

4 Agregação de Quadros

Foram implementados no padrão 802.11n diversos mecanismos para melhorar a vazão tanto na camada física quanto na camada MAC.

Na camada física, o uso principalmente de MIMO, OFDM e o aumento da banda para 40 MHz faz com que seja possível atingir uma taxa de transmissão de até 600 Mb/s.

Já na camada MAC, apesar de terem sido implementados diversos mecanismos tais como TXOP, Block ACK, o uso de RIFS em substituição ao SIFS, entre outros, ainda existe conforme mostrado em [23], [24] e [25], uma baixa eficiência da camada MAC na qual faz com que apenas uma pequena parte das altas taxas atingidas pela camada física estejam disponíveis para serem utilizadas pelas aplicações.

O motivo desta baixa eficiência é o *overhead* necessário para que seja possível transmitir a informação desejada. Toda vez em que um quadro de dados, ou seja, um MSDU (*MAC Service Data Unit*) é enviado, existe uma quantidade de *overhead* fixo que também necessita ser transmitido.

Fazem parte deste *overhead* o cabeçalho da camada física, o preâmbulo da camada física, o cabeçalho da camada MAC, o tempo de *back off*, tempos da janela de contenção (*CW – Contention Window*) de acordo com a categoria da informação, os espaçamentos entre os quadros (ex.: DIFS e SIFS/RIFS), o quadro de confirmação de recebimento (Ack) e ainda devido aos mecanismos de proteção e compatibilidade com os dispositivos que utilizam padrões 802.11 legados os campos extras para que estes dispositivos legados possam identificar que irá ocorrer uma transmissão.

Outro fator que contribui para a baixa eficiência da camada MAC é que toda a informação de controle deve ser transmitida em baixas taxas, para compatibilidade com dispositivos legados.

Há também, devido à utilização de MIMO, os campos de sincronização para utilização de múltiplos transmissores/receptores) que contribuem para o aumento de *overhead*.

A Figura 4.1 exemplifica de forma simplificada e ilustrativa a comparação entre o quantitativo de *overhead* e o quantitativo de carga útil é transportada a cada quadro.

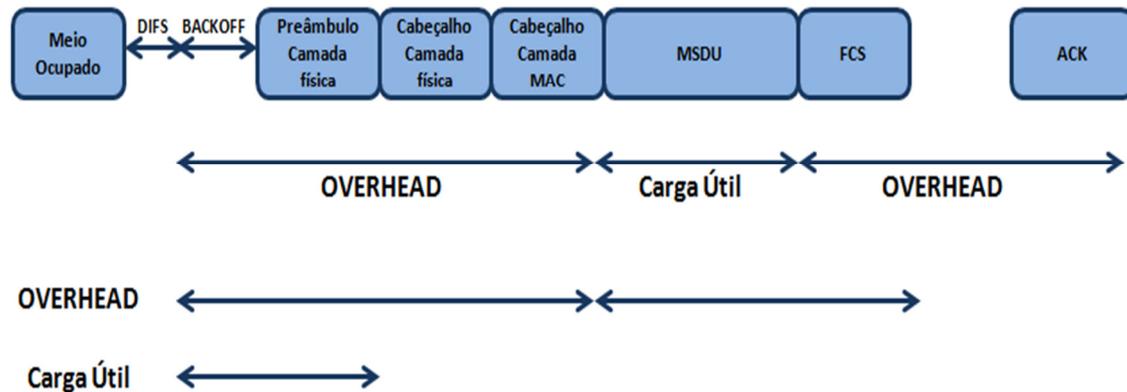


Figura 4.1 - Quantitativo de overhead versus quantitativo de carga útil – [16].

Para minimizar efetivamente o *overhead* e assim alcançar taxas mais altas de transmissão, foi incluído no padrão 802.11n o método de agregação de quadros.

A agregação de quadros é capaz de enviar múltiplos pacotes de dados com um *overhead* total um pouco maior que o de um único pacote.

O conceito da técnica de agregação de pacotes é combinar a carga útil de diversos pacotes em um único pacote. Com as informações agregadas em um único pacote é necessário apenas do cabeçalho deste único pacote agregado.

Por conseguir reduzir consideravelmente a quantidade de *overhead* e ser capaz de aumentar a eficiência da camada MAC, que este método é considerado uma das mais importantes implementações da camada MAC do padrão 802.11n.

No padrão 802.11n está contemplado o uso de dois métodos de agregação de pacotes, A-MPDU (*Aggregated MAC Protocol Data Unit*) e A-MSDU (*Aggregated MAC Service Data Unit*).

Em aspectos lógicos estes realizam a agregação em partes diferentes da camada MAC, enquanto um realiza a agregação na camada mais superior, ou seja, entre a camada LLC e a camada MAC o outro na camada mais inferior da camada

MAC, ou seja, entre a camada MAC e a camada física. A Figura 4.2 mostra em qual parte da camada MAC cada método realiza a agregação.

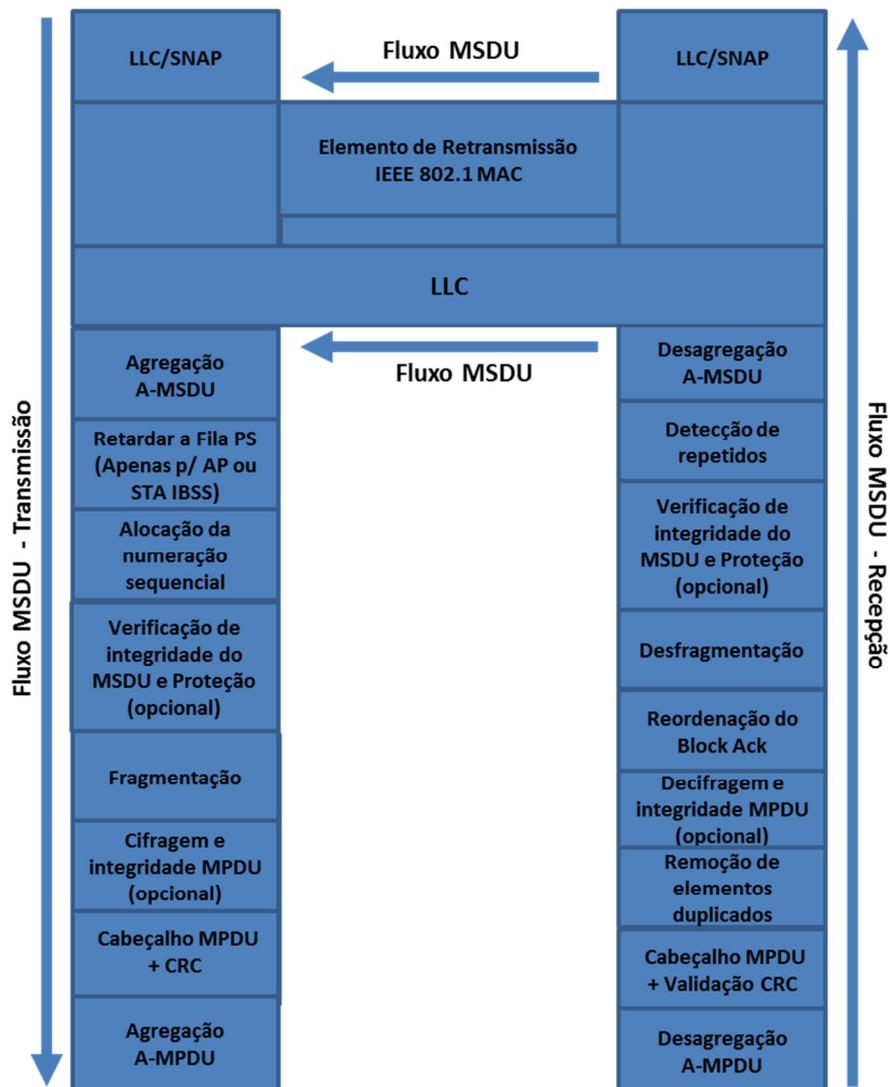


Figura 4.2 - Arquitetura da camada MAC

Conforme a Figura 4.2 o método A-MSDU realiza a agregação na camada mais superior da camada MAC, entre a camada LLC e a camada MAC, a qual agrega múltiplos MSDUs de um único MPDU. É o A-MPDU realiza a agregação na camada mais baixa da camada MAC este realiza a agregação de múltiplos MPDUs para formar um PSDU, o qual é passado para a camada física como carga útil de uma única transmissão. Ao ser recebido estes pacotes agregados são separados nas mesmas posições lógicas da camada MAC conforme mostrado pela Figura 4.2.

4.1. A-MSDU (Aggregated MAC Service Data Unit)

O objetivo do A-MSDU é permitir que múltiplos MSDUs que serão enviados para um mesmo receptor sejam concatenados em um único MPDU. Desta forma se reduz a quantidade de *overhead* necessário e conseqüentemente se eleva a eficiência da camada MAC, principalmente quando os MSDUs não são grandes, tal como as confirmações de recebimento do protocolo TCP. É obrigatório que o receptor do padrão 802.11n suporte esse método de agregação.

Neste método de agregação, A-MSDU, a agregação ocorre da seguinte maneira, os MSDUs são recebidos da camada LLC (*Logical Link Control*), são armazenados no Buffer para serem agregados e formarem o A-MSDU.

Ao ser recebido, o MSDU da camada LLC recebe um cabeçalho que contém as seguintes informações:

- Endereço de destino (DA);
- Endereço de origem (SA);
- Comprimento do SDU (Service Data Unit) em bytes.

Após inserido o cabeçalho, este juntamente com a informação (SDU) são preenchidos com bytes (0 até 3 bytes) para que o subquadro atinja o limite e forme uma palavra com 32 bits. A quantidade de bytes que serão preenchidos depende da regra de cada quadro, exceto o último que será preenchido com a quantidade de bytes necessários para que o total de bytes deste seja múltiplo de 4 bytes.

Desta forma, o receptor pode identificar mais facilmente o início do próximo quadro. A estrutura de formação do A-MSDU é mostrada na Figura 4.3.

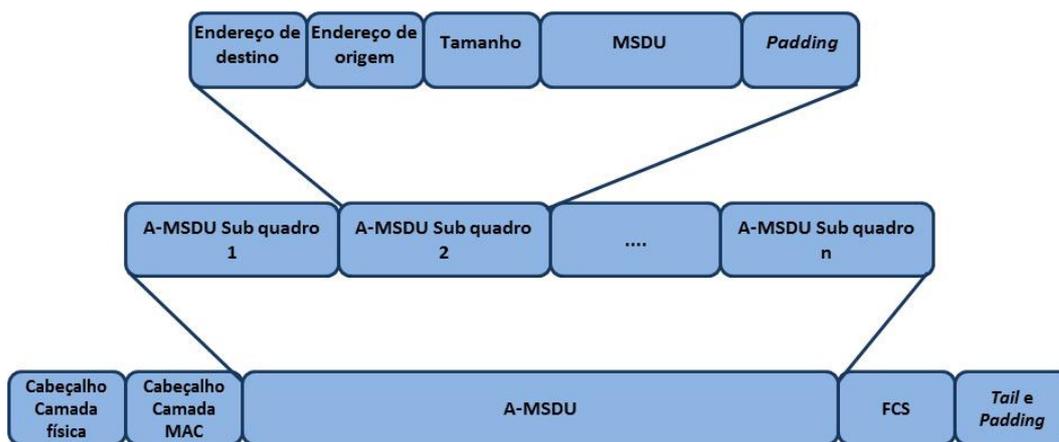


Figura 4.3 - Estrutura de agregação de quadros do método A-MSDU

O A-MSDU é considerado completo quando este atinge o tamanho máximo de MSDUs concatenados ou quando o atraso máximo do pacote mais antigo atinge um valor pré-determinado. O comprimento do PSDU na camada física é de 4095 bytes ou 8191 bytes, deste comprimento, 256 bytes foram reservados para futuro uso, com isso o tamanho máximo que o A-MSDU pode ter é de 3839 bytes ou 7935 bytes. Quanto ao atraso máximo este pode ser determinado para cada categoria de tráfego (AC), porém o mais usual é utilizar 1 μ s para todas as categorias.

Para utilização deste método de agregação existem algumas restrições. O endereço de destino (DA) e o endereço de origem (SA) contido do cabeçalho do quadro devem ser obrigatoriamente idênticos ao endereço do receptor (RA) e ao endereço do transmissor (TA) contidos no cabeçalho MAC.

A duração de vida de um A-MSDU de corresponder ao maior tempo de vida dos elementos que o compõe. Não é possível a utilização deste método de agregação para envio de quadros em broadcasting ou *multicasting*, só é permitido o envio de quadros em *unicast* e todos os MSDUs que compõem um A-MSDU devem possuir o mesmo valor de TID (*Traffic Identifier*)

O TID (de um quadro é uma marcação do tipo de tráfego utilizado para atender os requisitos de QoS. Existem 16 valores possíveis para TID, destes os compreendidos entre 0 a 7 são para especificar o valor de prioridade do usuário no quadro e os valores entre 8 e 15 são destinados para especificar o tipo de tráfego que o quadro transporta.

Uma das vantagens do A-MSDU é que este pode implementado via atualização de *software*, desde que exista uma quantidade de *buffer* suficiente no *hardware* que possa ser utilizado.

Uma das principais desvantagens deste método de agregação é que, mesmo tendo menor *overhead* este possui somente um cabeçalho tanto da camada física quanto da camada MAC e somente um CRC para todos os subquadros, conforme mostrado na Figura 4.3.

Desta forma, em canais propensos a erro, se um subquadro é corrompido, não é possível identificar em qual subquadro ocorreu o erro. Logo, todo o quadro A-MSDU é reenviado.

4.2. A-MPDU (Aggregated MAC Protocol Data Unit)

O conceito do método de agregação A-MPDU é permitir que múltiplos subquadros MPDUs sejam concatenados e assim tenham somente um cabeçalho da camada física, diferentemente da agregação A-MSDU, o A-MPDU realiza a agregação depois que cada subquadro já recebeu o cabeçalho da camada MAC.

Neste método a agregação ocorre de forma lógica na parte mais baixa da camada MAC, ou seja, entre a camada MAC e a camada física, cada MPDU (*MAC Protocol Data Unit*) recebe um pequeno MPDU denominado de delimitador e recebe também os bits de FCS (*Frame Check Sequence*). De forma concatenada estes são entregues para a camada física como um único PSDU (*PLCP service data unit*) de forma que sejam enviados em um único PPDU (*PLCP protocol data unit*).

O delimitador é composto por 4 bits que estão reservados para uso futuro, 12 bits que são destinados para informar o comprimento do MPDU, 8 bits que são destinados para CRC e mais 8 bits que são destinados para a assinatura do delimitador, no total o delimitador possui um comprimento de 32 bits .

Os 8 bits do CRC asseguram a integridade dos 4 bits reservados assim como os 12 bits para com comprimento do MPDU além de validar a integridade do cabeçalho.

O byte de assinatura é preenchido por um caractere ASCII de padrão único e tem a função de sinalizar a fronteira de um subquadro para outro no intuito de facilitar a extração de cada subquadro no receptor.

Após a junção do MPDU com o delimitador estes são preenchidos com bytes (0 até 3 bytes) para que o subquadro atinja o limite e forme uma palavra com 32 bits. Essa inclusão de 0 até 3 bytes tem o intuito de fazer com que cada MPDU seja múltiplo de quatro bytes.

Desta forma o receptor pode identificar mais facilmente onde termina cada MPDU e se inicia o próximo. A estrutura de formação do A-MPDU é mostrada pela Figura 4.4.

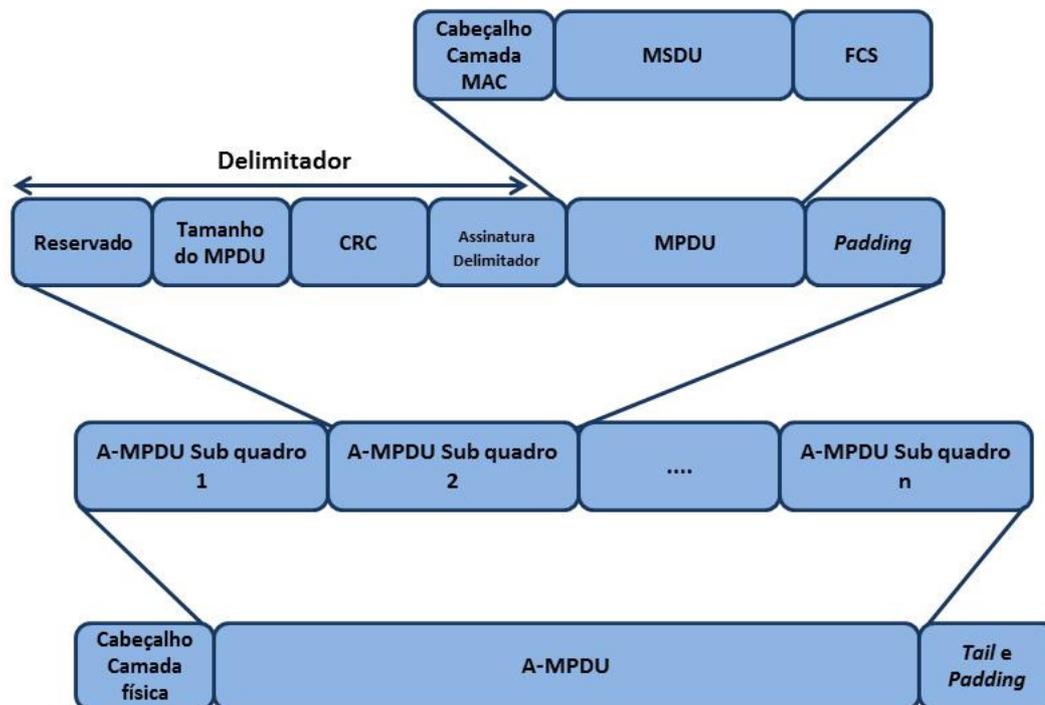


Figura 4.4 - Estrutura de agregação de quadros do método A-MPDU

Assim como o A-MSDU, o A-MPDU também possui algumas restrições. Primeiramente, todos os MPDUs que formam o A-MPDU devem ser endereçados para o mesmo receptor e estes devem possuir o mesmo TID. O campo de duração do cabeçalho de todos os MPDUs em um A-MPDU devem possuir um mesmo valor.

Em compensação não existe a necessidade de esperar ou armazenar uma quantidade de pacotes para formar o A-MPDU, sendo assim, o número de MPDUs que serão agregados dependem somente de quantos pacotes estão prontos para serem transmitidos.

Outra restrição é que o tamanho máximo que o A-MPDU pode ter é o tamanho do PSDU que tem o limite de 65535 bytes, porém o número máximo de subquadros contidos no A-MPDU é de 64. Essa restrição do número de subquadros se deve ao fato que cada confirmação de recebimento ocupa dois bytes e o *block Ack* possui apenas 128 bytes de comprimento.

A última restrição reside nos dois bytes para fornecer o Ack de cada subquadro, que comportam até 16 fragmentos dos subquadros. Porém o A-MPDU não permite fragmentação. Por isso, os dois bytes não são preenchidos completamente.

Ao ser recebido pelo receptor este analisa a estrutura de quadros do A-MPDU para extrair cada um dos MPDUs que formam o A-MPDU, isto é feito utilizando como base o tamanho do MPDU contido em cada delimitador. Se algum dos delimitadores estiverem corrompidos o receptor procura o próximo delimitador válido. Ao encontrar um delimitador válido o receptor é capaz de extrair o MPDU corresponde, feito isto o receptor procura o próximo delimitador válido para extrair o MPDU e assim sucessivamente até terminar todo o PSDU.

Desta forma mesmo que alguns MPDUs contidos em um A-MPDU estejam corrompidos é possível extrair os MPDUs que não foram comprometidos.

No caso onde parte dos MPDUs estão danificados a parte de confirmação referente a essas partes é enviada somente zeros no block ACK e assim somente estes subquadros danificados são retransmitidos, isso só é possível, pois cada subquadro possui o seu próprio CRC Data e FCS, o que faz deste método ser mais resiliente a danos parciais e por isso a estrutura de quadros do A-MPDU é considerada robusta principalmente em ambientes propensos a erro.

4.3. Comparativo entre os métodos de agregação A-MSDU e A-MPDU

Um das primeiras diferenças citadas entre os métodos de agregação A-MSDU e o A-MPDU é a localização onde os subquadros são agregados, enquanto a agregação do A-MSDU é realizada na camada mais superior da camada MAC o método A-MPDU a agregação é realizada na camada mais baixa.

Outra diferença importante está no comprimento permitido por cada técnica, o A-MPDU permite que os subquadros sejam agregados até atingir o tamanho de 65535 bytes. Já o A-MSDU permite apenas os tamanhos de 3839 bytes e 7935 bytes, em compensação o A-MPDU possui a limitação de agregação máxima de 64 subquadros, que no outro método não há limitação para quantidade de subquadros concatenados.

Sob o ponto de vista da quantidade de *overhead*, o método A-MSDU possui uma quantidade menor, pois este possui somente um cabeçalho MAC e um campo de FCS para todos os subquadros enquanto o A-MPDU possui um cabeçalho MAC e FCS para cada subquadro além de possuir o delimitador.

Em compensação graças a esse *overhead* extra que o A-MPDU é capaz de retransmitir somente os subquadros danificados. No A-MSDU caso algum subquadro chegue ao receptor corrompido todo o quadro deve ser reenviado.

Outra importante diferença é que no A-MSDU é necessário armazenar os pacotes até alcançar o limite ou tempo de espera máximo, para então formar o A-MSDU. No A-MPDU não há essa necessidade de armazenem dos pacotes para então agregar os pacotes. Essa necessidade de armazenar os pacotes pode fazer com que o atraso do A-MSDU seja maior que o atraso do A-MPDU.

	A-MSDU	A-MPDU
Localização da agregação	Entre a camada LLC e a camada MAC	Entre a camada MAC e a camada física
Comprimento	3839 ou 7935 bytes	Até 65535 bytes
Quantidade máxima de sub quadros	Não há limite	64
Recuperação de subquadro	Não é possível	É possível

Tabela 4.1 – Comparativo dos métodos de agregação A-MSDU e A-MPDU