

Redes de Satélite

Redes de sensores sem fio

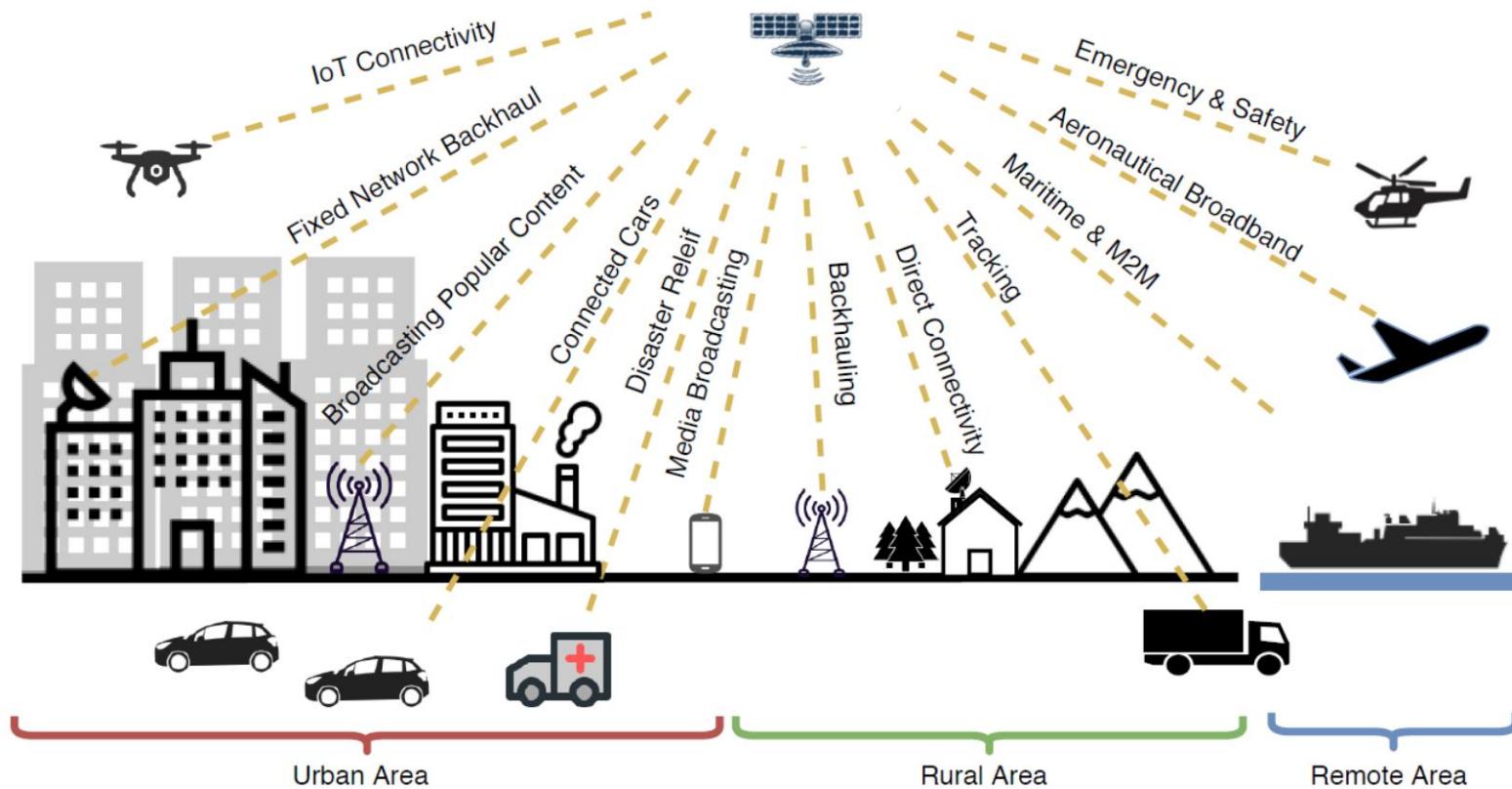
Daniel Corujo, dcorujo@ua.pt
Francisco Fontes, fontes@ua.pt
2023/2024

Redes de satélite

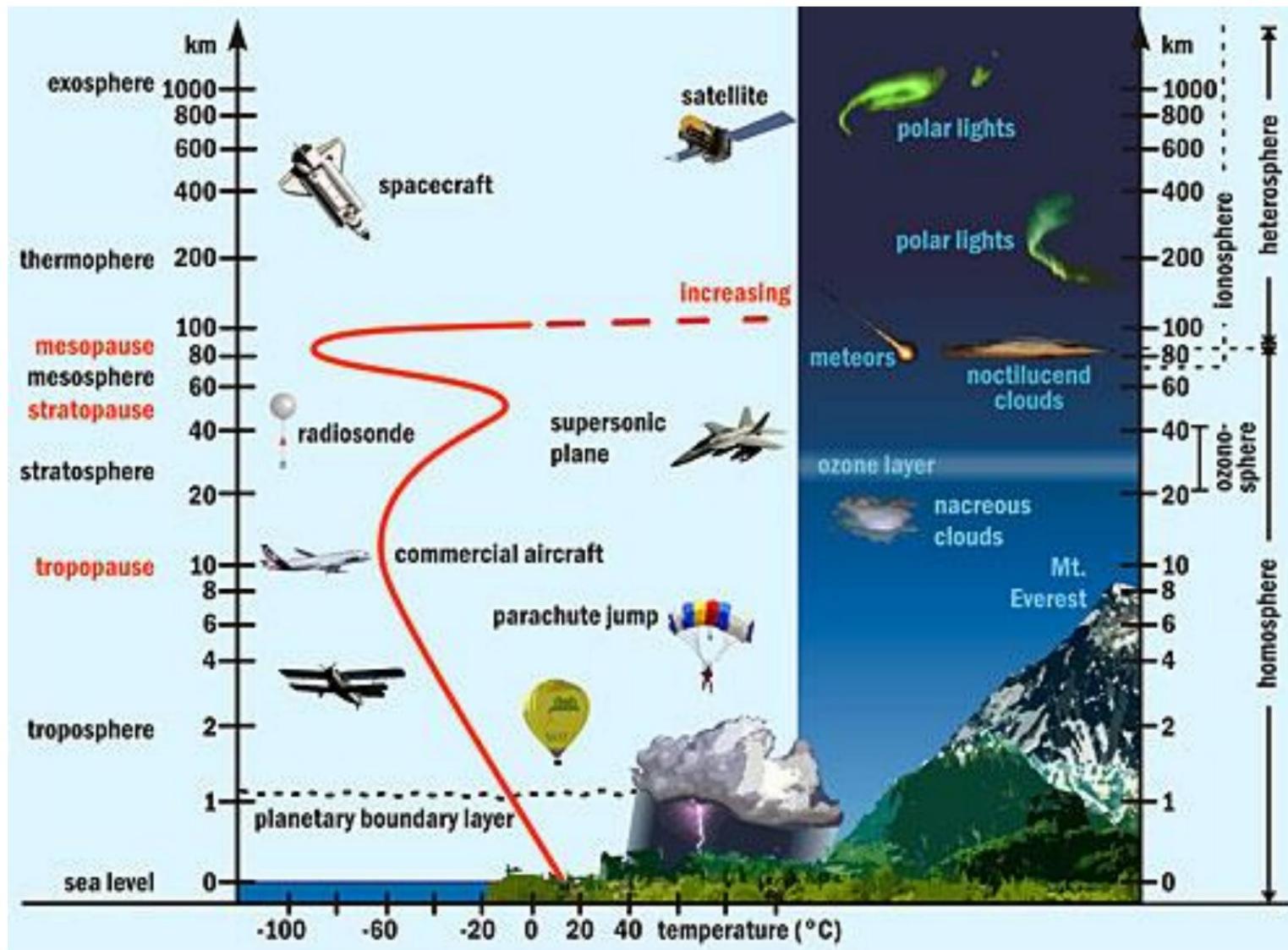
SATÉLITES



Distância: 378.000 km
Período: 27,3 dias



atmosfera da Terra



Fundamentos

órbitas elípticas ou circulares

tempo de rotação completo depende da distância satélite-terra e inclinação:

ângulo entre a órbita e o equador é elevação: ângulo

entre o satélite e o horizonte LOS (Line of Sight) ao

satélite necessário para conexão

é alta elevação necessária, menor absorção devido, por exemplo, a edifícios

Uplink: conexão estação base - satélite

Downlink: conexão satélite - estação base

frequências normalmente separadas para uplink e downlink

- transponder usado para envio/recepção e mudança de frequências
- transponder

- transparente: apenas mudança de frequências
- transponder

- regenerativo: adicionalmente regeneração de sinal

Recursos de redes de satélite

- Efeitos da mobilidade por satélite

- A topologia é dinâmica.
- As alterações de topologia são previsíveis e periódicas.
- O tráfego é muito dinâmico e não homogéneo.
- As

transferências são necessárias.

- Limitações e capacidades dos satélites

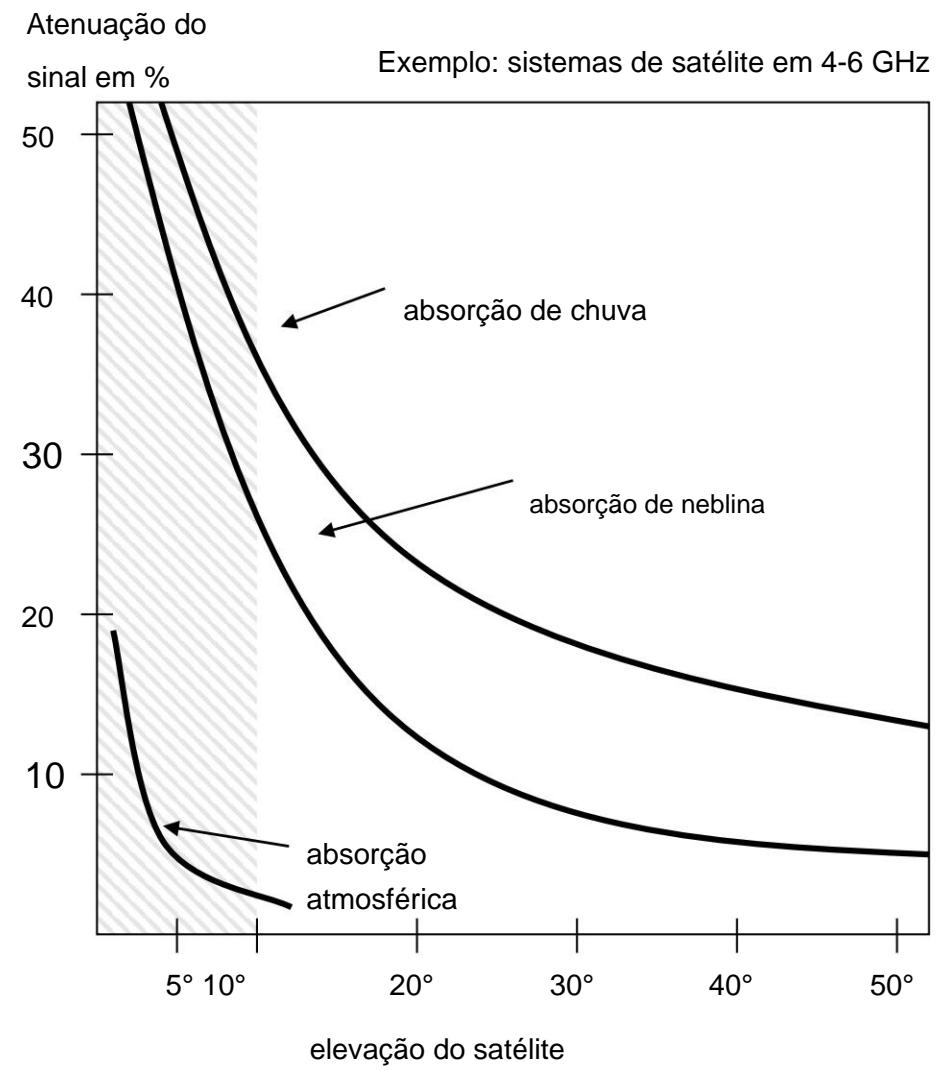
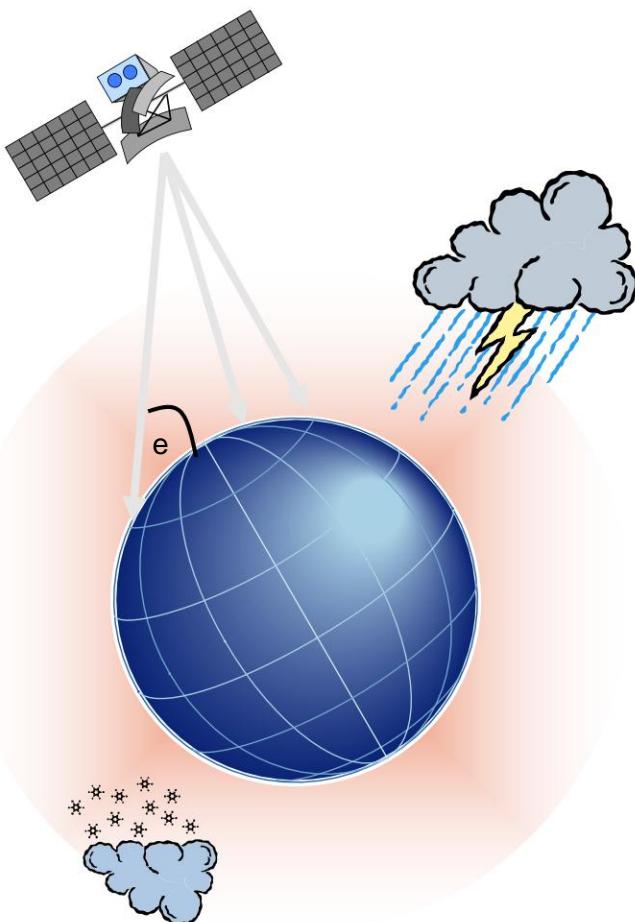
- A potência e a capacidade de processamento integrada são limitadas.
- A implementação da tecnologia de ponta é difícil.
- Os satélites têm uma natureza de radiodifusão.

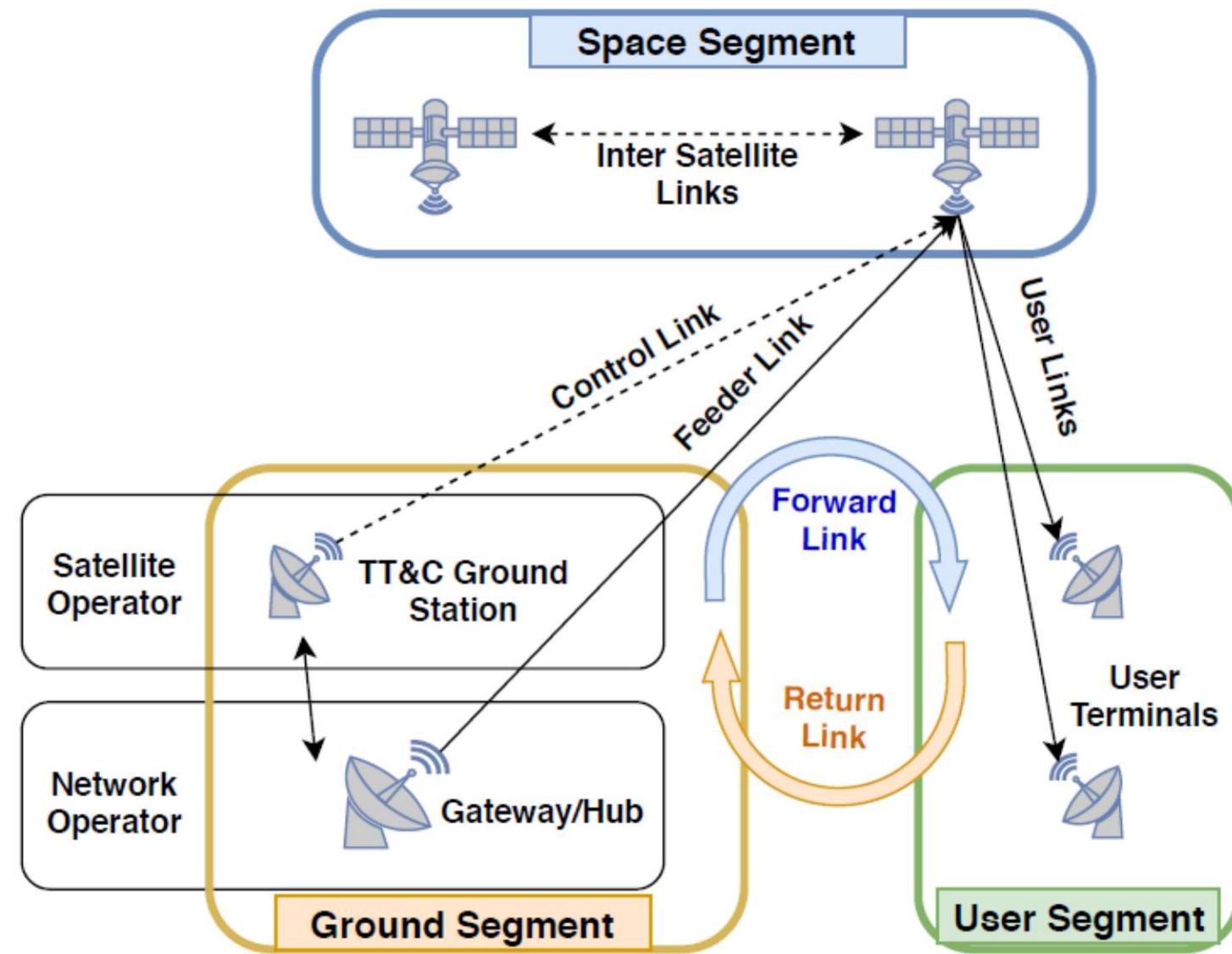
- Natureza das constelações de satélites

- Maiores atrasos de propagação.
- Número fixo de nós.

Estrutura altamente simétrica e uniforme.

Atenuação atmosférica





- Links ascendentes e descendentes de satélite podem operar em diferentes bandas de frequência:

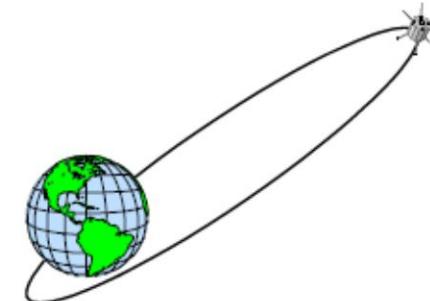
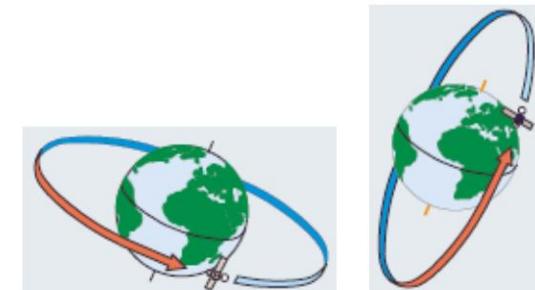
Frequency Bands	Downlink Channel (DL)	Uplink Channel (UL)	
L Band	1.535-1.56 GHz	1.635-1.66 GHz	Comunicações móveis/fixas, GPS
S Band	2.5-2.54 GHz	2.65-2.69 GHz	Comunicações diretas para sábado
C Band	3.7-4.2 GHz	5.9-6.4 GHz	TV bcast., alguns Wi-Fi, telefones e radares meteorológicos
X Band	7.25-7.75 GHz	7.9-8.4 GHz	Comunicações do espaço profundo.
Ku Band	10-13 GHz	14-17 GHz	Backhauls, estúdios de TV
Ka Band	18-20 GHz	27-31 GHz	Radares em aviões militares

- O link ascendente é um link ponto a ponto altamente direcional • O link descendente pode ter uma área de cobertura fornecendo cobertura para uma área substancial área "feixe pontual".

Tipos de órbitas de satélite

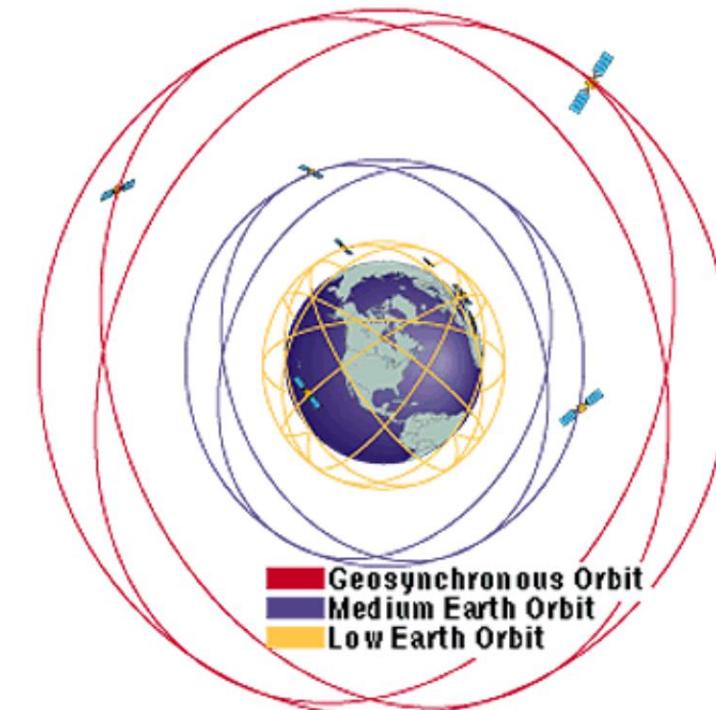
- Com base na inclinação, “i”, sobre o plano equatorial:
 - Órbitas Equatoriais acima do equador da Terra ($i=0^\circ$)
 - Órbitas polares passam sobre ambos os pólos ($i=90^\circ$)
 - Outras órbitas chamadas órbitas inclinadas ($0^\circ < i < 90^\circ$)

- Baseado na Excentricidade
 - Circular com centro no centro da Terra
 - Elíptico com um foco no centro da Terra

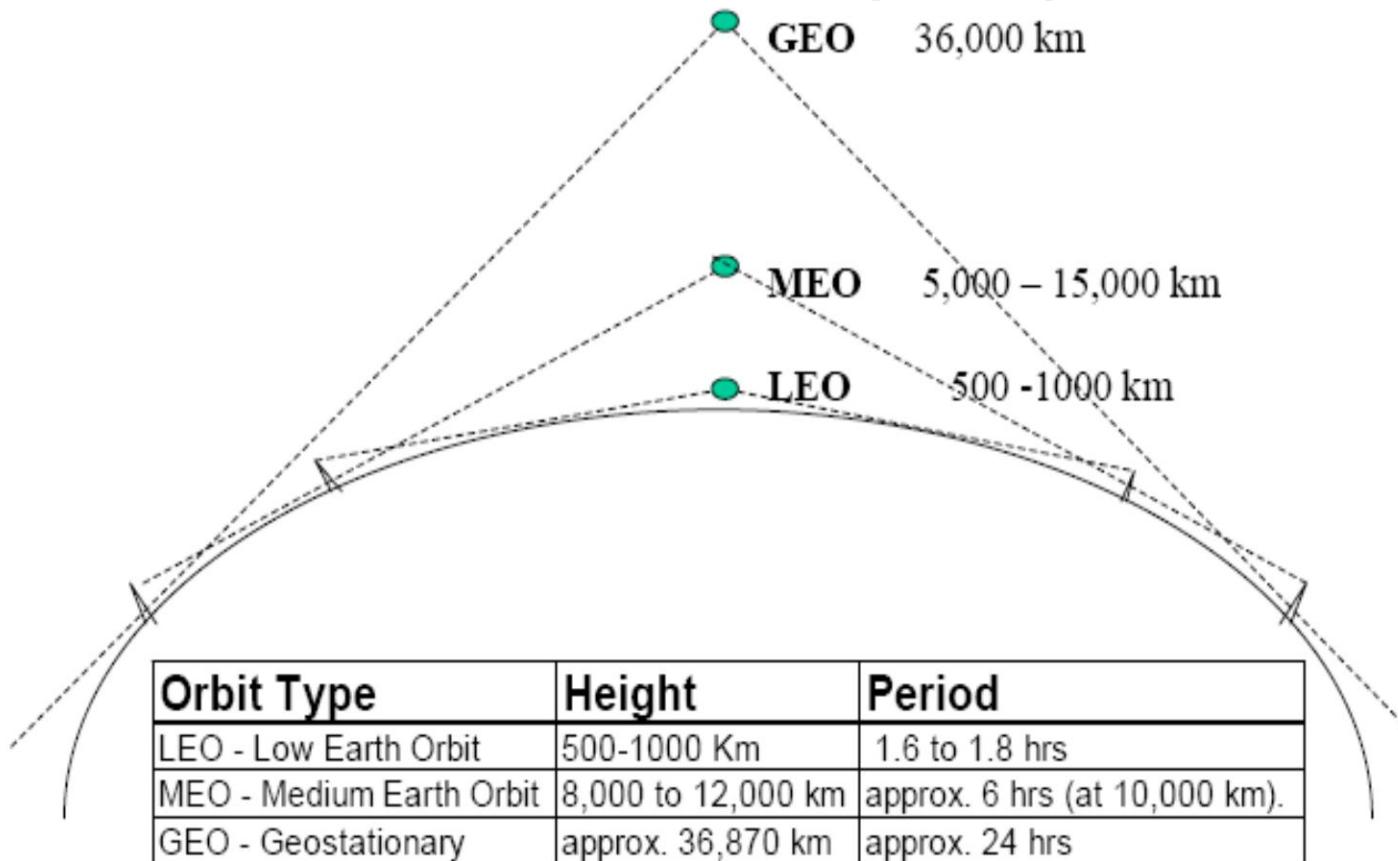


Tipos de satélite baseados Redes

- Com base na altitude do satélite
 - GEO – Órbitas Geoestacionárias
 - 36.000 Km = 22.300 Milhas, equatorial, Alta latência •
 - MEO – Órbitas Terrestres Médias
 - Alta largura de banda, alta potência, Alta latência
 - LEO – Órbitas Terrestres Baixas
 - Baixo consumo de energia, baixa latência, mais Satélites, pegada pequena
 - VSAT
 - Satélites de abertura muito pequena
 - WANs privadas



Órbitas de satélite – Outra perspectiva



GEO - Órbita Geoestacionária

ÿ No plano equatorial

ÿ Período orbital = 23 h 56 m 4,091 s

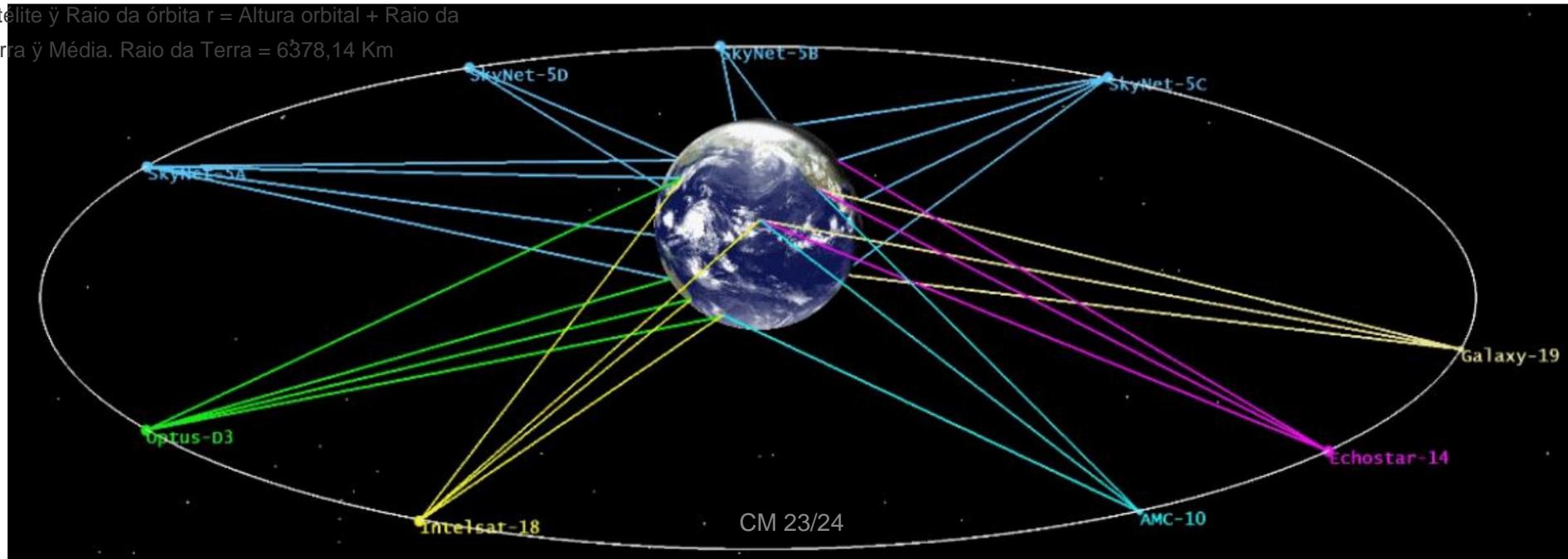
= 1 dia sideral*

ÿ O satélite parece estar estacionário sobre qualquer ponto do equador:

ÿ A Terra gira na mesma velocidade que o

satélite ÿ Raio da órbita $r = \text{Altura orbital} + \text{Raio da}$

Terra ÿ Média. Raio da Terra = 6378,14 Km



Satélites GEO

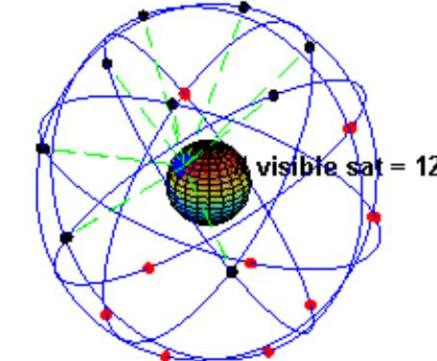
- Sem transferência
- Atraso de propagação unidirecional: 250-280 ms • 3 a 4 satélites para cobertura global • Usado principalmente em transmissão de vídeo • Outras aplicações: • Previsão do tempo, comunicações globais, aplicações militares
- Vantagem: adequado para serviços de transmissão • Desvantagens: Longo atraso, alta atenuação de espaço livre

Satélites MEO

- Atraso de propagação unidirecional: 100 – 130 ms •
- 10 a 15 satélites para cobertura global •
- Transferência pouco frequente • Período de órbita: ~6 horas • Usado principalmente em navegação • GPS, Galileo, Glonass
- Comunicações: Inmarsat, ICO

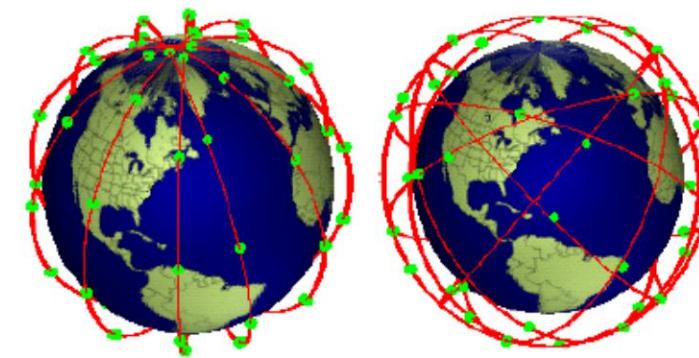
Exemplo MEO: GPS

- Sistema de Posicionamento Global
 - Desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA
 - Tornou-se totalmente operacional em 1993
 - Atualmente 31 satélites a 20.200 km.
 - Último almoço: março de 2008
- Funciona com base em um princípio geométrico
 - “A posição de um ponto pode ser calculada se as distâncias entre este ponto e três objetos com posições conhecidas podem ser medidos”
- São necessários quatro satélites para calcular a posição
 - É necessário um quarto satélite para corrigir o relógio do receptor.
- Disponibilidade Seletiva
- Glonass (russo): 24 satélites, 19.100 km
- Galileo (UE): 30 satélites, 23.222 km, em desenvolvimento (data prevista: 2013)
- Beidou (China): Atualmente experimental e limitado.



LEO - Órbitas Terrestres Baixas

- Órbita circular ou inclinada com altitude < 1.400 km
 - O satélite viaja pelo céu de horizonte a horizonte em 5 a 15 minutos => precisa de transferência
 - As estações terrenas devem rastrear satélites ou ter omnidirecional antenas
 - É necessária uma grande constelação de satélites para comunicação contínua (66 satélites necessários para cobrir a Terra)
 - Requer arquitetura complexa
 - Requer rastreamento no solo



Satélites LEO

- Atraso de propagação unidirecional: 5 – 20 ms
- Mais de 32 satélites para cobertura global
- Transferência frequente
- Período de órbita: ~2 horas
- Formulários:
 - Observação da Terra
 - Provedores de imagens do GoogleEarth (DigitalGlobe, etc.)
 - RASAT (primeiro satélite produzido exclusivamente na Turquia)
 - Comunicações
 - Globalstar, Iridium
 - Busca e Resgate (SAR)
 - COSPAS-SARSAT

Irídio

- 66 satélites (6 aviões, 11 satélites por avião) e 10 sobressalentes.

- Inclinação de 86,4°: cobertura total

- Altitude: 780 km

- Links intersatélites, processamento integrado •

Tempo de visibilidade do satélite: 11,1 min

- Satélites lançados em 1997-98.

- A empresa inicial entrou em falência. •

Tecnologicamente impecável, porém: •

Muito cara; Plano de negócios péssimo •

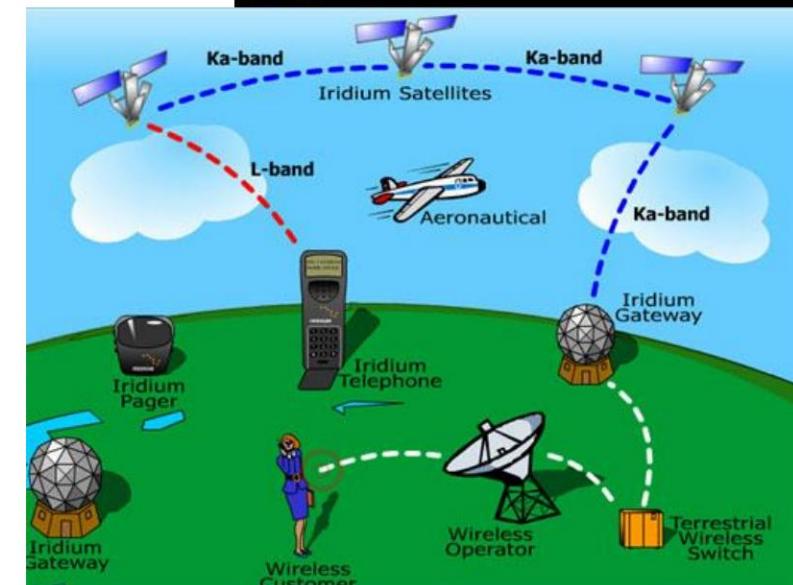
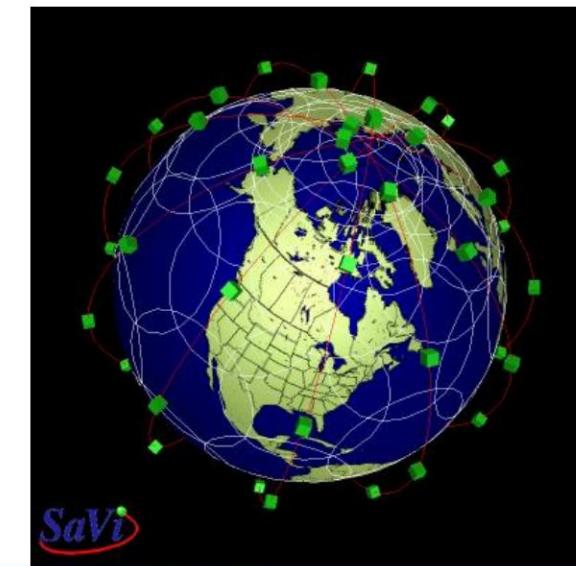
Não é possível competir com o GSM

- Agora, propriedade da Iridium Satellite LLC. •

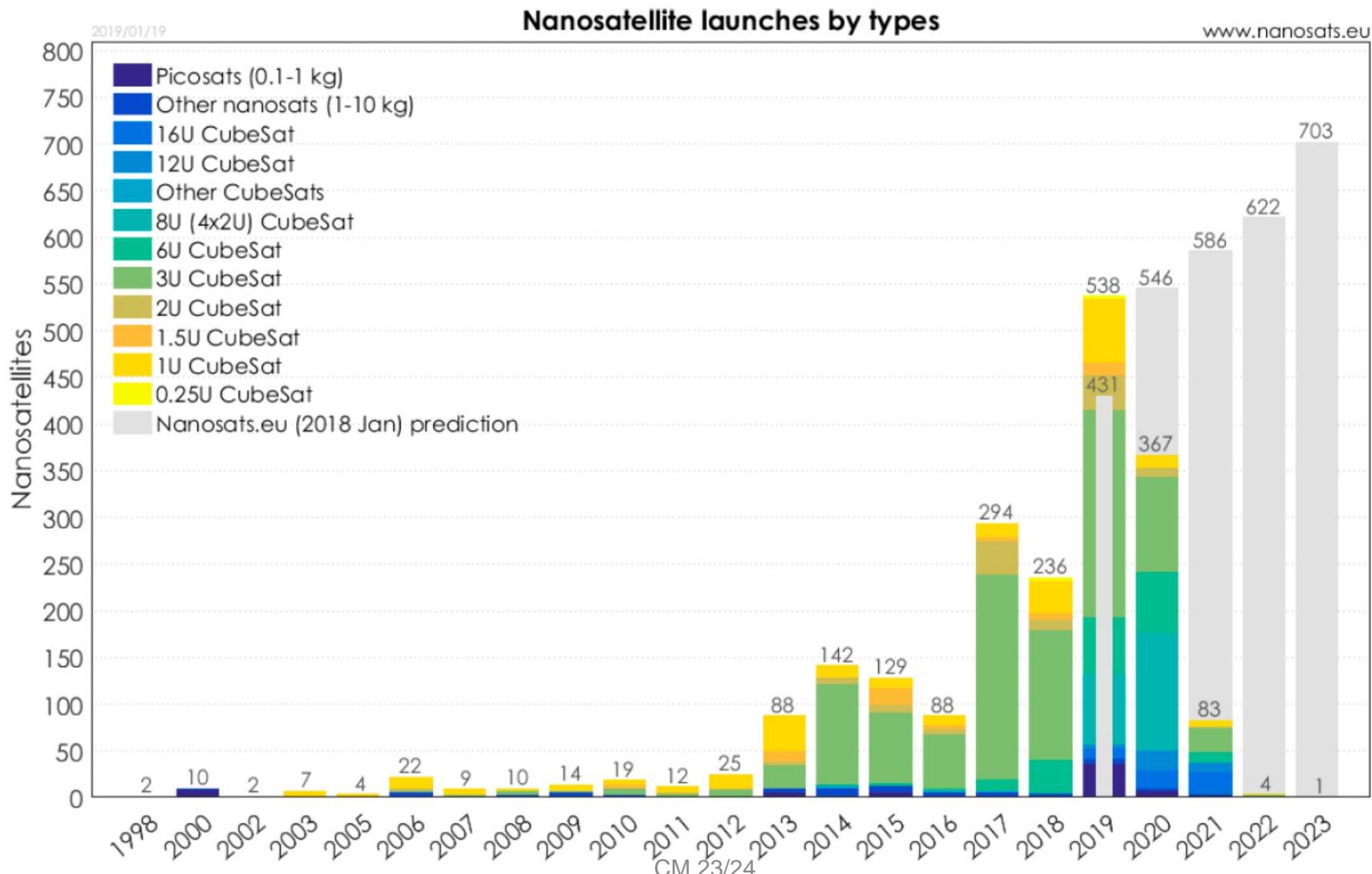
- 280.000 assinantes (em agosto de 2008) • Contrato

plurianual com o Departamento de Defesa

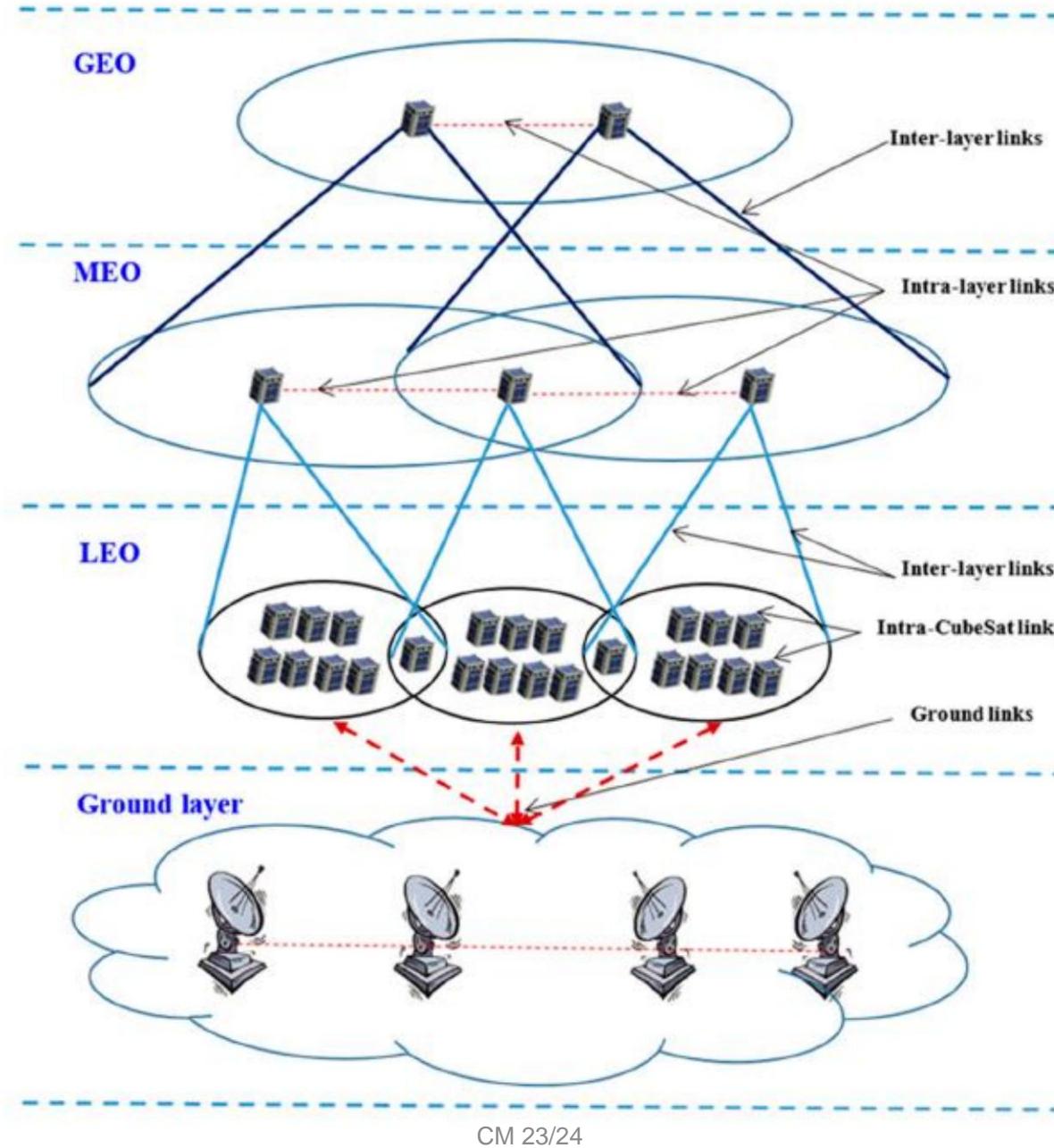
dos EUA. • Colisão de satélite (10 de fevereiro de 2009).



A explosão do cubesat



Challenges	Implications
Intermittent connectivity	<ul style="list-style-type: none"> - Satellites on this orbit are characterized by scheduled predictable/semi-predictable intermittent connectivity, whether for a satellite to ground links or inter-satellite links. - There are no contemporary paths present for satellite and ground station communication or cross-link communication.
Orbital period	<ul style="list-style-type: none"> - LEO satellite orbital velocity ≈ 7800 m/s, based on the satellite altitude orbital period of about 90–110 min for 160–1200 km altitudes respectively. - Limited encounter time between satellites which in turns bounds data transfer rate.
Inter-CubeSat links	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission range between two satellites, approximately 5–200 km. - The transmission range of inter-CubeSats is bound by cross-link antenna transmission power. - Limited antenna size and capability compared with the conventional satellites. - Limited antenna coverage compared with the conventional satellites.
Up/Downlinks with the ground station	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission range between satellite and ground station, approximately 200–1200 km - The transmission range of CubeSats is bounded by the downlink antenna transmit power. - Satellite revisit time Limited antenna size and capability
Altitude and inclination ranges	<ul style="list-style-type: none"> - Orbit altitude range is 200–1200 km above the Earth and orbit inclination ranges 0°–180°.
Natural drag	<ul style="list-style-type: none"> - Common de-orbiting behaviour leads to changes in orbital height and hence meeting time between CubeSats will also change over time. - Orbiting at lower altitudes increases the drag process. - The drag upscales with increasing solar activity (sunspots).
High failure rate	<ul style="list-style-type: none"> - Space radiation effects on electronic components, particularly Commercial-off-the Shelf (COTS) components. - Impossibility of recovery under failure.
Energy	<ul style="list-style-type: none"> - Solar cells limited space available on the small size of the CubeSat body. - Small storage batteries. - High power consumption of up/downlinks and cross-links.
Topology density	<ul style="list-style-type: none"> - Satellite dissemination and encounter times.
CubeSat stability on orbit	<ul style="list-style-type: none"> - There is no space on the CubeSats for advanced stability control devices. - Antenna directionality and steering ability.
Data rate	<p>CM 23/24</p> <ul style="list-style-type: none"> - A single CubeSat has limited data rate - CubeSat swarms and constellations can provide a higher overall system data rate, however, networking CubeSats in these systems is challenging and requires advanced routing protocols.

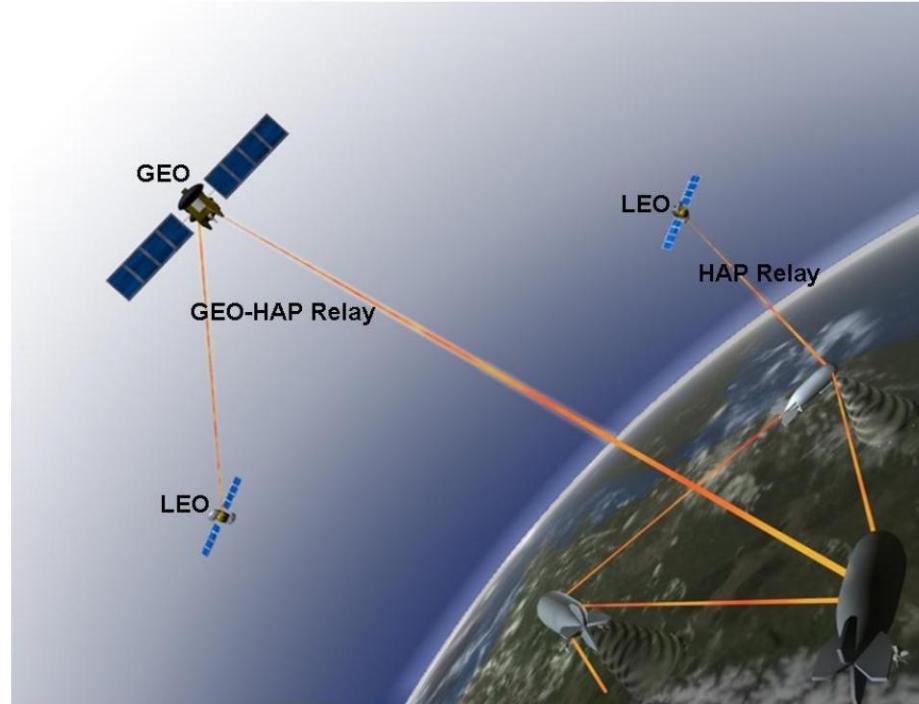


Plataformas de alta altitude (HAPs)

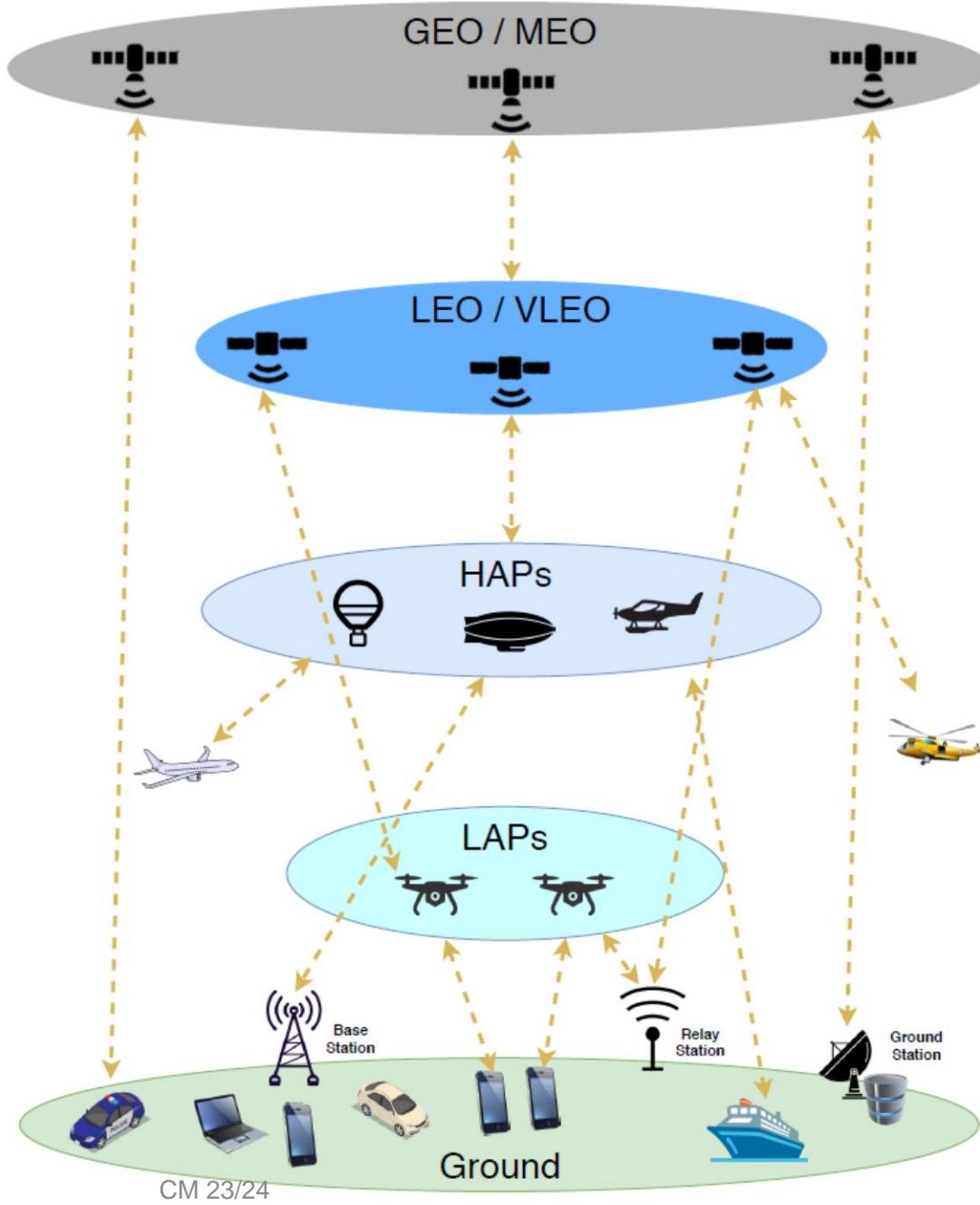
- Plataformas aéreas não tripuladas
- Posição quase estacionária (de 17 a 22 km)
- Telecomunicações e vigilância
- Vantagens:
 - Cobre áreas maiores do que estações base terrestres
 - Sem problemas de mobilidade como LEOs
 - Baixo atraso de propagação
 - Terminais de usuário menores e mais baratos
 - Implantação fácil e incremental
 - Desvantagens:
 - Tecnologia de dirigível imatura
 - Monitoramento do movimento da plataforma



Integração HAP-Satélite



- As PAH têm vantagens significativas.
- Os satélites ainda representam a solução mais atraente para transmissão e multicast
Serviços
- Devem ser consideradas como tecnologias complementares.

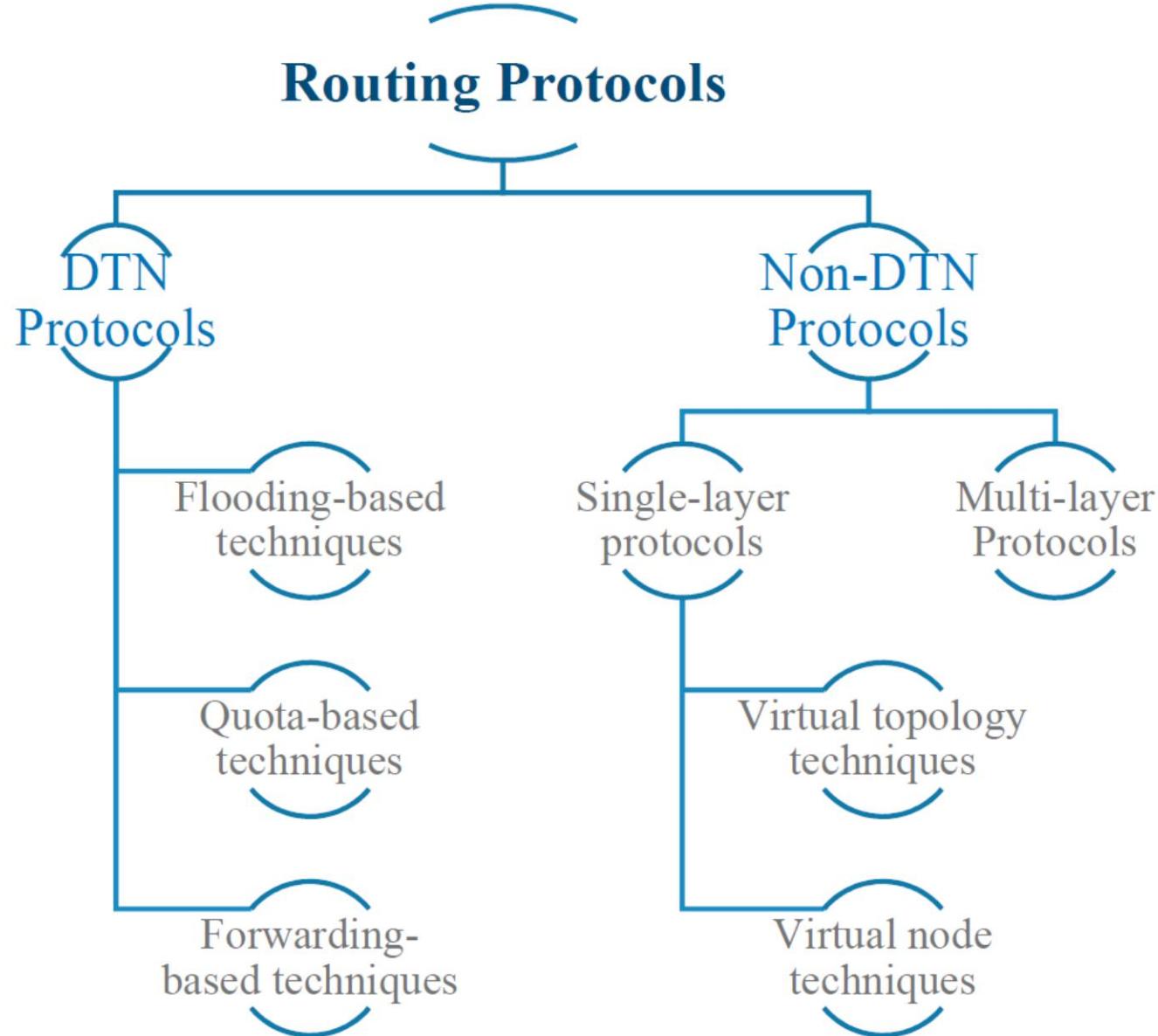


Satélites - Visão Geral

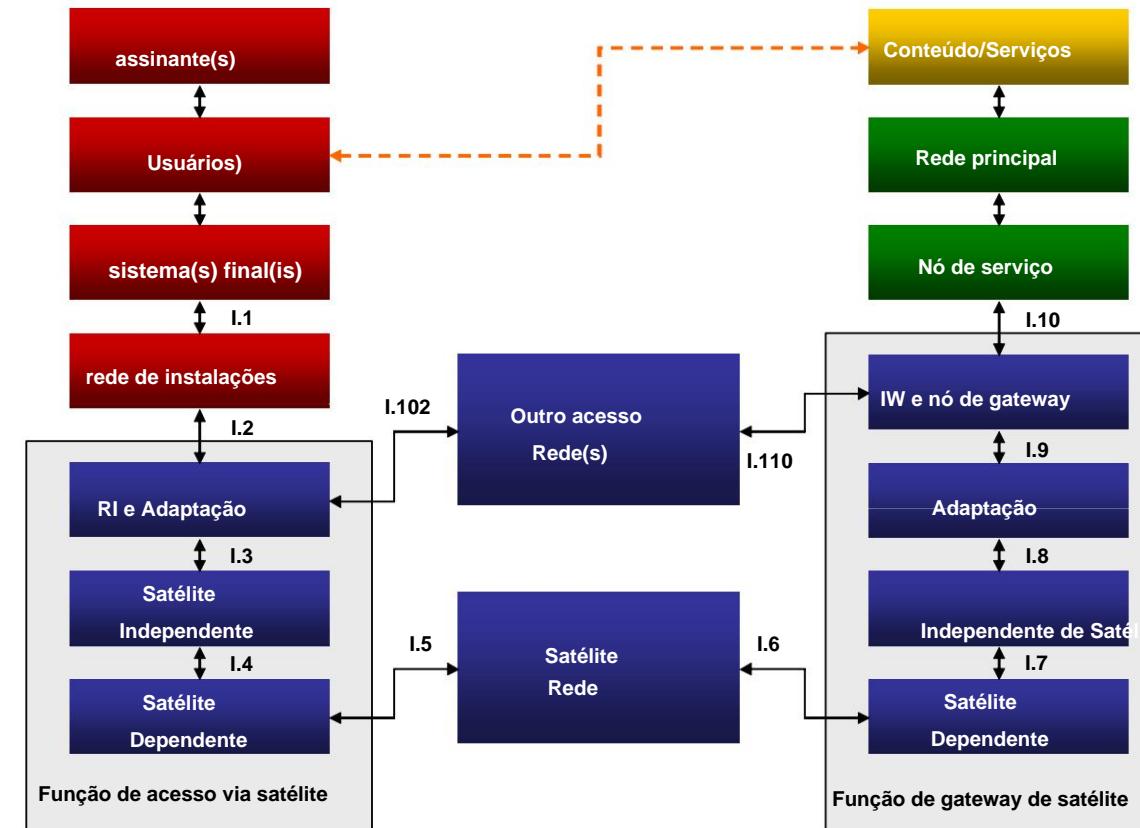
- GEOs têm boa capacidade de transmissão, mas longo atraso de propagação.
- LEOs oferecem baixa latência e baixos requisitos de energia terminal.
- Links entre satélites e processamento integrado para maior desempenho e melhor utilização de satélites
 - De espelhos voadores a roteadores inteligentes no céu.
- Grande problema com LEOs: Mobilidade dos satélites •
Transferência frequente
- Outro problema importante com satélites:
 - Inviável atualizar a tecnologia, após o lançamento do satélite

Roteamento

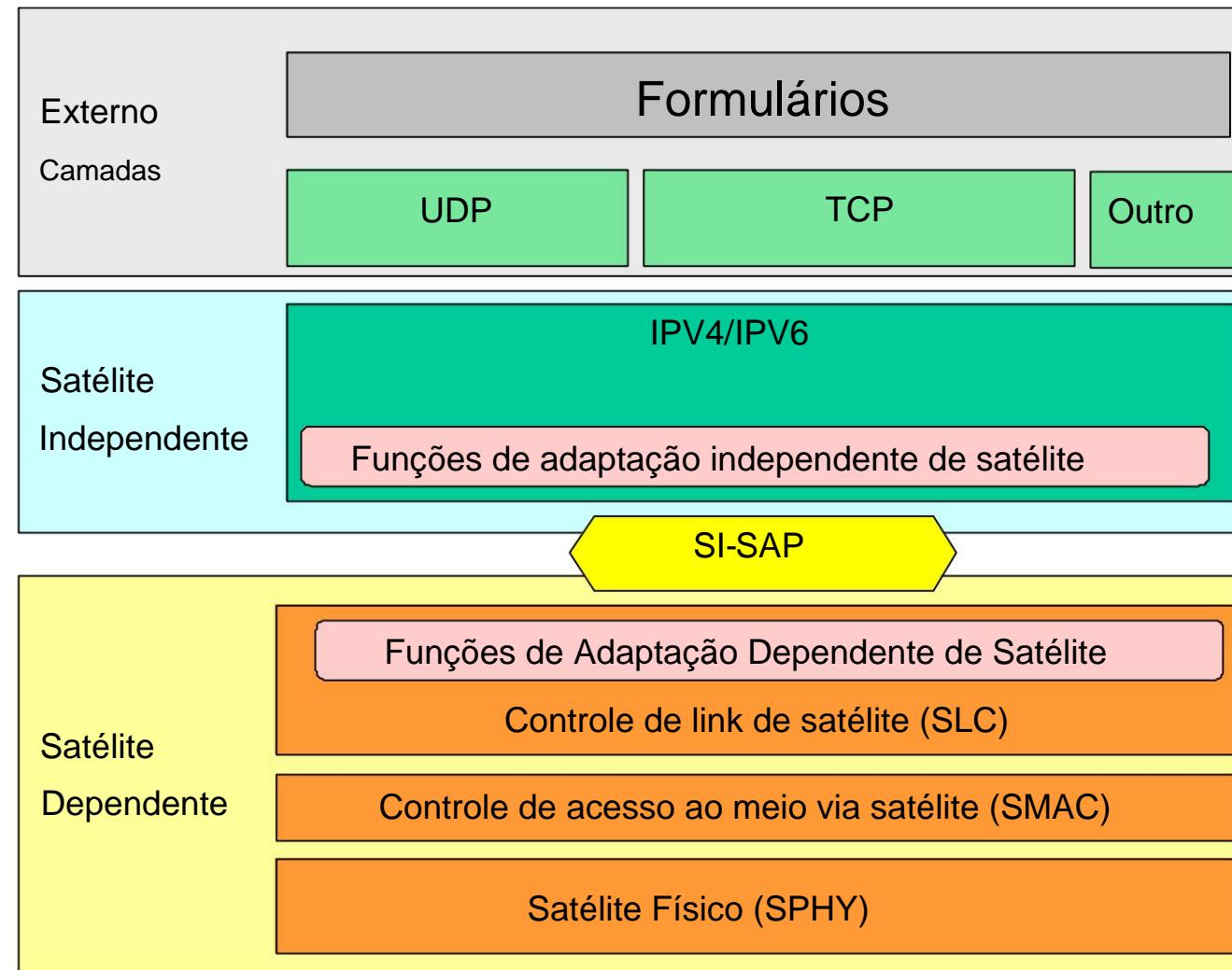
- Uma solução: links entre satélites (ISL)
 - ↳ redução do número de gateways necessários
 - ↳ encaminhar conexões ou pacotes de dados dentro da rede de satélite pelo maior tempo possível
 - ↳ é necessário apenas um uplink e um downlink por direção para a conexão de dois telefones celulares
- Problemas:
 - ↳ foco mais complexo de antenas entre satélites → alta complexidade do sistema devido à movimentação de roteadores
 - ↳ maior consumo de combustível
 - ↳ vida útil mais curta
- Iridium e Teledesic planejados com ISL
- Outros sistemas utilizam gateways e, adicionalmente, redes terrestres



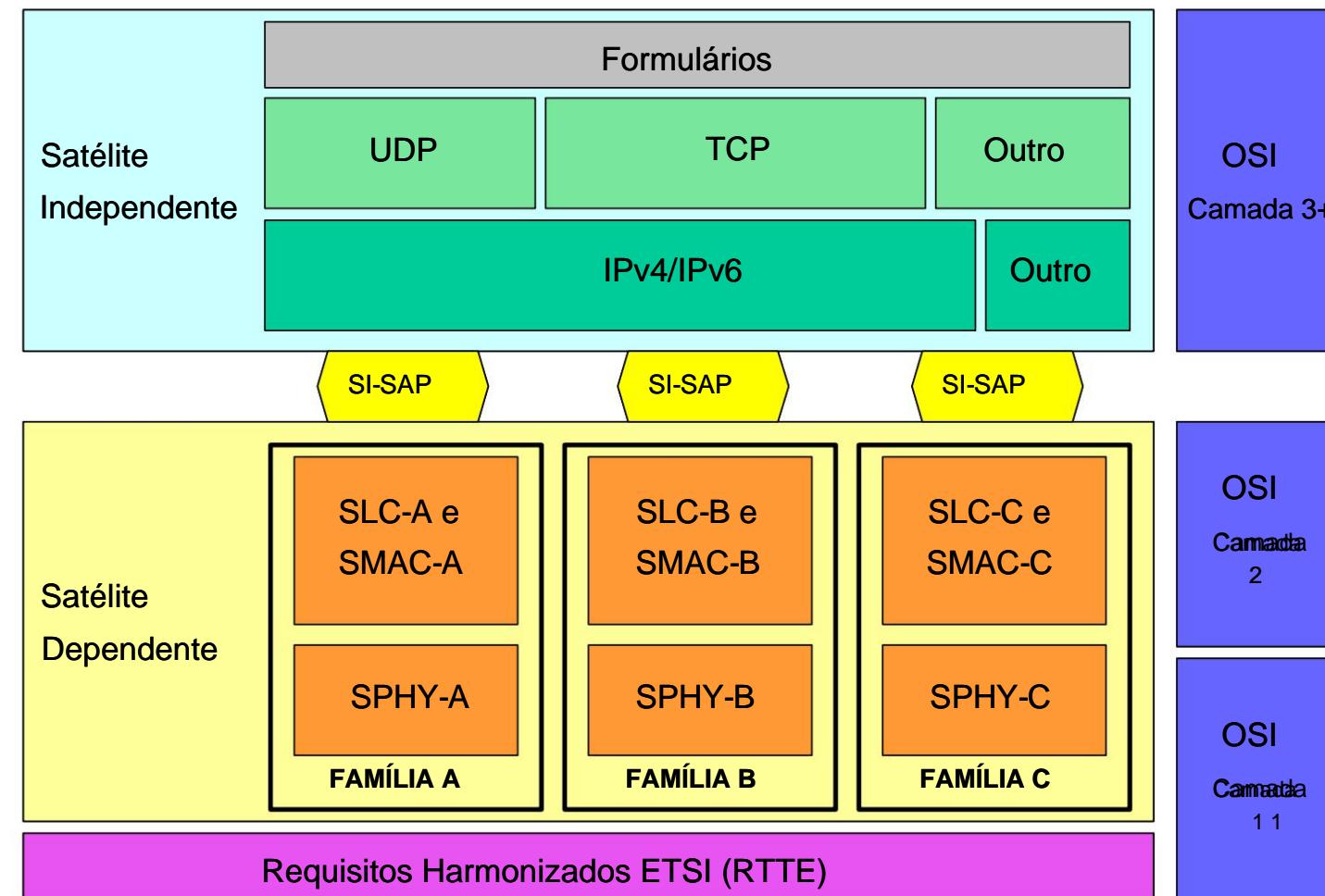
Modelo de referência para acesso via satélite



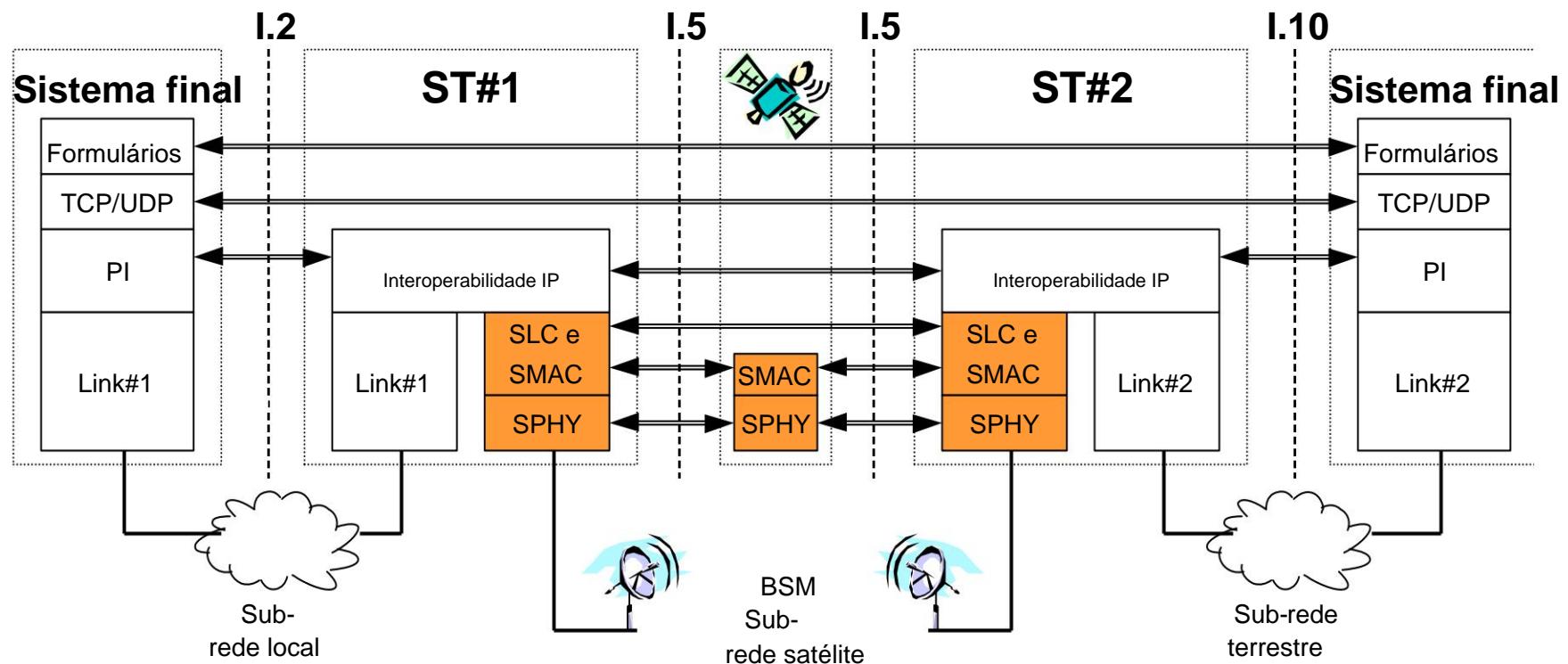
Arquitetura de protocolo



Arquitetura de protocolo



Interoperabilidade IP



Redes de sensores sem fio

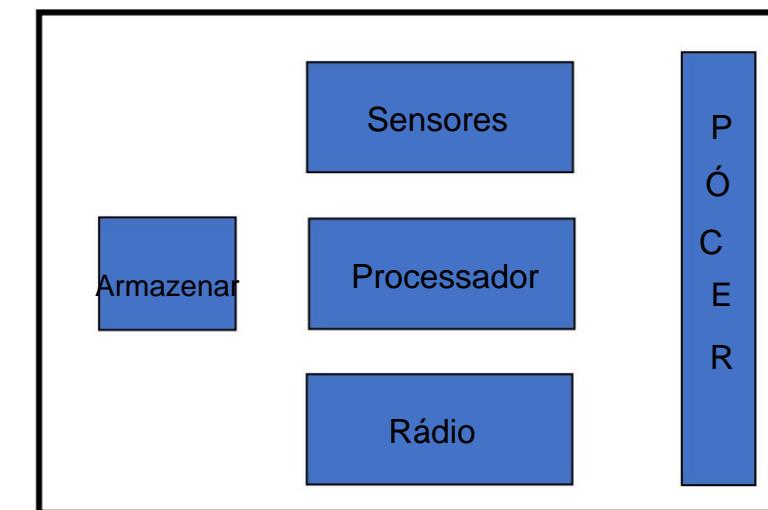
O que são redes de sensores sem fio (RSSF)?

- 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 (muitas vezes MUITOS, às vezes heterogêneos)
 - Processamento a bordo,
 - Comunicação e •
 - Capacidades de detecção.

Ou...

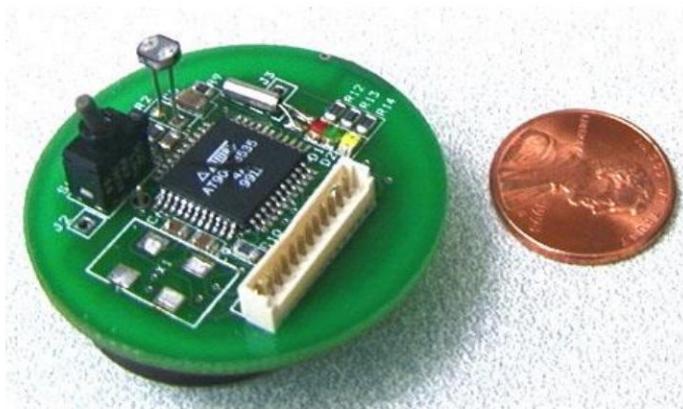
ÿ Detecção sem fio + Rede de dados!

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

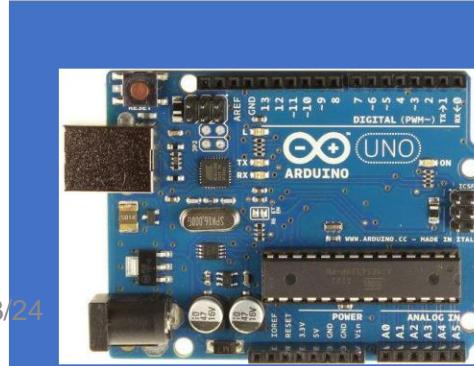


Esquemas de dispositivos WSN

Nós sensores e plataformas



CM 23/24

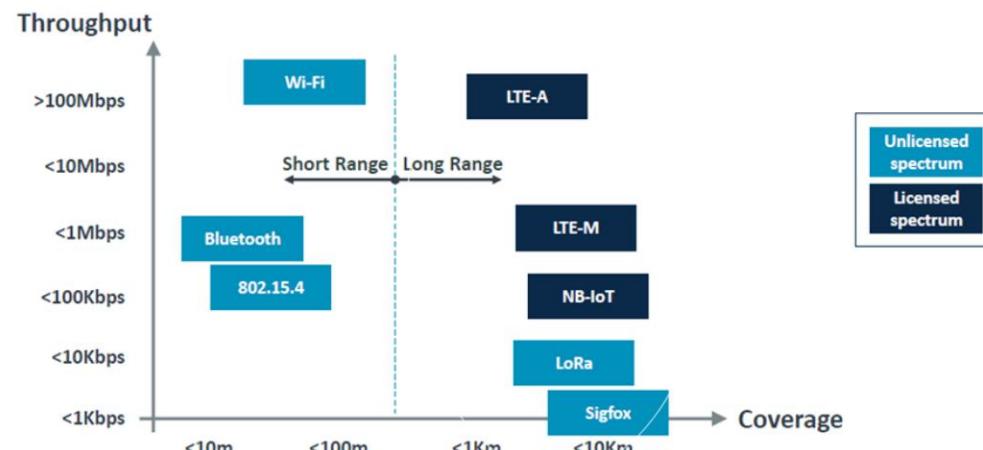


Conectividade sem fio IoT

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

IoT Wireless Connectivity Technology

Multiple standards, different attributes

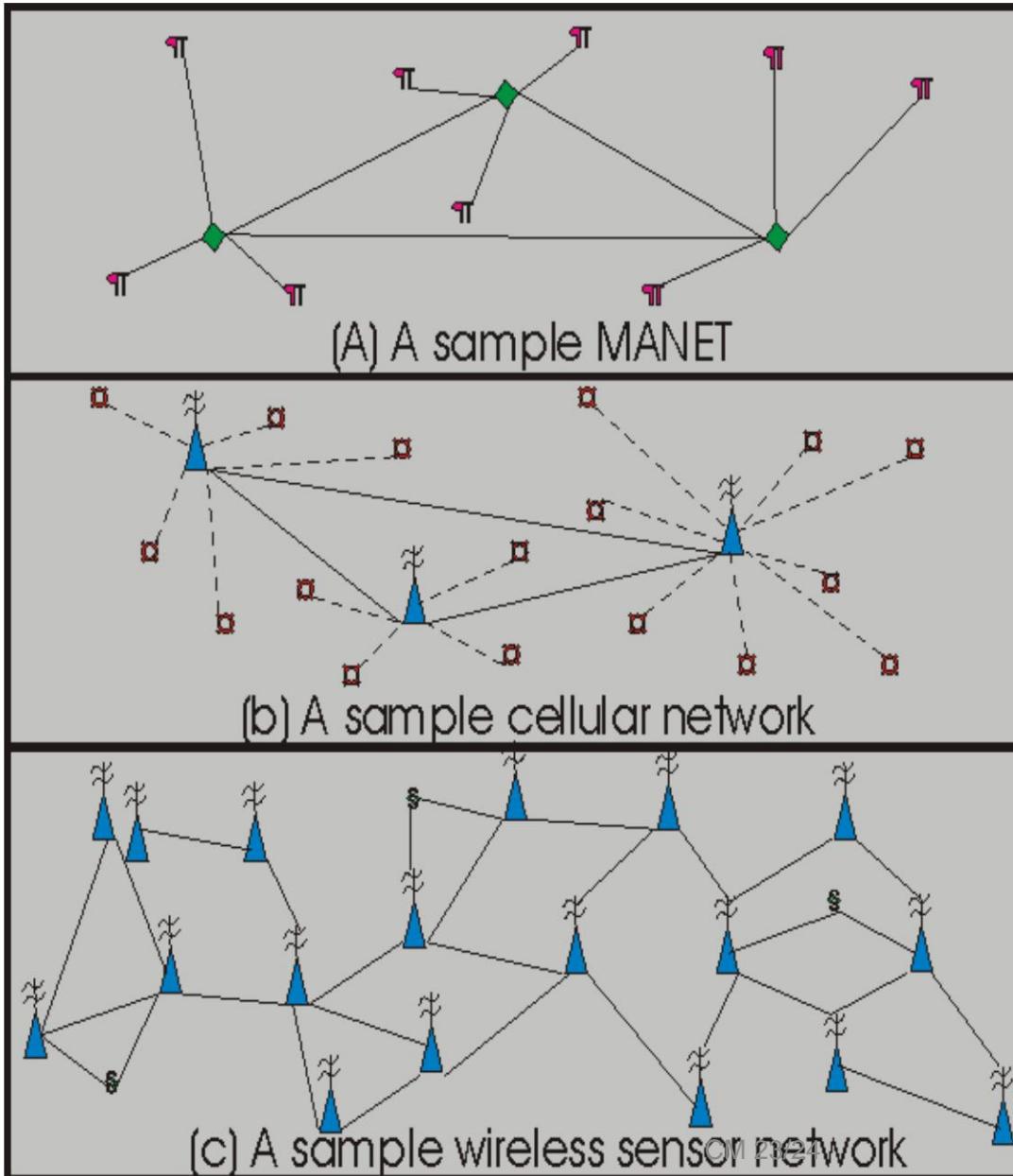


MIoT e HIoT são diferentes

- A IoT tem múltiplos cenários, desde ambientes orientados para humanos até orientados para máquinas, e desde ambientes industriais até ambientes florestais.
- 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

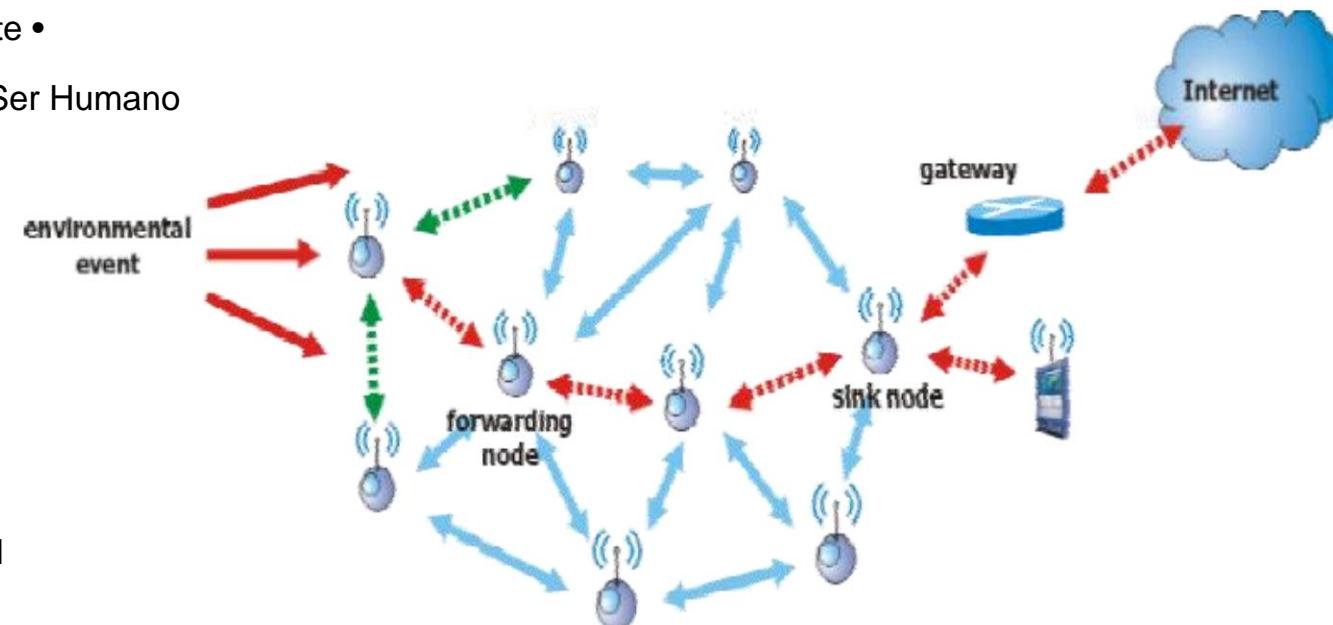
RSSF pode explorar a arquitetura e protocolo conceitos tanto de MANETs (redes móveis ad-hoc) e de redes celulares .

Rede de sensores sem fio

- Focar em:

- Computação Onipresente •
 - Sociedade em Rede Onipresente •
 - (frequentemente) Centrada no Ser Humano

- Onipresente • A qualquer hora
 - Qualquer pessoa • Em qualquer lugar •
 - Qualquer dispositivo • Acessível
 - Toda 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 **inativos por longos períodos de tempo**, mas tornando-se **subitamente ativos** quando algo é detectado.
- Essas características das redes de sensores e aplicações motivam uma MAC diferente dos MACs sem fio tradicionais:
 - **A conservação de energia e a autoconfiguração** são objetivos principais.
 - A imparcialidade e a latência por nó são menos importantes.

Desafios em RSSFs

- ÿEnergia e consumo de energia
- ÿAuto-organização
- ÿHeterogeneidade de comunicação
- ÿAdaptabilidade
- ÿSegurança
- ÿEscalabilidade

Desafios de design

Why are WSNs challenging/unique?
Por que as RSSFs são desafiadoras/únicas?

- Normalmente, com severa restrição energética.
 - 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.

- Diferentes sensores.
- 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
 - Overhearing
– *ouvir mais do que o necessário de um pacote*
 - Sobrecarga de pacote de controle – *controle versus dados*
 - Escuta ociosa – *ouvir em vão*

Soluções típicas em MACs sem fio

- Carrier Sensing
 - 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, exceto na camada MAC.

~~Achieving good scalability and collision avoidance capability is necessary.~~

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 uso de energia.

2. Implantação ad hoc (adaptabilidade):

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

Desafios

3. Operação autônoma:

- Geralmente, uma vez implantados os sensores, não há intervenção humana durante 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

- Sensores e 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 sensores MAC.
 - **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
 - Troca **eficiência energética por 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

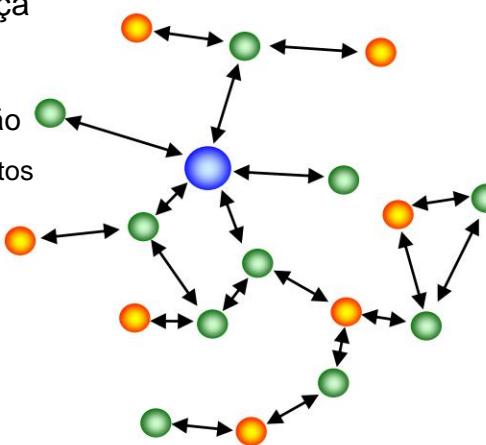
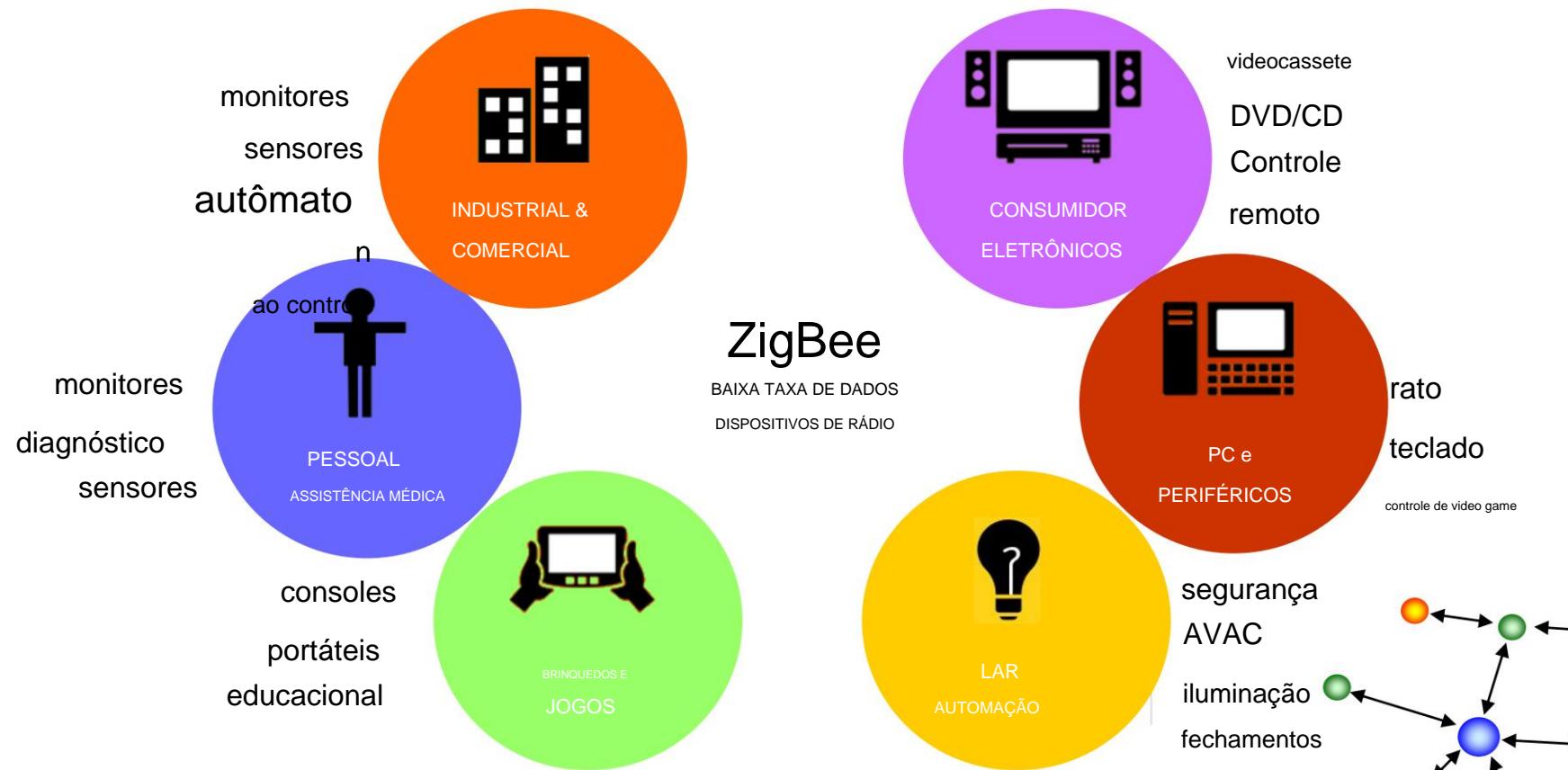
O que é ZigBee?

- 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 (PAN's) e redes dispositivo a dispositivo • Conectividade entre dispositivos de pequenos pacotes • Exemplos: controle de luzes, interruptores, termostatos, eletrodomésticos, etc.
- Zigbee?
 - Nomeado devido a padrões erráticos e em zigue-zague de abelhas entre flores • Simboliza a comunicação entre nós em uma rede mesh
 - Componentes de rede “vistos como análogos” à abelha rainha, drones, operárias abelhas

Aplicativos de rede ZigBee



→ Tudo o que você pode imaginar para nós de sensores sem fio ou em geral de curto alcance comunicações

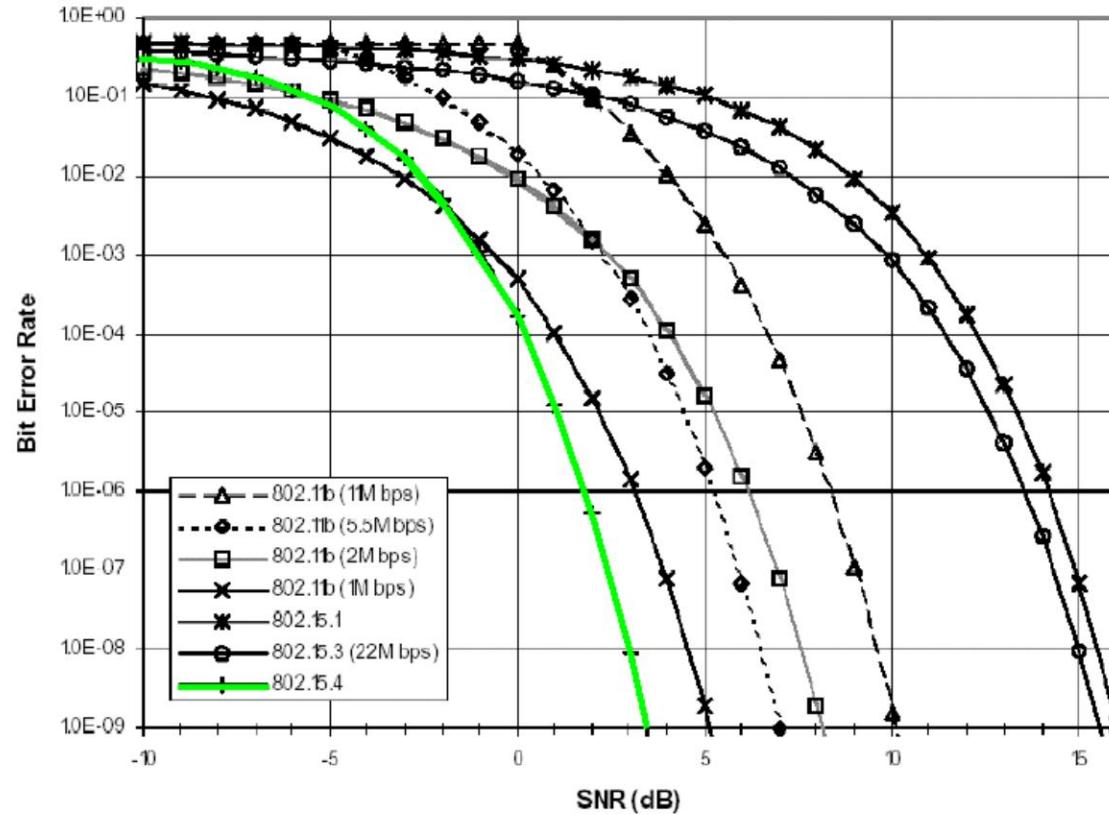
ZigBee e outras tecnologias sem fio

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^{64})	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 = $\frac{1}{2}$
- Taxa de erro de bits (BER)
- Sensibilidade
- flexibilidade
 - N^o 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

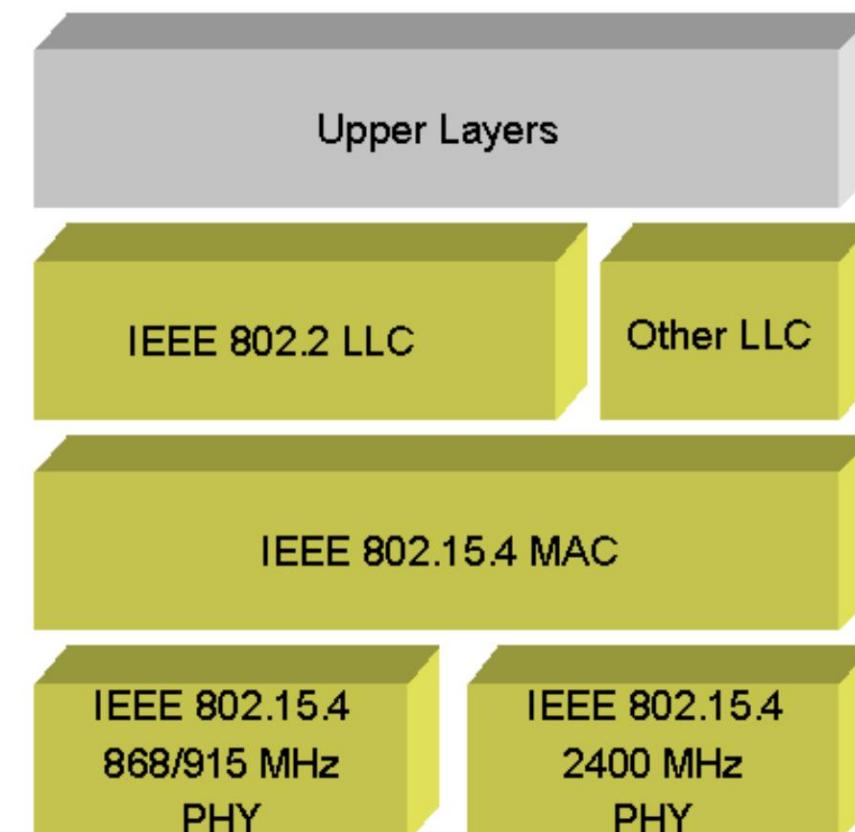


Recursos ZigBee/IEEE 802.15.4

- 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

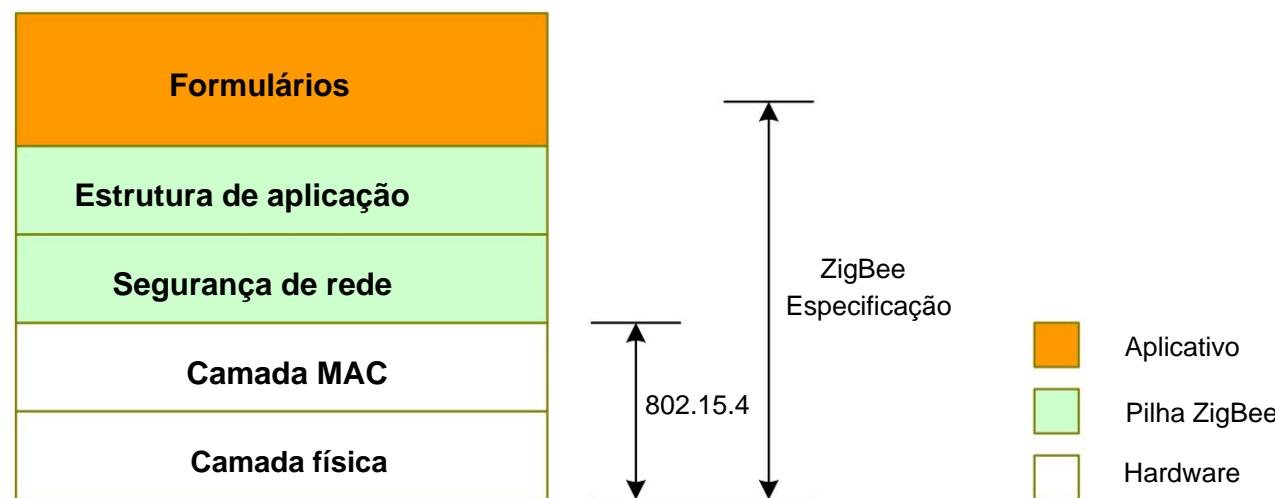
IEEE 802.15.4 - Visão geral

- WPAN de baixa taxa (LR-WPAN) • Por exemplo, redes de sensores
- Simples e de baixo custo • Protocolo totalmente handshake
- Baixo consumo de energia • Anos de vida útil usando baterias padrão
- Diferentes topologias • 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

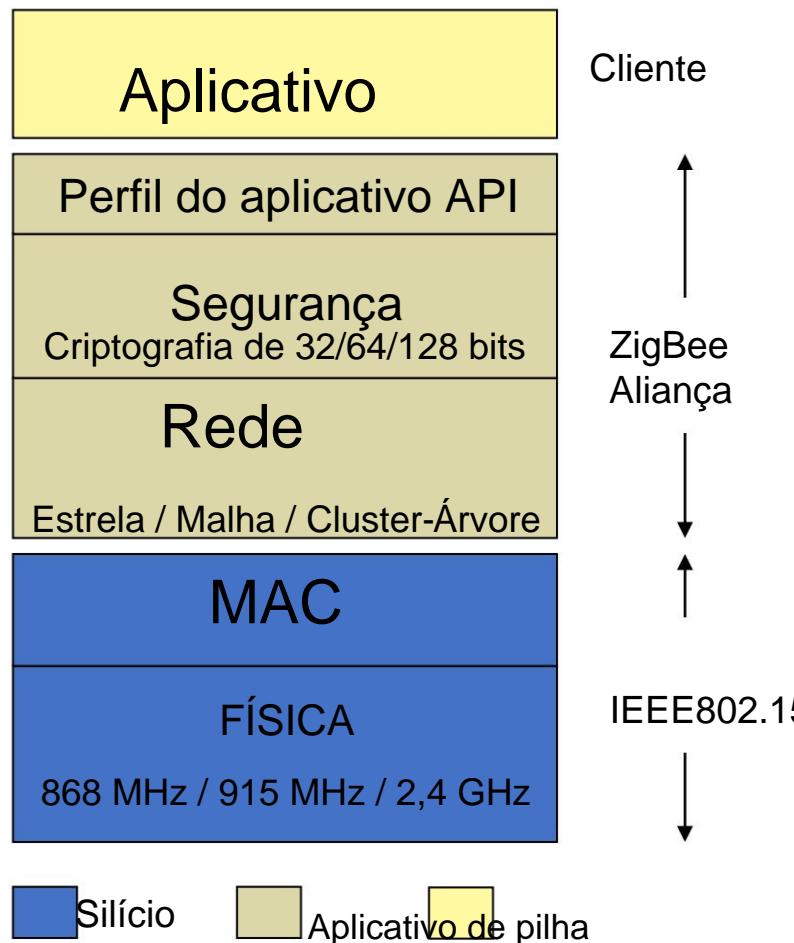


Arquitetura ZigBee/802.15.4

- Aliança ZigBee
 - Empresas: fabricantes de semicondutores, fornecedores de IP, OEMs, etc.
 - Definição das 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



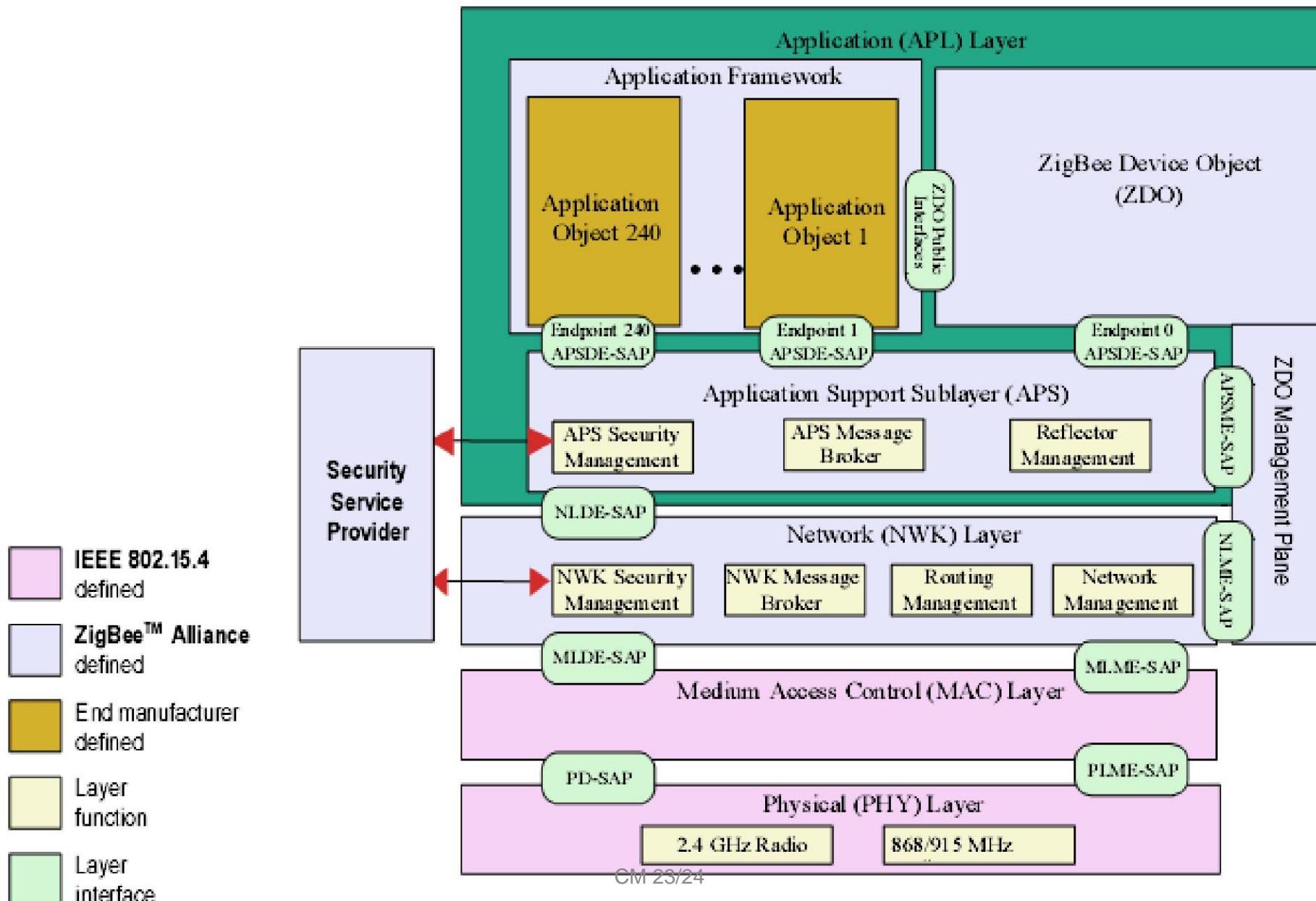
ZigBee Alliance

- "o software"
- Segurança de rede & Camadas de aplicação
- Gestão de marca

IEEE802.15.4

- “o hardware”
 - Acesso físico e de mídia
- Camadas de controle

Pilha de protocolos



Como funciona o ZigBee

- Topologia •
 - Estrela
 - Árvore de Cluster
 - Malha
- Coordenador de rede, roteadores, dispositivos finais • 2 ou mais dispositivos formam uma PAN/WSN

Como funciona o ZigBee

- Estados de operação
 - Ativo •

Suspensão •

Dispositivos • Dispositivos de Função
Completa (FFDs) • Dispositivos de Função

- Reduzida (RFDs) • Modos de operação
- Farol •
 - Sem farol

- Tipos de tráfego
 - Intermítente •
 - Repetitivo •
 - Periódico

Tipos de tráfego

ÿ Os dados são periódicos

ÿ a aplicação determina a taxa (por exemplo, sensores)

ÿ Os dados são intermitentes

ÿ aplicação ou estímulo determina a taxa (economia ideal de energia), por exemplo, luz trocar

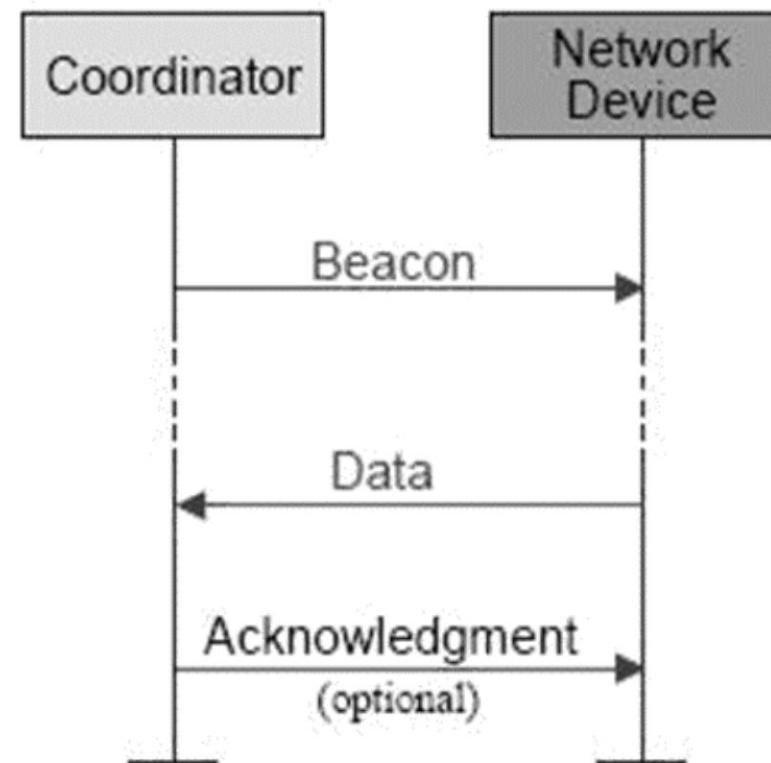
ÿ Os dados são repetitivos (taxa fixa a priori)

ÿ dispositivo obtém intervalo de tempo garantido (por exemplo, monitor cardíaco)

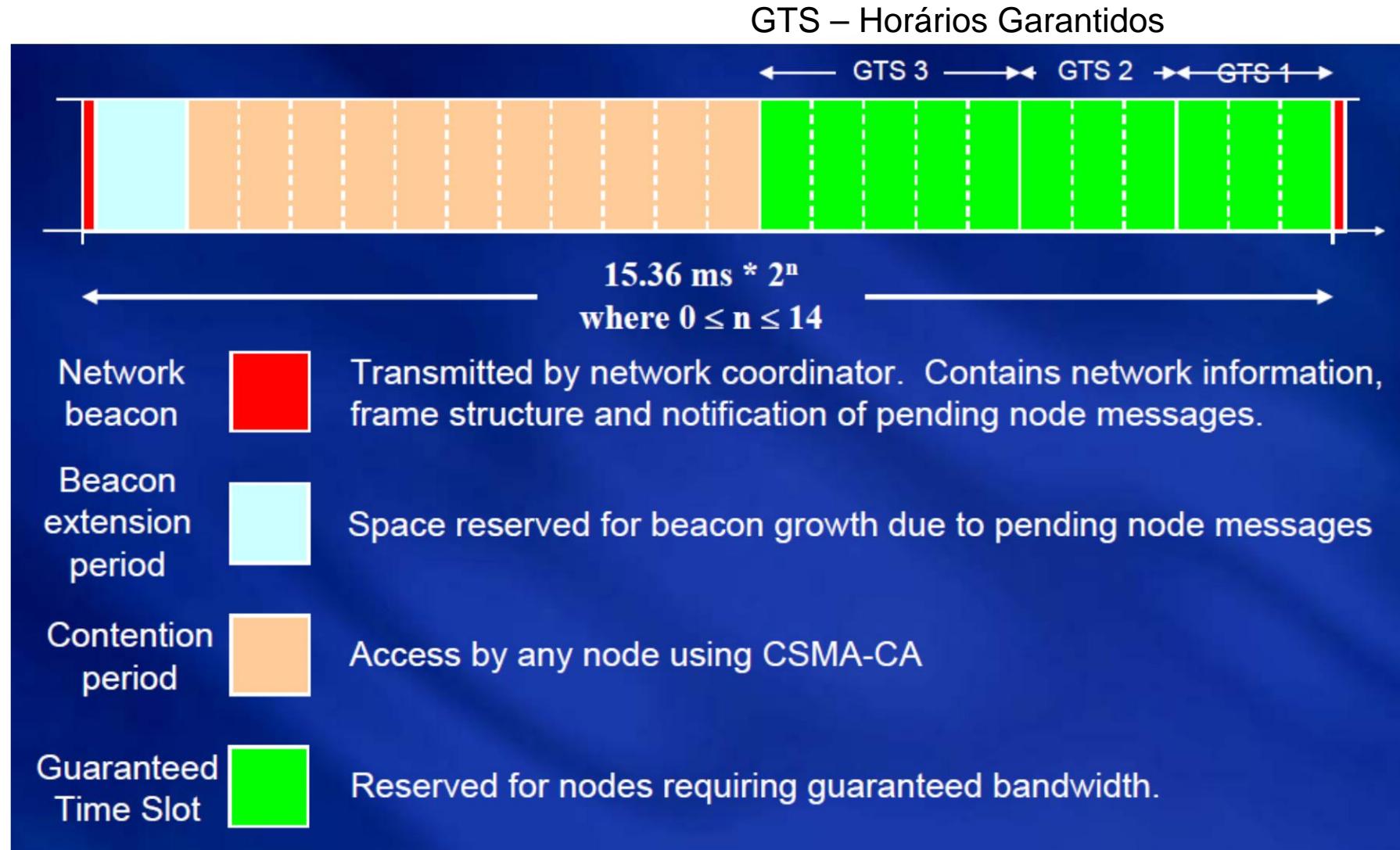
Modos de tráfego

Modo farol:

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



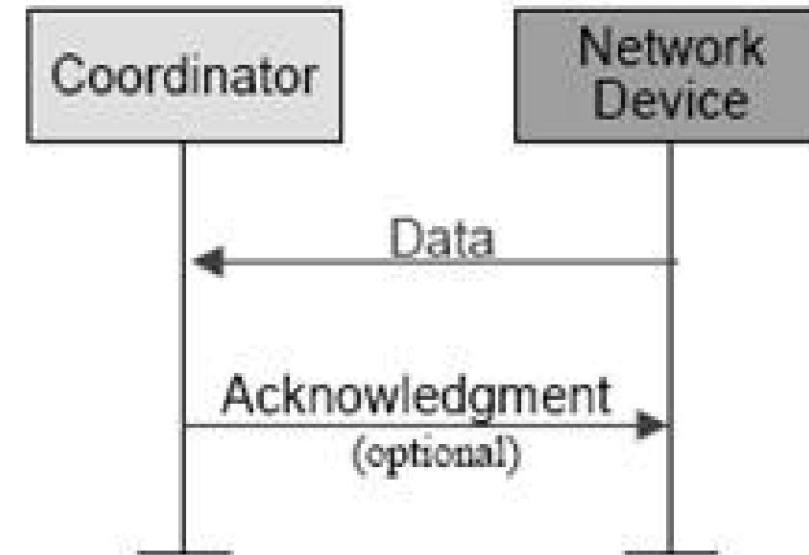
Modo Farol



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 endereços locais

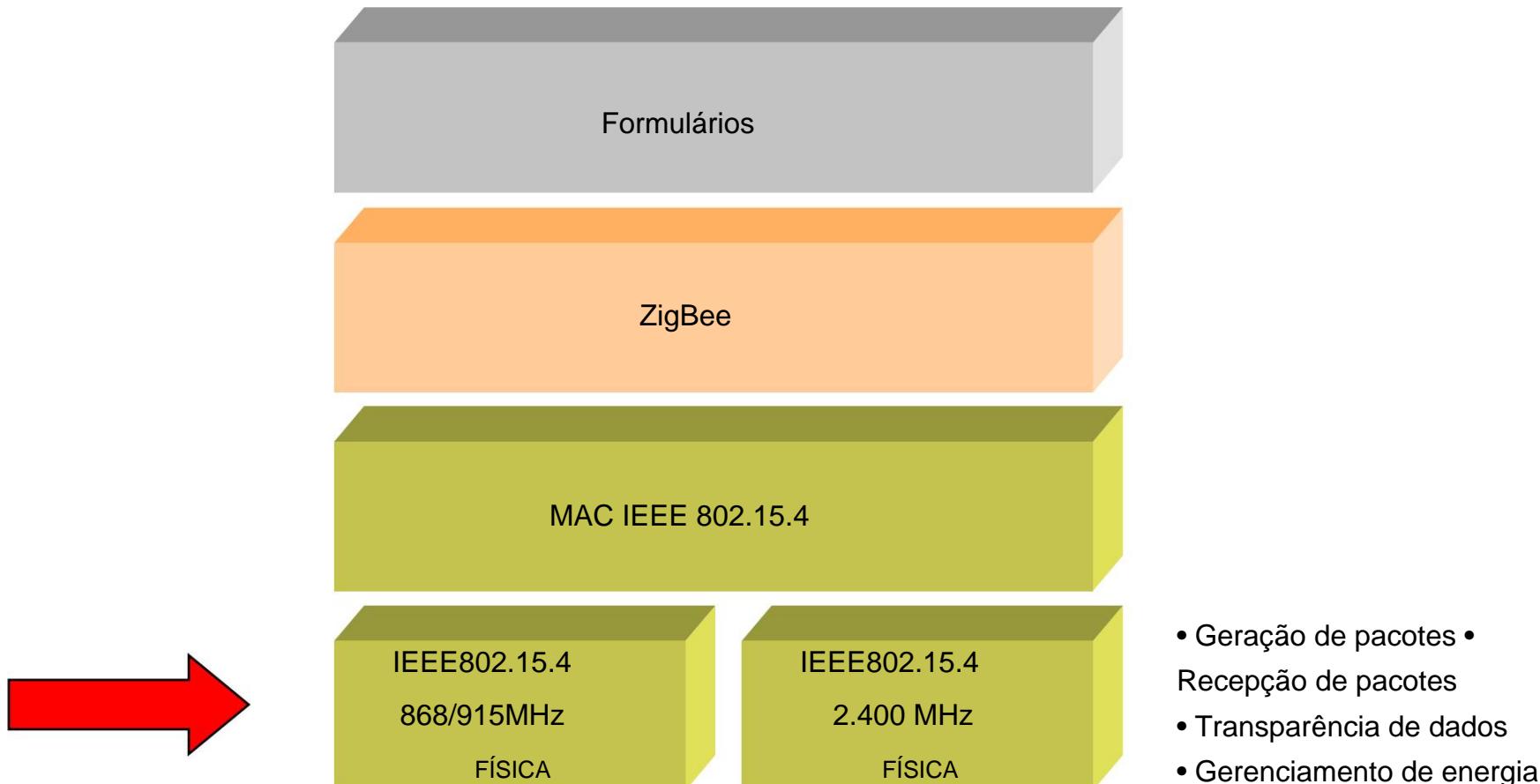
Dispositivo final ZigBee (ZBE) (IEEE 802.15.4 RFD)
• otimizado para baixo consumo de energia
• tipo de dispositivo mais barato
• sensor seria implantado aqui



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 redes
 - O acesso ao canal é via **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 duração da bateria, tem potencial para durar tanto quanto a vida útil da maioria das baterias

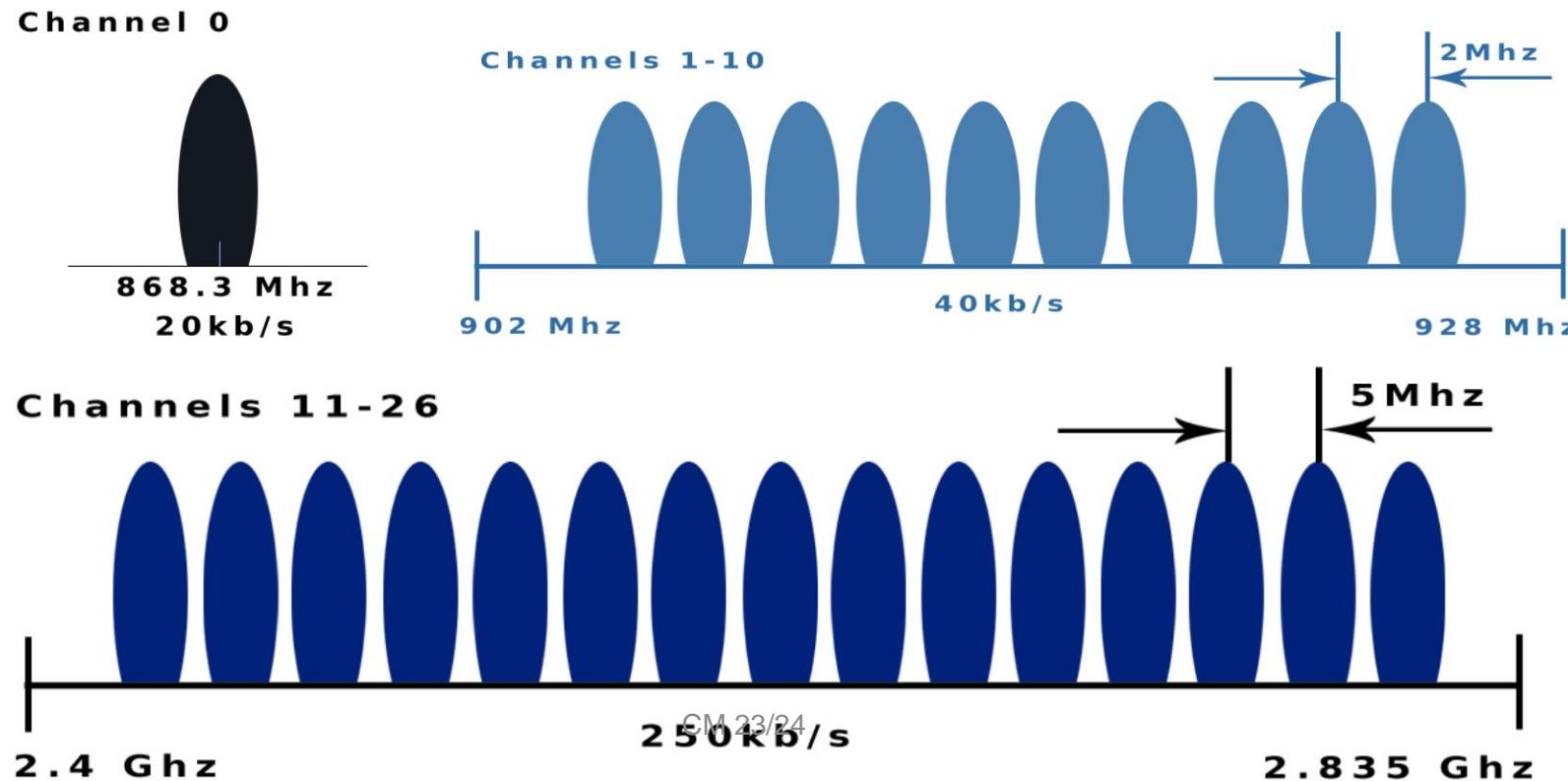
802.15.4 Características gerais

- Taxas de dados de 250 kbps, 20 kbps e 40kbps.
- Operação estrela ou peer-to-peer.
- Suporte para dispositivos de baixa latência.
- Acesso ao canal CSMA-CA, com detecção de CCA
- Avaliação de canal limpo
- 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%)

Bandas de frequência 802.15.4

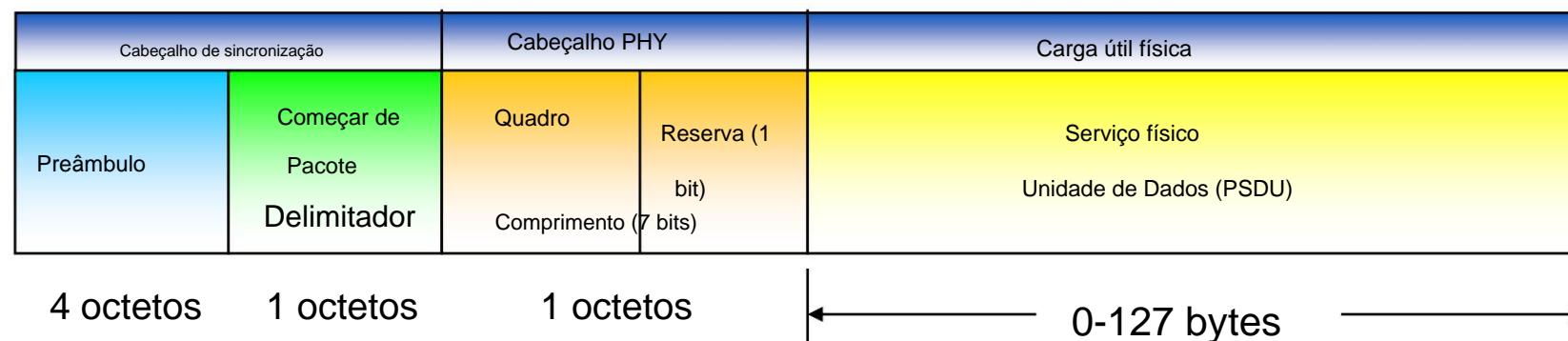
Opera em bandas não licenciadas

- Banda Global ISM de 2,4 GHz a 250 kbps
- Banda Europeia de 868 MHz a 20 kbps
- Banda Norte-Americana de 915 MHz a 40 kbps

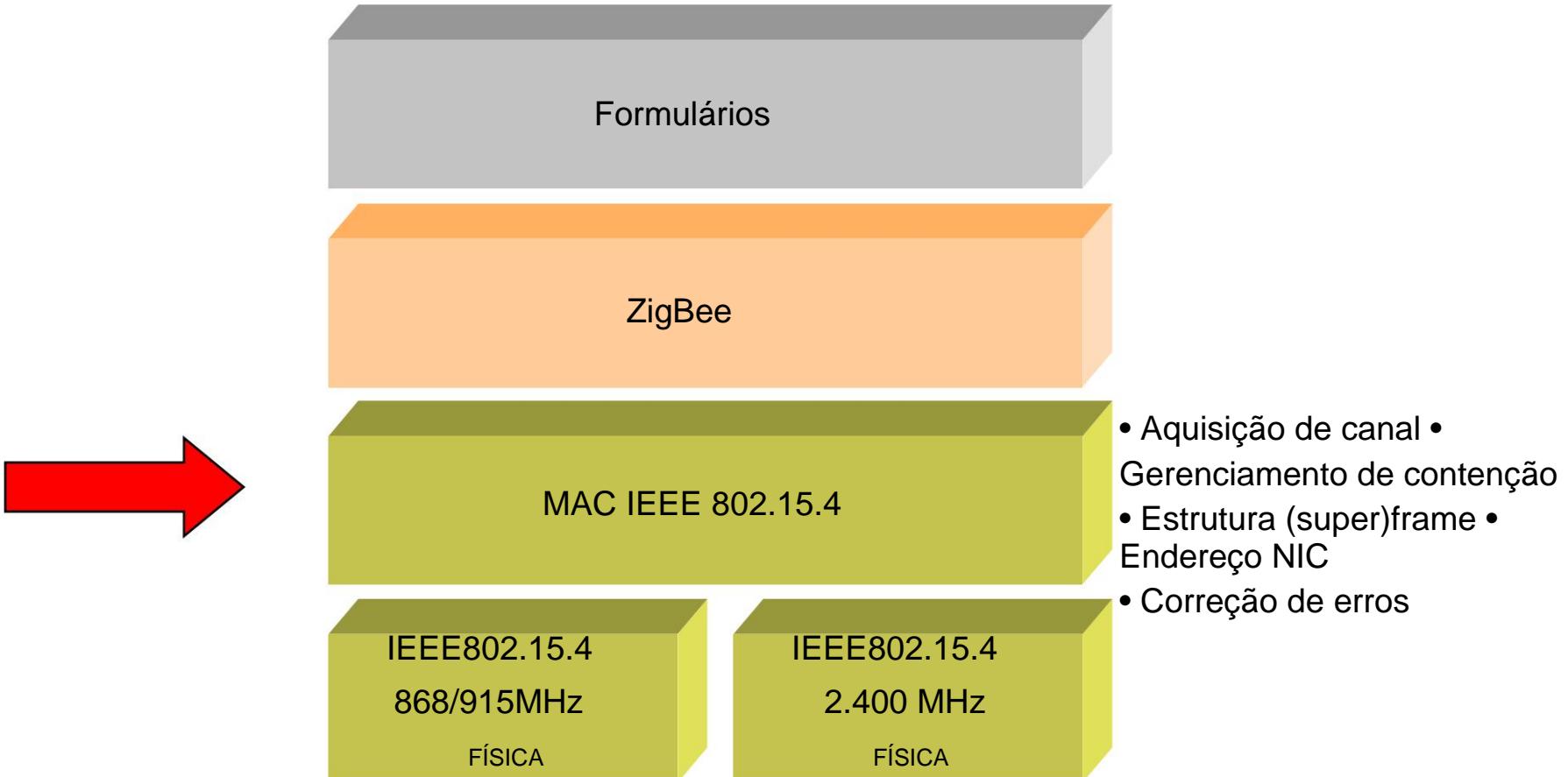


Estrutura do quadro PHY

- Campos de pacotes
 - 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)



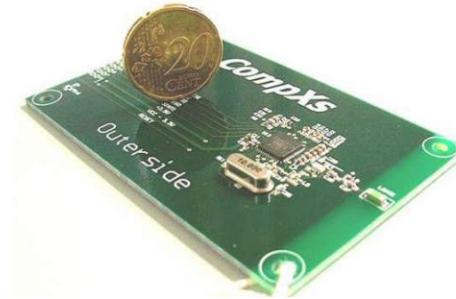
Drivers de design MAC IEEE 802.15.4

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

Protocolo simples, mas flexível

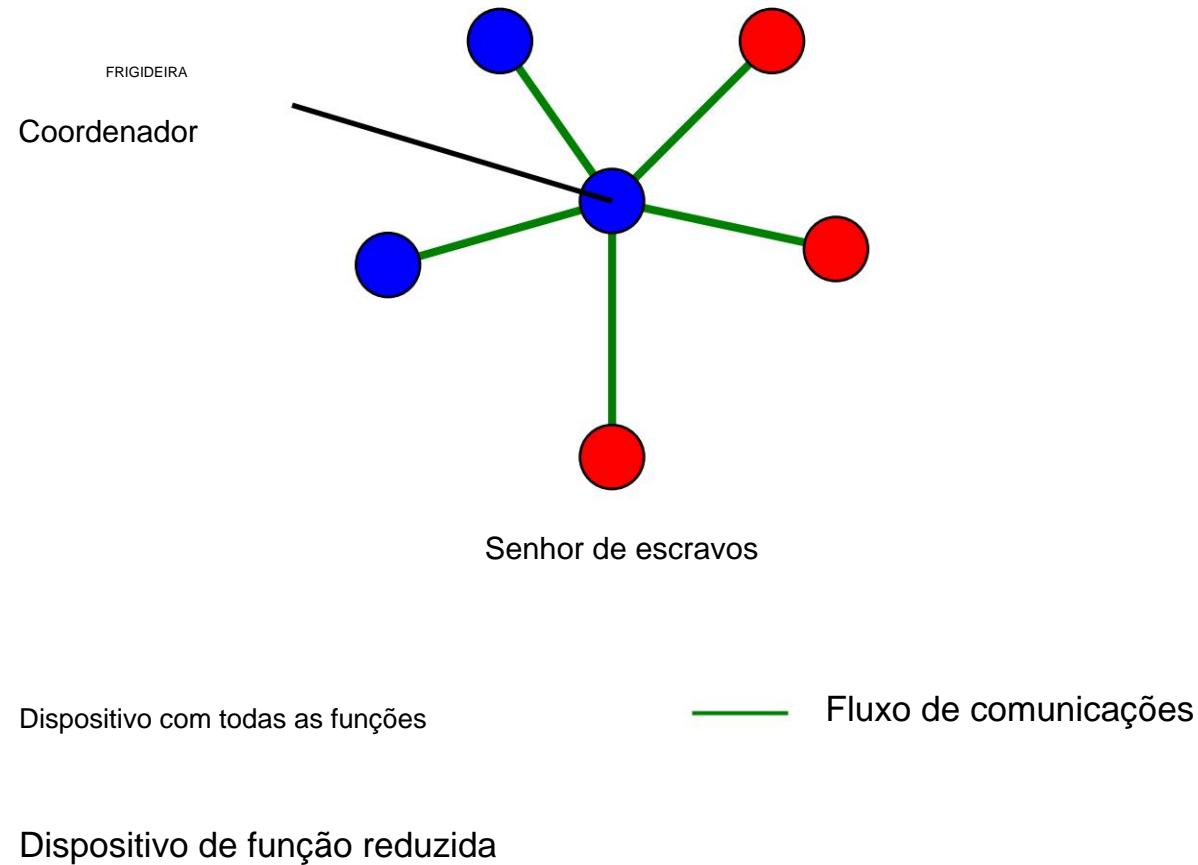
IEEE 802.15.4 Visão geral do MAC Classes de dispositivos

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



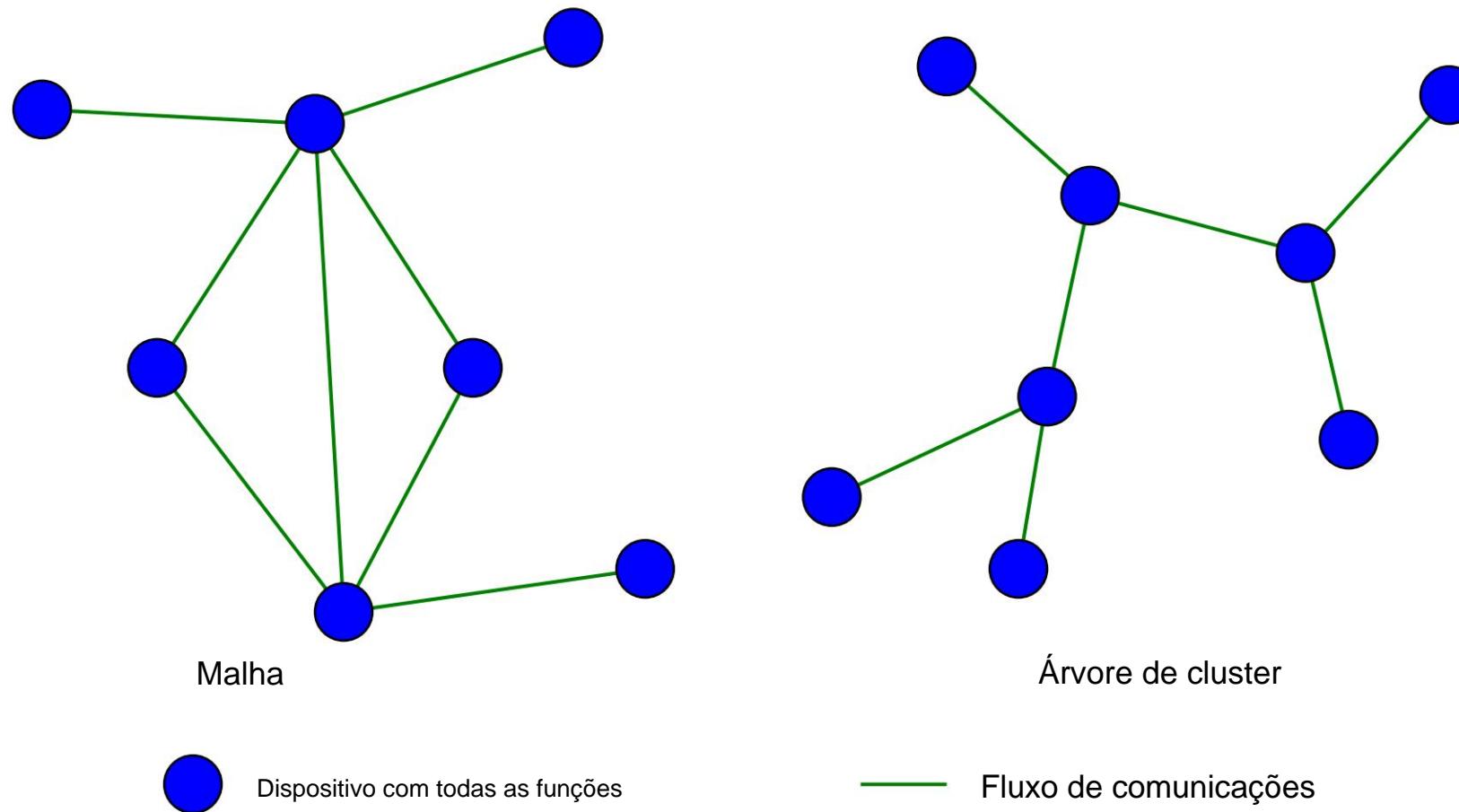
Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

Topologia em estrela



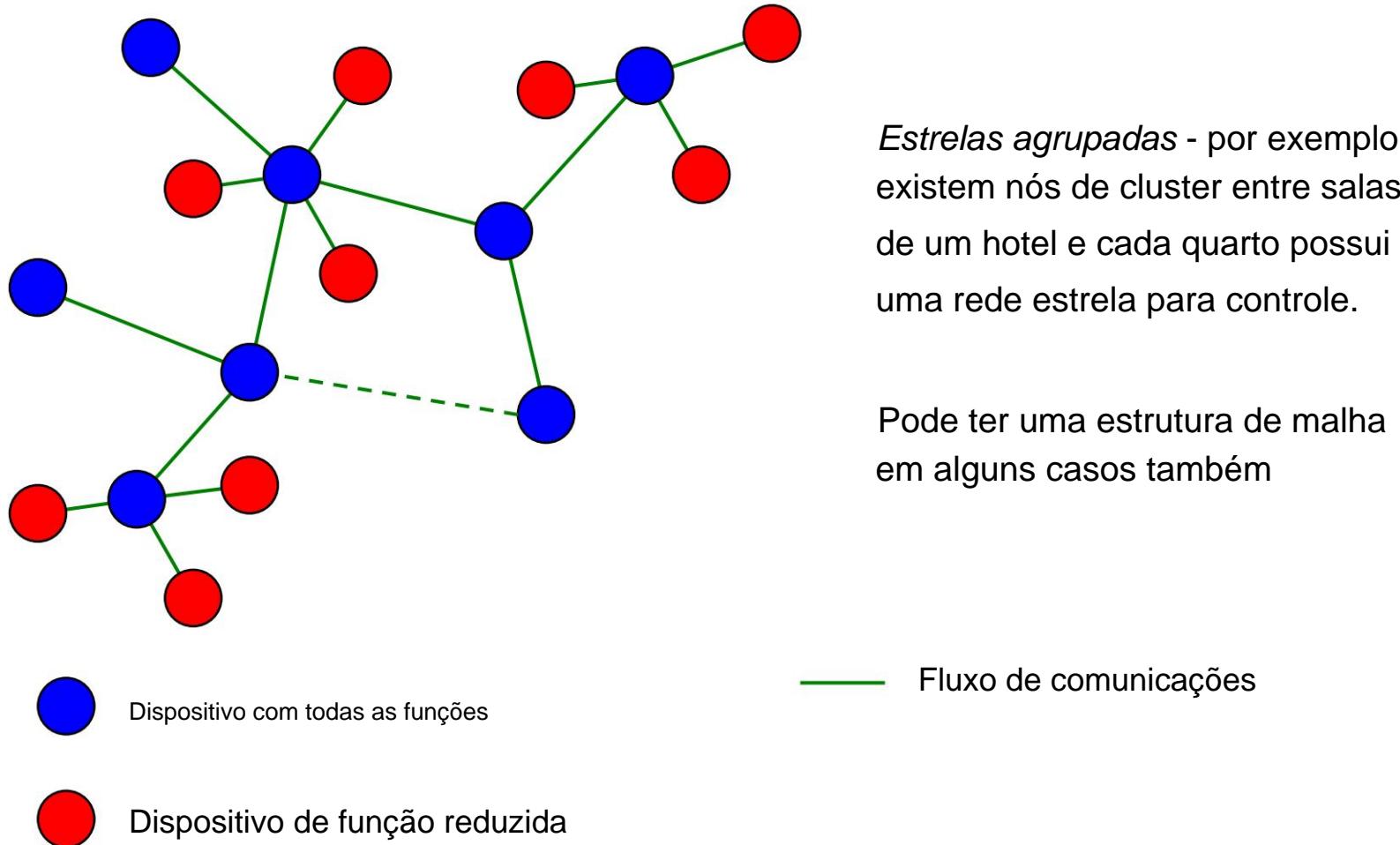
Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

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



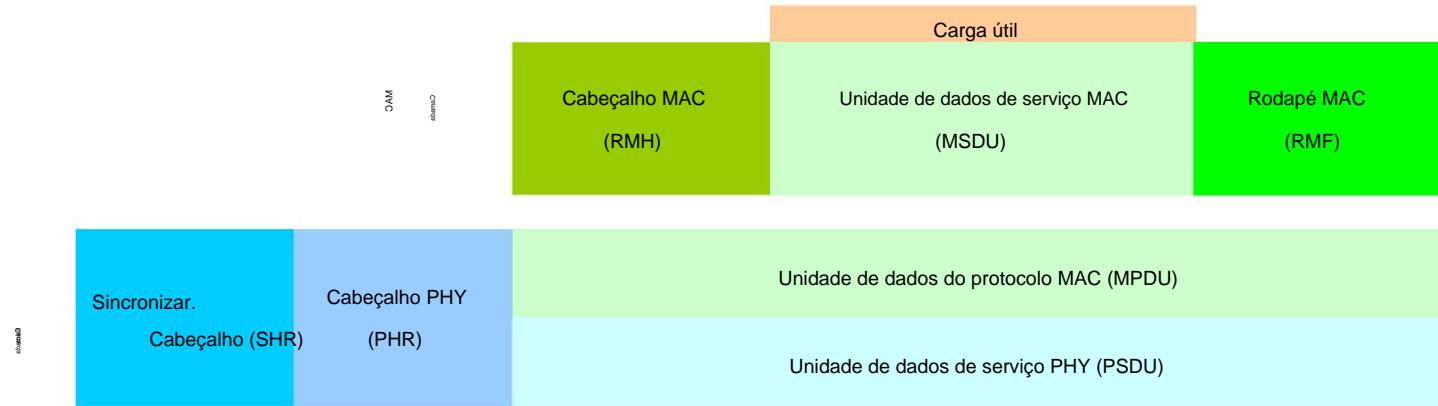
Visão geral do MAC IEEE 802.15.4

Topologia Combinada



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 PAN ID
- Iniciando um

PAN • Envio de

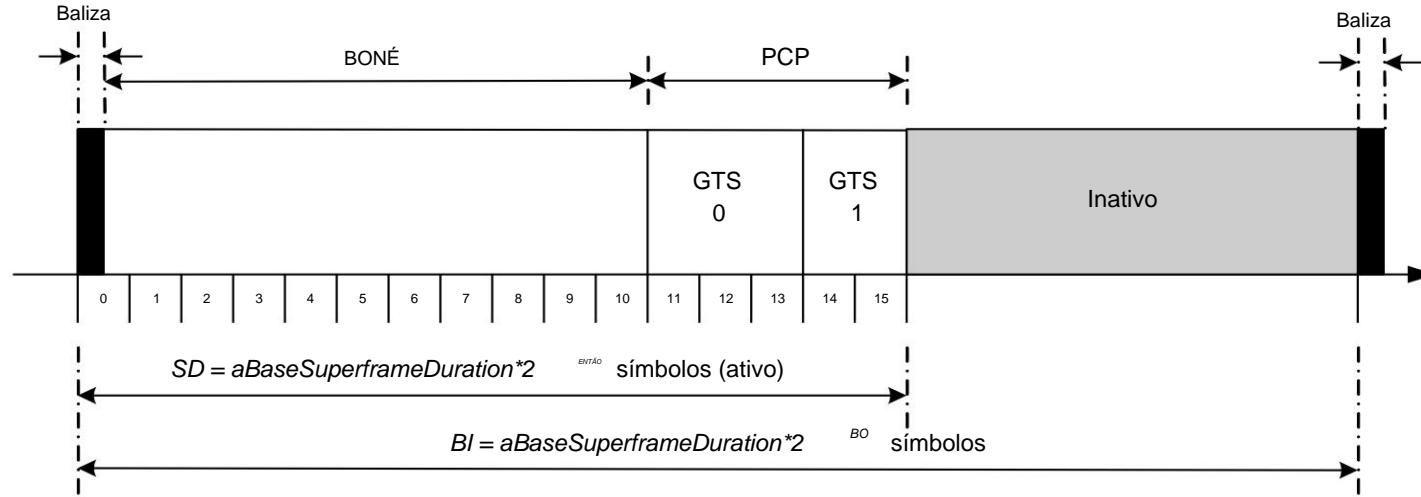
- beacons • Descoberta, associação/desassociação de dispositivos
- Sincronização (beacon/nonbeacon)
- Realinhamento de dispositivos órfãos

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 um SuperFrame estrutura
 - limitado por quadros de farol
- Um superquadro é dividido em duas partes
 - Inativo: todos os dispositivos dormem (incluindo o coordenador)
 - Ativo:
 - O período ativo será dividido em 16 vagas
 - 16 slots podem ser divididos em duas partes
 - Período de acesso à contenção
 - Período livre de contenção

CAP – Período de Acesso à Contenção

CFP – Período Livre de Contenção

SD – Duração do Superframe

BI – Intervalo de Beacon

Superquadro

- Beacons são usados para
 - iniciar superframes
 - sincronização com dispositivos associados
 - anunciar a existência de um PAN
 - informar dados pendentes nos coordenadores
- Em uma rede habilitada para beacon,
 - Os dispositivos usam o mecanismo **CSMA/CA com slot** para disputar o uso de canais
 - FFDs que exigem taxas fixas de transmissão podem solicitar *intervalos de tempo garantidos* (GTS) de o coordenador

Superquadro

- A estrutura dos superframes é controlada por dois parâmetros: *ordem de beacon (BO)* e *ordem de superframe (SO)*
 - BO decide o comprimento de um superframe
 - SO decide o comprimento da porção ativa em um superframe
- Para os canais 11 a 26, o comprimento de um superframe pode variar de 15,36 ms a 215,7 seg.
 - o que significa ciclo de trabalho muito baixo
- Lembre-se: Ciclo de Trabalho
 - O Ciclo de Trabalho indica a fração de tempo que um recurso está ocupado.
 - Quando um único dispositivo transmite em um canal por 2 *unidades de tempo* a cada 10 *unidades de tempo*, este dispositivo tem um ciclo de trabalho de 20%.

Superquadro

- Cada dispositivo ficará ativo por 2-(BO-SO) parte do tempo e dormirá por 1-2 - (BO-SO) parte do tempo
- No IEEE 802.15.4, o ciclo de trabalho dos dispositivos segue a especificação

BO-ASSIM	0	1	2	3	4			5	6	7	8	9	≥10
Ciclo de trabalho (%)	100	50	25	12	6,25	3,125	1,56	0,78	0,39	0,195	< 0,1		

BO – Ordem do Farol

SO – Ordem do Superframe

Conceitos GTS

- Um slot de tempo garantido (GTS) permite que um dispositivo opere no canal dentro de uma porção do superframe • Um GTS só deve ser alocado pelo coordenador PAN • O coordenador PAN pode alocar até sete GTSS ao mesmo tempo
- O coordenador do PAN decide se atribui o GTS com base:
 - Requisitos do pedido GTS • A capacidade atual disponível no superframe

Conceitos GTS

- Um GTS pode ser **desalocado**
 - A qualquer momento, a critério do coordenador do PAN ou
 - Pelo dispositivo que originalmente solicitou o GTS
- Um quadro de dados transmitido em um GTS alocado deverá usar apenas endereçamento curto
- O coordenador PAN deverá ser capaz de armazenar as informações dos dispositivos necessários para o GTS, incluindo slot inicial, comprimento, direção e endereço do dispositivo associado

Conceitos GTS

- Antes do início do GTS, a direção do GTS deverá ser especificada como transmissão ou receber
- Cada dispositivo poderá solicitar um GTS **de transmissão** e/ou um GTS **de recepção**
- Um dispositivo só tentará alocar e usar um GTS se estiver atualmente rastreando o baliza
- Se um dispositivo perder a sincronização com o coordenador PAN, todas as suas alocações GTS estará perdido
- O uso de GTSSs como RFD é opcional

Mecanismo de acesso ao canal

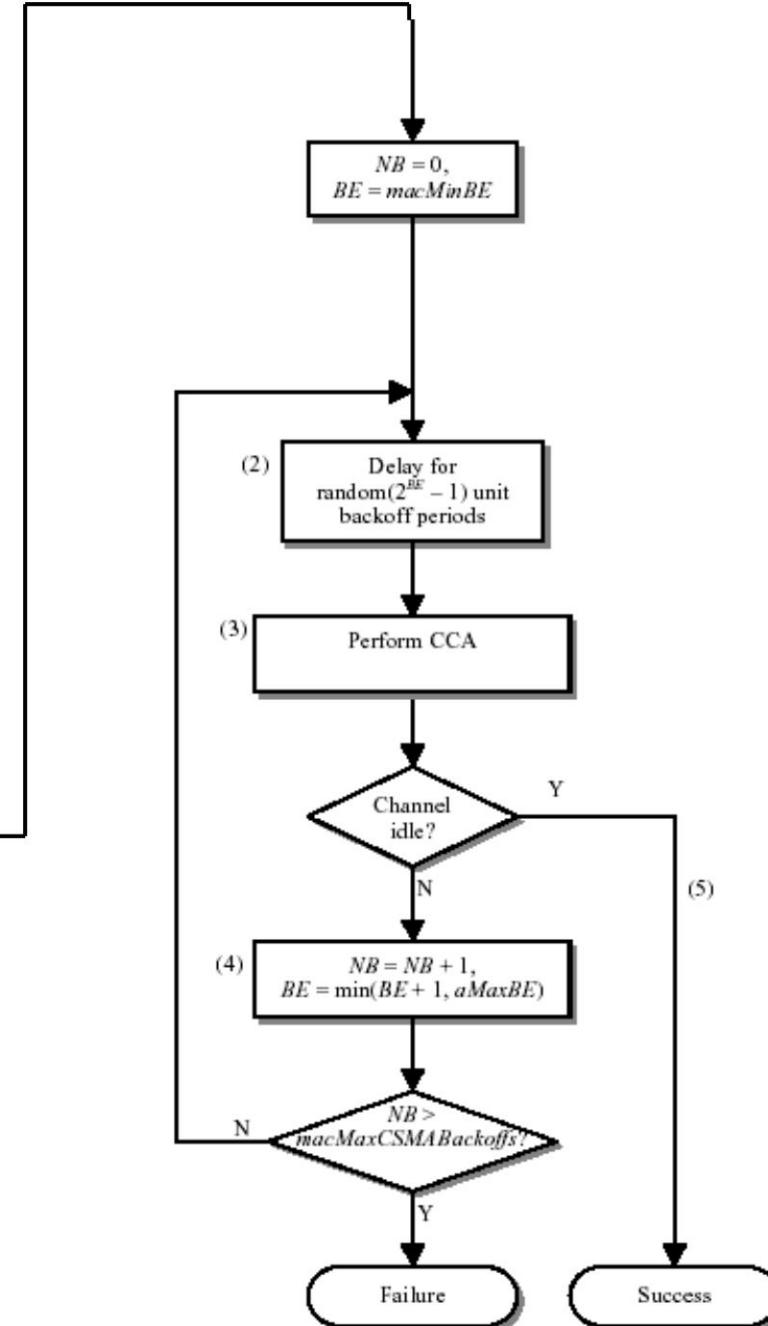
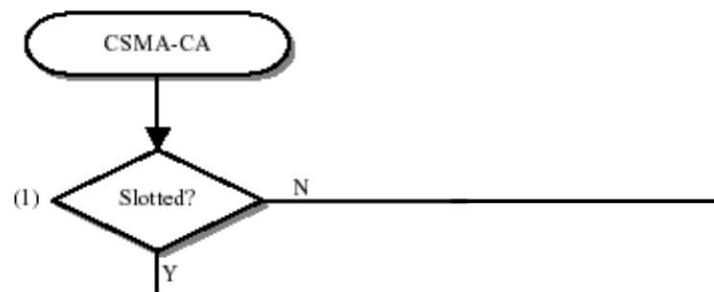
- Mecanismo de acesso ao canal de dois tipos:
 - Em redes não habilitadas para beacon → acesso ao canal CSMA/CA **sem slot** mecanismo
 - Em redes habilitadas para beacon → **slotted** mecanismo de acesso ao canal CSMA/CA **com slot**

Sem slot CSMA/CA

NB é o número de vezes que o algoritmo CSMA-CA foi obrigado a recuar ao tentar a transmissão atual

BE é o expoente de espera, que define o número de períodos de espera que um nó deve esperar antes de tentar a **avaliação de canal limpo (CCA)**.

Constante **MacMinBE** definida na norma.



Algoritmo CSMA/CA

- Em CSMA/CA com fenda
 - Os **limites do período de espera** de cada dispositivo no PAN devem estar **alinhados com os limites do slot do superframe** do coordenador PAN
 - ou seja, o início do primeiro período de espera de cada dispositivo está alinhado com o início do beacon transmissão
 - A subcamada MAC deve garantir que a camada PHY inicie **todas as suas transmissões no limite de um período de espera**

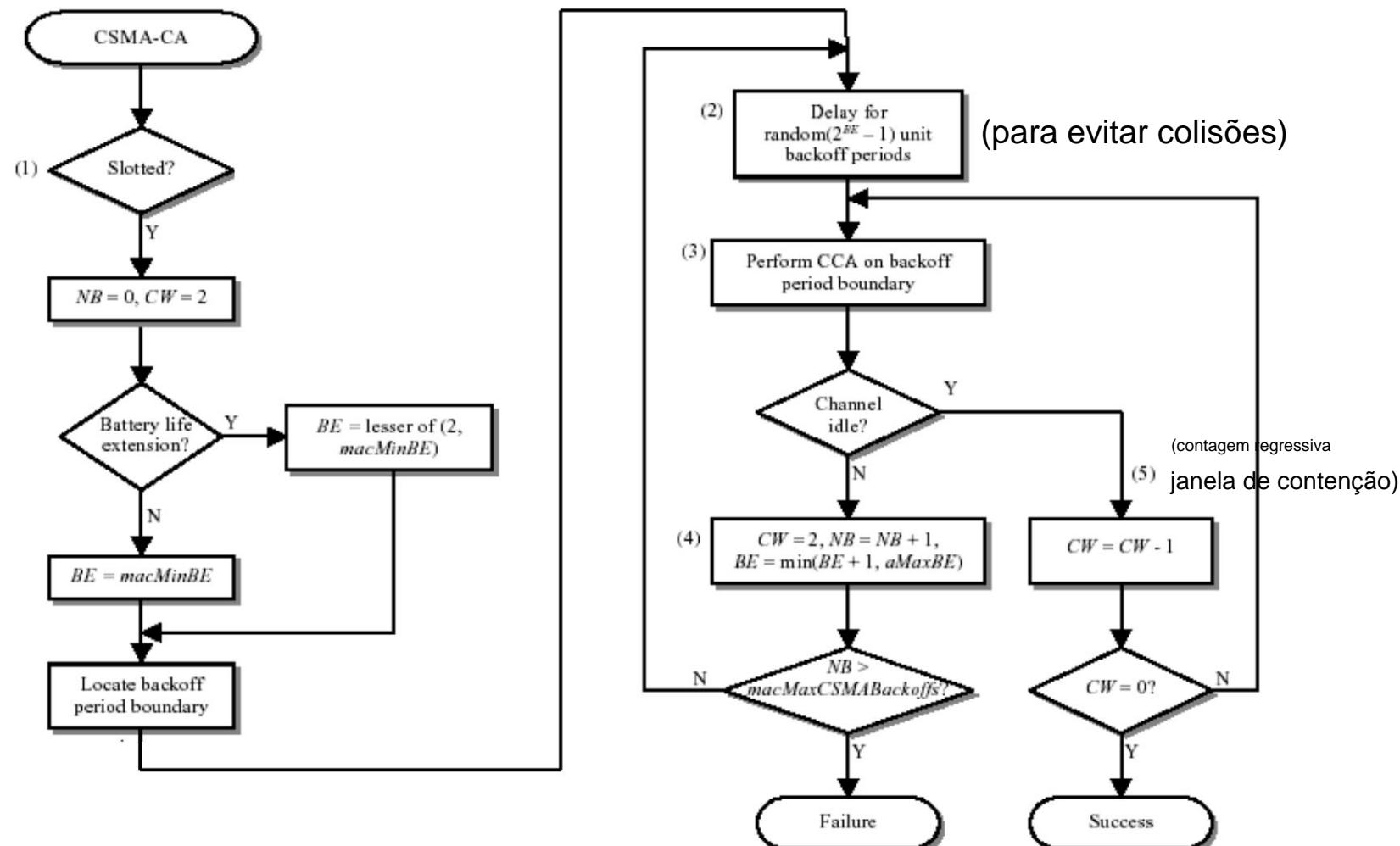
Algoritmo CSMA/CA

- Cada dispositivo deverá manter três variáveis para cada tentativa de transmissão
 - NB: número de vezes que o algoritmo CSMA/CA foi necessário para recuar ao tentar a transmissão atual
 - CW: duração da janela de contenção, o número de períodos de espera que precisam ser liberados da atividade do canal antes que a transmissão possa começar (inicialmente para 2 e redefinido para 2 se o canal detectado estiver ocupado)
 - BE: o expoente de espera que está relacionado a quantos períodos de espera um dispositivo deve esperar antes de tentar avaliar um canal

CSMA/CA com fenda

NB é o número de vezes que o algoritmo CSMA-CA foi obrigado a recuar ao tentar a transmissão atual

BE é o expoente de espera, que define o número de períodos de espera que um nó deve esperar antes de tentar a avaliação de canal limpo (CCA).

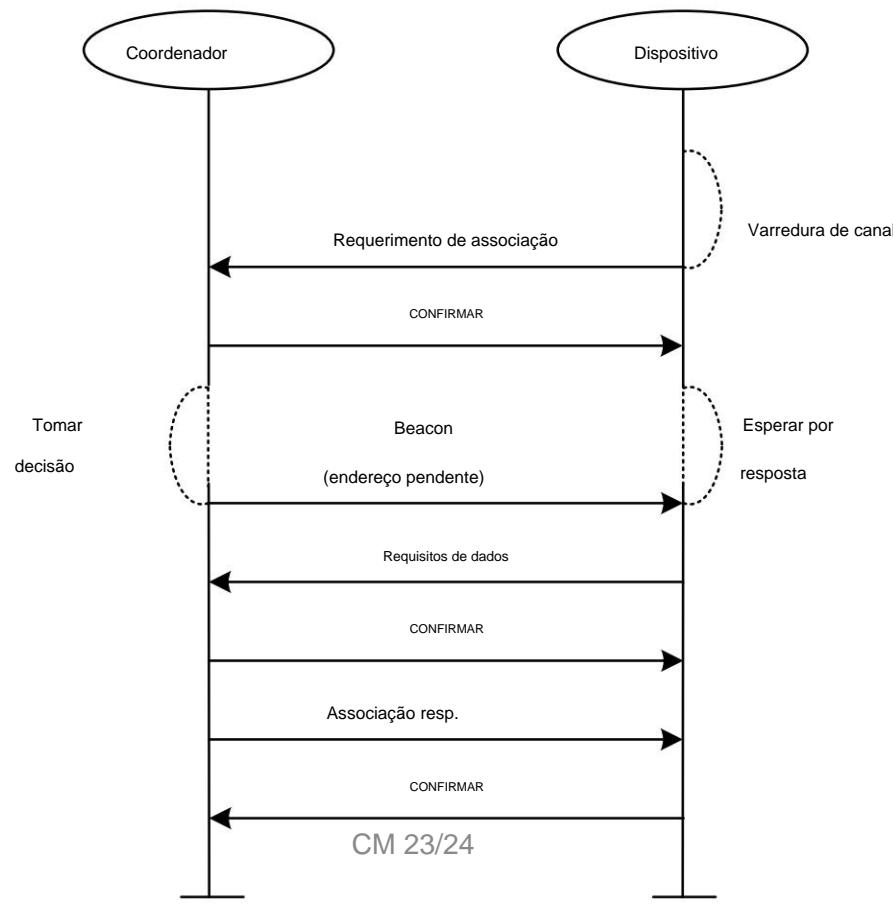


Isso garante a execução de duas operações CCA para evitar possíveis colisões de quadros de confirmação.

Se o canal for novamente detectado como inativo (CW = 0), o nó tentará transmitir.

Procedimentos de associação

- Um dispositivo torna-se membro de um PAN associando-se ao seu coordenador
- Procedimentos

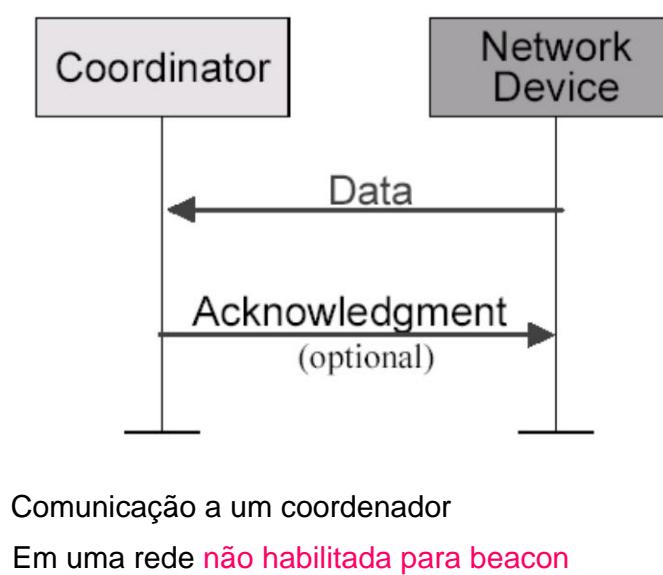
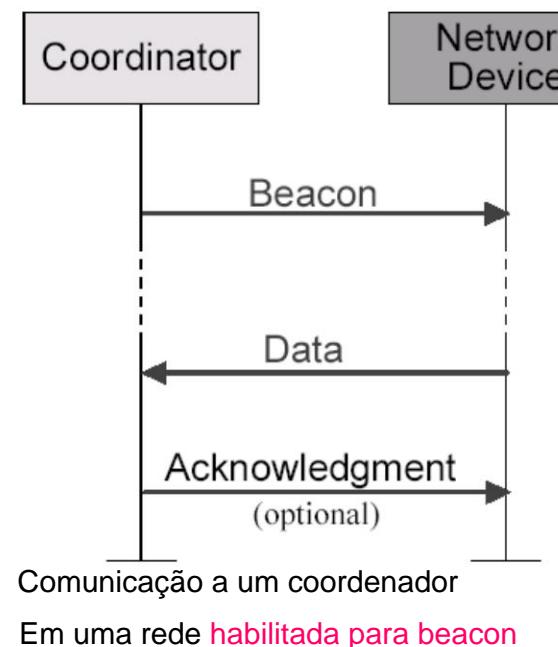


Procedimentos de associação

- No IEEE 802.15.4, **os resultados da associação** são anunciados de forma indireta moda
- Um coordenador responde às solicitações de associação anexando os dados dos dispositivos endereços longos (64 bits) em quadros de beacon
- Os dispositivos precisam enviar uma solicitação de dados ao coordenador para adquirir o resultado da associação
- Após a associação a um coordenador, será atribuído a um dispositivo um protocolo de 16 bits *endereço curto*.

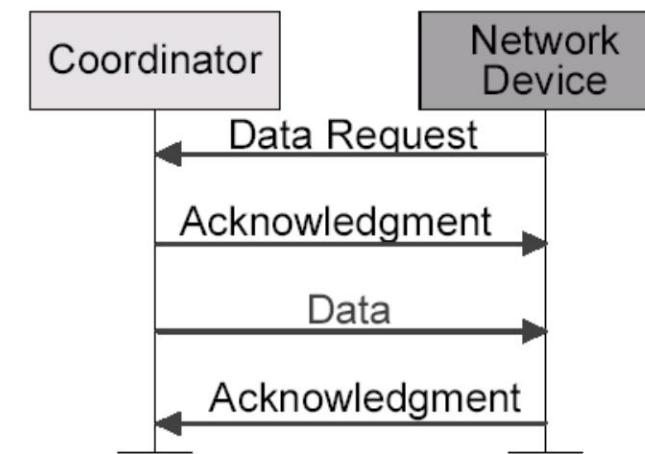
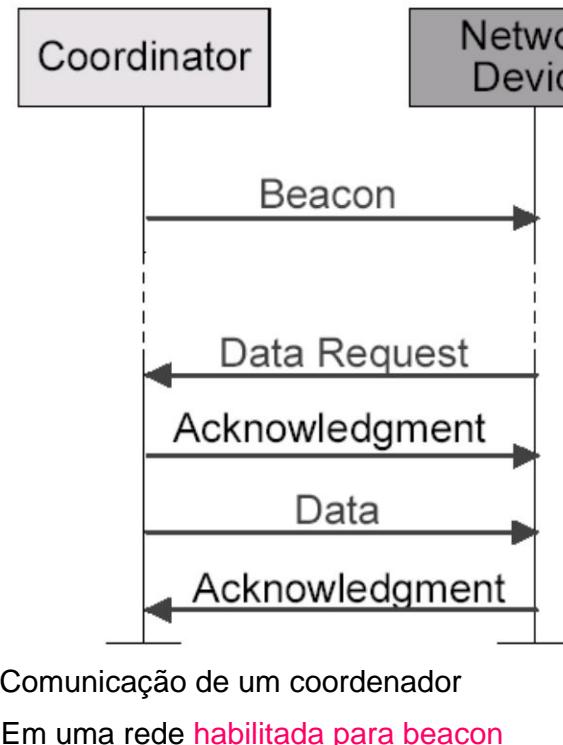
Modelo de transferência de dados (dispositivo para coordenador)

- Dados transferidos do dispositivo para o coordenador
 - Em uma rede habilitada para beacon, o dispositivo encontra o beacon para sincronizar com a estrutura do superframe. Em seguida, usa CSMA/CA com slot para transmitir seus dados.
 - Em uma rede sem beacon, o dispositivo simplesmente transmite seus dados usando CSMA/CA sem slot



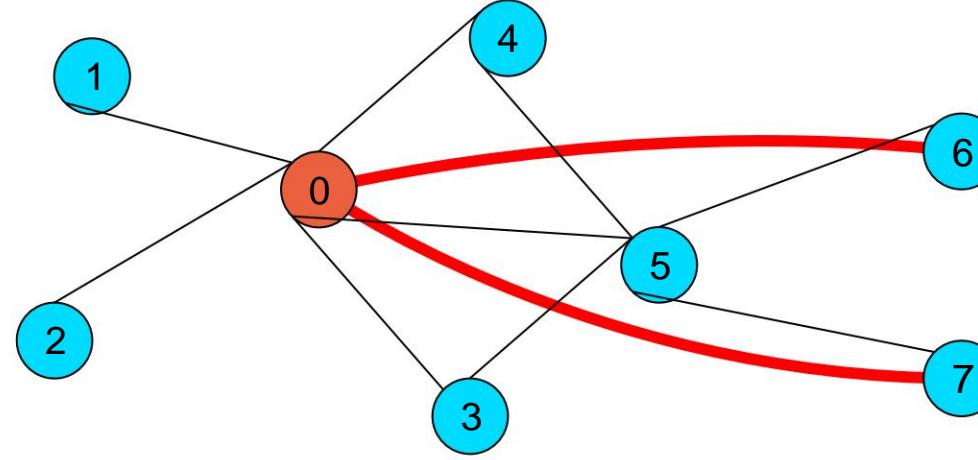
Modelo de transferência de dados (coordenador para dispositivo)

- Dados transferidos do coordenador para o dispositivo
 - Numa **rede habilitada para beacon**, o coordenador indica no beacon que os dados estão pendentes. O dispositivo escuta periodicamente o beacon e transmite uma solicitação de comando MAC usando CSMA/CA com slot, se necessário.
 - Em uma **rede sem beacon habilitado**, um dispositivo transmite uma solicitação de comando MAC usando CSMA/CA sem slot. Se o coordenador tiver dados pendentes, o coordenador transmite o quadro de dados usando CSMA/CA sem slot. Caso contrário, o coordenador transmite um quadro de dados com carga útil de comprimento zero.



Comunicação de um coordenador em uma
rede **não habilitada para beacon**

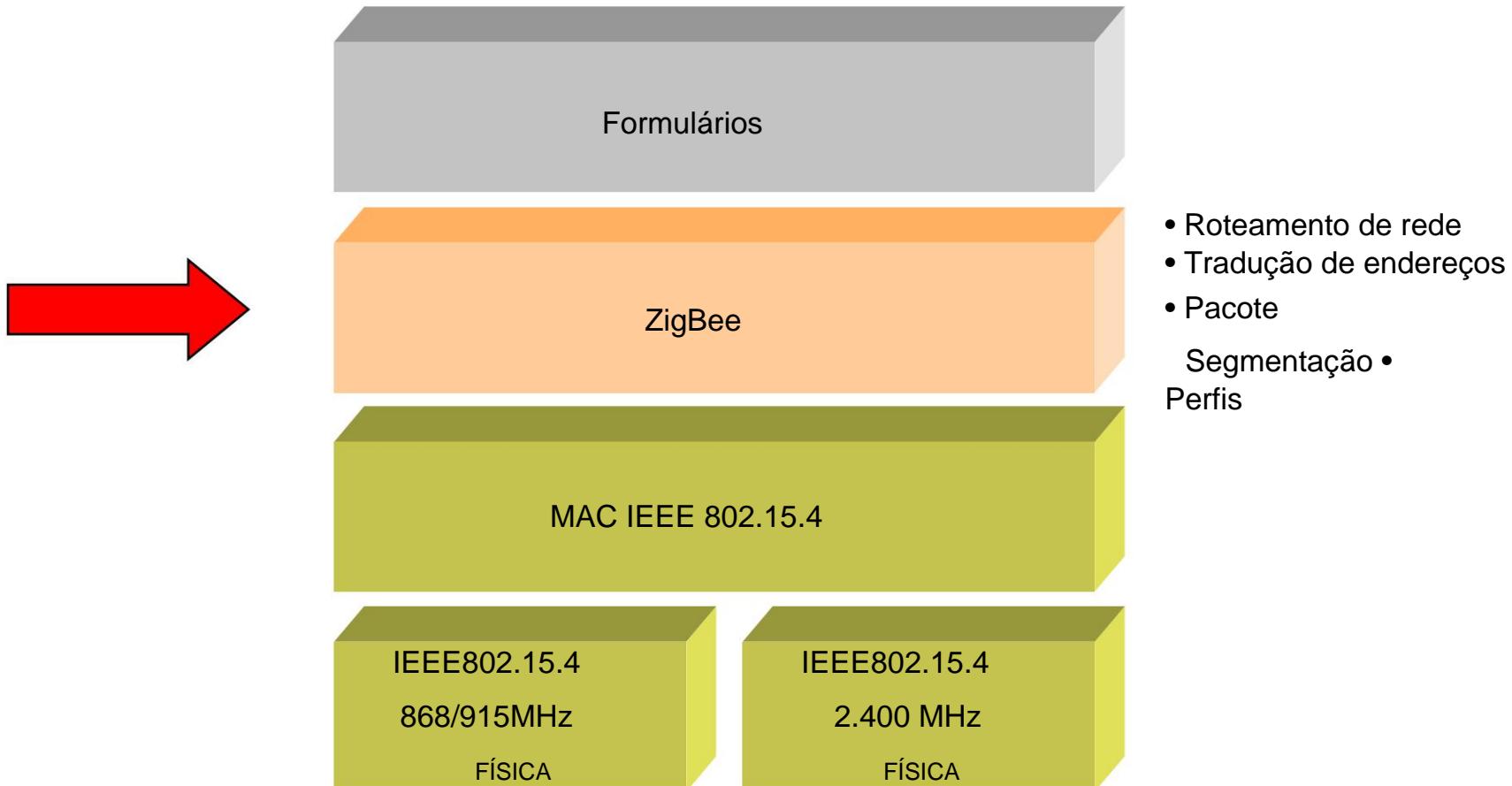
Camada MAC



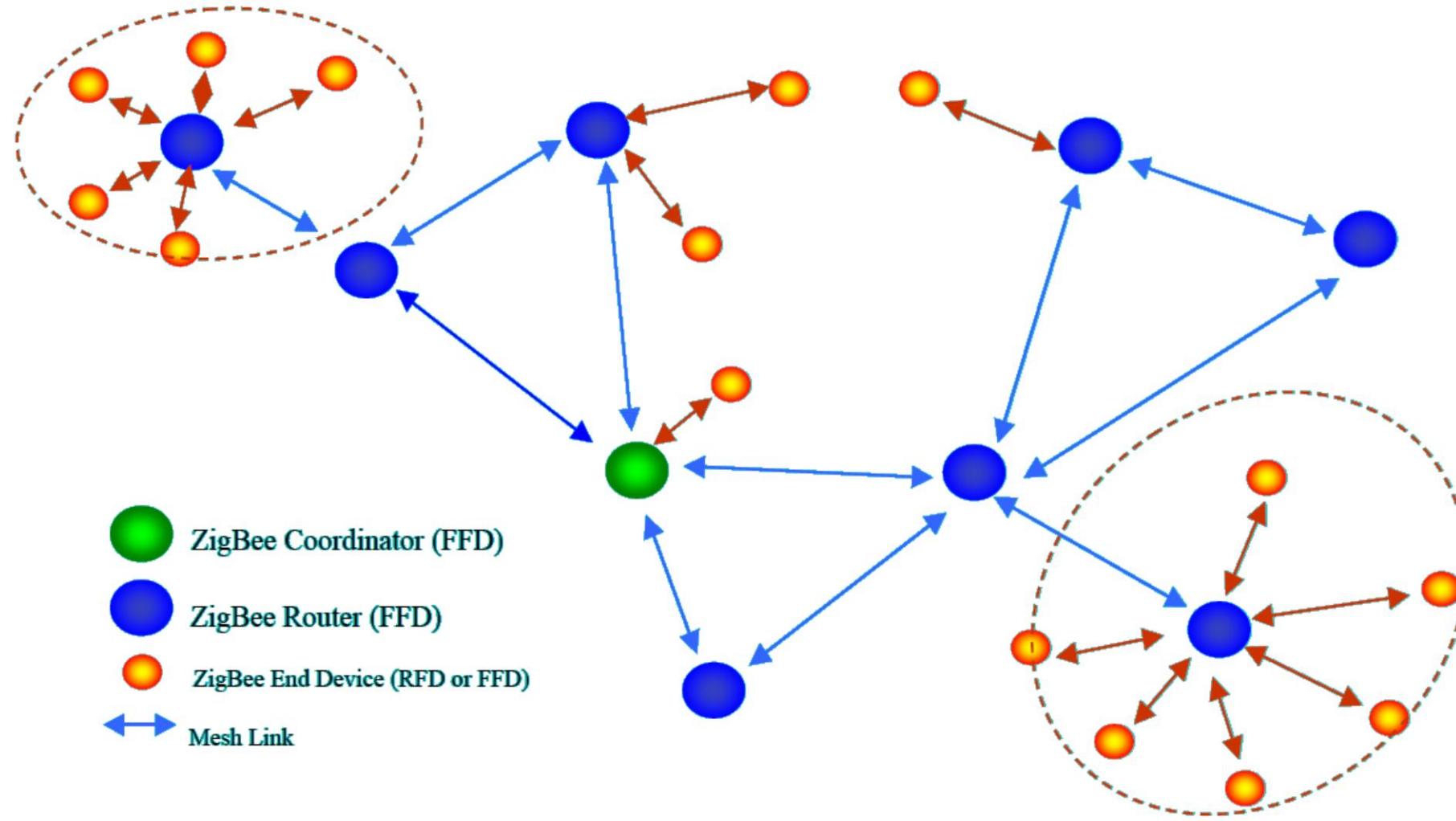
Como 6 e 7 se conectam ao coordenador 0?

Roteamento (camada NWK)

Arquitetura 802.15.4



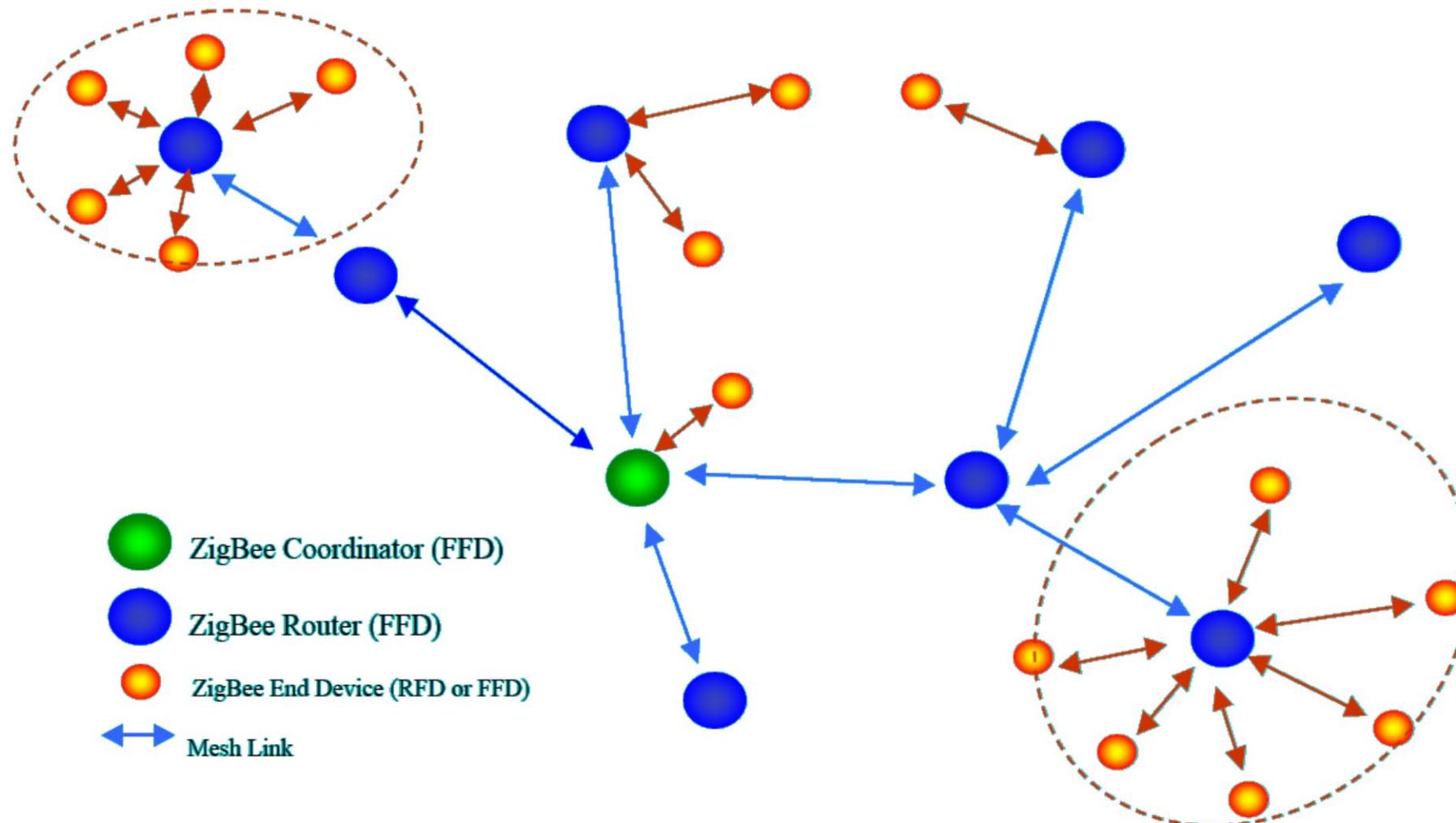
Topologias combinadas: topologias de malha



Em uma rede mesh, beacons regulares não são permitidos.

Dispositivos em uma rede mesh só podem se comunicar entre si por meio de transmissões ponto a ponto

Topologias Combinadas: Árvore



Em uma rede em árvore, o coordenador e os roteadores podem anunciar beacons.

Endereçamento de dispositivo

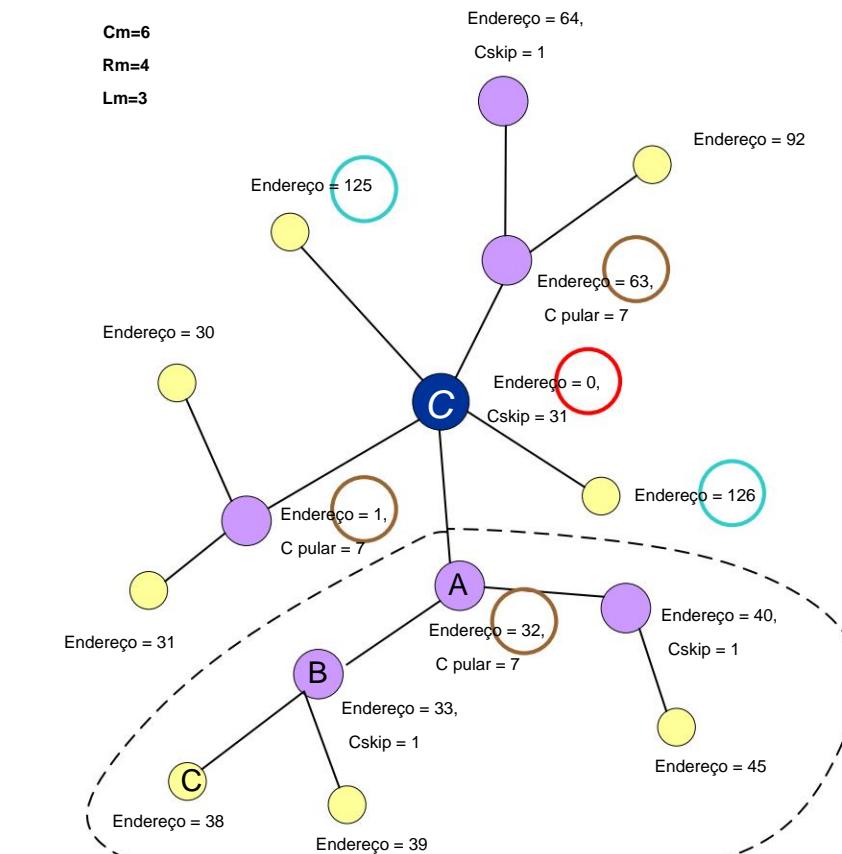
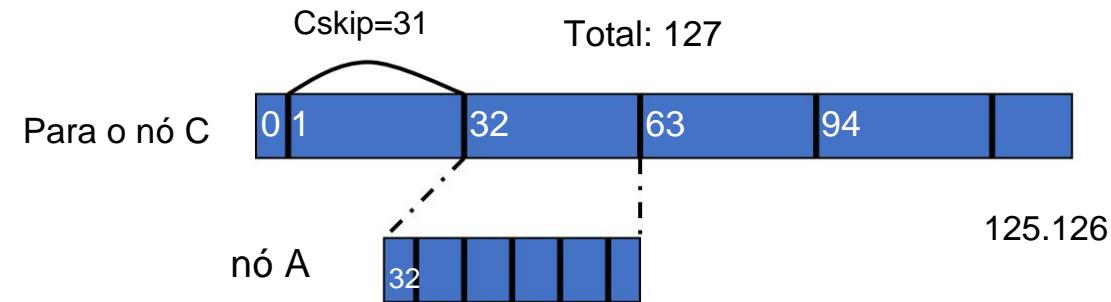
- Dois ou mais dispositivos comunicando-se no mesmo canal físico constituem um WPAN que inclui pelo menos um FFD (coordenador PAN)
- Cada PAN independente selecionará um identificador PAN exclusivo.
- Todos os dispositivos operando em uma rede deverão ter endereço estendido exclusivo de 64 bits (IEEE 802.15.4). Este endereço pode ser usado para comunicação direta no PAN
- O endereço de rede pode usar um endereço curto de 16 bits, que é alocado para o roteadores filhos pelo coordenador PAN quando o dispositivo se associa
- 256 subendereços podem ser alocados para subunidades

Atribuição de endereço em uma rede ZigBee

- No ZigBee, os endereços de rede são atribuídos aos dispositivos por um **esquema de atribuição de endereços distribuídos**
- O coordenador ZigBee determina três parâmetros de rede para definir o alocações
 - o número máximo de filhos (*Cm*) de um roteador ZigBee
 - o número máximo de roteadores filhos (*Rm*) de um nó pai
 - a profundidade da rede (*Lm*)
- Um dispositivo pai utiliza *Cm*, *Rm* e *Lm* para calcular um parâmetro chamado ***Cskip***
 - que é usado para calcular o tamanho dos conjuntos de endereços de seus filhos

$$Cskip(d) = \frac{\lceil \frac{1 + Cm \cdot Rm \cdot Cm \cdot Rm}{1 - Rm} \rceil^{Lm - 1}, \quad \text{se } Rm = 1 \quad (a)}{\lceil \frac{1 + Cm \cdot Rm}{1 - Rm} \rceil^{Lm - 1}, \quad \text{De outra forma} \quad (b)}$$

- Se um nó pai na profundidade d tiver um endereço A_{parent} , • o enésimo roteador filho será atribuído ao endereço $A_{parent} + (n-1) \times Cskip(d) + 1$
- o enésimo dispositivo final filho é atribuído ao endereço $A_{parent} + Rm \times Cskip(d) + n$



Protocolos de roteamento ZigBee

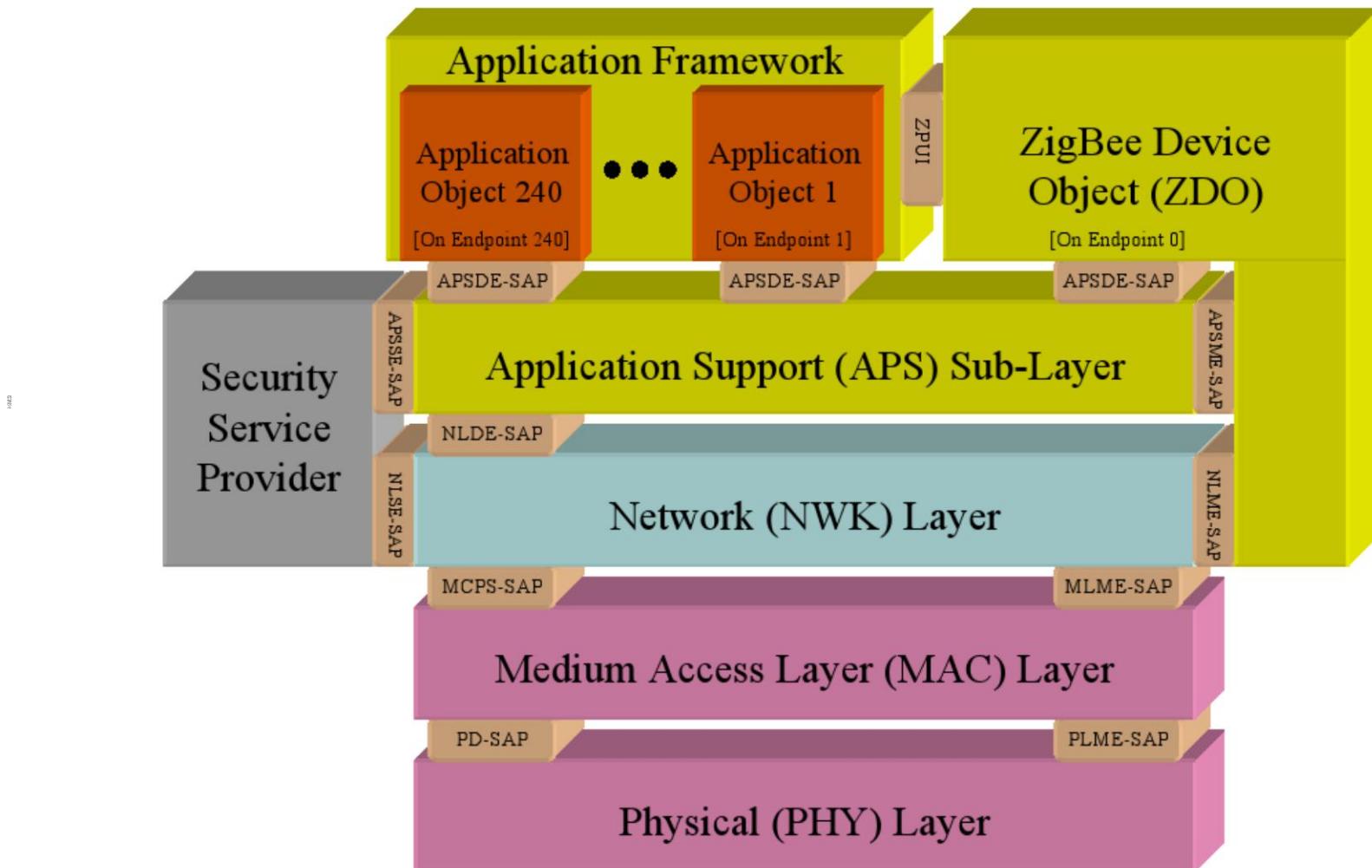
- Em uma rede em árvore
 - Utilize a atribuição de endereço para obter os caminhos de roteamento
- Em uma rede mesh
 - Duas opções
 - Roteamento reativo: se tiver capacidade de roteamento
 - Use roteamento em árvore: se não tiver capacidade de roteamento
- Observação:
 - Diz-se que os coordenadores e roteadores ZigBee têm *capacidade de roteamento* se tiverem capacidades da tabela de roteamento e *capacidades da tabela de descoberta de rotas*

Resumo da camada de rede ZigBee

- Prós e contras de diferentes tipos de topologias de rede ZigBee

	Prós	Contras
Estrela	<ol style="list-style-type: none">1. Fácil de sincronizar2. Suporta operação de baixa potência3. Baixa latência	<ol style="list-style-type: none">1. Pequena escala
Árvore	<ol style="list-style-type: none">1. Baixo custo de roteamento2. Pode formar superframes para suportar o modo de suspensão3. Permitir comunicação multihop	<ol style="list-style-type: none">1. A reconstrução da rota é cara2. A latência pode ser bastante longa
Malha	<ol style="list-style-type: none">1. Comunicação multihop robusta2. A rede é mais flexível3. Menor latência	<ol style="list-style-type: none">1. Não é possível formar superframes (e, portanto, não pode suportar o modo de suspensão)2. A descoberta de rotas é cara3. Precisa de armazenamento para tabela de roteamento

Nível de aplicação



Camada de aplicação

Objetos definidos pelo ZigBee (ZDO):

- fornece função comum para aplicativos • Inicializa APS, camada NWK e especificação de serviço de segurança • oferece serviços como descoberta de dispositivos/serviços, vinculação e gerenciamento de segurança
- reúne informações sobre a rede
- para ZBC/ZBR -> por exemplo, tabela de ligação

Command	Addressing	
	Request	Response
End device bind	Unicast to ZC	Unicast
Bind	Unicast to ZC or Src	Unicast
Unbind	Unicast to ZC or Src	Unicast

Perfis:

Definição de perfis ZigBee •

descreve uma linguagem comum para troca de dados

- define os serviços oferecidos
- interoperabilidade de dispositivos entre diferentes fabricantes

• Perfis padrão disponíveis na ZigBee Alliance

• **perfis contêm descrições de dispositivos**

• identificador exclusivo
(licenciado pela ZigBee Alliance)

ZigBee e BLE

- Comparação de negócios:

- ZigBee é mais antigo. Passou por algumas iterações
- A ZigBee tem participação no mercado, mas ainda não tem muitas remessas.
- Barreiras de mercado: conectividade – o ZigBee ainda não está nos PCs ou nos telemóveis.

- Comparação técnica:

- Zigbee tem baixo consumo de energia; O Bluetooth LE é ainda mais baixo. A análise detalhada depende de aplicações específicas e detalhes do projeto, sem mencionar a geometria do chip.
- A pilha ZigBee é leve; a pilha Bluetooth LE/GATT é ainda mais simples
 - Lembre-se: GATT – perfil genérico ATtribute

- Daqui para frente:

- ZigBee é líder no desenvolvimento de aplicativos e presença
- Bluetooth de baixo consumo de energia tem tecnologia aprimorada e uma presença marcante em vários mercados existentes: telefones celulares, automóveis, eletrônicos de consumo, Indústria de PCs
 - Substituindo rapidamente o “mercado Bluetooth clássico”
 - “ com dispositivos de “modo duplo” irá inicializar isso

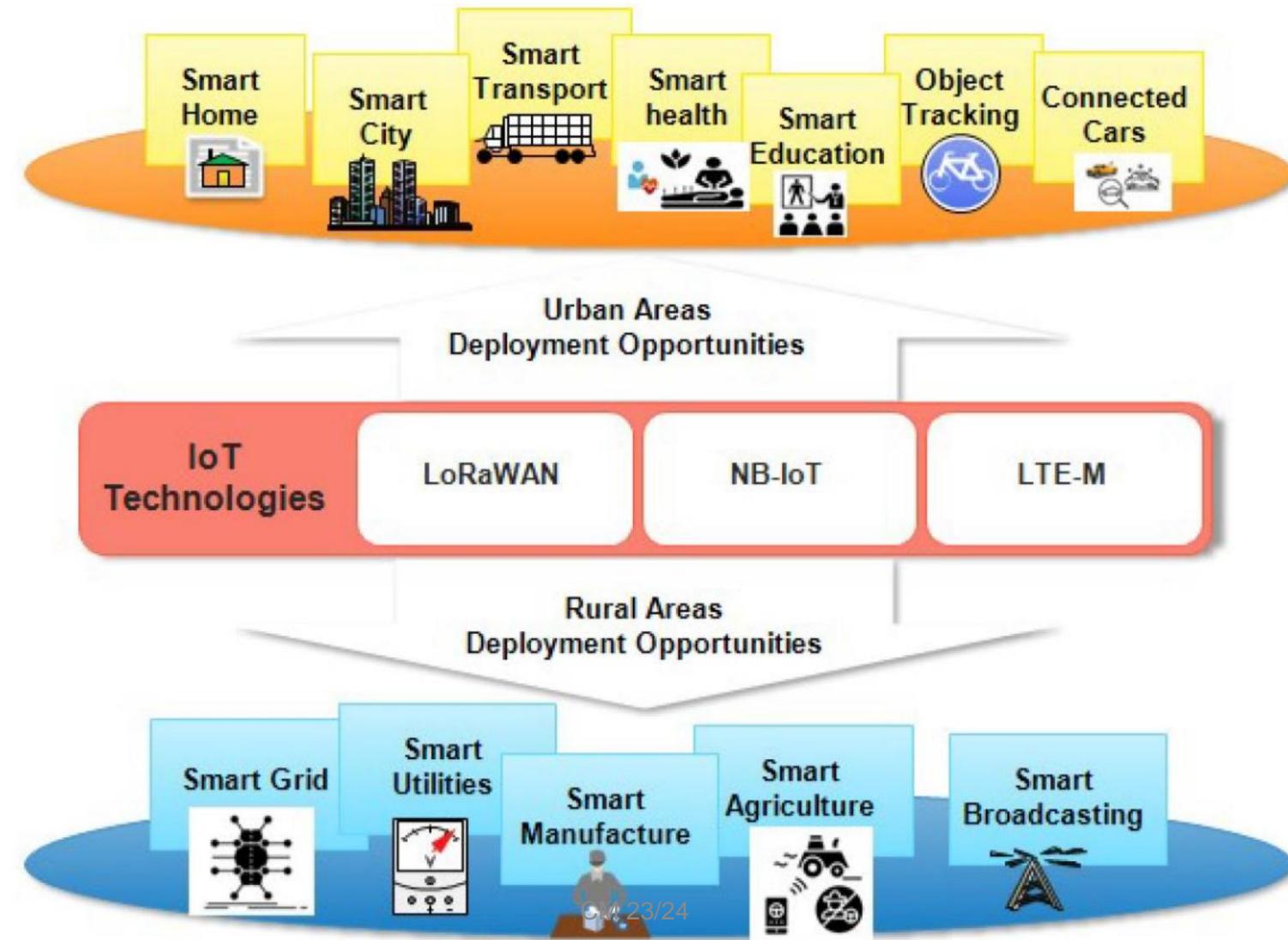
Sensor sem fio de área ampla Redes

WWSN

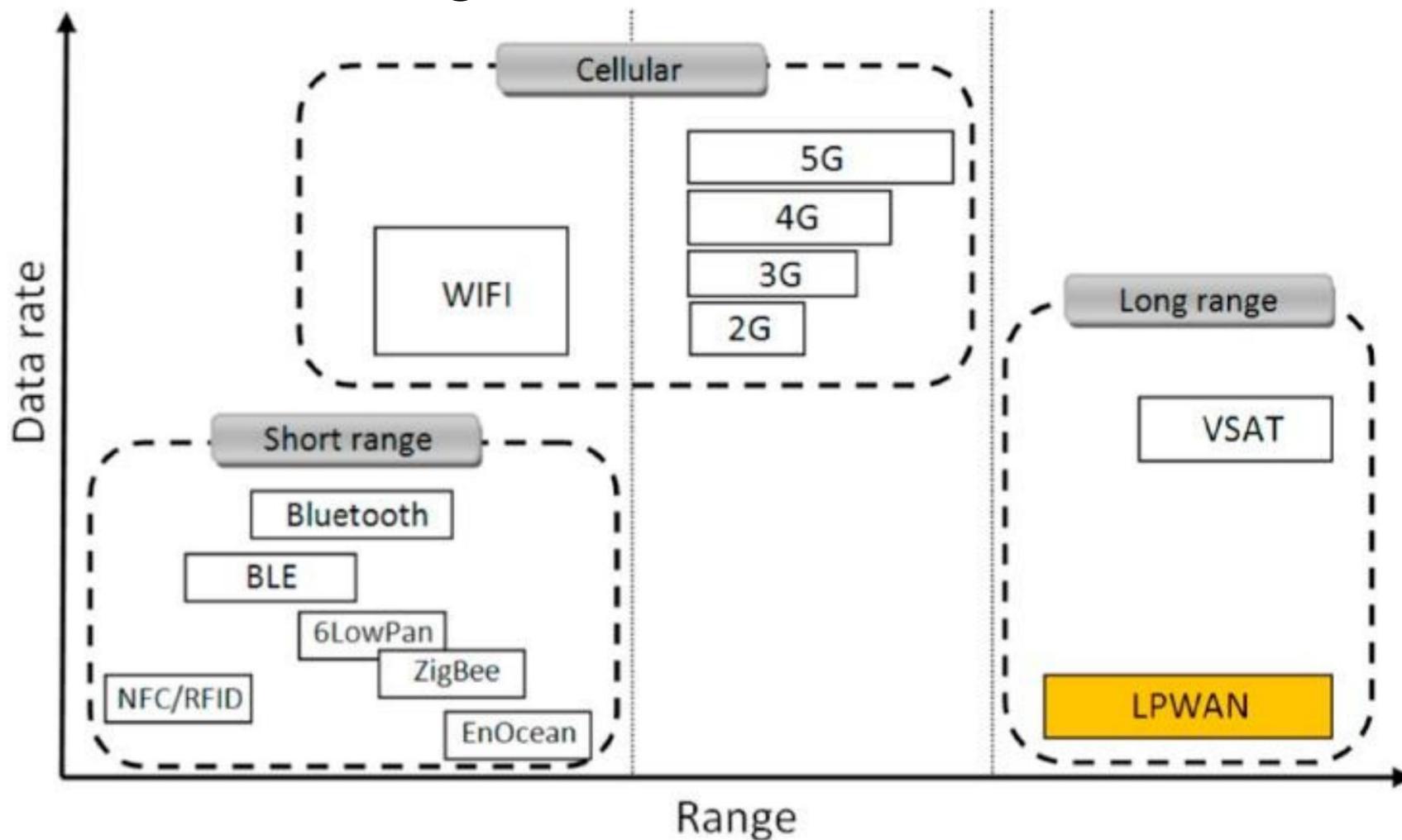
O que é isso?

- WWSN – redes de sensores sem fio de área ampla
- LPWSN – redes de sensores sem fio de baixa potência
- Tecnologias para redes de sensores em áreas amplas •
 - seja para baixa potência ou para geografia
 - Normalmente: Sigfox, LoRa, celular (LTE-M, NB-IoT)

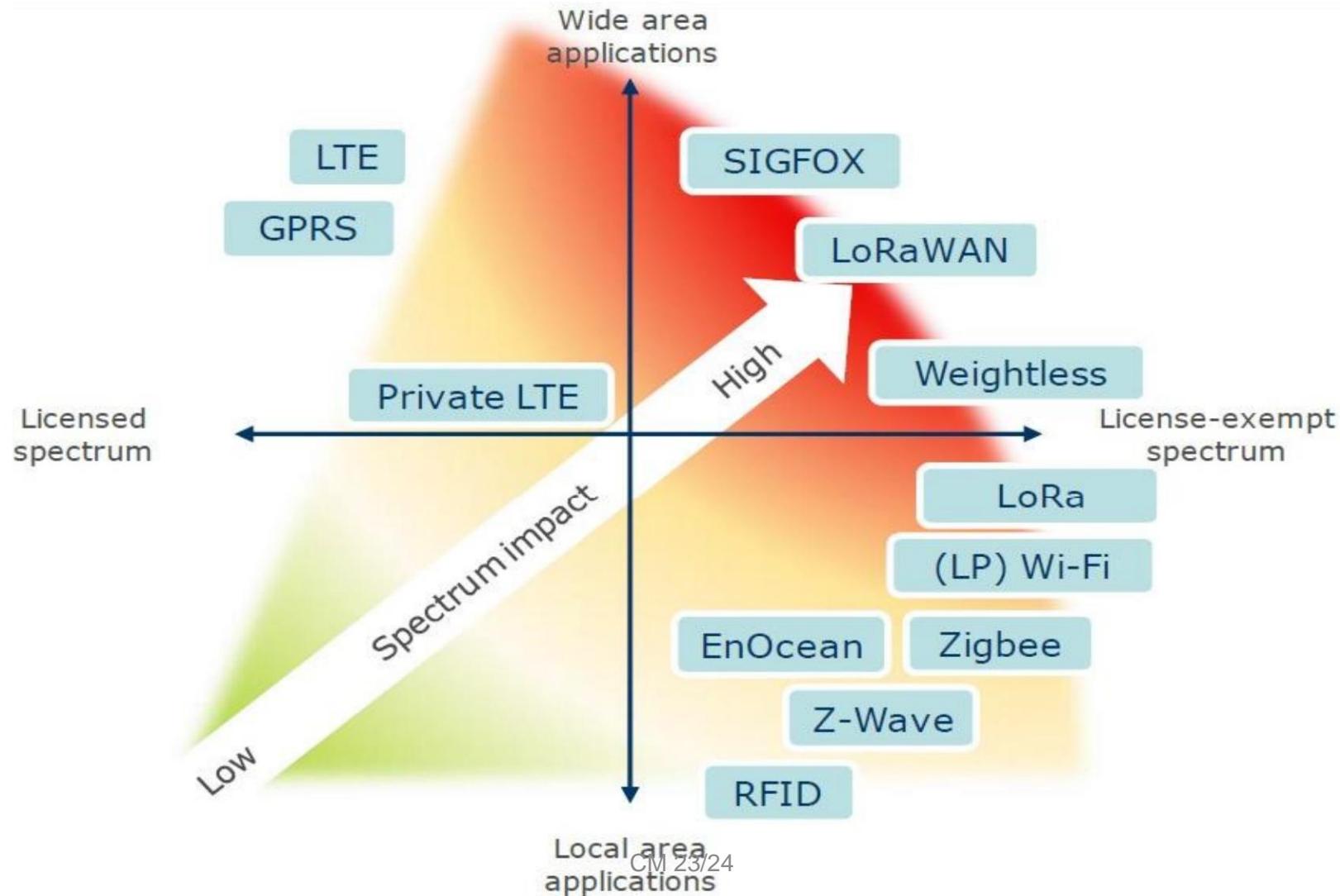
LPWSN



Revisão de tecnologia



Licenciado vs isento de licença



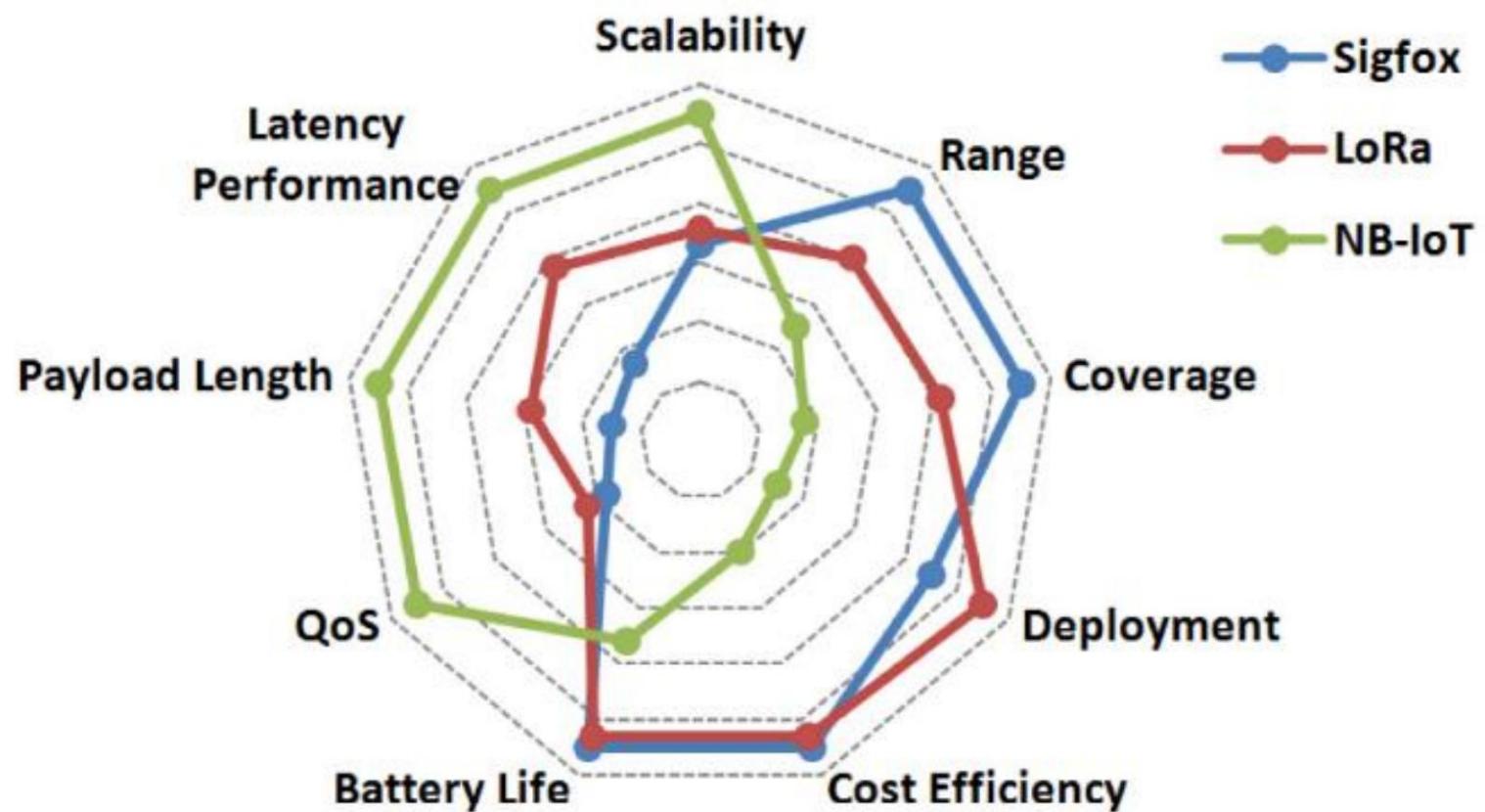
Visão geral do LPWAN

Overview of LPWAN technologies: Sigfox, LoRa, and NB-IoT.

	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Modulation	BPSK	CSS	QPSK
Frequency	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)	Licensed LTE frequency bands
Bandwidth	100 Hz	250 kHz and 125 kHz	200 kHz
Maximum data rate	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirectional	Limited / Half-duplex	Yes / Half-duplex	Yes / Half-duplex
Maximum messages/day	140 (UL), 4 (DL)	Unlimited	Unlimited
Maximum payload length	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Range	10 km (urban), 40 km (rural)	5 km (urban), 20 km (rural)	1 km (urban), 10 km (rural)
Interference immunity	Very high	Very high	Low
Authentication & encryption	Not supported	Yes (AES 128b)	Yes (LTE encryption)
Adaptive data rate	No	Yes	No
Handover	End-devices do not join a single base station	End-devices do not join a single base station	End-devices join a single base station
Localization	Yes (RSSI)	Yes (TDOA)	No (under specification)
Allow private network	No	Yes	No
Standardization	Sigfox company is collaborating with ETSI on the standardization of Sigfox-based network	LoRa-Alliance	3GPP

	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRa	Free	> 100€/gateway > 1000€/base station	3–5€
NB-IoT	>500 M€ /MHz	>15 000€/base station	>20€

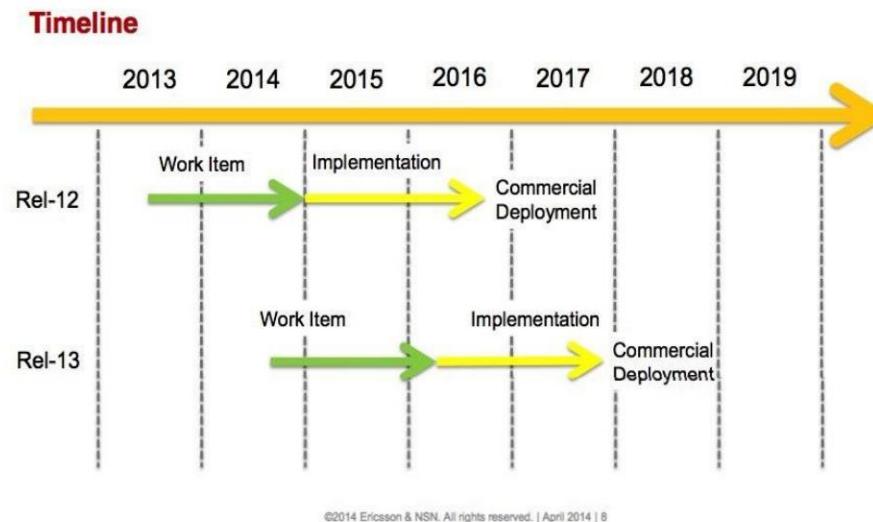
Radar de comparação



LTE-M - Visão geral



- ÿ Evolução do LTE otimizado para IoT
- ÿ Baixo consumo de energia e autônomo
- ÿ Fácil implantação
- ÿ Interoperabilidade com redes LTE existentes
- ÿ Cobertura até 11 Km
- ÿ Taxa de transferência máxima ÿ 1 Mbps



- ÿ Lançado pela primeira vez em Rel.12 no 2º trimestre de 2014
- ÿ Otimização em Rel.13
- ÿ Especificações concluídas no primeiro trimestre de 2016
- ÿ Disponível desde 2017

Evolução de LTE para LTE-M

Lançamentos 3GPP	8 (Cat.4)	8 (Cat. 1)	12 (Cat.0) LTE-	13 (Cat. 1,4 MHz) LTE-M
Taxa de pico de downlink (Mbps)	150	10	1	1
Taxa de pico de uplink (Mbps)	50	5	1	1
Número de antenas (MIMO)	2	2	1	1
Modo Duplex	Completo	Completo	Metade	Metade
UE recebe largura de banda (MHz)	20	20	20	1.4
Potência de transmissão UE (dBm)	23	23	23	20

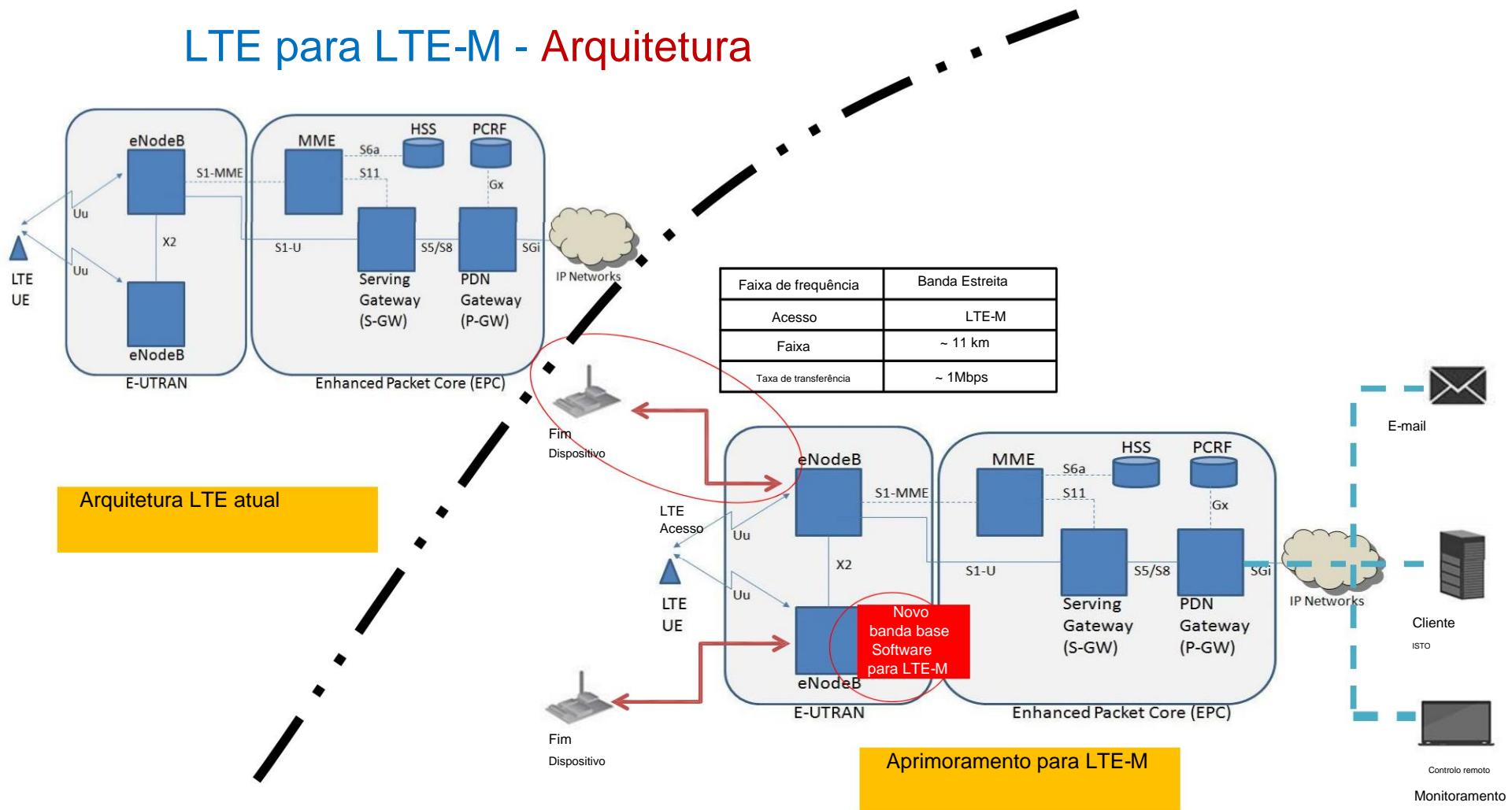
Versão 12

- Nova categoria de UE (“Cat-0”); inferior complexidade e dispositivos de baixo custo
- Operação FDD half duplex permitida
- Receptor único
- Requisito de taxa de dados mais baixa (Máx.: 1 Mbps)

Versão 13

- Largura de banda de recepção reduzida para 1,4 MHz
- Classe de potência mais baixa do dispositivo de 20 dBm
- Orçamento de link adicional de 15dB: melhor cobertura
- Mais eficiente em termos energéticos devido à sua extensão ciclo de repetição descontínua (eDRX)

LTE para LTE-M - Arquitetura



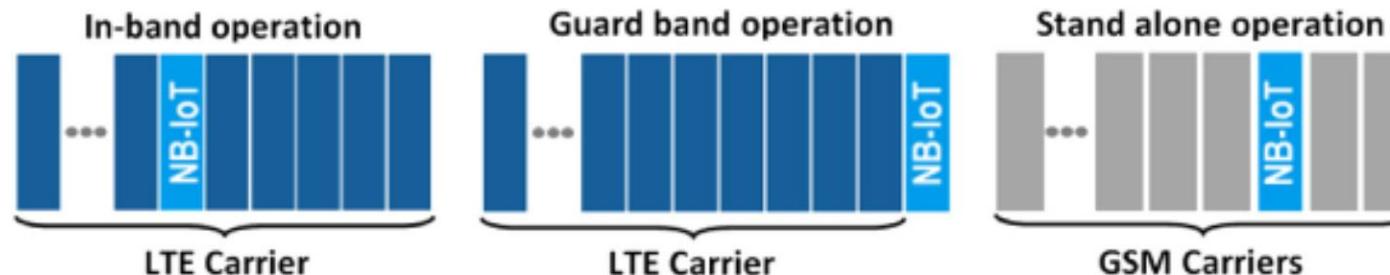
NB-IoT •

Definido em R13, outro modo em vez de LTE-M •

Largura de banda –

200KHz • Um bloco de recursos em GSM/LTE

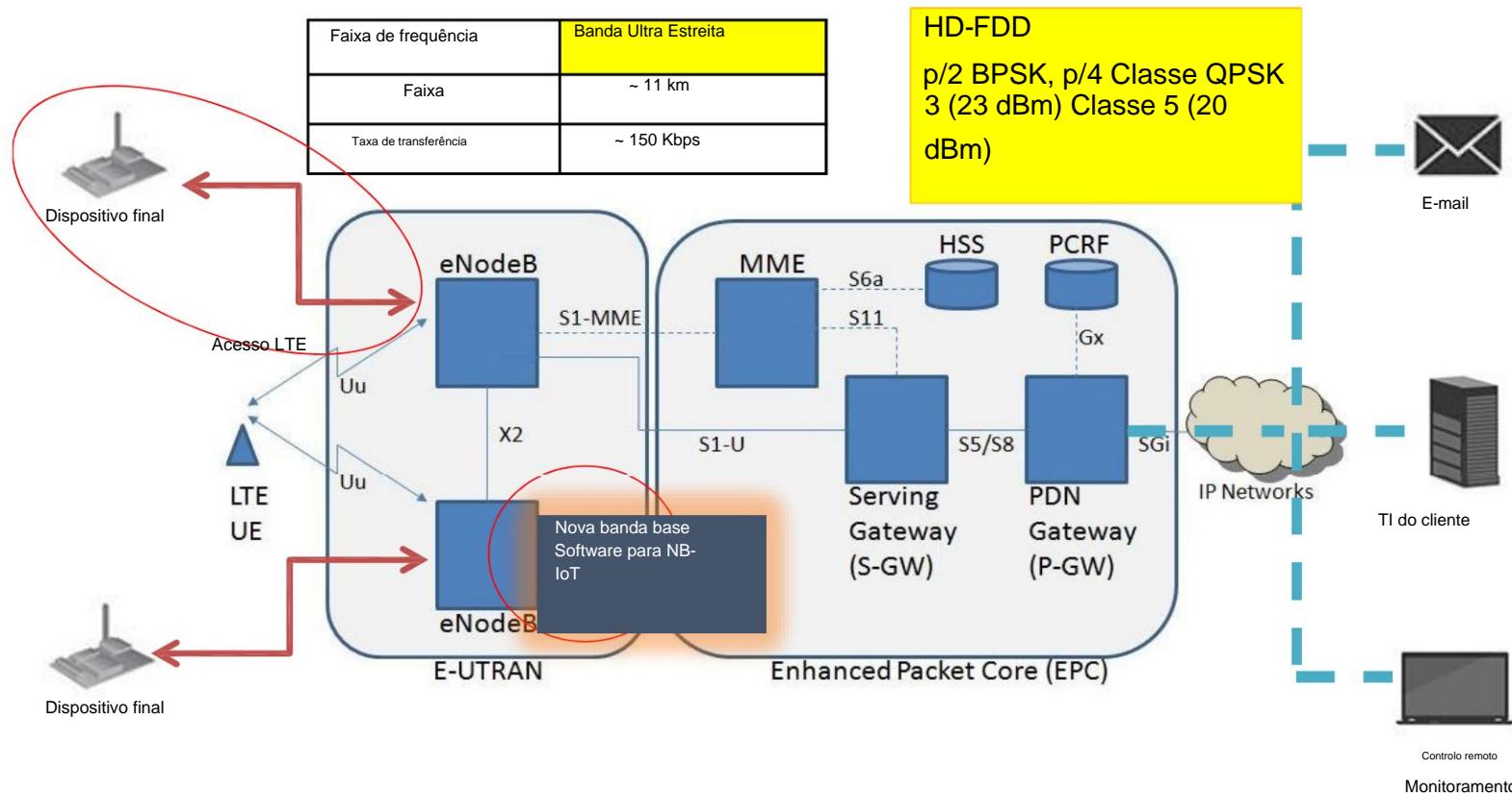
- Baseado no protocolo LTE, simplificado •
OFDMA(down)/FDMA(up), QPSK
 - 200kbps (down)/20kbps(up)
- Três modos de operação



NB-IoT

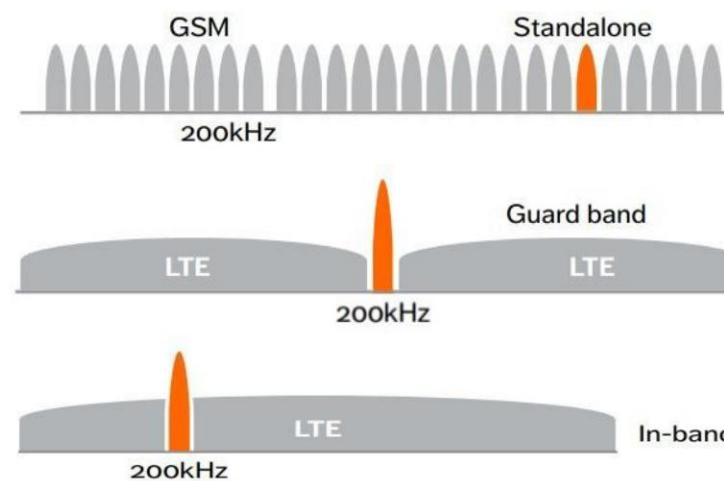
- ÿ Usa extensivamente o design LTE
- ÿ Menor custo em termos de utilização do canal
- ÿ Cobertura estendida
- ÿ Baixa sensibilidade do receptor = -141 dBm
- ÿ Bateria de longa duração: 10 anos com bateria de 5 Watts-hora (dependendo das necessidades de tráfego e cobertura)
- ÿ Suporte para um grande número de dispositivos: pelo menos 50.000 por célula
- ÿ 3 modos de operação:
 - ÿ Autônomo: portadora autônoma, por exemplo, espectro atualmente utilizado pelos sistemas GERAN (GSM Edge Radio Access Network) como substituição de um ou mais operadoras GSM
 - ÿ Banda de guarda: blocos de recursos não utilizados dentro da banda de guarda de uma operadora LTE
 - ÿ In-band: blocos de recursos dentro de uma operadora LTE normal

NB-IoT - Arquitetura



NB-IoT – Espectro e Acesso

Projetado com diversas opções de implantação para GSM licenciado ,
Espectro WCDMA ou LTE para alcançar eficiência



Operação autônoma

Espectro dedicado.

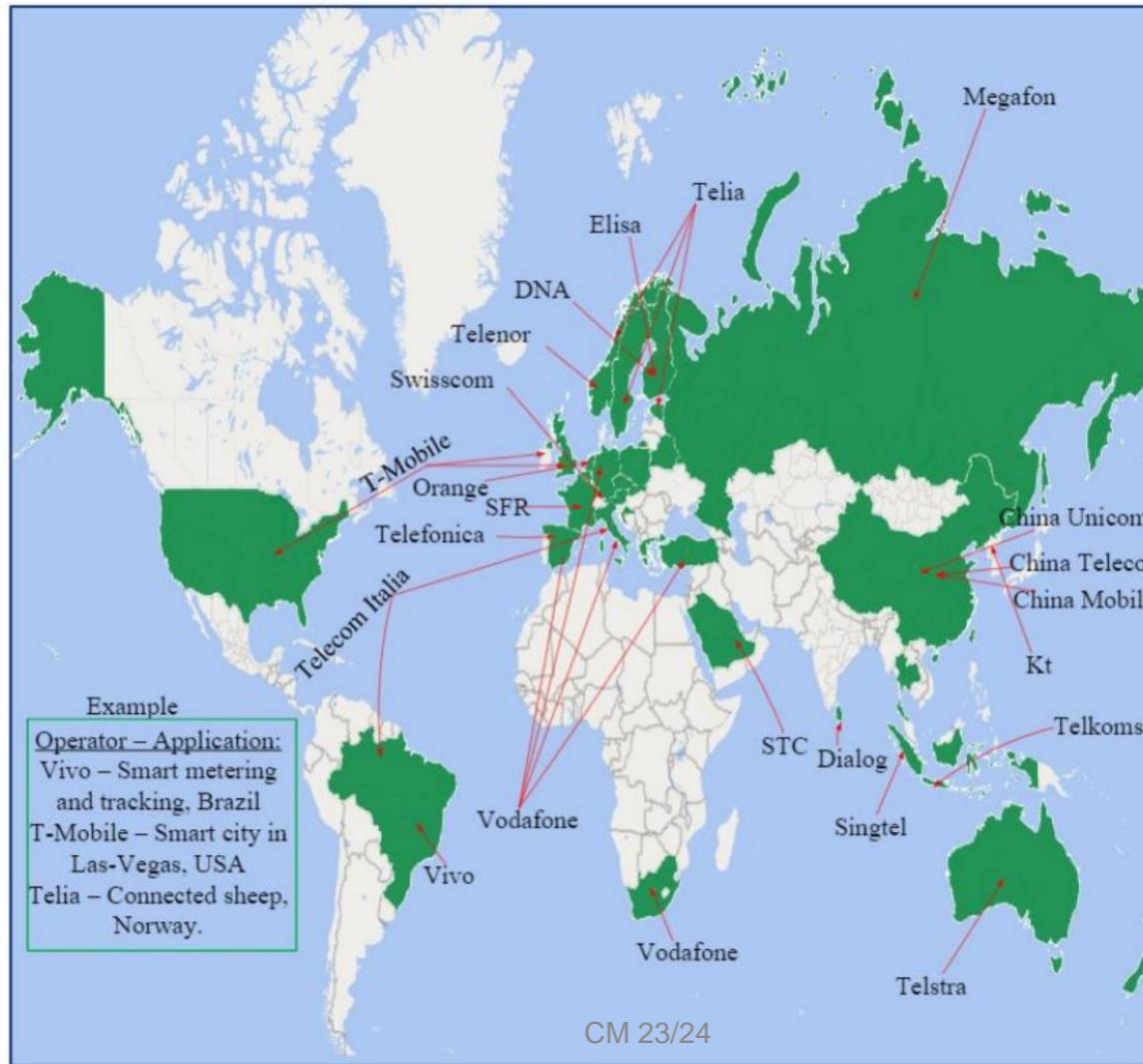
Ex.: Ao **re-cultivar canais GSM**

Guarda banda Operação:
Baseado em o não utilizado RB dentro de um LTE

banda de guarda da transportadora

Dentro da banda Operação:
Usando **blocos de recursos** dentro de uma normalidade
Operadora LTE

NB-IoT (@2019)



Tecnologias celulares

- Duas estratégias, para cenários diferentes. • Sem MIMO para dispositivos de baixo consumo de energia.

	LTE-M	NB-IoT
Peak data rate	384 kbps	<100 kbps
Latency	50-100 ms	1.5-10 seconds
Power consumption	Best at medium data rates	Best at very low data rates
Mobility	Yes	No, stationary only
Voice	Yes	No
Antennas	1	1

SigFox



- Fornecer e manter uma plataforma de conectividade PAGA • Banda ultraestreita: 100 Hz por mensagem • Taxa de bits ultrabaixa: mensagens de 12 bytes, 140 mensagens por dia (máx.!) • Longo alcance: ~50KM • Sensores com duração de 10 anos • Fornece apenas conectividade, controle de acesso e um corretor
- Modelo de Negócio: serviço de conectividade para alarmes, medidores inteligentes, etc..

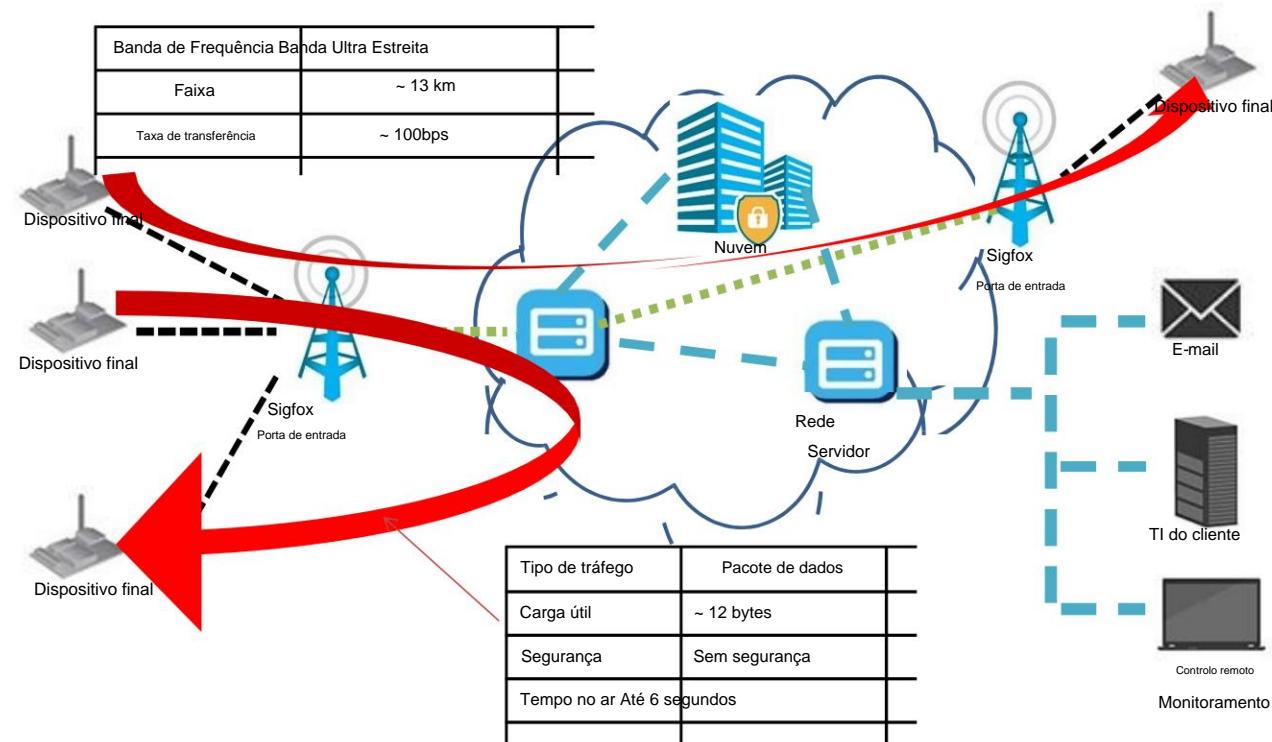
SigFox

- Rede de Sensores de Área Ampla de Baixa Potência (LPWASN)
- Milhares de milhões ÿ
 - Um milhão por ponto de acesso ;)
- Proprietário ÿ comercial
 - Você tem que usar sua infraestrutura de acesso (construída com operadoras) e software
 - Mercado aberto para os endpoints
- Alcance de 30 a 50 km em áreas rurais e alcance de 3 a 10 km em urbano
- Banda ultra estreita, frequência 868 (UE) ou 902 (EUA) (MHz)
- Baixo consumo de energia
- Rede dedicada

SigFox

- Cada dispositivo pode enviar até 140 mensagens por dia
 - Carga útil: 12 octetos (~96 bytes)
 - Taxa de dados:
até 100bps
 - **(Ciclo de trabalho:** o tempo ocupado pela operação de um dispositivo, que opera intermitentemente)
 - Comum na IoT
- Sigfox explora isso:
 - Quando um dispositivo tem uma mensagem a ser enviada, a interface Sigfox é ativada e a mensagem é uplink transmitido •
Então, o dispositivo escuta por um curto período, se houver dados a serem enviados para ele
 - Isso é bom para cenários de aquisição de dados
 - Mas não tão bom para situações de comando e controle
- Casos de uso:
 - Medidores inteligentes, detectores de fumaça

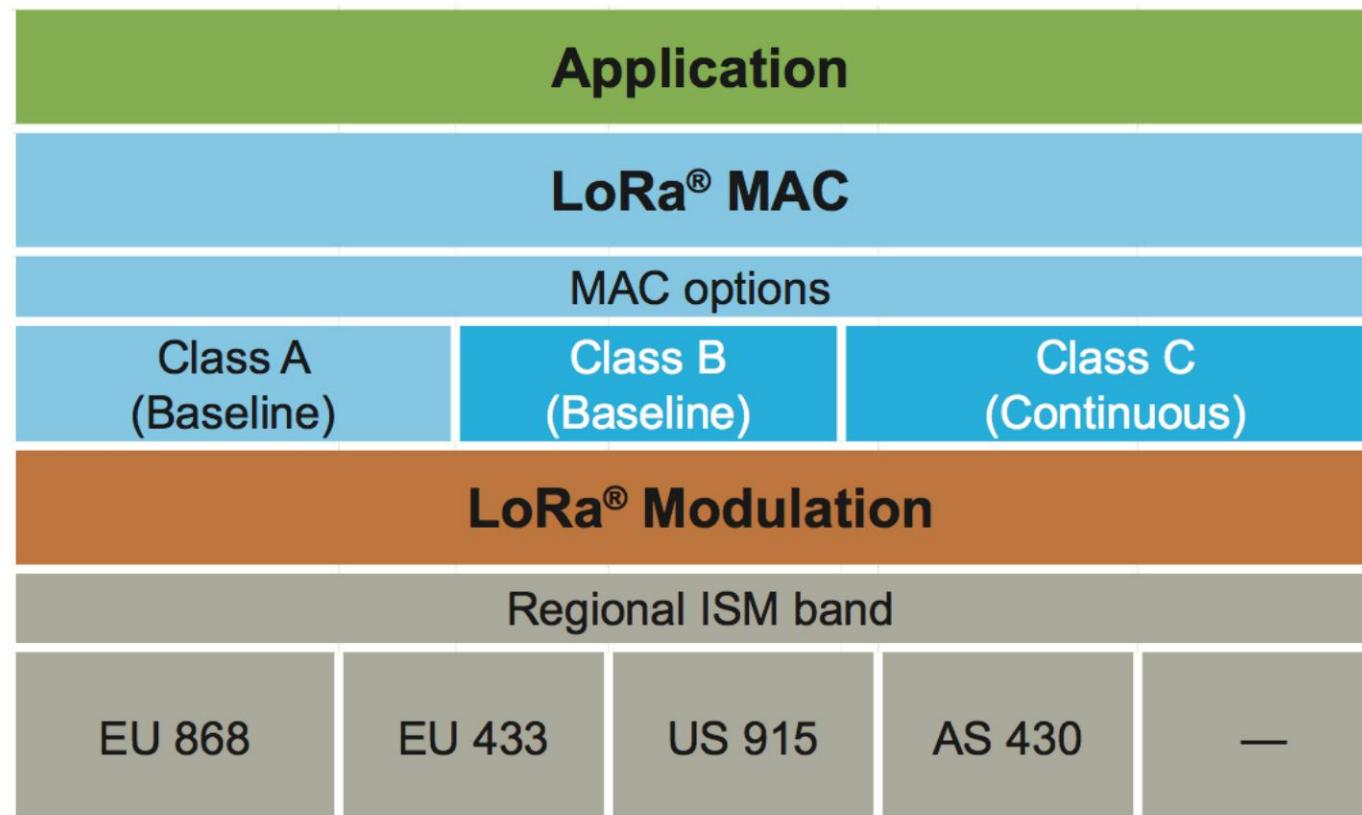
Sigfox - Arquitetura



LoRa

- Significa “Long Range” • Para ser usado em cenários de dispositivos alimentados por bateria de longa duração • Semi-proprietário
 - Partes do protocolo estão bem documentadas, outras não • Eles possuem a parte do rádio (mas o sublicenciamento está a caminho) • Você pode instalar seus próprios gateways
- LoRa geralmente significa duas coisas diferentes:
 - LoRa: uma camada física que usa modulação Chirp Spread Spectrum (CSS). • LoRaWAN: um protocolo de camada MAC

Pilha LoRa

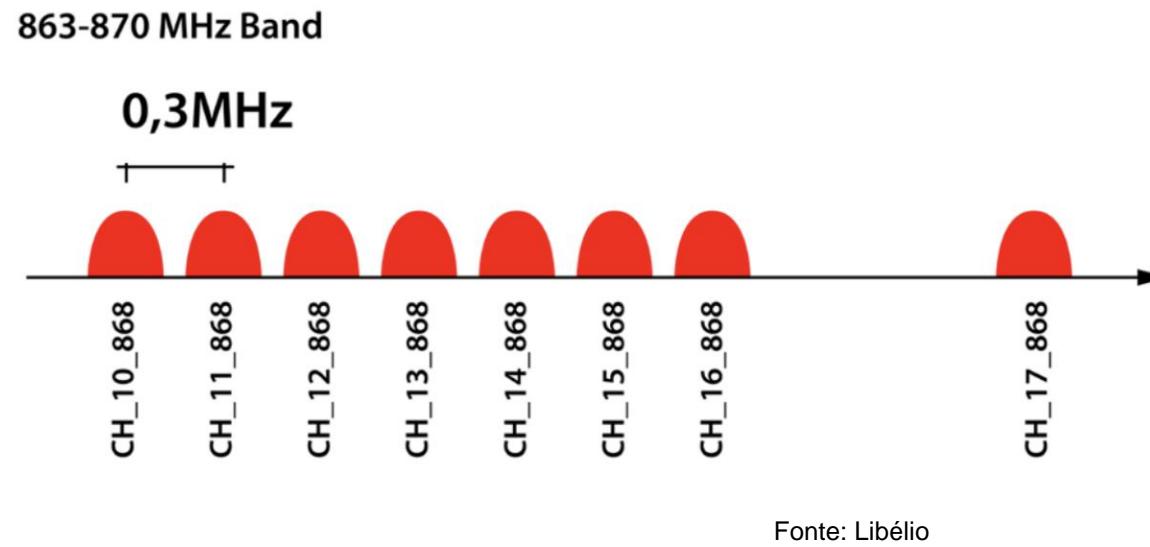


LoRa (a camada física ſ)

- Desenvolvido pela Semtech
- Baixo alcance, baixo consumo de energia e baixo rendimento • Opera em bandas de 433, 868 (UE) ou 915 (EUA) MHz • Carga útil de 2 a 255 octetos (2Kb)
 - Depende dos parâmetros de configuração
 - Taxa de dados: até 50 Kbps

LoRa (a camada física ḍ)

- Na Europa, são utilizados 8 canais com largura de banda de 0,3 MHz

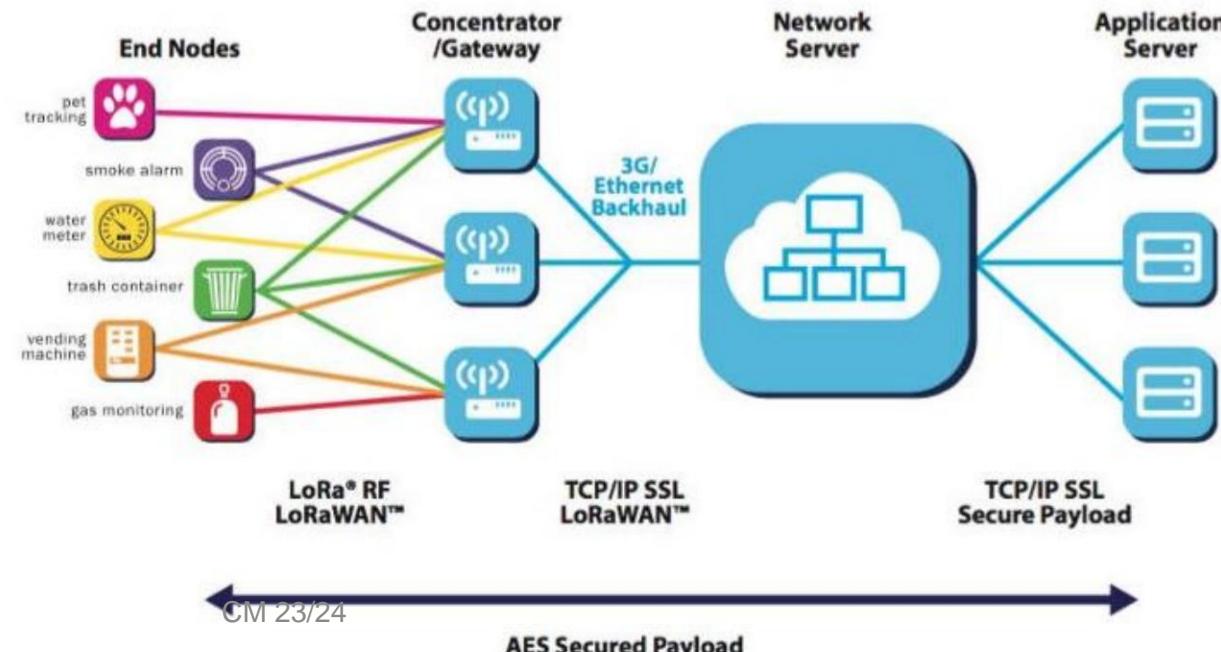


LoRaWAN

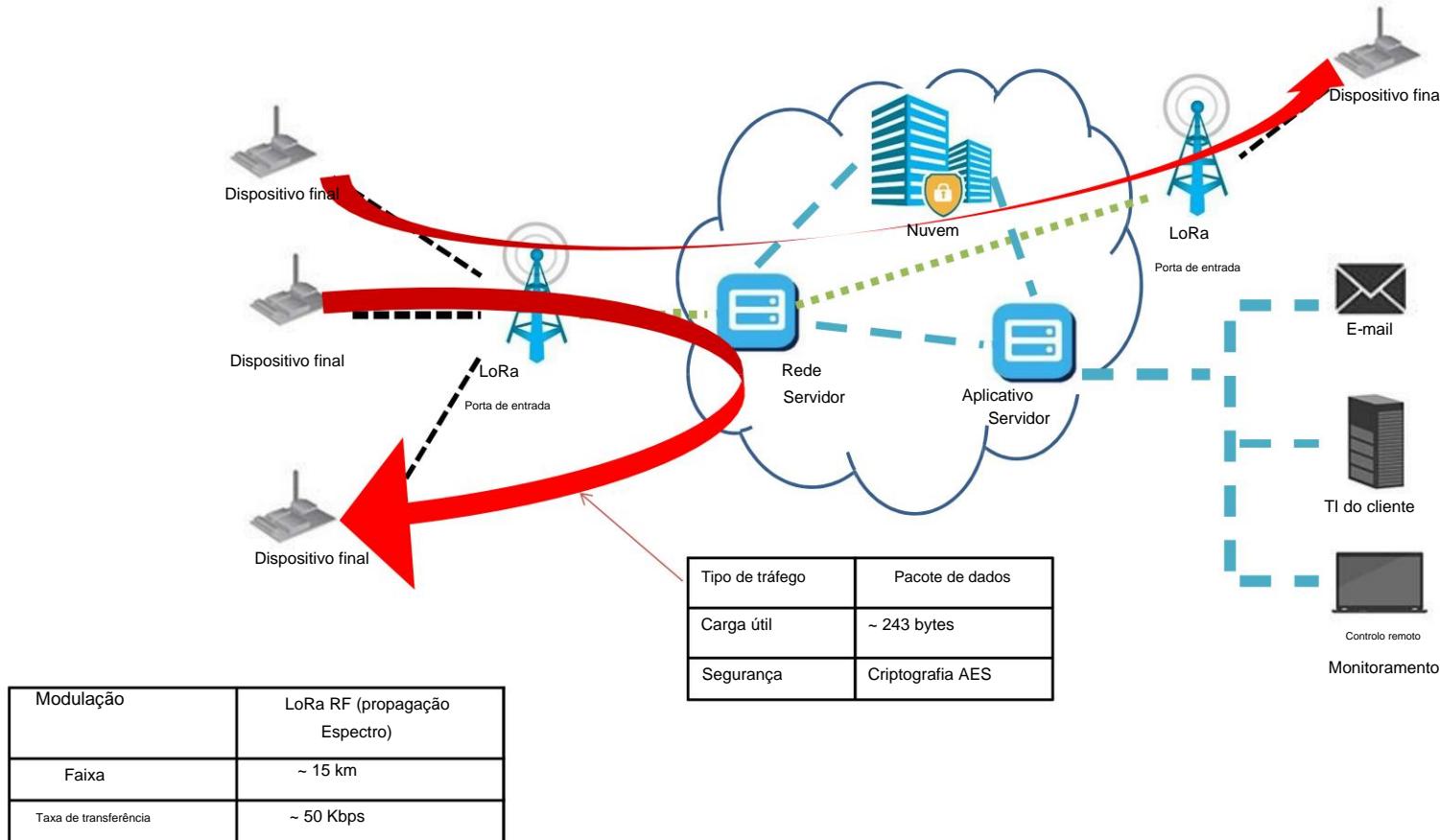
- Mecanismo MAC para controlar comunicações entre dispositivos finais e gateways LoRaWAN. Para todos os dispositivos, ele gerencia:
 - Frequências de comunicação
 - Taxa de dados
 - Poder
- Padrão Aberto desenvolvido pela LoRa Alliance

Rede LoRA

- Topologia estrela de estrelas
- Dispositivos transmitem dados de forma assíncrona
 - Os dados são recebidos por vários gateways
 - Cada gateway encaminha os dados recebidos para uma rede centralizada servidor, usando um link de backhaul (Ethernet ou celular)
- O servidor de rede:
 - Filtra pacotes duplicados
 - O pacote com o sinal mais forte é decodificado
 - Realiza verificações de segurança
 - Gerencia a rede



LORA - Arquitetura



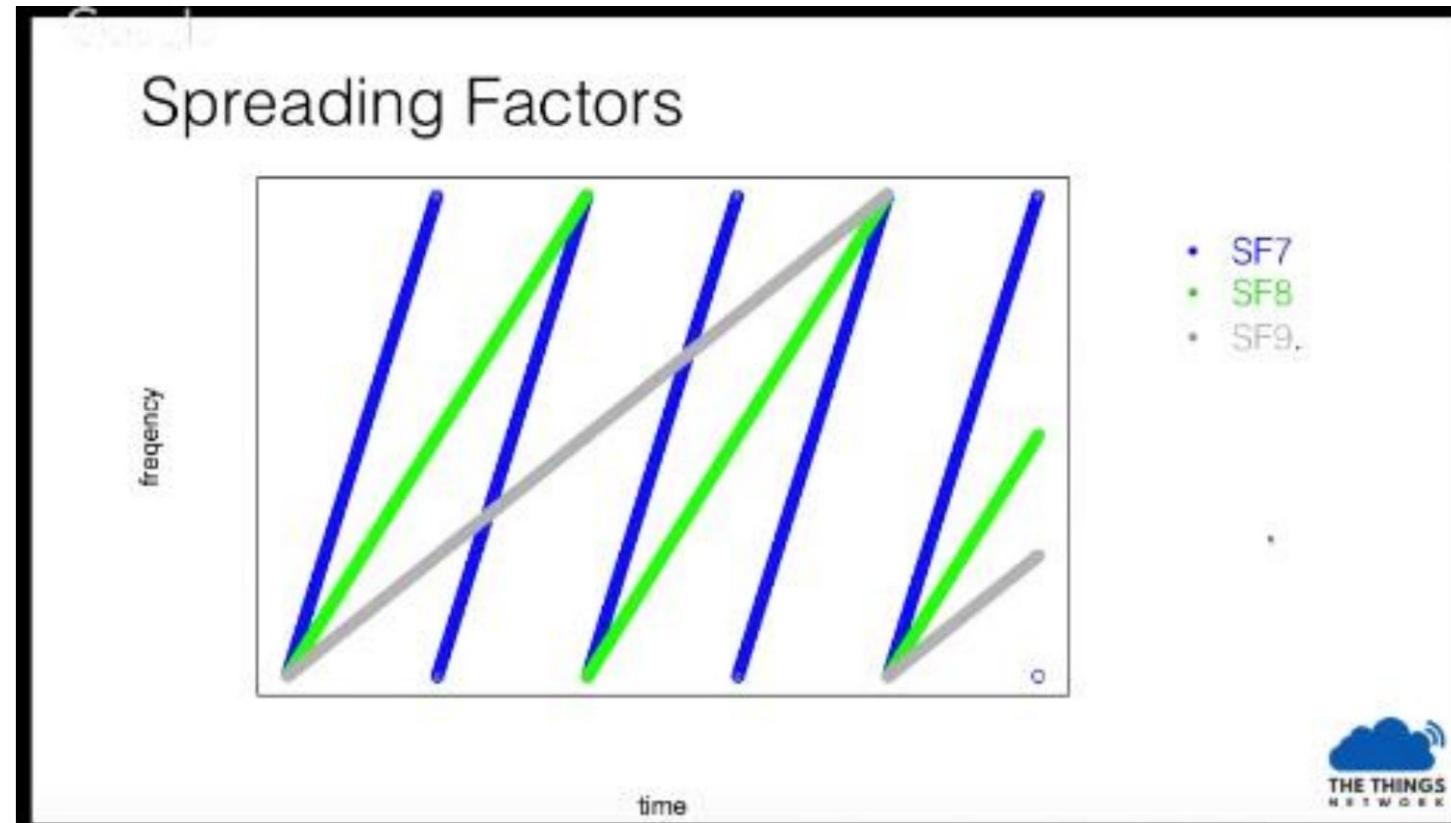
Camada Física LoRa

- Modulação
 - (alterar um sinal, a portadora, de uma forma que permita que ele contenha informações a serem transmitidas)
- LoRa usa uma técnica proprietária de modulação Spread-Spectrum: Chirp Spread Espectro (CSS)
 - (Um chirado é um sinal em que a frequência aumenta ou diminui com o tempo)
- Tenta aumentar o alcance:
 - Envio de informações com mais potência (dentro dos valores regulamentados - <14dBm ou 25mW)
 - Ou reduzindo a taxa de dados
 - Aumenta o orçamento do link
 - Aumenta a imunidade a interferências dentro da banda
- Isso, juntamente com as técnicas de correção direta de erros, contribui para ampliar o alcance e a robustez dos links de comunicação de rádio
 - Comparado ao FSK

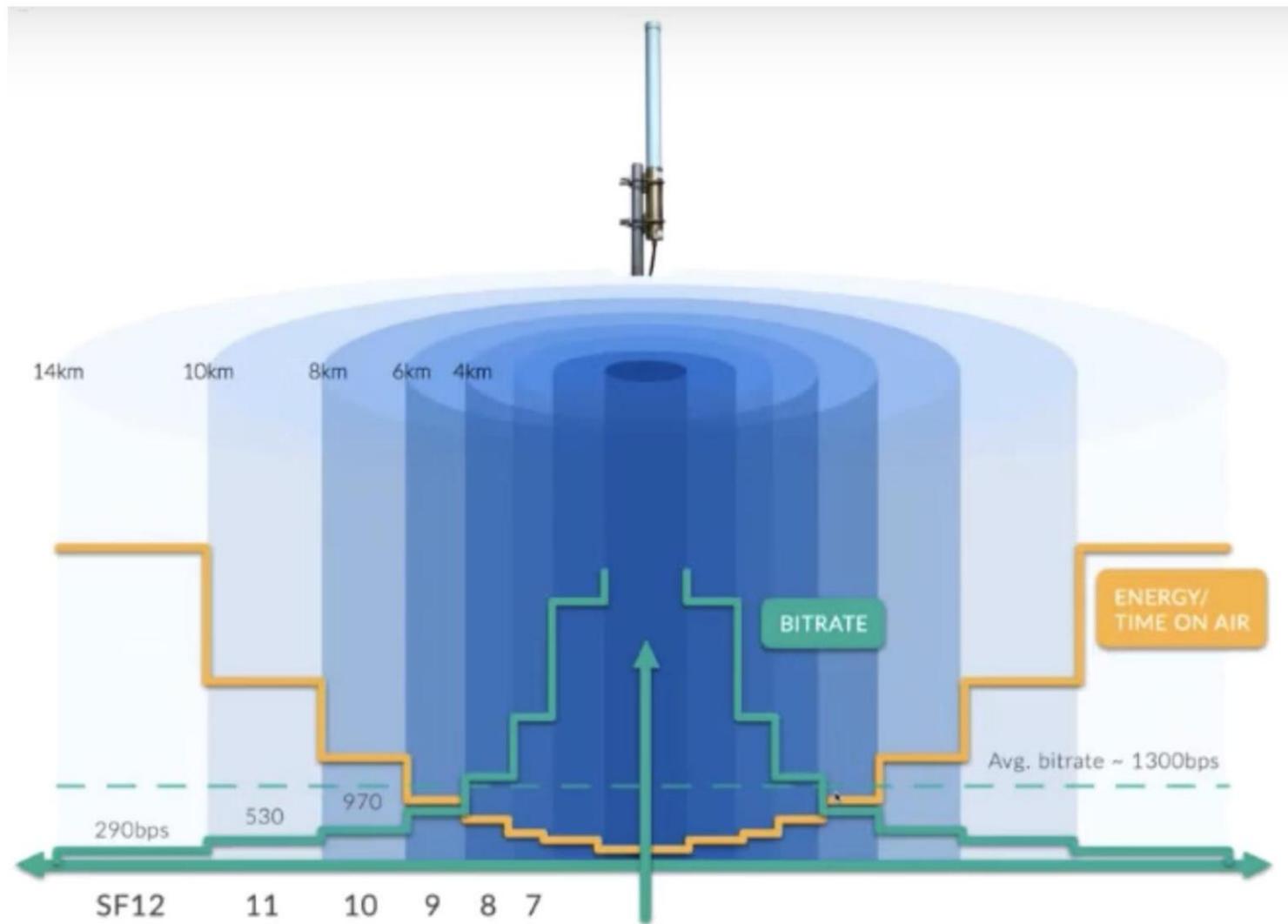
Camada Física LoRa

- Possui diferentes fatores de propagação (SF7 a SF12) • Os fatores de propagação podem definir a taxa de modulação e ajustar a distância
 - Eles indicam quão rápido ou lento é o sinal sonoro (quantos sinais sonoros você obtém por segundo) **• quantos dados você pode codificar por segundo •**
 - Quanto maior o SF, menor a taxa de dados •
 - Cada SF é 2x mais lento que o anterior •
 - Quanto mais lento você envia seus dados, mais longe você pode enviá-los • Quanto maior o SF, mais energia é necessária (tempo no ar)
 - A interface tem mais tempo para decodificar e a sensibilidade é aumentada
- Isso ajuda no dimensionamento da rede
 - Nós mais próximos recebem dados muito mais rapidamente • O ar é “liberado” para outros nós transmitirem • Ao adicionar mais gateways, os dispositivos ficam mais próximos deles, aplicando o acima

Camada Física LoRa



Fonte: Thomas Telkamp



Camada Física LoRa

- Para um bw de 125kHz (configurável por design)

Fator de propagação	Símbolos/segundo	Limite SNR	Tempo no ar (pacote de 10 bytes) - ms	Taxa de bits - bps
7	976	-7,5	56	5469
8	488	-10	103	3125
9	244	-12,5	205	1758
10	122	-15	371	977
11	61	-17,5	741	537
12	30	-20	1483	293

Camada Física LoRa

- A largura de banda (kHz), o fator de propagação e a taxa de codificação são variáveis de projeto que permitem a um sistema otimizar o equilíbrio entre
 - Largura de banda ocupada
 - Taxa de dados
 - Vincular orçamento
 - Imunidade a interferências
- Usando software, é possível combinar esses valores para definir um modo de transmissão

Camada Física LoRa

- Largura de banda
 - Mostrar qual será a largura do sinal de transmissão
 - 3 opções: 125 kHz, 250 kHz ou 500 kHz
 - Maior alcance: 125 kHz
 - Maior velocidade de transmissão: 500 kHz
 - Menos largura de banda = mais tempo de antena = mais sensibilidade = mais bateria consumida

Camada Física LoRa

- Taxa de codificação
 - 4 opções: 4/5, 4/6, 4/7 e 4/8
 - Significado:
 - Cada 4 bytes úteis serão codificados por 5, 6, 7 ou 8 bits de transmissão
 - Taxa de codificação menor: 4/8
 - Menor taxa de codificação = mais tempo de antena

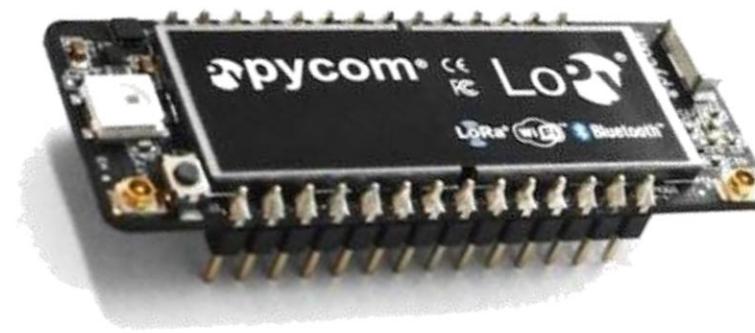
Camada Física LoRa

- Fator de dispersão
 - Número de chips por símbolo utilizados no tratamento dos dados antes da transmissão sinal
 - 7 opções: 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12
 - Maior Fator de Espalhamento = Maior Alcance = mais tempo de transmissão

Camada Física LoRa

Mode	BW	CR	SF	Sensitivity (dB)	Transmission time (ms) for a 100-byte packet sent	Transmission time (ms) for a 100-byte packet sent and ACK received	Comments
1	125	4/5	12	-134	4245	5781	max range, slow data rate
2	250	4/5	12	-131	2193	3287	-
3	125	4/5	10	-129	1208	2120	-
4	500	4/5	12	-128	1167	2040	-
5	250	4/5	10	-126	674	1457	-
6	500	4/5	11	-125,5	715	1499	-
7	250	4/5	9	-123	428	1145	-
8	500	4/5	9	-120	284	970	-
9	500	4/5	8	-117	220	890	-
10	500	4/5	7	-114	186	848	min range, fast data rate, minimum battery impact

Camada Física LoRa - Prática



- No LoPy
 - Método
 - lora.init(modo, * , frequência=868000000, tx_power=14,
largura de banda=LoRa.BW_125KHZ, sf=7,
preâmbulo=8,
coding_rate=LoRa.CODING_4_5,
power_mode=LoRa.ALWAYS_ON, tx_iq=False, rx_iq=False , adr=Falso, público=Verdadeiro, tx_rete
 - Largura de banda: **LoRa.BW_125KHZ / LoRa.BW_250KHZ / LoRa.BW_500KHZ**
 - SF: **sf=6 / sf=7 / sf=8 / sf=9 / sf=10 / sf=11 / sf=12**
 - Taxa de codificação: **LoRa.CODING_4_5 / LoRa.CODING_4_6 / LoRa.CODING_4_7 / LoRa.CODING_4_8**

LoRaWAN •

Componentes

- Dispositivo final

- Dispositivos (baixo consumo de energia) que se comunicam com o Gateway

- LoRa. • Não estão associados a um gateway específico. •

- Estão, no entanto, associados a um Network Server.

- Porta de entrada

- Dispositivos intermediários que retransmitem pacotes entre dispositivos finais e um servidor de rede. •

- Conectado ao servidor de rede através de uma rede backhaul de maior largura de banda. •

- Eles adicionam informações sobre a qualidade da recepção, ao encaminhar um pacote de um dispositivo final para um servidor de rede.

- Eles são transparentes para os dispositivos finais. •

- Existem vários gateways em uma rede • Vários

- gateways podem receber o mesmo pacote transmitido do mesmo terminal dispositivo

- Servidor de rede

- Decodifica e desduplica pacotes enviados de dispositivos. • Gera

- pacotes a serem enviados para dispositivos • Escolhe o

- gateway apropriado para enviar pacotes para um dispositivo final específico CM 23/24

LORA – Classes de dispositivos

Aulas	Descrição	Uso pretendido	Consumo	Exemplos de serviços
A (" todos ")	Escuta somente após a transmissão do dispositivo final	Módulos sem restrição de latência	A classe de comunicação mais econômica energeticamente. Suportado por todos os módulos. Adaptado para módulos alimentados por bateria	<ul style="list-style-type: none"> • Detecção de fogo • Terremoto precoce Detecção
B (`farol`)	O módulo escuta regularmente ajustável frequência	Módulos com restrições de latência para recepção de mensagens de alguns segundos	Consumo otimizado. Adaptado para alimentação por bateria módulos	<ul style="list-style-type: none"> • Medição inteligente • Aumento de temperatura
C (`contínuo`)	Módulo sempre ouvindo	Módulos com forte restrição de latência de recepção (menos de um segundo)	Adaptado aos módulos da rede ou sem restrições de energia	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de frota • Tráfego em tempo real Gerenciamento

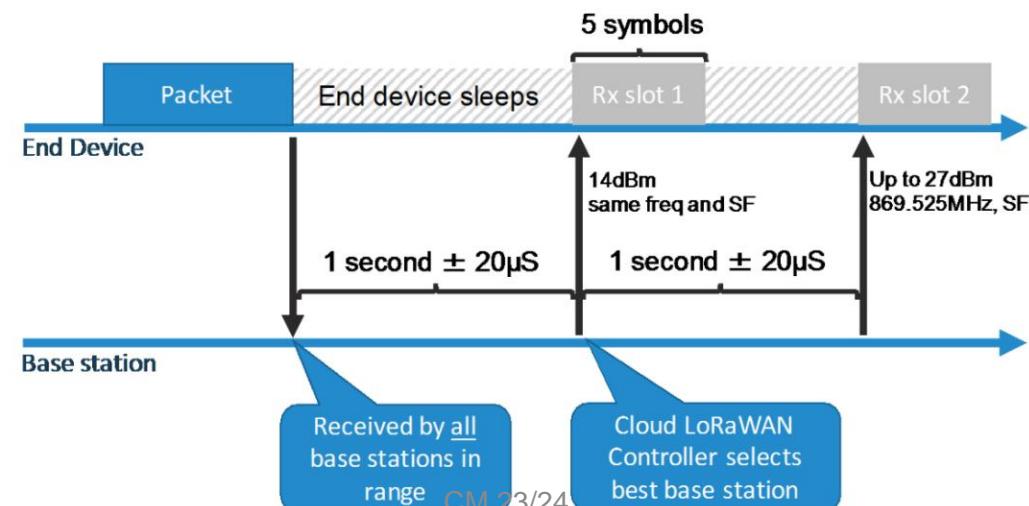
Qualquer objeto LoRa pode transmitir e receber dados

LoRaWAN

- Classes de dispositivos finais

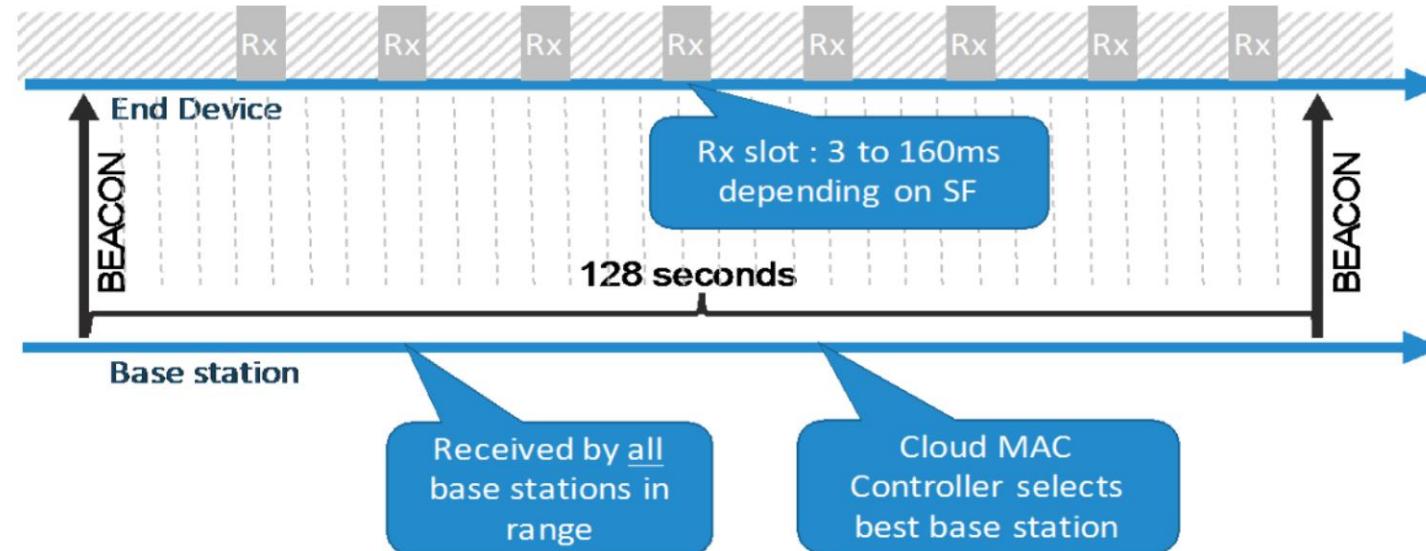
- Classe A – bidirecional

- Menor consumo de energia
- Os dispositivos programam transmissões de uplink de acordo com suas necessidades, com uma pequena variação antes da transmissão.
- Cada transmissão de uplink é seguida por duas janelas curtas de recebimento de downlink
 - As transmissões de downlink em qualquer outro momento terão que esperar até o próximo uplink transmissão
 - Menos flexibilidade para downlink



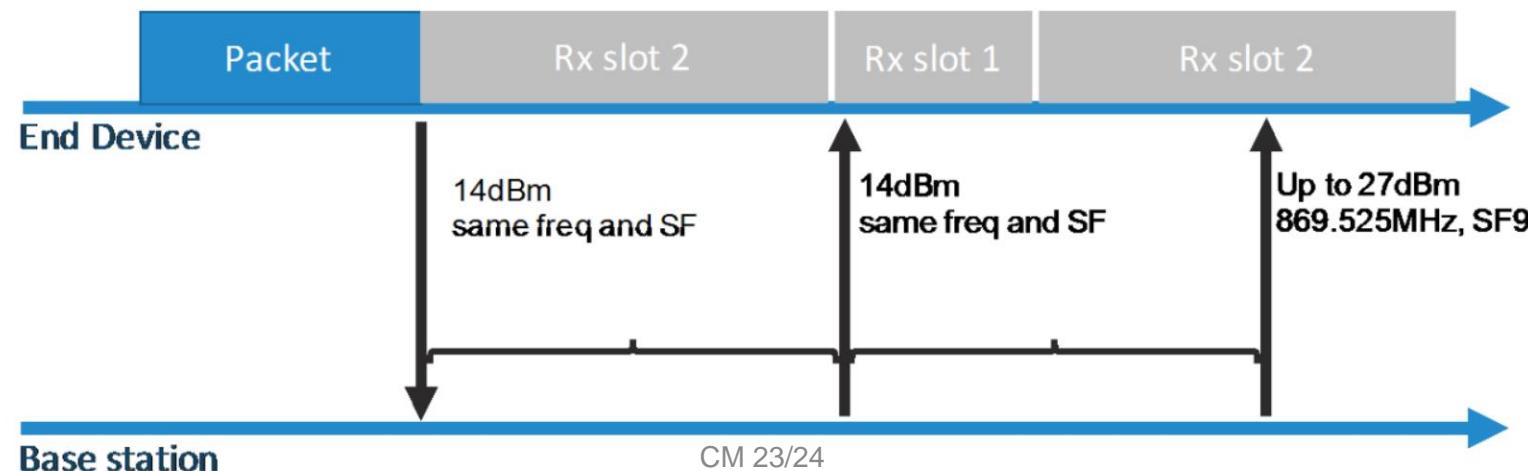
LoRaWAN

- Classes de dispositivos finais
 - Classe B – bidirecional com slots de recebimento programados
 - Os dispositivos abrem mais janelas de recebimento em horários programados
 - Há um beacon sincronizado do gateway para o servidor de rede, indicando quando o dispositivo está escutando



LoRaWAN

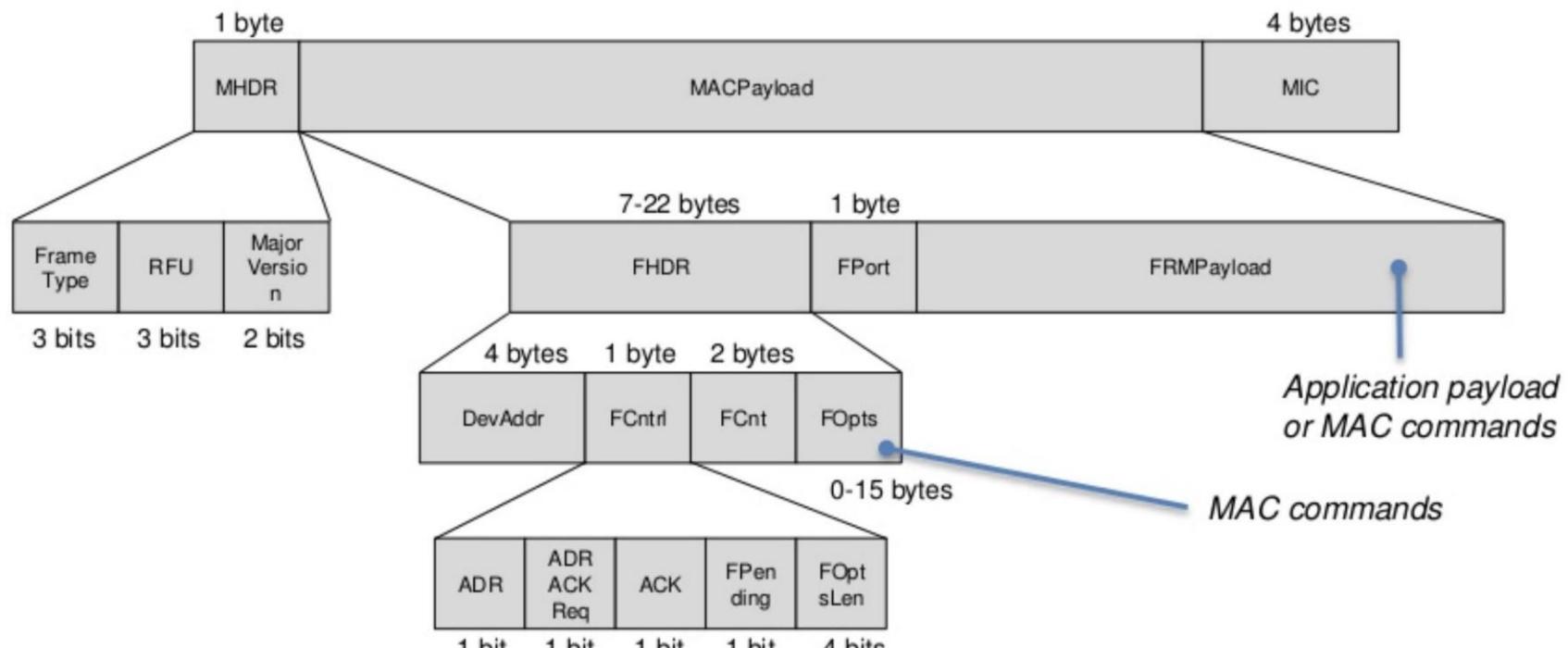
- Classes de dispositivos finais
 - Classe C – bidirecional com slots máximos de recepção
 - Maior consumo de energia •
 - Janelas de recepção quase contínuas
 - O servidor pode iniciar a transmissão quase a qualquer momento



LoRaWAN

- Ciclo de trabalho do dispositivo final
 - Além da frequência de transmissão, aplicam-se regulamentos de ciclo de trabalho
 - Atraso entre quadros sucessivos enviados por um dispositivo
 - Limitação de 1% para dispositivos finais
 - O dispositivo precisa esperar 100 vezes o tempo que levou para enviar a mensagem, para poder enviar novamente no mesmo canal
 - Gateways: 10%

LoRaWAN - Carga útil



Fonte: Stephen Pharrell

LoRaWAN

- *DevAddr* - endereço curto do dispositivo.
- *FPort* - campo de porta de multiplexação.
- *FCnt* - contador de quadros.
- *MIC* - código de integridade de mensagem criptográfica
- *MType* - tipo de mensagem (uplink, downlink, confirmada (requer ACK, ...)).
- *Principal* – versão LoRaWAN
- *ADR* e *ADRAckReq* - mecanismo de adaptação do controle da taxa de dados pelo servidor da rede.
- *ACK* - reconhece o último quadro recebido.
- *Fpending* - indica que ainda há dados a serem enviados pelo servidor de rede (o dispositivo final é necessário para enviar outra mensagem para abrir um receptor janela).
- *FOptsLen* - comprimento do campo *FOpts* em bytes.
- *FOpts* - contém comandos MAC em uma mensagem de dados.
- *CID* - ID do comando MAC.
- *Args* – argumentos opcionais do comando.
- *FRMPayload* - carga útil criptografada usando AES com comprimento de chave de 128 bits.

O tamanho mínimo do cabeçalho MAC é 13 bytes; seu tamanho máximo é 28 bytes.

Não há endereço de destino nos pacotes de uplink ou endereço de origem nos pacotes de downlink.

LoRaWAN

- Comandos MAC • Permite que a rede personalize os parâmetros do dispositivo final • Verificações
- Status do link (isso pode ser enviado pelo próprio dispositivo final) • Bateria do dispositivo • Margem do dispositivo (SNR) • Configurações
 - Taxa de dados • Potência TX • Canais TX e RX • Temporização RX • Repetição
 - Ciclo de trabalho • Tempo de permanência

LoRaWAN

- Conexão do dispositivo final a uma rede
 - Também conhecido como **Ativação**
- Este processo fornece ao dispositivo final:
 - Endereço do dispositivo final (*DevAddr*): Um identificador composto pelo identificador de rede (7 bits) e pelo endereço de rede do dispositivo final (25 bits)
 - Identificador de aplicativo (*AppEUI*): identificação exclusiva do proprietário do dispositivo final
 - Chave de sessão de rede (*NwkSKey*): uma chave usada pelo servidor de rede e pelo dispositivo final para verificar e garantir a integridade da mensagem
 - Chave de sessão do aplicativo (*AppSKey*): uma chave usada pelo servidor de rede e dispositivo final para criptografar a carga útil das mensagens recebidas
- Nota sobre segurança:
 - A segurança do protocolo LoRaWAN é baseada em 802.15.4
 - AES-128

LoRaWAN

- Para ativar o dispositivo, existem dois procedimentos:
 - Ativação Over-the-Air (OTAA)
 - As mensagens *Join-Request* e *Join-Response* são trocadas em cada nova sessão, permitindo que os dispositivos finais obtenham as chaves de sessão da rede e do aplicativo
 - Ativação por Personalização (ABP)
 - Os dispositivos possuem ambas as chaves já armazenadas internamente

LoRaWAN

- Taxa de dados adaptável
 - A rede informa ao nó em qual taxa de dados ele pode enviar dados
 - Gerencia o SF para cada dispositivo final
 - O objetivo é:
 - Otimize para taxa de dados mais rápida versus alcance
 - Maximize a vida útil da bateria
 - Maximize a capacidade da rede

LoRaWAN

- Normalmente, não há comunicação direta nó a nó
 - LoRaWAN permite isso tendo 2 gateways e um servidor de rede entre eles os nós
- No entanto, a maioria dos fornecedores de dispositivos finais também inclui (principalmente para testes) uma forma bruta de LoRa
 - Permite comunicação ponto a ponto entre nós
 - Contém apenas o protocolo da camada de enlace
 - Permite apenas um número muito pequeno de nós em uma topologia
 - Não há gerenciamento de pacotes
(útil para uma primeira tentativa com LoRa)

LoRaWAN vs NB-IoT

Table 5. NB-IoT vs. LoRaWAN average power consumption, latency, and throughput.

Features	NB-IoT	LoRaWAN
Joining network	3 mAh	1 mAh
Uplink message (44 bytes)	1.8 mAh	100 µAh
UE class	Cat NB1	A
Data rate (20 bytes)	0.6–4 bps	
Frequency	28 Mhz	EU868 MHz

A Rede das Coisas

- Construído de forma crowdsourced por empresas e entusiastas • Cobertura de baixa densidade, principalmente em cidades maiores (5 GW em Aveiro) • Alcance de 1-2Km nas cidades, 10km em espaço aberto
- Fornece um serviço de conectividade gratuito e corretor com APIs
- Composto por:
 - Nós: de propriedade de empresas e cidadãos, enviam dados para Gateways
 - Gateways: de propriedade de empresas e cidadãos, fazem interface com TTN
 - Servidores TTN: hospedados por TTN, roteando dados de/para aplicativos de usuários