

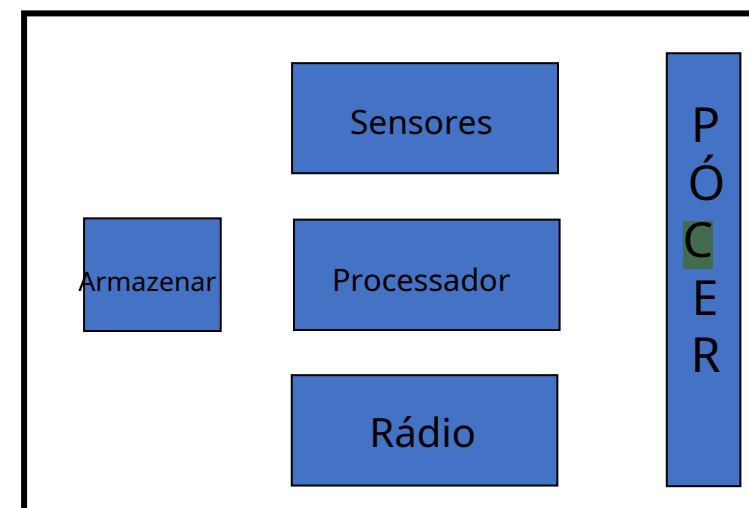
# O que são redes de sensores sem fio (RSSF)?

- Uma rede de sensores sem fio (RSSF) é uma rede sem fio que utiliza sensores para monitorar cooperativamente as condições físicas ou ambientais
- Redes de dispositivos sem fio normalmente pequenos, alimentados por bateria (geralmente MUITOS, às vezes heterogêneos)
  - Processamento a bordo,
  - Comunicação, e
  - Capacidades de detecção.

Ou...

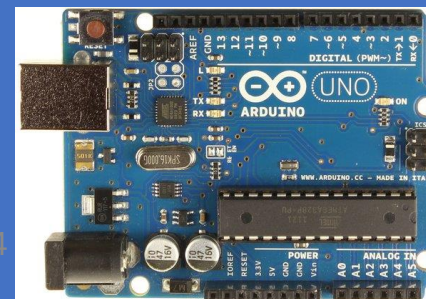
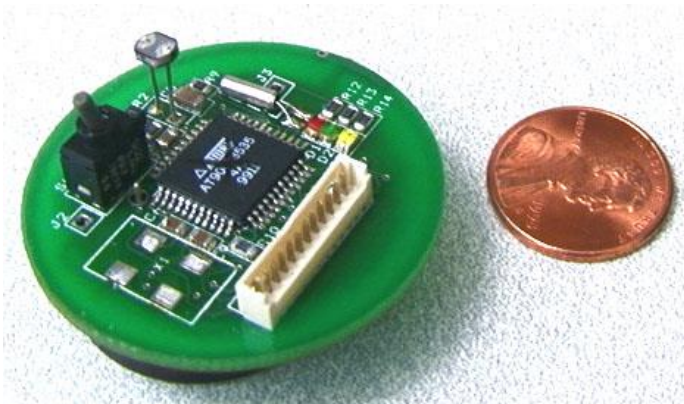
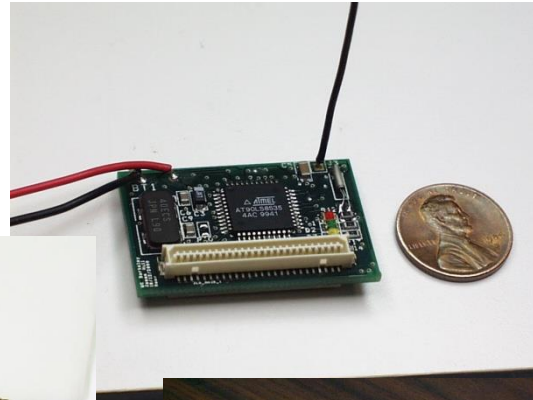
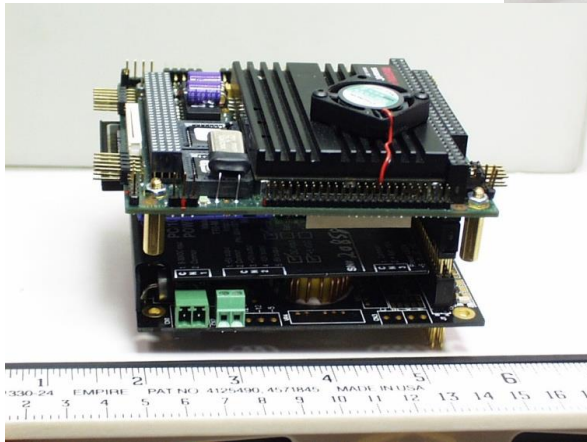
➤ Sensoriamento sem fio + rede de dados!

- Grupo de sensores ligados por meio sem fio para realizar tarefas de detecção distribuída



Esquemas de dispositivos WSN

# Sens ou nós eplataforma formulários

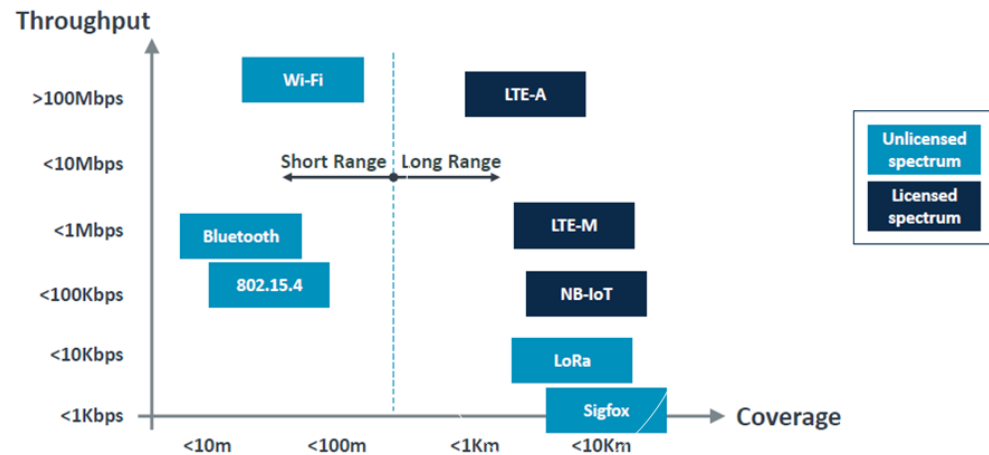


# Conectividade sem fio IoT

Tal como acontece com o wireless em geral, vários padrões com propriedades diferentes

## IoT Wireless Connectivity Technology

Multiple standards, different attributes



Enabling an Intelligent Planet

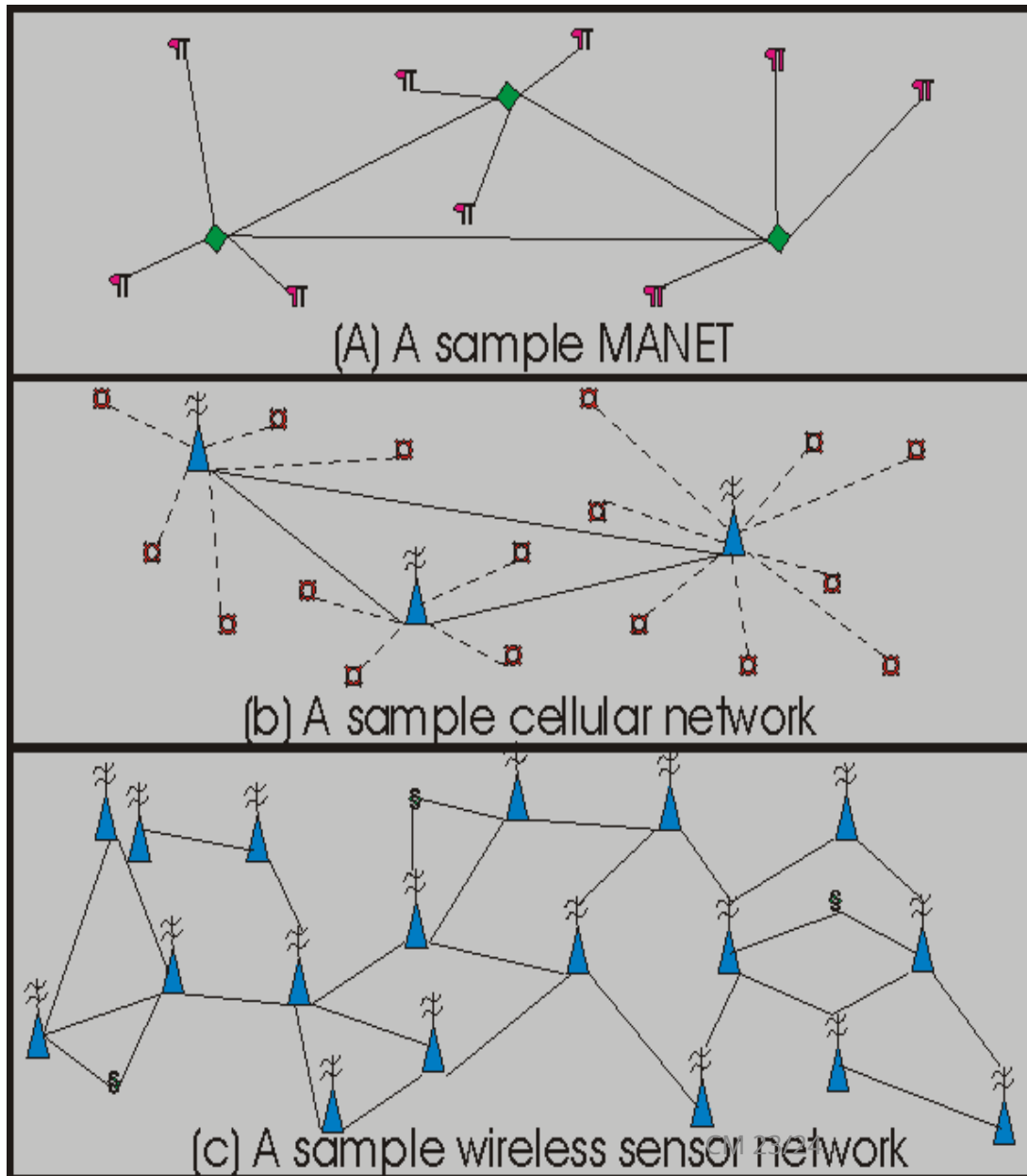
ADVANTECH

# MIoT e HIoT são diferentes

- A IoT tem vários cenários, desde ambientes orientados para humanos até orientados para máquinas, e desde ambientes industriais até ambientes florestais
- As RSSF precisam se adaptar a esses ambientes.

	Manufacturing IoT	Consumer IoT
Goal	Manufacturing-industry Centric	Consumer Centric
Devices	Machines, Sensors, Controllers, Actuators, Smart meters	Consumer devices and Smart appliances
Working Environment	Harsh (vibration, noisy, extremely high/low temperature)	Moderate
Data rate	High (usually)	Low or average
Delay	Delay sensitive	Delay tolerant
Mission	Mission-critical	Non-mission-critical

# Tipos de redes sem fio



MANET – Rede Ad-hoc Móvel

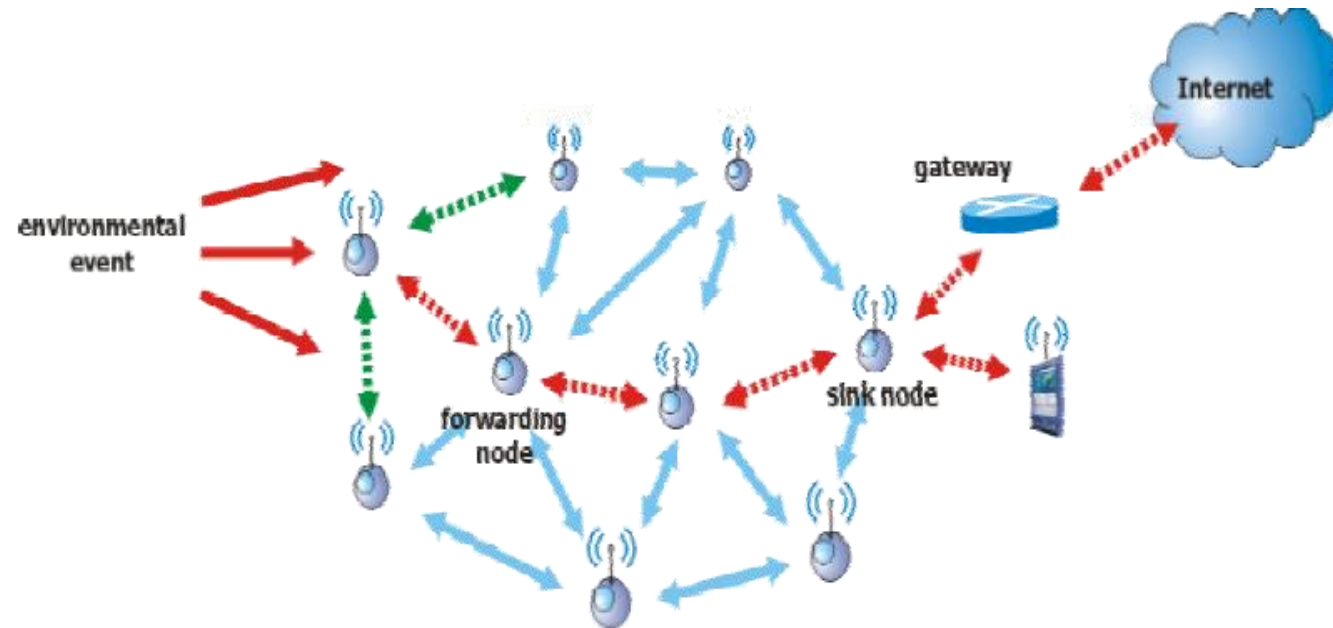
WS

o **arquitetura** **ré**  
**e protocolo**

conceitos tanto de  
MANETs (móveis  
redes ad hoc)  
e de celular  
redes.

# Rede de sensores sem fio

- Focar em:
  - Computação ubíqua
  - Rede onipresente
  - (frequentemente) Centro humano
- Onipresente
  - A qualquer momento
  - Qualquer um
  - Em qualquer lugar
  - Qualquer dispositivo
  - **Acessível**
  - Toda a segurança
  - Qualquer informação/serviço



# MAC:

## desafios para redes sem fio

- MAC é uma camada crítica para rede
- Problemas tradicionais
  - Justiça
  - Latência
  - Taxa de transferência
- Para Redes de Sensores, mais problemas são adicionados
  - Eficiência energética
  - Escalabilidade

# Desafios MAC para WSN

- As redes de sensores são implantadas de forma ad hoc, com nós individuais permanecendo em grande parte **inativo por longos períodos de tempo**, mas depois se tornando **de repente ativo** quando algo é detectado.
- Estas características das redes de sensores e aplicações motivam um MAC diferente dos MACs sem fio tradicionais:
  - **Conservação de energia e autoconfiguração** são objetivos primários.
  - A justiça e a latência por nó são menos importantes.



# Desafios em RSSFs

- Energia e consumo de energia
- Auto-organização
- Heterogeneidade de comunicação
- Adaptabilidade
- Segurança
- Escalabilidade

# Desafios de design

Por que as RSSFs são desafiadoras/únicas?

- Normalmente, com severa restrição de energia.
  - Fontes de energia limitadas (por exemplo, baterias).
  - Trade-off entre desempenho e vida útil.
- Auto-organização e autocura.
  - Implantações remotas.
- Escalável.
  - Número arbitrariamente grande de nós.

# Desafios de design

- Heterogeneidade.
  - Dispositivos com capacidades variadas.
  - Sensores diferentes.
  - Implantações hierárquicas.
- Adaptabilidade.
  - Ajuste às condições operacionais e às mudanças nos requisitos da aplicação.
- Segurança e privacidade.
  - Informações potencialmente confidenciais.
  - Ambientes hostis.

# Protocolos MAC de rede de sensores

- As principais fontes de desperdício de energia são:
  - Colisões – *pacotes interferentes*
  - Ouvindo – *ouvindo mais do que o necessário de um pacote*
  - Controlar a sobrecarga de pacotes – *controle versus dados*
  - Escuta ociosa – *ouvindo por nada*

## Soluções típicas em MACs sem fio

- Detecção de Portadora
  - Somente durante baixa carga de tráfego.
- Contenção
  - RTS-CTS somente durante alta carga de tráfego.
- Para trás
  - A retirada na camada de aplicação é desejada diferente da camada MAC.

É necessário alcançar boa escalabilidade e capacidade de evitar colisões.

# Desafios

## 1. Eficiência Energética:

- Os nós sensores não estão conectados a nenhuma fonte de energia.
- A eficiência energética é uma consideração dominante, independentemente do problema.
- Muitas soluções, tanto relacionadas a hardware quanto a software, foram propostas para otimizar o uso de energia.

## 2. Implantação ad hoc (adaptabilidade):

- A maioria dos nós sensores são implantados em regiões que não possuem infraestrutura.
- Devemos lidar com as mudanças de conectividade e distribuição.

# Desafios

## 3. Operação autônoma:

- Geralmente, uma vez implantados os sensores, não há intervenção humana por um longo período.
- A rede de sensores deve ser reconfigurada sozinha quando ocorrem determinados erros.

## 4. Mudanças dinâmicas (autocorreção e escalabilidade)

- À medida que ocorrem mudanças na conectividade devido à adição de mais nós ou à falha de nós, a rede de sensores deve ser capaz de se adaptar às mudanças na conectividade, a um grande número arbitrário de nós.

## 5. Segurança

- Tanto Sensores quanto Atuadores transportam informações confidenciais em um ambiente hostil

# Sensor-MAC (S-MAC)

- S-MAC é um protocolo de controle de acesso ao meio (MAC) projetado para redes de sensores sem fio.
  - Explora soluções típicas também encontradas em muitos outros MACs de sensores.
  - **Os nós dormem periodicamente e dormem durante as transmissões de outros nós**
    - Nós próximos formam clusters virtuais para sincronizar seus períodos de despertar e dormir
  - **Negociação de eficiência energética para menor rendimento e maior latência**
    - A passagem de mensagens é usada para reduzir a latência de contenção e controlar a sobrecarga



# 802.15.4 e Zigbee



# O que é ZigBee?

- Padrão Tecnológico Criado para Redes de Controle e Sensores
  - Baseado no padrão IEEE 802.15.4
  - Centrado em pequenos rádios
- Criado pela Aliança ZigBee
  - Mais de 200 membros
- História
  - *Maio de 2003: IEEE 802.15.4 concluído*
  - Dezembro de 2004: especificação ZigBee ratificada
  - Junho de 2005: disponibilidade pública

# O que o ZigBee faz?

- Projetado para controles e sensores sem fio
  - Opera em redes de área pessoal (PANs) e redes dispositivo a dispositivo
  - Conectividade entre dispositivos de pacotes pequenos
  - Exemplos: controle de luzes, interruptores, termostatos, eletrodomésticos, etc.

## Zigbee?

- Nomeado devido a padrões erráticos e em zigue-zague de abelhas entre as flores
- Simboliza a comunicação entre nós em uma rede mesh
- Componentes de rede “vistos como análogos” à abelha rainha, drones e abelhas operárias

# Aplicativos de rede ZigBee



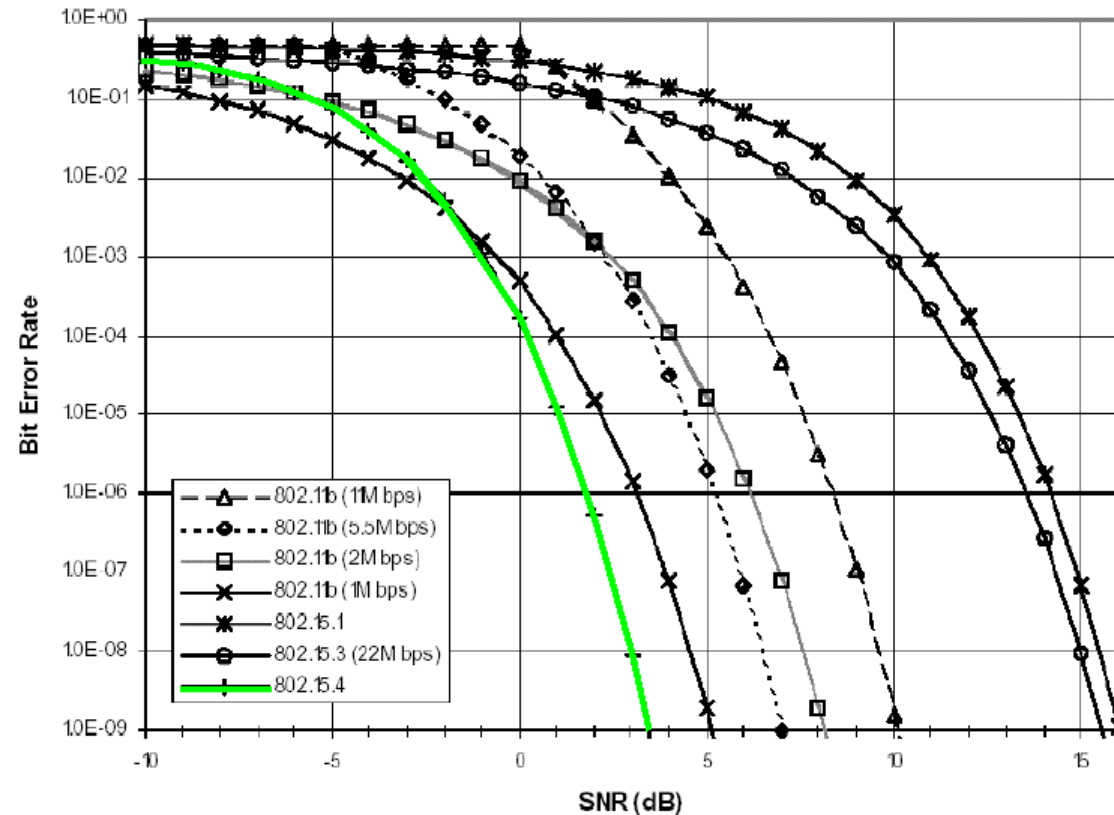
# ZigBee e outras tecnologias sem fio

Market Name	ZigBee™	---	Wi-Fi™	Bluetooth™
Standard	802.15.4	GSM/GPRS CDMA/1xRTT	802.11b	802.15.1
Application Focus	Monitoring & Control	Wide Area Voice & Data	Web, Email, Video	Cable Replacement
System Resources	4KB - 32KB	16MB+	1MB+	250KB+
Battery Life (days)	100 - 1,000+	1-7	.5 - 5	1 - 7
Network Size	Unlimited (2 <sup>64</sup> )	1	32	7
Bandwidth (KB/s)	20 - 250	64 - 128+	11,000+	720
Transmission Range (meters)	1 - 100+	1,000+	1 - 100	1 - 10+
Success Metrics	Reliability, Power, Cost	Reach, Quality	Speed, Flexibility	Cost, Convenience

# Por que precisamos de outro padrão “WPAN”?

- Consumo de energia
  - ZigBee: 10mA <==> BT: 100mA
- Custos de produção
  - ZigBee: 1,1\$ <==> BT: 3\$
- Custos do desenvolvimento
  - Tamanho de código ZB/tamanho de código BT = 1/2
- Taxa de erro de bit (BER)
- Sensibilidade
- flexibilidade
  - N° de nós suportados
  - ZigBee: 65536 (em uma malha) <==> BT: 7
- Segurança
- Requisitos de latência
- Faixa
  - ZigBee: até 75 m em condição LOS <==> BT: 10 m

## 802.11b, 802.15.x BER Comparison

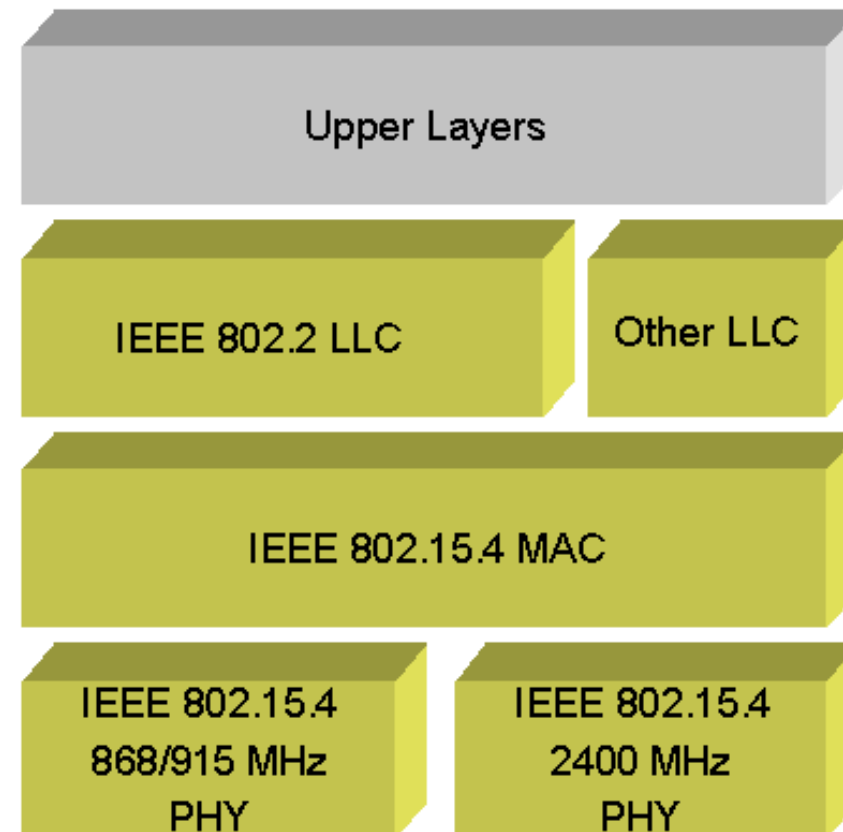


# Recursos ZigBee/IEEE 802.15.4

- Baixo consumo de energia
- Baixo custo
- Pacote pequeno
- Baixa taxa de transferência de mensagens oferecida
- Suporta grandes pedidos de rede ( $\leq 65$  mil nós)
- Garantias de QoS baixas ou nenhuma
- Design de protocolo flexível adequado para muitas aplicações

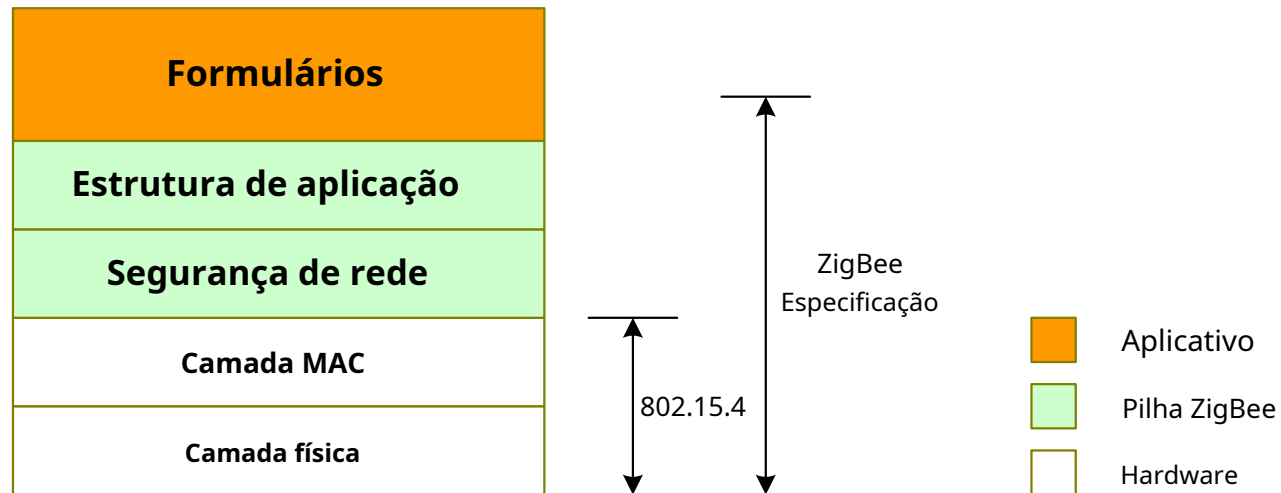
# IEEE 802.15.4 - Visão geral

- WPAN de baixa taxa (LR-WPAN)
  - Por exemplo, redes de sensores
- Simples e de baixo custo
  - Protocolo de handshake totalmente
- Baixo consumo de energia
  - Anos de vida útil usando bateria padrão
- Topologias diferentes
  - Estrela, ponto a ponto, combinado
- Taxas de dados: 20-250 kbps
  - Suporte de baixa latência
- Opera em frequências diferentes
  - 868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz



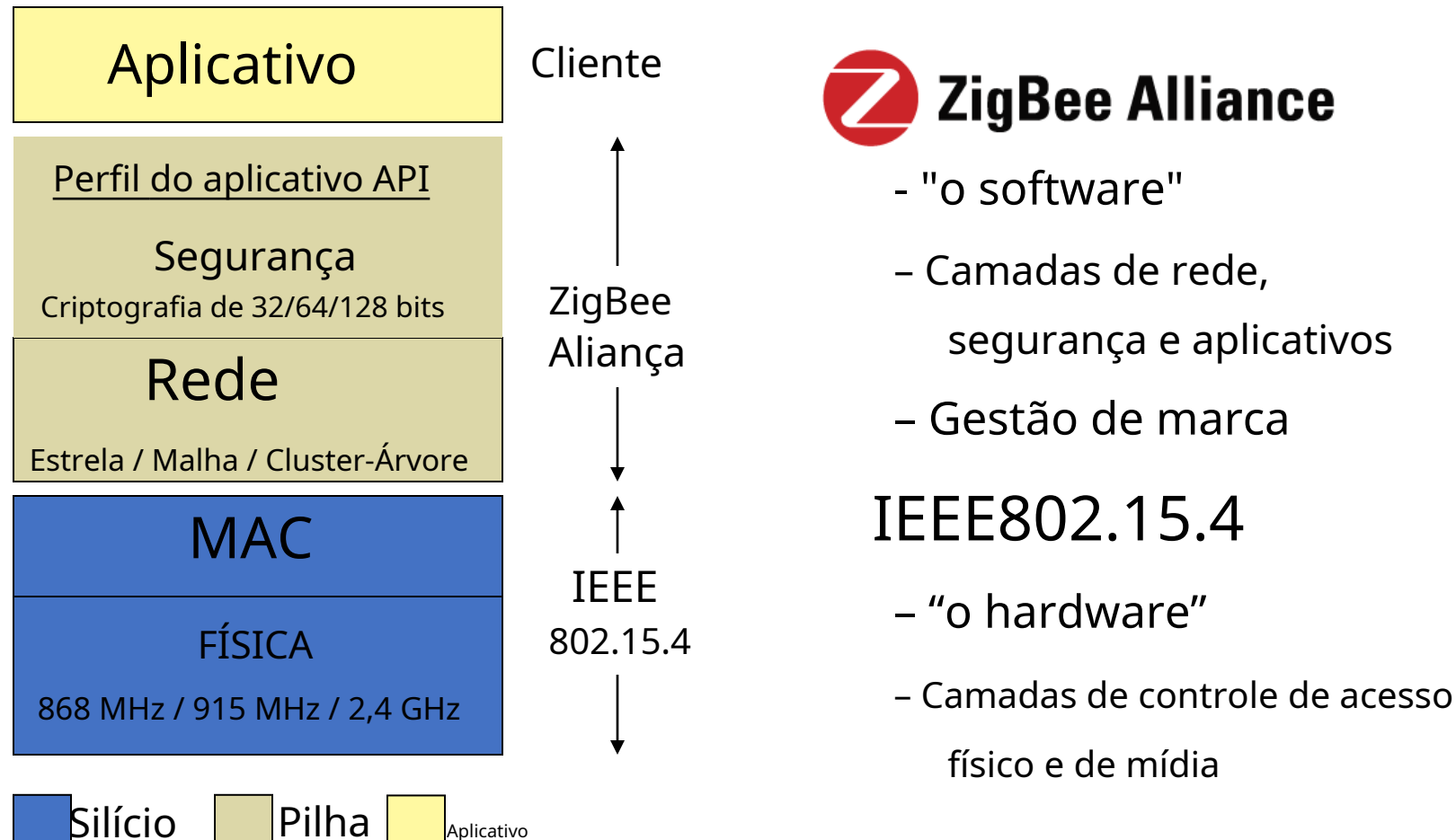
# Arquitetura ZigBee/802.15.4

- Aliança ZigBee
  - Empresas: fabricantes de semicondutores, provedores de IP, OEMs, etc.
  - Definindo as camadas superiores da pilha de protocolos: da rede à aplicação, incluindo perfis de aplicação
  - Primeiros perfis publicados em meados de 2003
- Grupo de Trabalho IEEE 802.15.4
  - Definindo camadas inferiores da pilha de protocolos: MAC e PHY



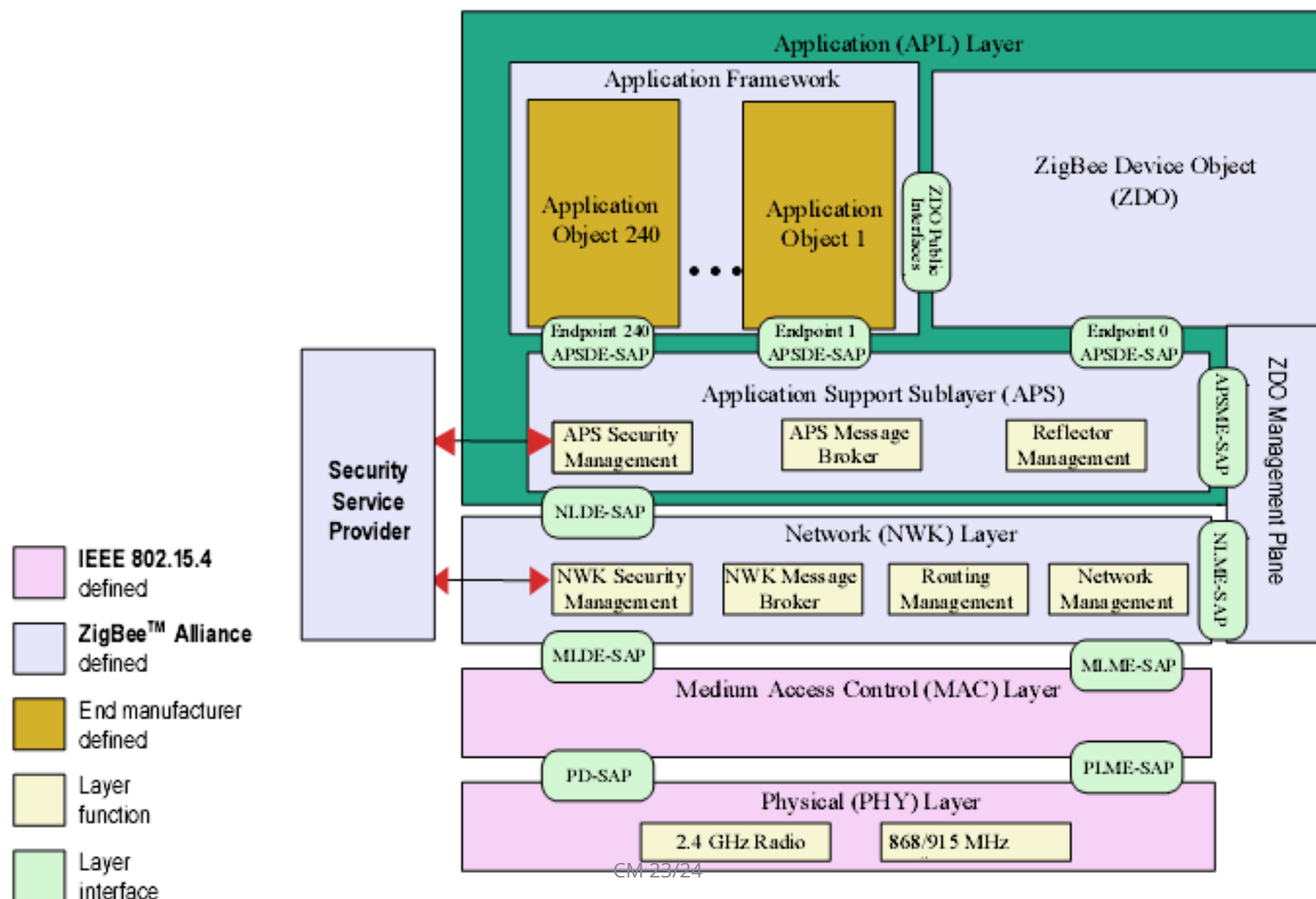


# IEEE 802.15.4 e ZigBee no contexto



Fonte: [http://www.zigbee.org/resources/documents/IWAS\\_presentation\\_Mar04\\_Designing\\_with\\_802154\\_and\\_zigbee.ppt](http://www.zigbee.org/resources/documents/IWAS_presentation_Mar04_Designing_with_802154_and_zigbee.ppt)

## Pilha de protocolos



# Como funciona o ZigBee

- Topologia
  - Estrela
  - Árvore de agrupamento
  - Malha
- Coordenador de rede, roteadores, dispositivos finais
- 2 ou mais dispositivos formam um PAN/WSN

# Como funciona o ZigBee

- Estados de operação
  - Ativo
  - Dormir
- Dispositivos
  - Dispositivos de função completa (FFDs)
  - Dispositivos de função reduzida (RFDs)
- Modos de operação
  - Baliza
  - Sem farol
- Tipos de tráfego
  - Intermitente
  - Repetitivo
  - Periódico

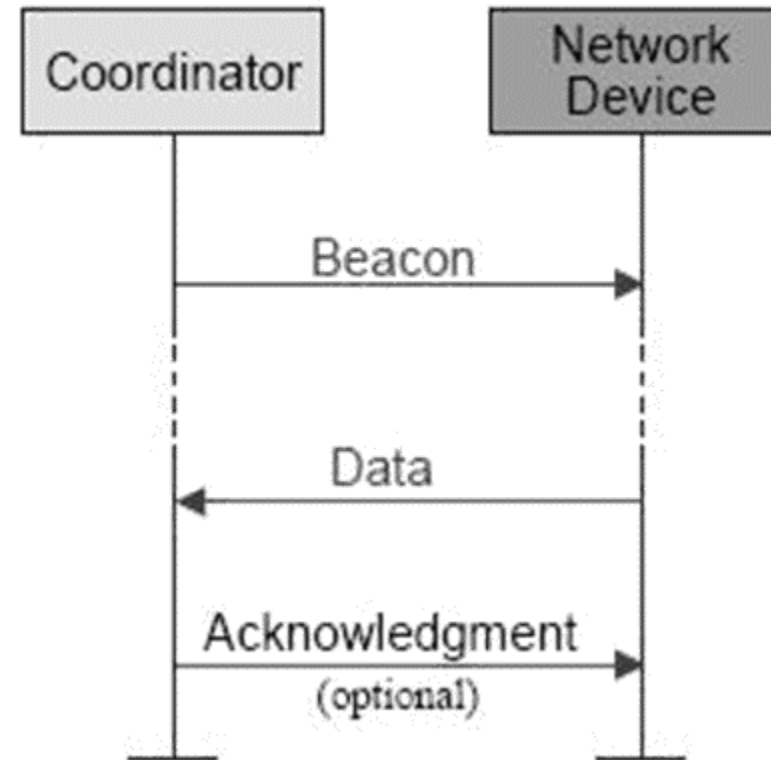
# Tipos de tráfego

- Os dados são periódicos
  - a aplicação determina a taxa (por exemplo, sensores)
- Os dados são intermitentes
  - aplicação ou estímulo determina a taxa (economia ideal de energia), por exemplo, interruptor de luz
- Os dados são repetitivos (taxa fixa a priori)
  - dispositivo obtém intervalo de tempo garantido (por exemplo, monitor cardíaco)

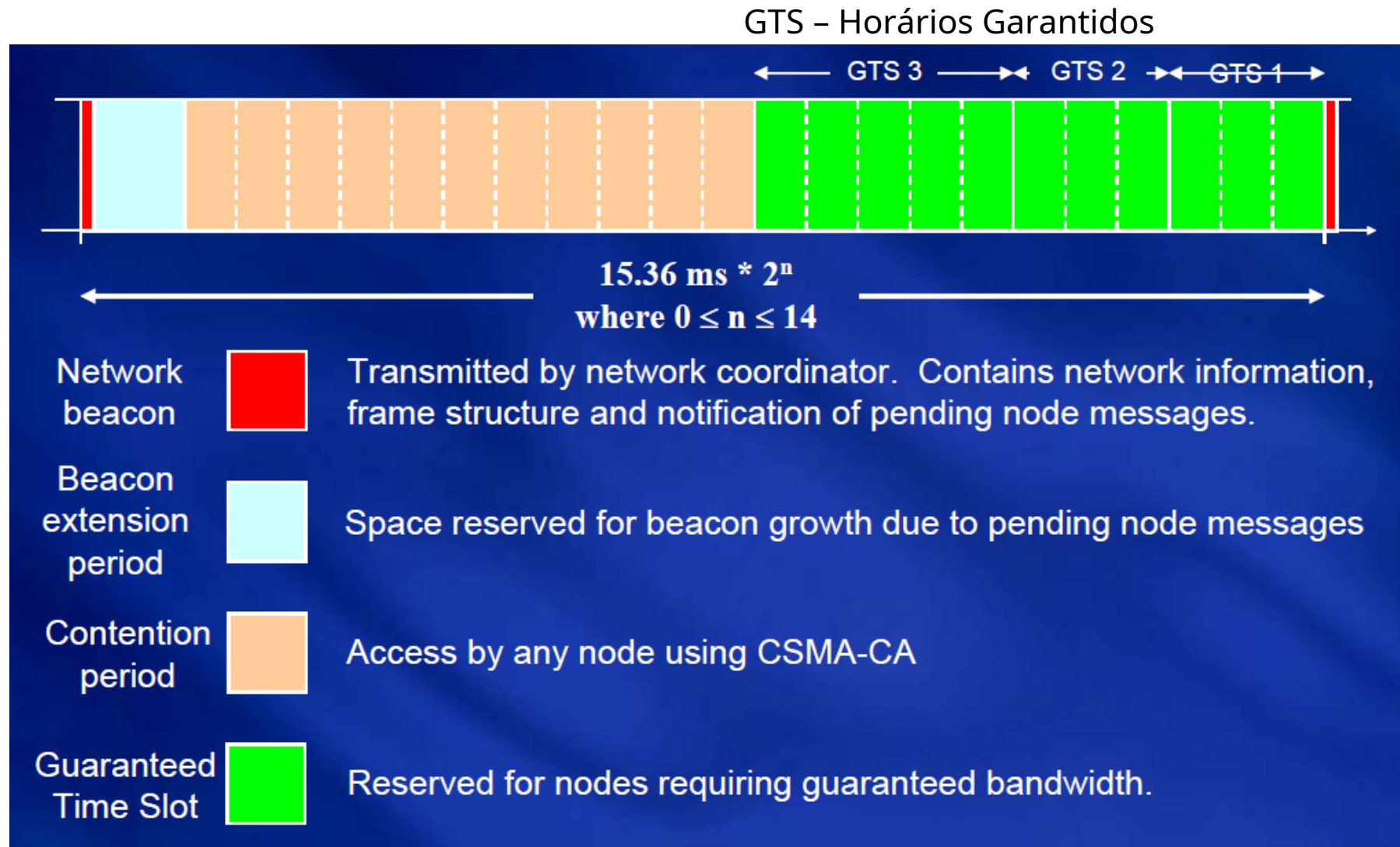
# Modos de tráfego

## Modo farol:

- farol enviado periodicamente
- O coordenador e o dispositivo final podem ir para a alimentação sa
- Menor consumo de energia
- Tempo preciso necessário
- Período de farol (ms-m)



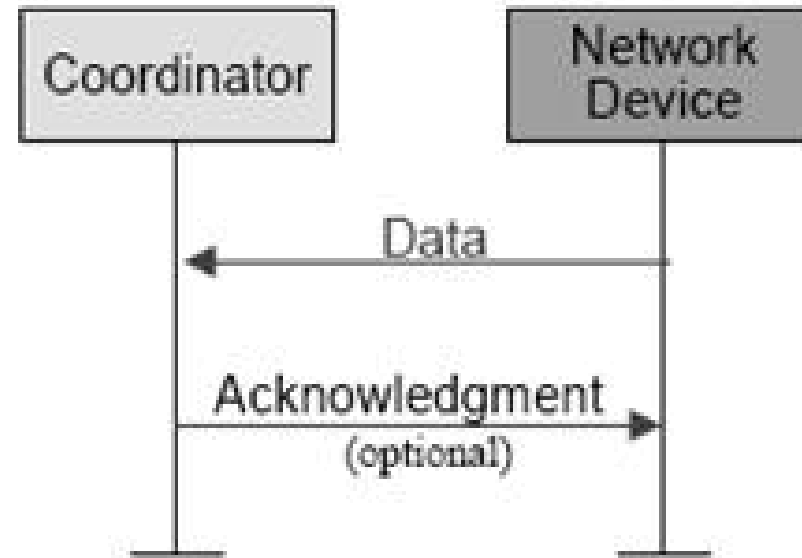
# Modo Farol



# Modos de tráfego

## Modo sem Beacon:

- coordenador/roteadores precisam ficar acordados  
(fonte de alimentação robusta necessária)
- rede heterogênea
- poder assimétrico





# Tipos de nós ZigBee

## Coordenador ZigBee (ZBC) (IEEE 802.15.4 FFD)

- apenas um em uma rede
- inicia rede
- armazena informações sobre a rede
- todos os dispositivos se comunicam com o ZBC
- funcionalidade de roteamento
- ponte para outras redes

## Roteador ZigBee (ZBR) (IEEE 802.15.4 FFD)

- componente opcional
- rotas entre nós, backbone de rede
- estende a cobertura da rede
- gerencia a alocação/desalocação de endereço local

## Dispositivo final ZigBee (ZBE) (IEEE 802.15.4 RFD)

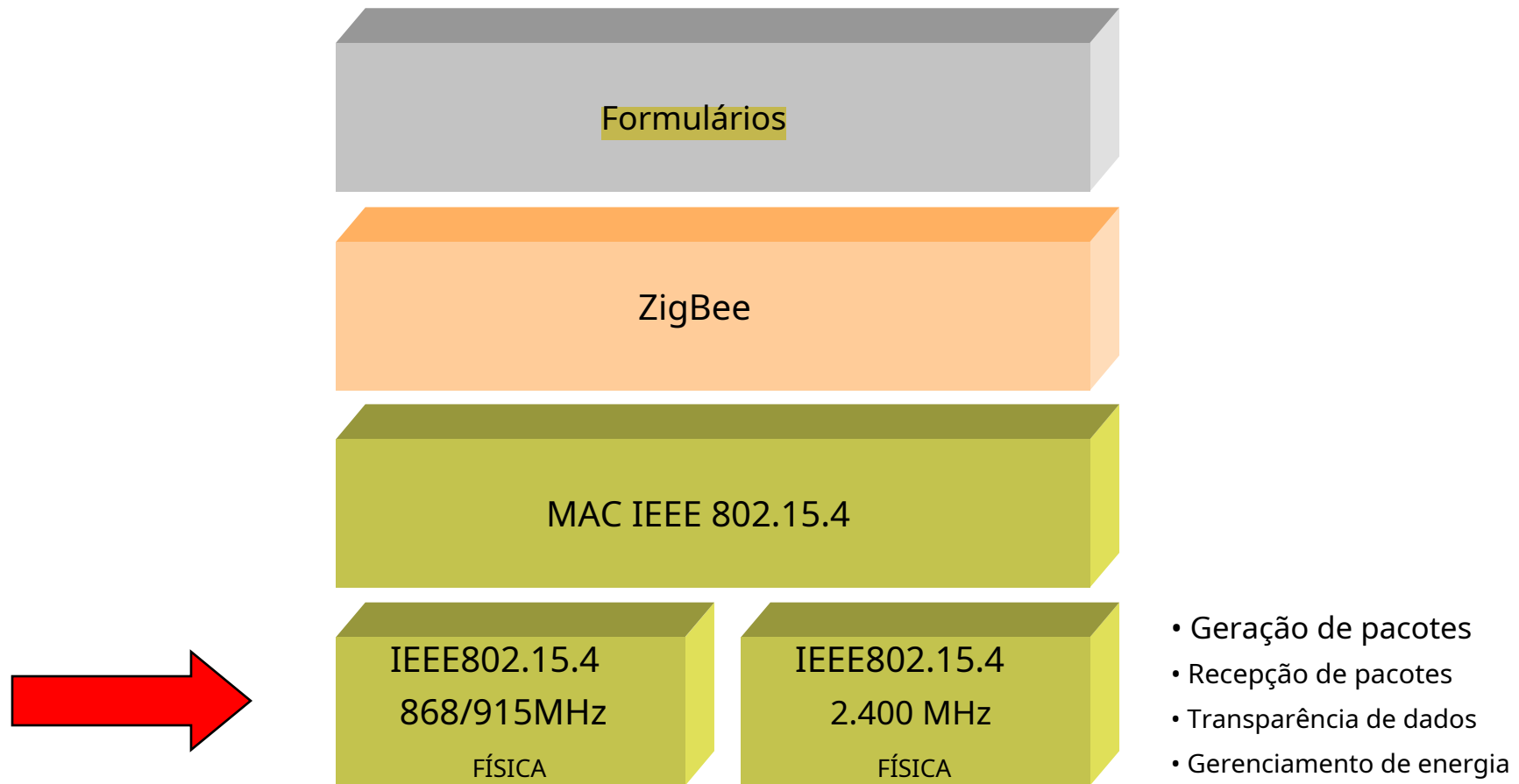
- otimizado para baixo consumo de energia
- tipo de dispositivo mais barato
  - sensor seria implantado aqui



Lembre-se: FFD – Dispositivo de Função Completa

RFD – Dispositivo de Função Reduzida

# 802.15.4/Arquitetura ZigBee



## Noções básicas de IEEE 802.15.4

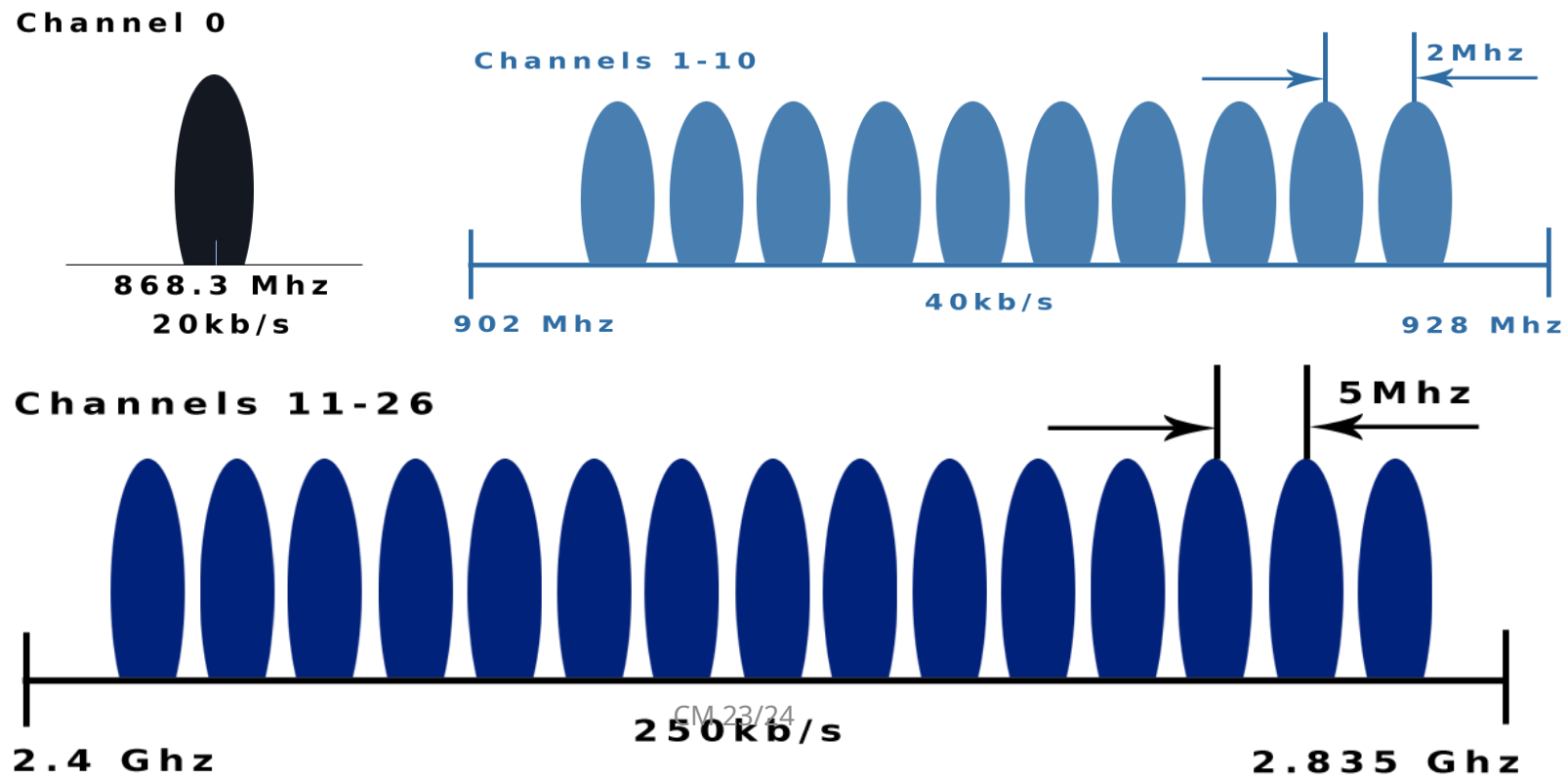
- 802.15.4 é um protocolo simples de pacotes de dados para redes sem fio leves
  - O acesso ao canal é feito através **Carrier Sense Multiple Access com prevenção de colisão** e intervalo de tempo opcional
  - Reconhecimento de mensagem e uma estrutura de beacon opcional
  - Segurança multinível
  - Funciona bem para
    - Bateria de longa duração, latência selecionável para controladores, sensores, monitoramento remoto e eletrônicos portáteis
  - Configurado para máxima vida útil da bateria, tem potencial para durar tanto quanto a vida útil da maioria das baterias

# 802.15.4 Características gerais

- Taxas de dados de 250 kbps, 20 kbps e 40kbps.
- Operação estrela ou ponto a ponto.
- Suporte para dispositivos de baixa latência.
- Acesso ao canal CSMA-CA, com detecção CCA
  - Avaliação de canal claro
- Endereçamento dinâmico de dispositivos.
- Protocolo totalmente handshake para confiabilidade de transferência.
- Baixo consumo de energia.
- 16 canais na banda ISM de 2,4 GHz
- 10 canais na banda ISM de 915 MHz
- um canal na banda europeia de 868 MHz.
- Ciclo de trabalho extremamente baixo (<0,1%)

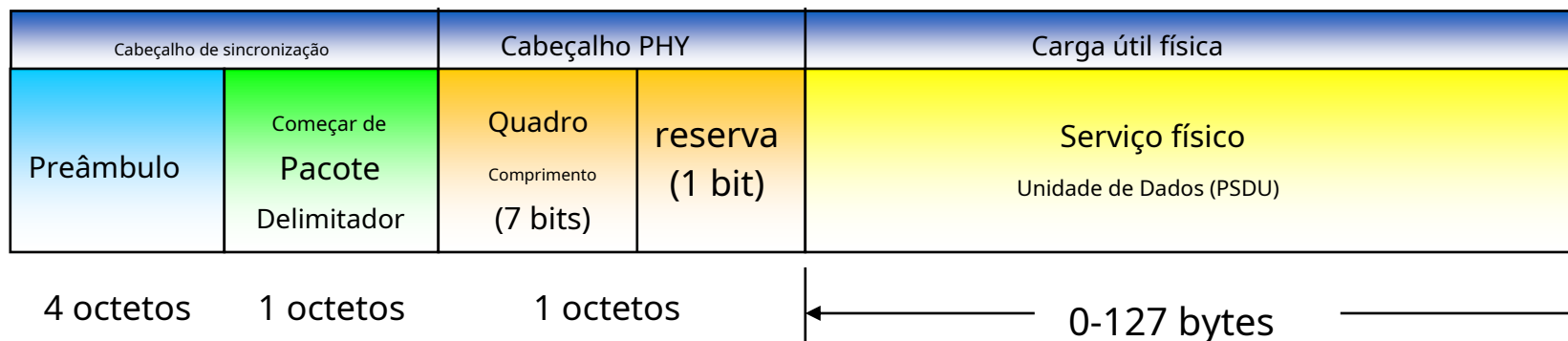
## Opera em bandas não licenciadas

- **Banda Global ISM 2,4 GHz a 250 kbps**
- **Banda Europeia de 868 MHz a 20kbps**
- **Banda norte-americana de 915 MHz a 40kbps**

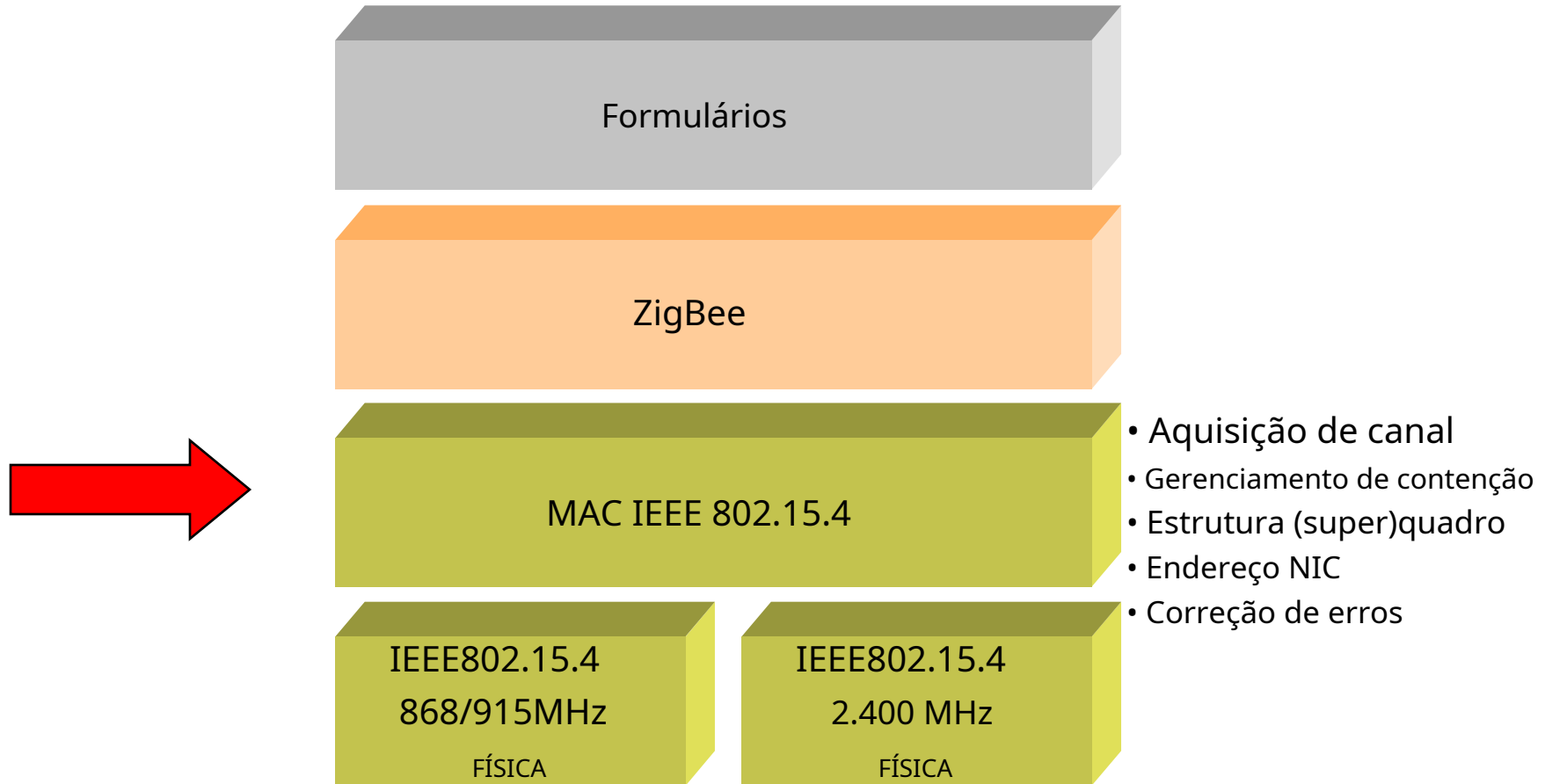


# Estrutura do quadro PHY

- Campos de pacote PHY
  - Preâmbulo (32 bits) – sincronização
  - Delimitador de início do pacote (8 bits) – deve ser formatado como “11100101”
  - Cabeçalho PHY (8 bits) – Comprimento PSDU
  - PSDU (0 a 127 bytes) – campo de dados



# Arquitetura 802.15.4 (MAC)



## Drivers de design MAC IEEE 802.15.4

- Custo extremamente baixo
- Facilidade de implementação
- Transferência de dados confiável
- Operação de curto alcance
- Consumo de energia muito baixo

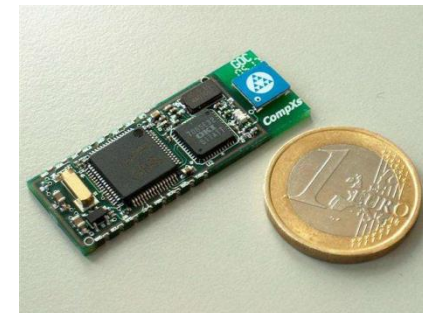
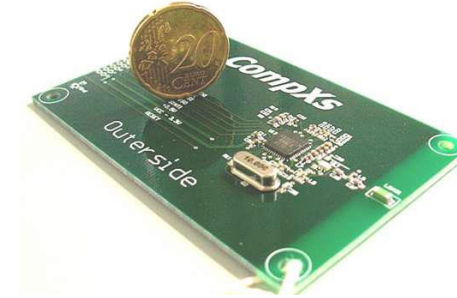
Protocolo simples, mas flexível



# Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

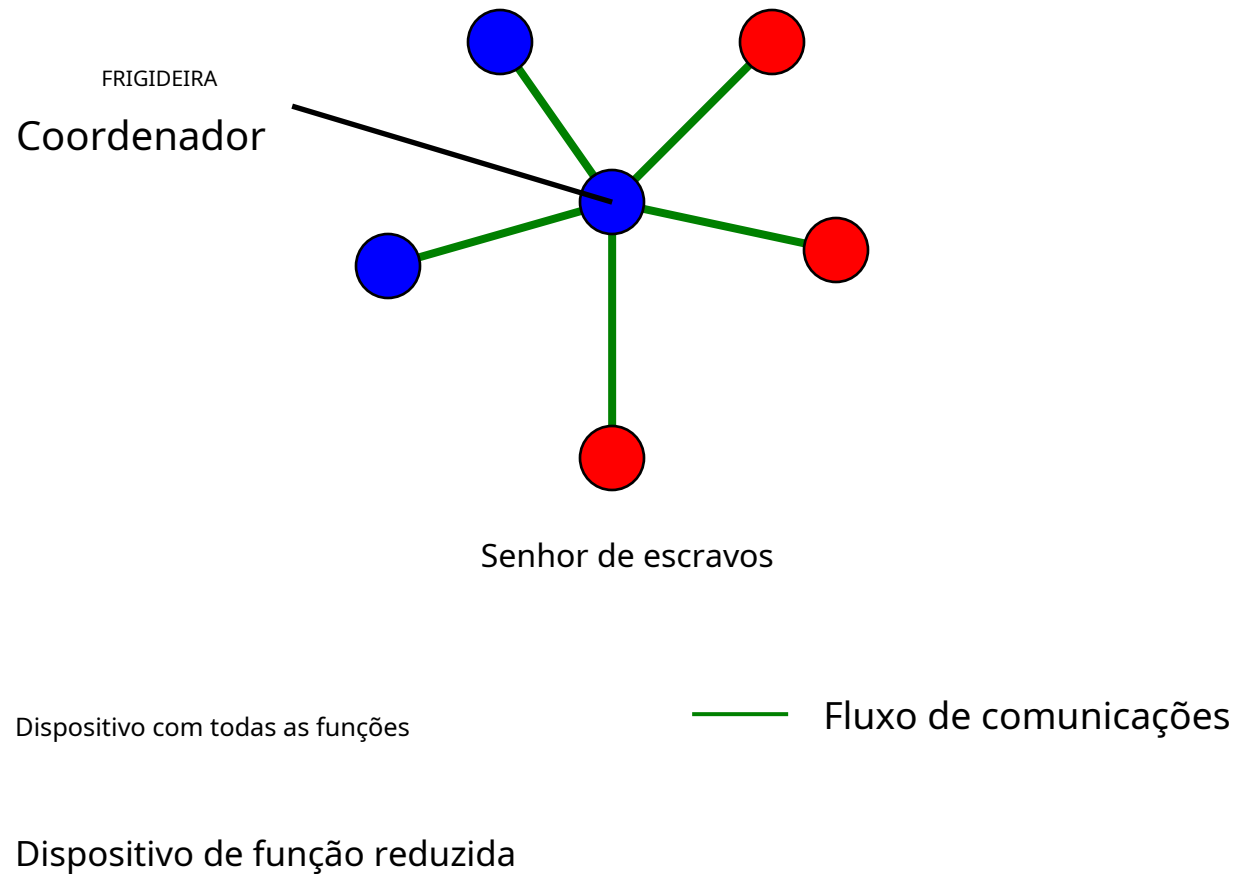
## Classes de dispositivos

- Dispositivo de função completa (FFD)
  - Qualquer topologia
  - Coordenador de rede capaz
  - Fala com qualquer outro dispositivo
  - O FFD pode operar em três modos servindo
    - Dispositivo
    - Coordenador
    - Coordenador do PAN
- Dispositivo de função reduzida (RFD)
  - Limitado à topologia em estrela
  - Fala apenas com um coordenador de rede
    - Não é possível se tornar um coordenador de rede
  - Implementação muito simples



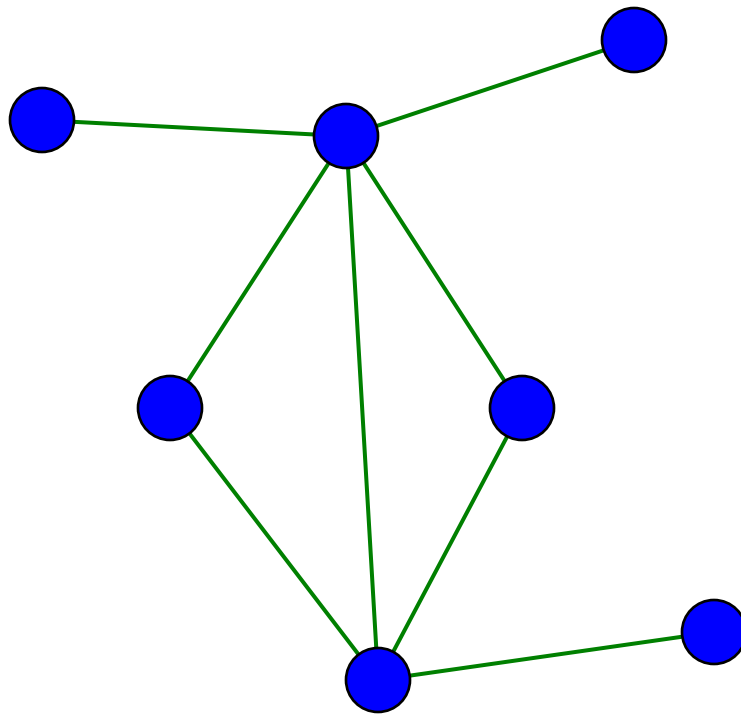
# Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

Topologia em estrela

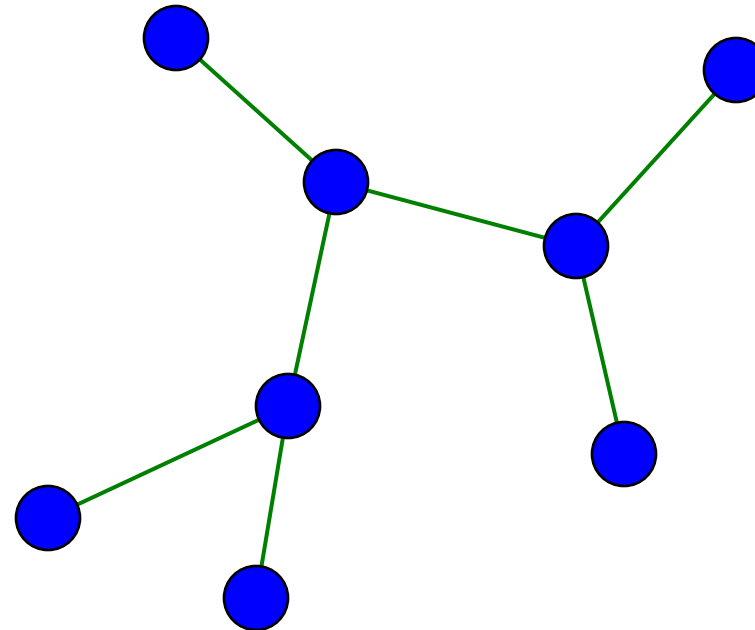


# Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

Topologias de malha (Peer-Peer) e árvore de cluster



Malha



Árvore de cluster



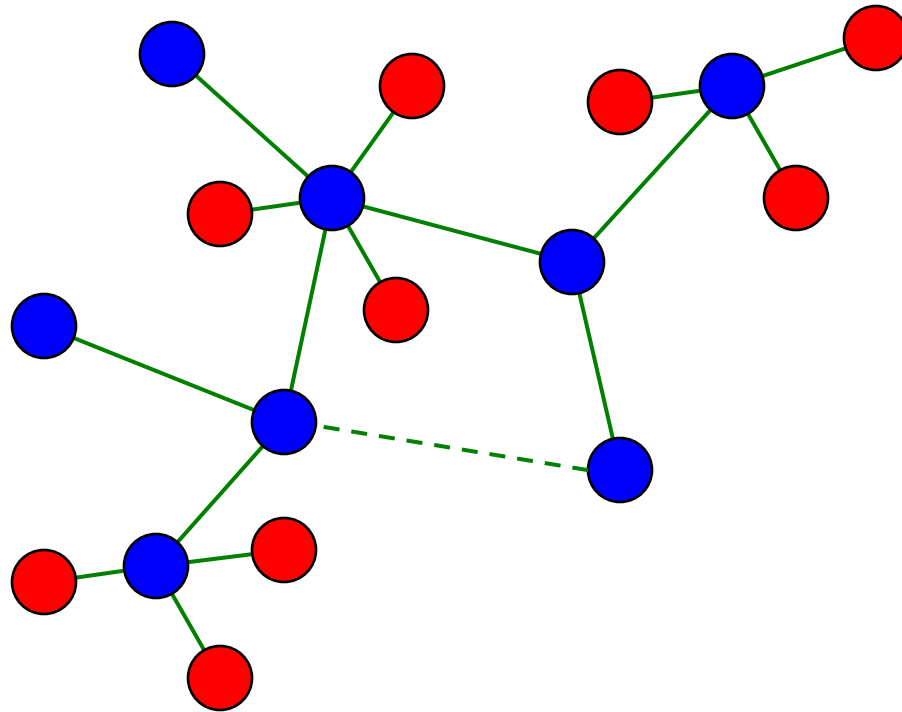
Dispositivo com todas as funções



Fluxo de comunicações

# Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

## Topologia Combinada



*Estrelas agrupadas*-por exemplo, existem nós de cluster entre quartos de um hotel e cada quarto possui uma rede em estrela para controle.

Pode ter uma estrutura de malha em alguns casos também



Dispositivo com todas as funções



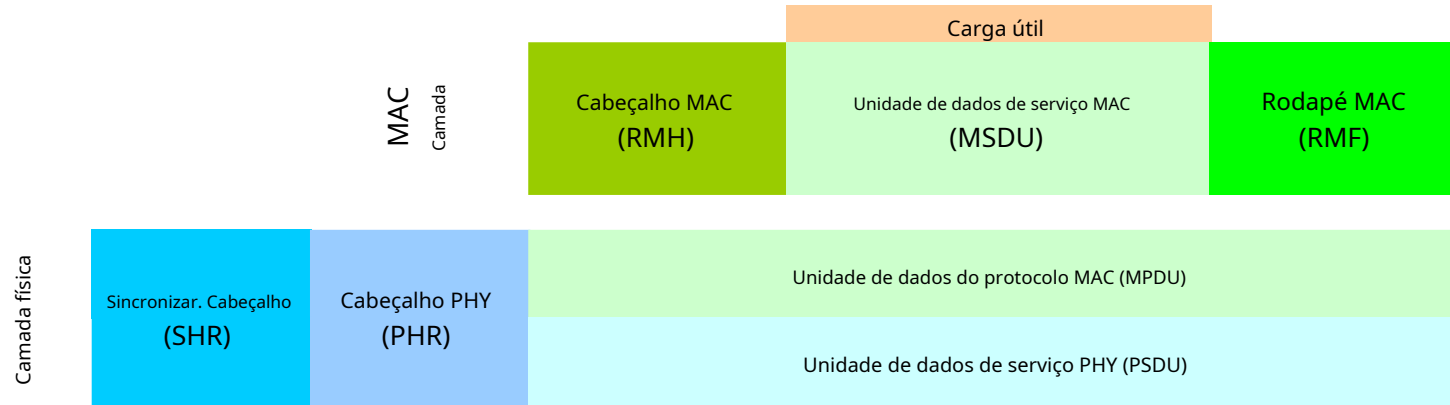
Dispositivo de função reduzida



Fluxo de comunicações

# Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

## Estrutura Geral do Quadro



## 4 tipos de quadros MAC:

- Quadro de dados
- Quadro de farol
- Quadro de reconhecimento
- Quadro de comando MAC

# Camada MAC

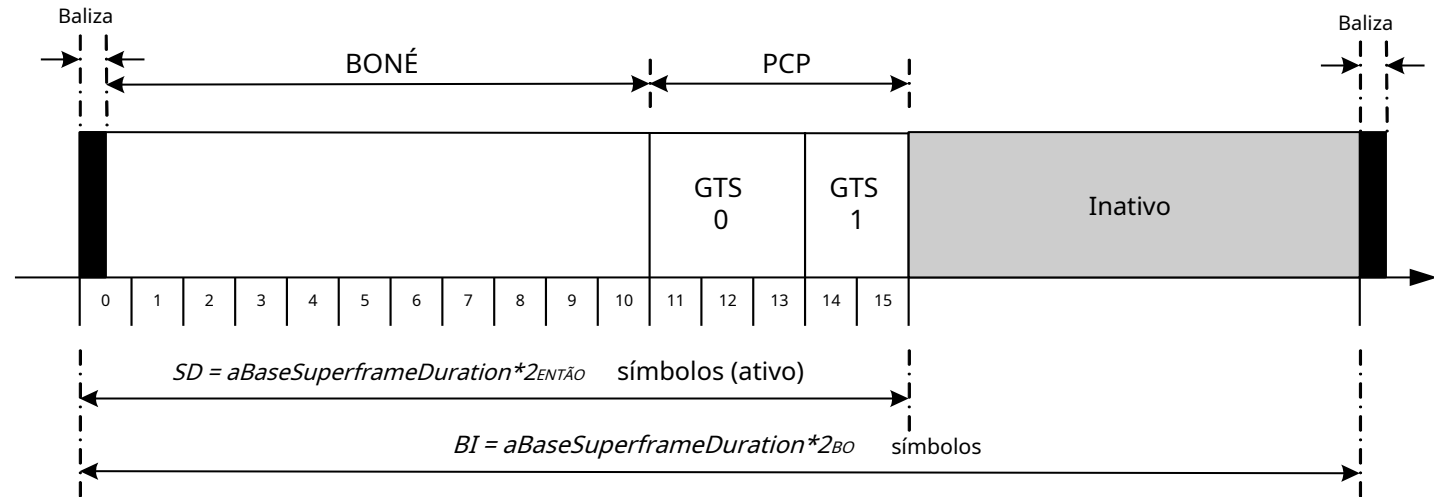
## Gerenciando PANs

- Varredura de canal (detecção de energia, ativa, passiva, órfã – verifica se ainda tem um pai)
- Detecção e resolução de conflitos de PAN ID
- Iniciando um PAN
- Enviando beacons
- Descoberta, associação/desassociação de dispositivos
- Sincronização (beacon/nonbeacon)
- Realinhamento de dispositivos órfãos

## Tratamento de transferência

- Baseado em transação (transmissão indireta)
  - Indicação de farol
  - Votação
- Transmissão, Recepção, Rejeição, Retransmissão
  - Reconhecido / Não reconhecido
- Gestão GTS
  - Alocação/desalocação/Realocação
  - Uso

# Superquadro



- Um coordenador em um PAN pode opcionalmente vincular o tempo do canal usando uma estrutura SuperFrame
  - vinculado por quadros de farol
- Um superquadro é dividido em duas partes
  - Inativo: todos os dispositivos dormem (incluindo o coordenador)
  - **Ativo:**
    - Período ativo será dividido em 16 vagas
    - 16 slots podem ainda ser divididos em duas partes
      - Período de acesso à contenção
      - Período livre de contenção

CAP – Período de acesso de contenção

CFP – Período livre de contenção

SD – Duração do superframe

BI – Intervalo de Beacon

# Superquadro

- Os faróis são usados para
  - iniciando superframes
  - sincronizando com dispositivos associados
  - anunciando a existência de um PAN
  - informando dados pendentes nos coordenadores
- Em uma rede habilitada para beacon,
  - Os dispositivos usam o **CSMA/CA com fenda** mecanismo para competir pelo uso de canais
  - FFDs que exigem taxas fixas de transmissão podem solicitar *garantir horários (GTS)* do coordenador