

# Redes sem Fio

Tecnologia em Redes de Computadores  
Prof. Macêdo Firmino

Redes IEEE IEEE 802.15.4 (ZigBee)

## IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 foi projetado para permitir comunicação sem fio de forma confiável, baixo custo, baixo consumo de energia, robustez, mobilidade, comunicação de curto alcance e baixas taxas de transmissão para aplicações residenciais, comerciais e industriais.

Esta tecnologia especifica as camadas físicas e a subcamada de controle de acesso ao meio (MAC). O padrão ZigBee, por sua vez, publicado pela *ZigBee Alliance*, segue este padrão definindo as demais camadas: camadas de rede, serviços de segurança e a camada de aplicação.

# IEEE 802.15.4 – Aplicações

Segurança  
Ventilação  
Controlo de acessos  
Controlo de iluminação  
Aquecimento



TV  
VCR  
DVD/CD  
Controlo Remoto



Monitorização  
de pacientes  
Monitorização  
corporal



Periféricos para PC  
Mouse  
Teclado  
Joystick



Controlo de processos  
Gestão de Energia  
Rastreo de  
equipamentos



Segurança  
Ventilação  
Controlo de iluminação  
Controlo de acessos  
Irrigação de jardim  
Aquecimento



## IEEE 802.15.4 – Surgimento

As bases da tecnologia ZigBee foram estabelecidas no protocolo Home RFLite criado pela Philips. A tecnologia foi pela primeira vez apresentada ao público com o nome de ZigBee em Julho de 2005. O nome ZigBee veio da analogia entre o funcionamento de uma mesh (malha) network e a maneira como as abelhas trabalham e se deslocam.

## IEEE 802.15.4 – Topologia

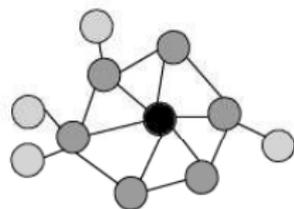
Pelo menos um dispositivo deverá operar como coordenador do PAN. O coordenador é um dispositivo que tem a responsabilidade de inicializar, terminar e rotear quadros em uma rede.

O protocolo permite até 65535 dispositivos por cada nó coordenado (ZigBee Coordinator).

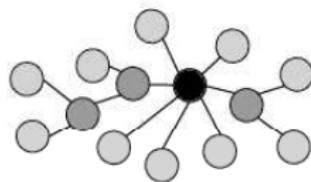
## IEEE 802.15.4 – Topologia

O coordenador da WPAN é classificado como um dispositivo de função completa. Os demais dispositivos são classificados como dispositivos de função reduzida (DFR). Um dispositivo de função reduzida não pode participar de qualquer atividade de roteamento e pode somente se comunicar com dispositivos de função completa (DFC), bem como, não pode ser coordenador de uma PAN.

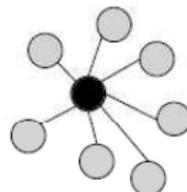
# IEEE 802.15.4 – Topologia



Malha



Árvore



Estrela

- Coordenador PAN
- Dispositivos de Função Reduzida
- Dispositivos de Função Completa

# IEEE 802.15.4 – Topologia

Dispositivo	Tipo de dispositivo físico associado (IEEE)	Função
Coordinator	FFD	Forma a rede, atribui endereços, faz a manutenção da rede, suporta <i>binding table</i> . Existe apenas um por rede, mas pode servir de ponte entre várias redes.
Router	FFD	Permite que mais nós se juntem à rede aumentando o seu alcance físico. Pode também efectuar funções de controlo ou monitorização, para além do reencaminhamento de dados. A sua existência é opcional.
Endpoint	RFD ou FFD	Efectua uma acção de controlo ou monitorização através de dispositivos que lhe esteja associado (sensores, microcontrolador, actuador, etc.). É o que consome menos energia, pois muitas vezes está em modo <i>sleep</i> .

## IEEE 802.15.4 – Topologia

- Estrela: a comunicação se dará entre os dispositivos e o coordenador central;
- Árvore: temos os dispositivos de função reduzida (DFR) conectados ou ao coordenador da rede ou a outros dispositivos de função completa (DFC), chamado de roteador.
- Malha: há uma maior conectividade entre todos os nós, sendo um deles obrigatoriamente o coordenador da rede. Os dispositivos estão ligados a DFC que tem a função de rotear os tráfegos. A vantagem dessa topologia é a criação de rotas alternativas entre os DFR e o coordenador dando maior confiabilidade na entrega dos quadros. Essa topologia é usada quando se deseja estender o alcance da rede.

## IEEE 802.15.4 – Consumo

Os ZigBee Routers transmitirão periodicamente mensagens de sinalização (beacons) informando os outros nós da sua presença. Os dispositivos ZigBee finais (funções reduzidas) podem manter-se no modo sleep entre sinalizações, reduzindo bastante o consumo energético. Este modo sleep resulta no prolongamento da autonomia da bateria que esteja a alimentar o dispositivo. O intervalo de tempo entre o envio sucessivo de dois beacons pode variar entre os 15,36 ms e os 251,65 ms para uma taxa de 250 kbit/s.

Este consumo reduzido, que é um dos grandes objetivos deste protocolo, permite a criação de dispositivos que funcionem durante meses ou anos alimentados apenas por pilhas comuns.

## IEEE 802.15.4 – Camada Física

A camada física é responsável pela ativação e desativação do transceptor, seleção do canal de frequência, transmissão e recepção de dados, detecção de energia no canal e verificação da qualidade do link para os pacotes recebidos.

## IEEE 802.15.4 – Camada Física

As características da camada física são:

- Taxas de transmissão de dados 250 kb/s, 100kb/s, 40 kb/s e 20 kb/s;
- Define 27 canais (16 canais na banda de 2450 MHz, 30 canais na banda de 915 MHz e 3 canais na banda de 868 MHz);
- Pode utiliza DSSS quando opera na faixa de frequência 868/915 MHz com modulação BPSK ou O-QPSK;
- Pode utilizar PSSS (*parallel sequence spread spectrum*) quando operando na faixa 868/915 MHz com modulação BPSK ou ASK;
- Utiliza DSSS quando opera na frequência 2450MHz com modulação O-QPSK.

## IEEE 802.15.4 – Subcamada MAC

A subcamada MAC é responsável pelo controle de acesso ao canal físico (CSMA/CA), gerar quadros *Beacons* para sincronização, suporte a associação e desassociação e segurança.

Os quadros *Beacons* são quadros de controle utilizados pelo coordenador para que ocorra a sincronização com os demais dispositivos da rede.

## IEEE 802.15.4 – Subcamada MAC (Controle de Acesso)

Uma rede ZigBee pode ser configurada com *Beacon* habilitado ou desabilitado. No caso de uma rede com *Beacon* desabilitado, os dispositivos podem comunicar-se em qualquer tempo após uma fase de associação, utilizando o CSMA-CA.

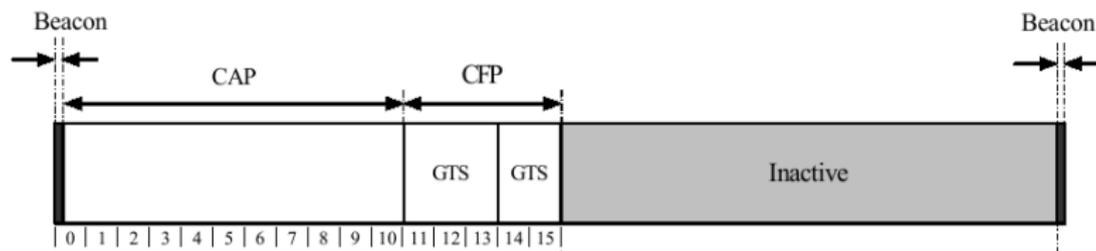
## IEEE 802.15.4 – Subcamada MAC (Controle de Acesso)

No modo *Beacon* habilitado, o coordenador cria uma estrutura chamada *Superframe*, composto por 16 *slots* de tempo. Os quadros Beacon são transmitidos sempre no primeiro *slot* de cada *Superframe*.

Imediatamente seguindo o *Beacon* vem o período de acesso de contenção (CAP), onde os dispositivos devem se comunicar usando o mecanismo CSMA-CA.

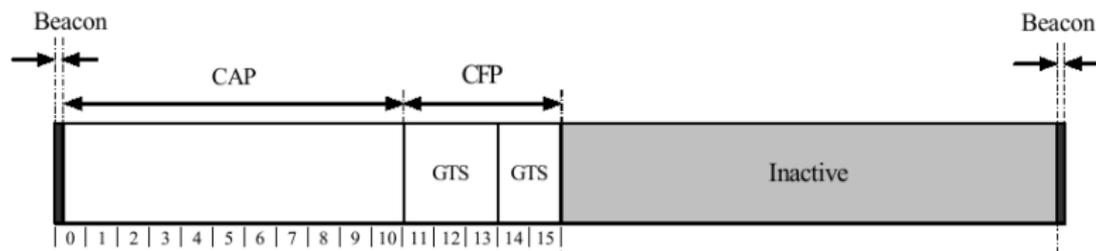
Na sequência, temos um período livre de contenção (CFP), em que o coordenador reserva períodos para algum dispositivo (GTS). Durante um período um dispositivo tem acesso exclusivo ao canal.

# IEEE 802.15.4 – Subcamada MAC (Controle de Acesso)



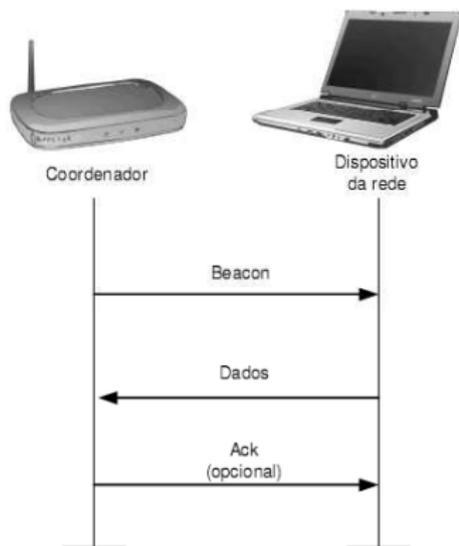
Durante o período de inativação todos os dispositivos, incluindo o coordenador, poderá entrar no modo de baixo consumo.

# IEEE 802.15.4 – Subcamada MAC (Controle de Acesso)

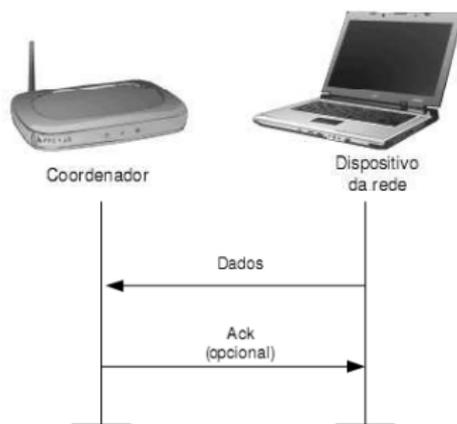


Durante o período de inativação todos os dispositivos, incluindo o coordenador, poderá entrar no modo de baixo consumo.

# IEEE 802.15.4 – Transferência de Dados (Direta)

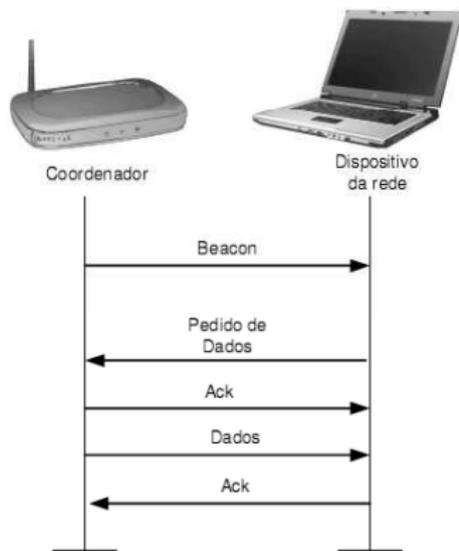


(a) Com beacon



(b) sem beacon

# IEEE 802.15.4 – Transferência de Dados (Indireta)

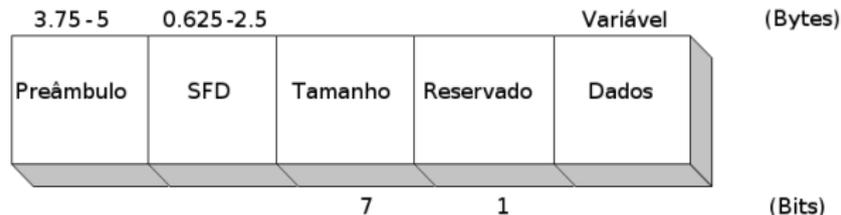


(a) Com beacon



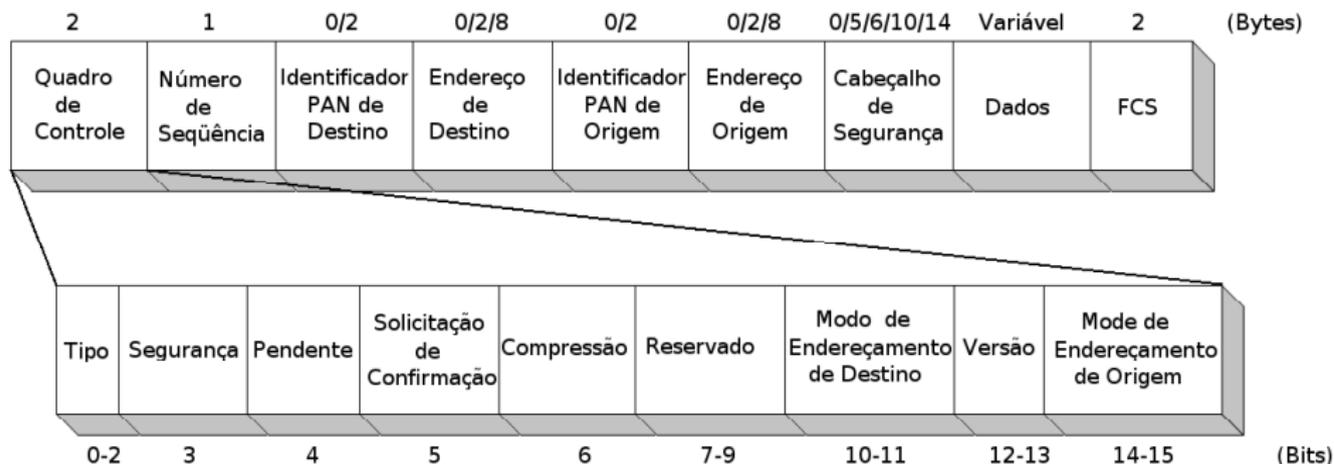
(b) sem beacon

# IEEE 802.15.4 – Quadro da Camada Física



- Prêambulo: usado para sincronização de bits;
- SFD: responsável por indicar o início do pacote de dados;
- Tamanho: especifica o número total de octetos presentes no campo Dados;
- Dados: contém o quadro da subcamada MAC.

# IEEE 802.15.4 – Quadro da Camada MAC



# IEEE 802.15.4 – Quadro da Camada MAC

- Tipo

Valor	Descrição
000	<i>Beacon</i>
001	Dados
010	Confirmação (ACK)
011	Comandos MAC
100-111	Reservado

# IEEE 802.15.4 – Quadro da Camada MAC

- Segurança: 1 significa que o quadro está com algum tipo de proteção de segurança;
- Pendente: o dispositivo que enviou o quadro tem mais dados para o destinatário;
- Solicitação de Confirmação: informa ao dispositivo receptor se faz necessário que o mesmo envie um quadro de confirmação;
- Compressão: 1 ambos os campos de endereço de Origem e Destino estão presentes, mas apenas o campo Identificador PAN de Destino e se deverá assumir que o valor do campo Identificador de PAN de Origem é igual ao de Destino. Se o valor for igual a 0 todos os campos de endereços estarão preenchidos;
- Reservado;

## IEEE 802.15.4 – Quadro da Camada MAC

- Modo de Endereçamento Destino: se este subcampo é igual a zero, implicando que o quadro é dirigido ao coordenador do PAN (Observe Tabela);
- Modo de Endereçamento Origem: se for igual a 0 implica que o quadro foi originado pelo coordenador da PAN (Observe Tabela).

Valor	Descrição
00	Id PAN e End não estão presentes
01	Reservado
10	endereço de 16 <i>bits</i>
11	endereço de 64 <i>bits</i>

# IEEE 802.15.4 – Quadro da Camada MAC

- Versão: especificam a versão correspondente ao quadro. Deverá ser 00 se o quadro for compatível com a versão do padrão 802.15.4-2003 e 01 para indicar um quadro 802.15.4-2006.
- Numero de Sequência: usado para fragmentação dos dados;
- Identificador da PAN de Destino;
- Endereço de Destino.
- Identificador da PAN de Origem;
- Endereço de Origem;

# IEEE 802.15.4 – Quadro da Camada MAC

- Cabeçalho de Segurança: informa o nível de segurança da informação, modo de identificação da chave (implicitamente ou explicitamente), contador de quadro (usado para evitar ataques de replay), identificador de Chave (permitir diferentes chaves da mesma origem). Criptografia de chave simétrica (normalmente 128-bit AES), código de integridade de mensagem (MIC) e autenticação são opcionais.
- Dados;
- FCS: CRC de 16 bits.