment Conditions

Monitoring of vibrations, strokes, container openings or cold chain maintenance for insurance purposes.

Smartphones Detection

Detect iPhone and Android devices and in general any device which works with WiFi or Bluetooth interfaces.

Perimeter Access Control

Access control to restricted areas and detection of people in non-authorized areas.

Radiation Levels

Distributed measurement of radiation levels in nuclear power-stations surroundings to generate leakage alerts.

Electromagnetic Levels

Measurement of the energy radiated by cell stations and WiFi routers.

Traffic Congestion

Monitoring of vehicles and pedestrian affluence to optimize driving and walking routes.

Smart Roads

Warning messages and diversions according to climate conditions and unexpected events like accidents or traffic jams.

Smart Lighting

Intelligent and weather adaptive lighting in street lights.

Intelligent Shopping

Getting advices in the point of sale according to customer habits, preferences, presence of allergic components for them or expiring dates.

Noise Urban Maps

Sound monitoring in bar areas and centric zones in real time.

Water Leakages

Detection of liquid presence outside tanks and pressure variations along pipes.

Vehicle Auto-diagnosis

Information collection from CarBus to send real time alarms to emergencies or provide advice to drivers.

Item Location

Search of individual items in big surfaces like warehouses or harbours.

Waste Management

Detection of rubbish levels in containers to optimize the trash collection routes.

Smart Parking

Monitoring of parking spaces availability in the city.

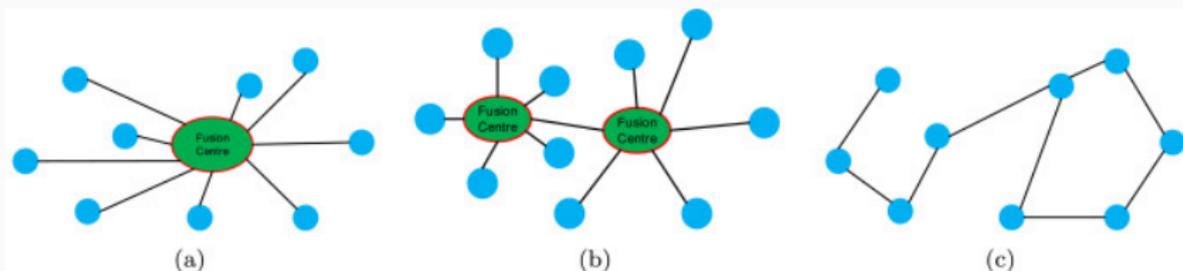
Golf Courses

Selective irrigation in dry zones to reduce the water resources required in the green.

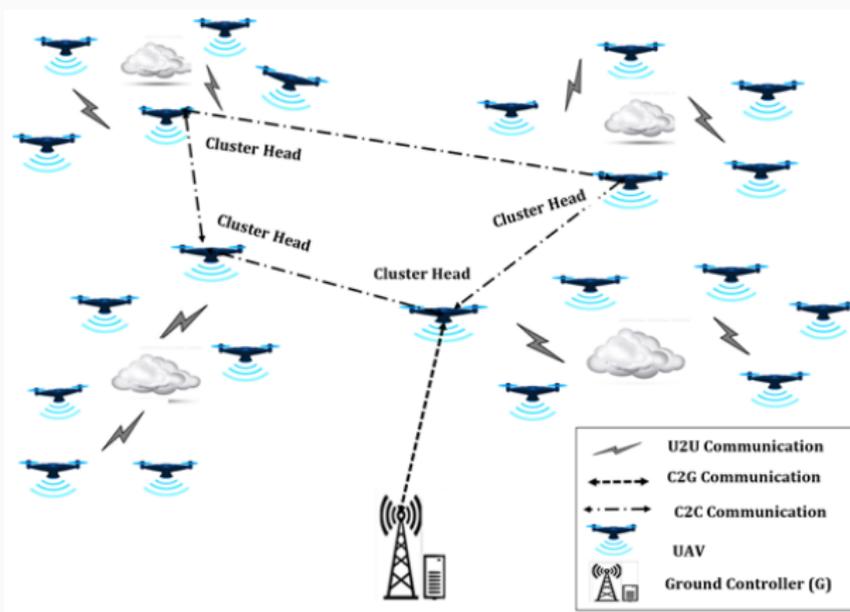
Water Quality

Study of water suitability in rivers and the sea for fauna and eligibility for drinkable use.

- ▶ Os nós podem propagar as informações para um nó central onde é realizado uma fusão sensorial, ou seja, estimação de grandezas a partir de dados descentralizados.
- ▶ Também podem ser utilizados vários nós locais que realizam fusão sensorial, nesse caso, as estimativas tem caráter parcial.



- ▶ Enxame de drones atuando como uma rede de sensores sem fio:



- ▶ A concepção das redes de sensores sem fio prevê a utilização de hardware com recursos reduzidos e com baixo consumo de energia.
- ▶ Alguns sistemas operacionais foram desenvolvidos especialmente para esse fim:
 - ▶ TinyOS,
 - ▶ Contiki OS,
 - ▶ Riot OS,
 - ▶ Mantis OS,
 - ▶ LiteOS,
 - ▶ Nano-rk OS, etc.

- ▶ Muitos protocolos para redes de sensores sem fio estão sendo utilizados atualmente como por exemplo: Zigbee, ISA100.11a, WirelessHART, MiWi, 6LoWPAN, Thread, Matter e SNAP.
- ▶ Todos os protocolos são baseados no padrão IEEE 802.15.4 que especifica a camada física e efetua o controle de acesso para redes sem fio pessoais de baixas taxas de transmissão (low-rate wireless personal area network - LR-WPAN).

- ▶ O protocolo ZigBee é um protocolo do tipo mesh sem fio de baixo custo potência, taxa de transmissão e complexidade.
- ▶ O protocolo é baseado no padrão IEEE 802.15.4.
- ▶ A figura a seguir ilustra as camadas do protocolo:

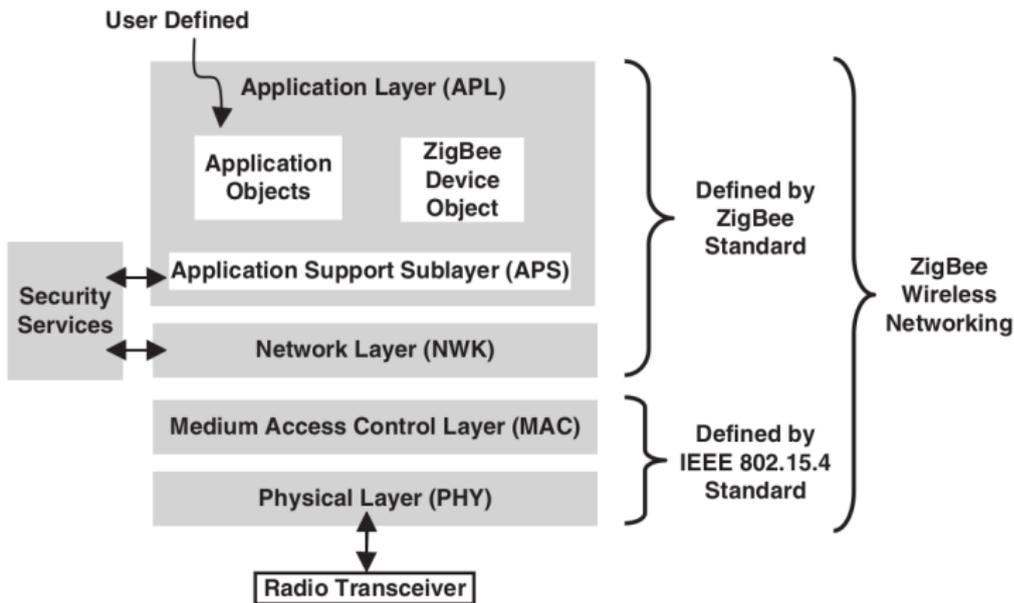
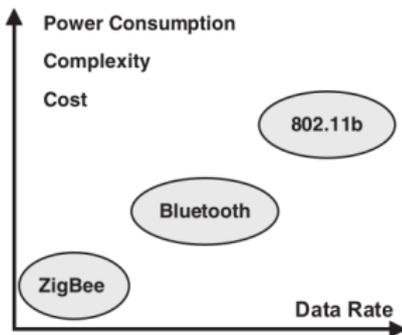


Figure 1.3: ZigBee Wireless Networking Protocol Layers

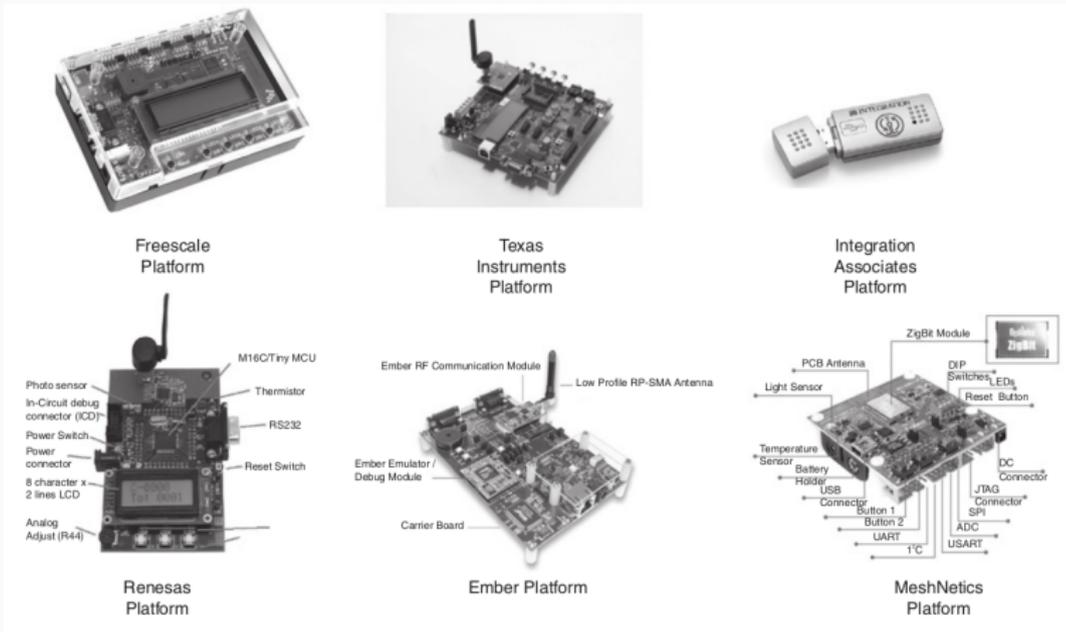
- ▶ A figura a seguir ilustra uma comparação entre redes locais:



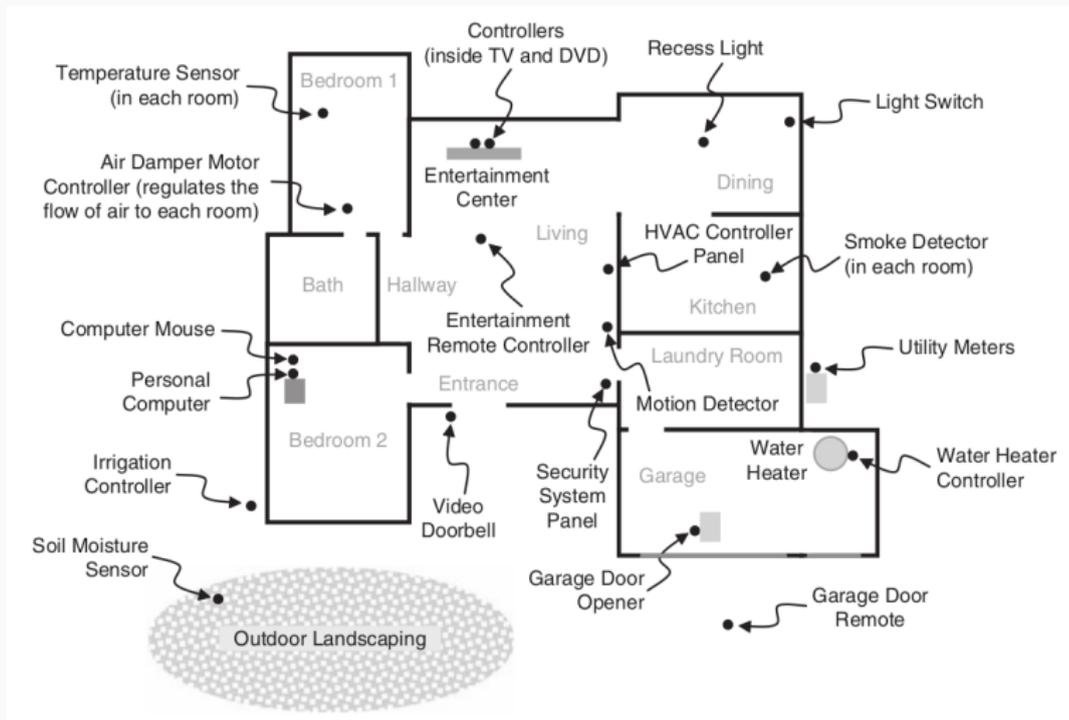
	Data Rate	Typical Range	Application Examples
ZigBee	20 to 250 Kbps	10–100 m	Wireless Sensor Networks
Bluetooth	1 to 3 Mbps	2–10 m	Wireless Headset Wireless Mouse
IEEE 802.11b	1 to 11 Mbps	30–100 m	Wireless Internet Connection

Figure 1.1: Comparing the ZigBee Standard with Bluetooth and IEEE 802.11b

- ▶ A figura a seguir ilustra algumas plataformas de hardware para redes ZigBee:



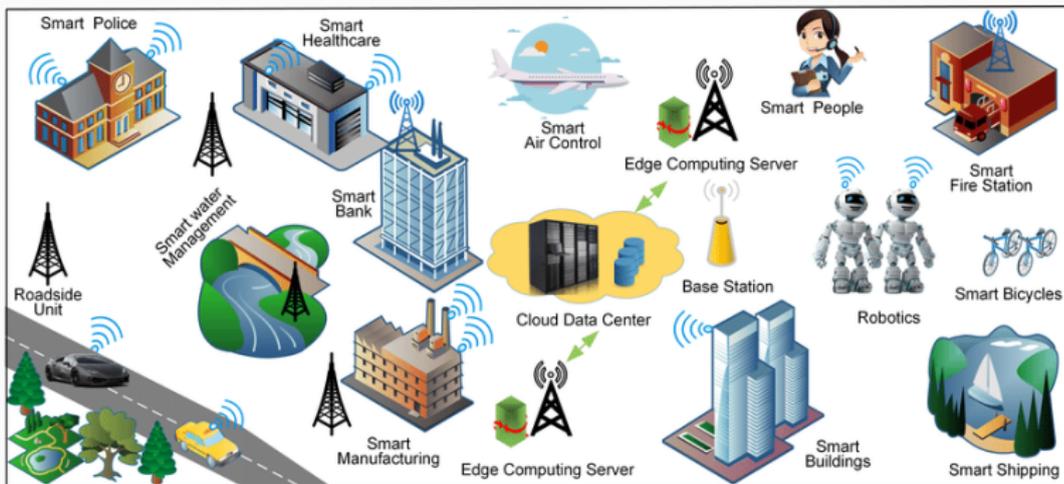
- ▶ A figura a seguir ilustra a concepção de uma aplicação residencial utilizando rede ZigBee:



Internet das Coisas

- ▶ A Internet das Coisas (IoT - Internet of Things) é uma arquitetura composta por dispositivos com capacidade de sensoriamento, processamento, e conexão de rede sem fio (não necessariamente conexão à Internet).
- ▶ O conceito foi proposto em 1999, por Kevin Ashton, no Laboratório de Auto-ID do MIT, onde se realizavam pesquisas no campo da identificação por radiofrequência em rede (RFID) e tecnologias de sensores.
- ▶ Alguns autores consideram que as redes de sensores sem fio são a base da IoT.
- ▶ Os limites e interfaces de cada tecnologia (ou conceito) não são claros dentro da literatura.

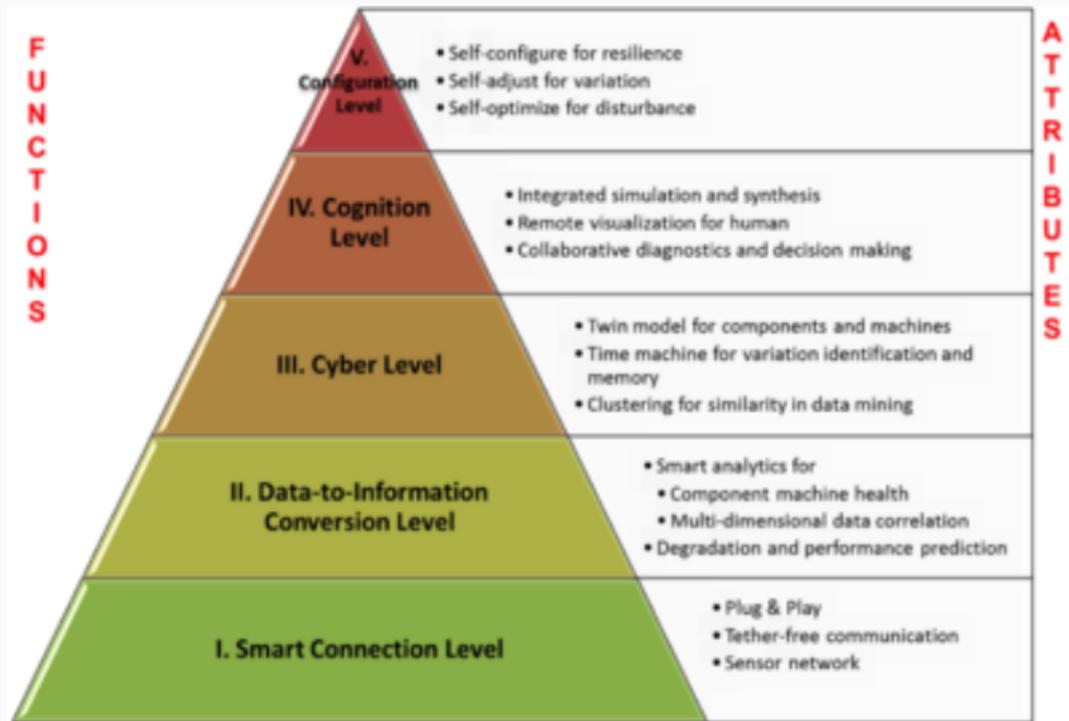
► A figura abaixo



Sistemas Ciberfísicos

- ▶ Sistemas ciberfísicos (CPS) são sistemas de alta complexidade em que sistemas físicos são controlados por algoritmos de computador.
- ▶ Nesse ambiente os sistemas físicos e os componentes de software são fortemente conectados podendo operar em diferentes escalas espaciais e temporais.
- ▶ Um sistema CPS tem características de sistemas híbridos multi-escala, ou seja, possui sistemas de eventos discretos conectados a sistemas de variáveis contínuas em diferentes níveis hierárquicos.
- ▶ Interconexão entre os componentes requer ampla utilização de redes de comunicação com e sem fio.

- Proposta de arquitetura para sistemas CPS:



Indústria 4.0

- ▶ O termo indústria 4.0 se refere a uma suposta 4a. revolução industrial que está sendo desenvolvida a partir da tecnologia da informação.
- ▶ É proposto dentro do conceito de indústria 4.0 a utilização de um vasto conjunto de tecnologias digitais como por exemplo: sistemas ciberfísicos, internet das coisas, manufatura aditiva, computação em nuvem, gêmeos digitais e inteligência artificial.

