

O Quadro de Dados (*Data Frame*)

O quadro de dados é usado para viabilizar a transferência de dados entre dois nós da rede. Este tipo de quadro é construído pela camada MAC ao receber um comando *Data Request* da camada acima. A estrutura do quadro de dados é mostrada na Figura 23.

Octets: 2	1	variable	0/5/6/10/14	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Addressing fields	Auxiliary Security Header	Data Payload	FCS
MHR				MAC Payload	MFR

Figura 23 – Formato do Quadro de Dados

No *Frame Control*, o campo *Type* possui o valor 001, indicando um quadro de dados e o campo *Security Enabled* é colocado em 1 caso a segurança seja habilitada. O campo *Sequence Number* contém o número de sequência do quadro, que deve ser igual ao valor corrente da variável *macDSN*. Os campos de endereço contém o endereço destino e/ou endereço origem dependendo dos *settings* do campo de *Frame Control*. O *Auxiliary Security Header*, se presente, contém a informação requerida para o processamento de segurança do quadro.

O Processo de Transferência de Dados

Como visto, numa rede 802.15.4 o coordenador da PAN pode operar a sua rede com ou sem superframe. No primeiro caso, ele inicia o superframe com um quadro *beacon*, que tem propósitos de sincronização e também serve para descrever a estrutura do superframe e enviar informação de controle para os dispositivos da PAN. Quando um dispositivo necessita enviar dados para o coordenador (fora do GTS) ele deve aguardar pelo quadro *beacon* para se sincronizar e depois competir pelo acesso ao canal. Por outro lado, a comunicação do coordenador para um dispositivo é indireta: o coordenador armazena os dados e anuncia a situação de entrega pendente no quadro *beacon*. Os dispositivos (finais) usualmente dormem a maior parte do tempo e acordam periodicamente para ver se tem dados pendentes a receber do coordenador verificando os *beacons* recebidos do seu coordenador. Quando eles percebem que existe uma mensagem disponível para eles, eles a requisitam explicitamente durante o CAP. Por fim, quando um coordenador A deseja falar com um outro coordenador B, ele deve se sincronizar com o *beacon* de B e agir como um dispositivo final.

Na comunicação sem superframe, o coordenador da PAN nunca envia *beacons*, e a comunicação acontece na base do *unslotted CSMA-CA*. O coordenador está sempre ligado (ON) e pronto para receber dados de um dispositivo final enquanto que a transferência de dados na direção oposta é “*poll-based*”: o dispositivo final periodicamente acorda e faz um “*polling*” no coordenador buscando por mensagens pendentes. O coordenador envia essas mensagens ou então sinais informando que elas não estão disponíveis. Já a comunicação entre coordenadores não apresenta nenhum problema já que ambos os nós permanecem ativos (ON) todo o tempo.

Em resumo, no padrão 802.15.4, existem três tipos de operações de transferência de dados: (i) transferência de dados de um dispositivo para um coordenador; (ii) transferência de dados de um coordenador para um dispositivo; e (iii) transferência de dados entre dois dispositivos pares numa rede *multi-hop*. Na topologia em estrela, só duas dessas transações são usadas porque os dados só podem ser transmitidos entre o coordenador e um dispositivo. Em uma topologia ponto-a-ponto, os dados podem ser trocados entre quaisquer dois dispositivos na rede; conseqüentemente, as três operações podem ser utilizados nesta topologia.

Transferência de Dados de um Dispositivo para o Coordenador

Quando um dispositivo deseja transferir dados para um coordenador em uma *beacon-enabled* PAN, ele primeiro escuta pelo *beacon*. Quando este é encontrado, o dispositivo é sincronizado com o *superframe*. No momento apropriado, o dispositivo transmite seu quadro de dados ao coordenador usando *slotted CSMA-CA*. O coordenador pode reconhecer a recepção com sucesso dos dados através da transmissão opcional de um quadro de *Acknowledgment* (Figura 24).

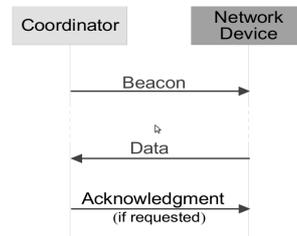


Figura 24 – Transferência de Dados de Dispositivo para Coordenador (rede com *beacons*)

Se a rede não usa *beacons*, o dispositivo simplesmente transmite os seus dados para o coordenador usando *unslotted CSMA-CA*. O coordenador confirma a recepção dos quadros transmitindo um quadro *Ack* opcional. Esta sequência é resumida na Figura 25.

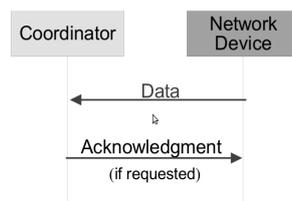


Figura 25 – Transferência de Dados de Dispositivo para Coordenador (rede sem *beacons*)

Transferência de Dados do Coordenador para um Dispositivo

Quando o coordenador quer transferir dados para um dispositivo em uma rede *beacon-enabled*, ele indica no quadro *beacon* que a mensagem de dados está pendente. O dispositivo periodicamente escuta por *beacons* e, se uma mensagem está pendente, transmite um comando MAC solicitando os dados, usando *slotted CSMA-CA*. O coordenador reconhece a recepção bem sucedida do pedido de dados transmitindo um quadro de confirmação. Os dados pendentes são, então, enviados usando *slotted CSMA-CA* ou, se possível, imediatamente após o reconhecimento. O dispositivo pode reconhecer a recepção com sucesso dos dados, transmitindo um quadro de confirmação opcional. Após a conclusão da operação, a mensagem é removida da lista de mensagens pendentes do *beacon*. Esta sequência é resumida na Figura 26.

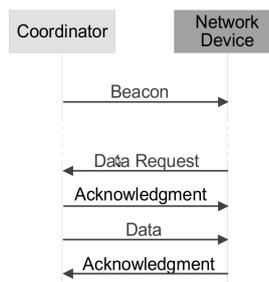


Figura 26 – Transferência de Dados do Coordenador para um Dispositivo (rede com *beacons*)

Quando um coordenador deseja transferir dados para um dispositivo em uma PAN sem *beacon* habilitado, ele armazena os dados esperando o dispositivo apropriado fazer contato solicitando os dados. Um dispositivo pode estabelecer contato através da transmissão de um comando MAC de requisição de dados ao seu coordenador, a uma taxa definida pela aplicação, usando *unslotted CSMA-CA*. O coordenador reconhece a recepção bem sucedida do pedido de dados pela transmissão de um quadro de confirmação. Se um quadro de dados encontra-se pendente, o coordenador transmite os dados para o dispositivo utilizando *unslotted CSMA-CA*. Se não existe um quadro pendente, o coordenador indica este fato seja no quadro de confirmação após a requisição de dados ou em um quadro de dados com *payload* de comprimento zero. Se solicitado, o dispositivo reconhece a boa recepção do quadro de dados através da transmissão de um quadro de confirmação. Esta sequência é resumida na Figura 27.

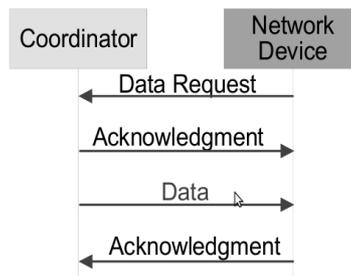


Figura 27 – Transferência de Dados do Coordenador para um Dispositivo (rede sem beacons)

Transferência peer-to-peer

Existe ainda a possibilidade de comunicação entre dispositivos não coordenadores no modo *peer-to-peer*, não necessitando sincronização para a troca de mensagens. Numa rede *peer-to-peer*, cada dispositivo pode se comunicar com qualquer outro que estiver na esfera de alcance do seu rádio. Para isso, o dispositivo simplesmente transmite os seus dados usando *unslotted CSMA-CA*.

Primitivas de Serviço Usadas na Transferência de Dados

O diagrama de sequência da Figura 28 mostra as primitivas de serviço que são trocadas em uma solicitação de transferência de dados realizada com sucesso. Nota-se que *MCPS-DATA.request* é a primitiva de serviço usada pela camada acima para solicitar ao MAC o início da transferência de dados de um dispositivo a outro.

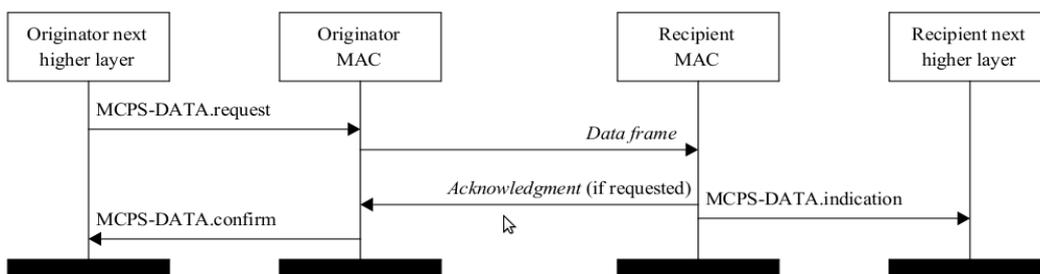


Figura 28 – Diagrama de Sequência de um MCPS-DATA.request realizada com sucesso

Alguns dos parâmetros da primitiva *MCPS-DATA.request* são mostrados na Figura 29.

Name	Type	Valid range	Description
SrcAddrMode	Enumeration	NO_ADDRESS, SHORT_ADDRESS, EXTENDED_ADDRESS	The source addressing mode for this MPDU.
DstAddrMode	Enumeration	NO_ADDRESS, SHORT_ADDRESS, EXTENDED_ADDRESS	The destination addressing mode for this MPDU.
DstPANId	Integer	0x0000-0xffff	The PAN identifier of the entity to which the MSDU is being transferred.
DstAddr	Device address	As specified by the DstAddrMode parameter	The individual device address of the entity to which the MSDU is being transferred.
msduLength	Integer	$\leq aMaxMACPayloadSize$	The number of octets contained in the MSDU to be transmitted by the MAC sublayer entity.
msdu	Set of octets	—	The set of octets forming the MSDU to be transmitted by the MAC sublayer entity.
msduHandle	Integer	0x00-0xff	The handle associated with the MSDU to be transmitted by the MAC sublayer entity.
AckTX	Boolean	TRUE, FALSE	TRUE if acknowledged transmission is used, FALSE otherwise.
GTSTX	Boolean	TRUE, FALSE	TRUE if a GTS is to be used for transmission. FALSE indicates that the CAP will be used.
IndirectTX	Boolean	TRUE, FALSE	TRUE if indirect transmission is to be used, FALSE otherwise.
SecurityLevel	Integer	As defined in Table 58	The security level to be used.

Figura 29 – Parâmetros da Primitiva MCPS-Data.request

Resumindo a Transferência de Dados. Quando um dispositivo deseja enviar dados para um coordenador no modo de operação com a estrutura do superframe habilitada, primeiramente ele deve esperar o recebimento de um *beacon* para que ocorra a sincronização com o superframe. Em um tempo apropriado, a informação coletada na rede é transmitida para o coordenador usando o *slotted CSMA-CA*. O coordenador, opcionalmente, pode enviar uma mensagem de reconhecimento para garantir que o pacote chegou corretamente (Figura 30a). Entretanto, quando a estrutura do superframe não é habilitada, o dispositivo não necessita esperar o recebimento de um *beacon* para enviar uma informação. Em um tempo apropriado, a informação é transmitida utilizando o *unslotted CSMA-CA* (Figura 30b).

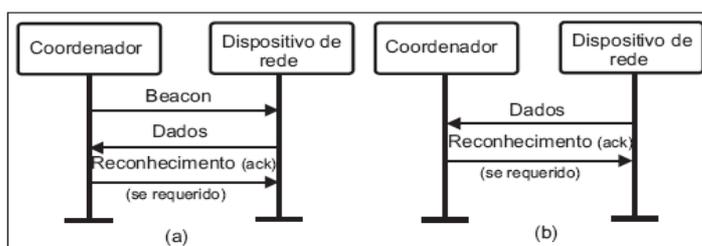


Figura 30 – Transferência de Dados do Coordenador para um Dispositivo: (a) com beacons; (b) sem beacons

Quando um coordenador deseja enviar dados para um dispositivo no modo de operação com a estrutura do superframe habilitada, ele indica explicitamente no *beacon* sua intenção de transmissão. Um dispositivo na rede deve esperar o *beacon* vindo do coordenador para então sincronizar com ele utilizando o *slotted CSMA-CA*, disputando com os outros dispositivos durante o período de tempo CAP (*Contention Access Period*), ou esperando sua vez durante o período de CFP (*Contention Free Period*), no qual existem *timeslots* reservados pelo coordenador para cada equipamento na rede. Ao receber um *beacon*, o dispositivo percebe que uma mensagem está pendente e, dessa forma, envia uma requisição para o coordenador, autorizando-o a transmitir a informação. Ao receber a autorização, o coordenador envia uma mensagem de reconhecimento informando que a autorização chegou corretamente e, em seguida, a informação pendente é transmitida utilizando-se *slotted CSMA-CA*. Este procedimento é ilustrado na Figura 31(a).

Entretanto, quando a estrutura do superframe não está habilitada, o procedimento é ligeiramente diferente. No caso, dispositivos de rede são configurados para enviarem mensagens periodicamente ao coordenador para saber se informações estão pendentes. Caso alguma informação esteja pendente, o coordenador as envia para os dispositivos conforme a descrição da Figura 31(b).

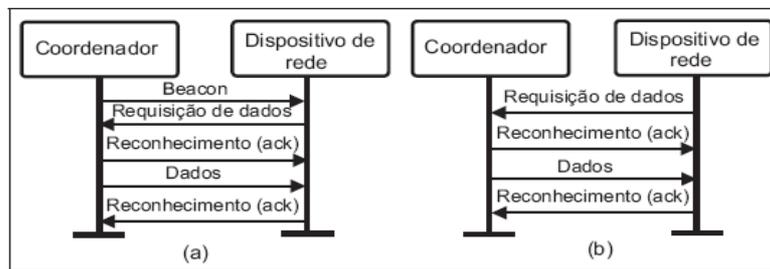


Figura 31 – Transferência de Dados do Coordenador para um Dispositivo - (a) com beacons; (b) sem beacons

Quadro de Confirmação (*Acknowledgment Frame*)

Este tipo de quadro é usado pela camada MAC para confirmar o recebimento de quadros de dados e quadros de comandos trocados entre os nós da rede. O quadro de *Acknowledgment* apresenta a estrutura mostrada na Figura 32:

Octets: 2	1	2
Frame Control	Sequence Number	FCS
MHR		MFR

Figura 32 – Formato do Quadro de Acknowledgment

O campo *type* do *Frame Control* apresenta o valor 010, indicando um quadro de confirmação. O quadro *Ack* possui apenas um cabeçalho e um rodapé, não possuindo campo de payload (carrega zero bytes). O cabeçalho MHR possui apenas os campos *Frame Control* e *Sequence Number*. Se o quadro de confirmação está sendo enviado em resposta a um comando MAC *MCPS-DATA.request*, o dispositivo que envia o *ack* deve verificar se tem dados pendentes a enviar para o receptor. Se ele puder determinar isso antes de enviar o quadro de *Ack* ele deve setar o campo *Frame Pending* informando a situação de pendência de dados ou, caso não possa, setar esse campo com o valor 1. Se o quadro de confirmação está sendo enviado em resposta a um quadro de dados ou a qualquer outro tipo de quadro de comando MAC, o dispositivo deve setar o campo de quadros pendentes para zero. Todos outros campos do *Frame Control* devem ser setados em zero. O campo *Sequence Number* deve conter o valor do número de sequência recebido no quadro para qual o *Ack* é enviado.

Quadro de Comando MAC (*MAC Command Frame*)

A Figura 33 mostra a estrutura geral do quadro de comando, que se origina de dentro da subcamada MAC. No cabeçalho MHR, o campo *type* do *Frame Control* apresenta o valor 011, indicando um quadro de comando. O *payload* MAC contém o identificador do comando MAC e o *payload* do comando propriamente dito.

Octets: 2	1	variable	0/5/6/10/14	1	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Addressing fields	Auxiliary Security Header	Command Frame Identifier	Command Payload	FCS
MHR				MAC Payload		MFR

Figura 33 – Formato do Quadro de Comando

Os comandos definidos pela subcamada MAC estão listados na Figura 34. Deve ser observado que um dispositivo FFD deve ser capaz de transmitir e receber todos os tipos de comandos, com exceção do *GTS Request*, enquanto que os requisitos para um RFD estão indicados com um “X” na figura. Os comandos MAC devem ser transmitidos apenas no CAP nas redes *beacon-enabled* ou a qualquer hora em redes *nonbeacon-enabled*.

Command frame identifier	Command name	RFD		Subclause
		Tx	Rx	
0x01	Association request	X		5.3.1
0x02	Association response		X	5.3.2
0x03	Disassociation notification	X	X	5.3.3
0x04	Data request	X		5.3.4
0x05	PAN ID conflict notification	X		5.3.5
0x06	Orphan notification	X		5.3.6
0x07	Beacon request			5.3.7
0x08	Coordinator realignment		X	5.3.8
0x09	GTS request			5.3.9
0x0a–0xff	Reserved			—

Figura 34 – Comandos MAC

Comando de Pedido de Associação (*Association Request*)

Para se associar a uma PAN, a camada acima solicita ao MAC que ele inicie um procedimento de associação com a PAN selecionada. Isto envolve enviar um pedido de associação ao coordenador da PAN e esperar pela mensagem de aceitação correspondente. Se aceito na PAN, o nó requerente recebe um endereço curto de 16-bits, que ele pode usar posteriormente em lugar do seu endereço IEEE estendido de 64 bits.

O comando MAC usado por um dispositivo para solicitar associação a uma PAN é o *Association Request*. Todos os dispositivos devem ser capazes de emitir este comando, embora não seja requerido a um RFD ser capaz de recebê-lo. O dispositivo só pode se associar através do coordenador da PAN ou de um coordenador qualquer que permita a associação. O comando *Association Request* deve ser formatado como ilustrado na Figura 35.

Octets: variable	1	1
MHR fields	Command Frame Identifier	Capability Information

Figura 35 – Formato do Comando Association Request

Campos do Cabeçalho MHR

No cabeçalho, o *Source Addressing Mode* deve indicar endereçamento estendido e o *Destination Addressing Mode* deve ser definido com o mesmo modo daquele indicado no quadro *beacon* ao qual o comando de pedido de associação se refere. O campo de *Pending Frame* deve ser ajustado para zero e ignorado na recepção, e o campo AR (*Ack Requested*) deve ser definido como 1.

O campo *Destination PAN Identifier* deve conter o identificador da PAN à qual se deseja associar. O campo *Destination Address* contém o endereço do coordenador ao qual o pedido de associação está sendo enviado, obtido do quadro de *beacon* por ele enviado. O campo *Source PAN Identifier* deve conter o identificador de *PAN broadcast*. O campo *Source Address* contém o endereço estendido do remetente, e deve ser igual a *macExtendedAddress*.

O Campo Capability Information

Este campo é formatado como na Figura 36. *Device Type* é igual a 1 se o dispositivo é um FFD e zero para indicar um RFD; *Power Source* é igual a 1 se o dispositivo está recebendo potência de uma fonte de corrente alternativa, caso contrário, é igual a 0; *Receiver On When Idle* é igual a 1 se o dispositivo não desabilita o seu receptor para conservar energia nos períodos de inatividade e 0, caso contrário; *Security Capability* é igual a 1 se o dispositivo é capaz de enviar e receber quadros MAC criptografados conforme especificado no padrão, caso contrário deve ser 0; e *Allocate Address* é igual a 1 se o dispositivo deseja que o coordenador aloque para ele um endereço curto de 16 bits, do contrário é 0.

Bits: 0	1	2	3	4-5	6	7
Reserved	Device Type	Power Source	Receiver On When Idle	Reserved	Security Capability	Allocate Address

Figura 36 – Formato do campo Capability Information do Comando Association Request

A primitiva usada para solicitar ao MAC a associação a uma PAN é a *MLME-ASSOCIATE.request*. Os parâmetros desta primitiva são mostrados na Figura 37.

Name	Type	Valid range	Description
ChannelNumber	Integer	Any valid channel number	The channel number on which to attempt association.
ChannelPage	Integer	Any valid channel page	The channel page on which to attempt association.
CoordAddrMode	Enumeration	SHORT_ADDRESS, EXTENDED_ADDRESS	The coordinator addressing mode for this primitive and subsequent MPDU.
CoordPANId	Integer	0x0000-0xffff	The identifier of the PAN with which to associate.
CoordAddress	Device address	As specified by the CoordAddrMode parameter	The address of the coordinator with which to associate.
CapabilityInformation	Bitmap	As defined in 5.3.1.2	Specifies the operational capabilities of the associating device.
SecurityLevel	Integer	As defined in Table 46	As defined in Table 46.
KeyIdMode	Integer	As defined in Table 46	As defined in Table 46.
KeySource	Set of octets	As defined in Table 46	As defined in Table 46.
KeyIndex	Integer	As defined in Table 46	As defined in Table 46.

Figura 37 – Parâmetros da Primitiva MLME-ASSOCIATE.Request

Os valores válidos do *status* do pedido de associação são retornados na correspondente primitiva *Association Response* e são mostrados abaixo:

- 0x00 Association successful
- 0x01 PAN at capacity
- 0x02 PAN access denied
- 0x03-7F Reserved.
- 0x80-0xff Reserved for MAC primitive enumeration values

O dispositivo que requisita a associação deve tentar associar-se somente depois de ter feito uma reinicialização da subcamada MAC, o que é feito com a emissão da primitiva *MLME-RESET.request*, com o parâmetro *SetDefaultPIB* igual a TRUE, e depois ter concluída uma busca ativa ou passiva de canais (procedimento denominado “*channel scan*”, brevemente descrito na próxima seção). Os resultados da busca de canais são então utilizados para escolher a PAN adequada. O algoritmo de seleção da PAN adequada a partir da lista de descritores de PAN retornados do procedimento de *channel scan* está fora do escopo do padrão.

Após a seleção da PAN com o qual se deseja associar, o dispositivo (i.e., a camada superior ao MAC) deve requerer ao seu MAC, através da primitiva de associação *MLME-ASSOCIATE.request*, que o MLME configure atributos específicos da PHY PIB e da MAC PIB, com os seguintes valores necessários para a associação:

- *phyCurrentChannel*: deve ser igual ao parâmetro *ChannelNumber* da primitiva *MLME-ASSOCIATE.request*.
- *phyCurrentPage*: deve ser igual ao parâmetro *ChannelPage* da primitiva *MLME-ASSOCIATE.request*.
- *macPANId*: deve ser igual ao parâmetro *ChannelPage* da primitiva *MLME-ASSOCIATE.request*.
- *macCoordExtendedAddress* ou *macCoordShortAddress*: dependendo de qual modo de endereço é conhecido a partir do quadro *beacon* do coordenador ao qual se pretende associar, deve ser igual ao parâmetro *CoordAddress* da primitiva *MLME-ASSOCIATE.request*.

A sequência global de mensagens trocadas para a associação a uma PAN é mostrada na Figura 38.

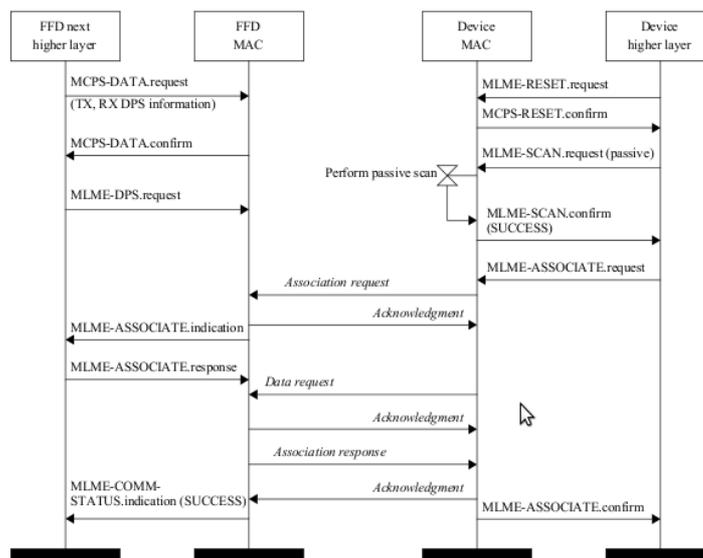


Figura 38 – Diagrama de Sequência de Mensagens para Associação a uma PAN

*** Inserir Criando a PAN? ***