

5

Validação do modelo e análise dos resultados para tráfego CBR

Neste capítulo iremos apresentar a ferramenta de simulação, em conjunto com os aperfeiçoamentos realizados na ferramenta para que fosse possível simular uma rede sem fio 802.11n. O objetivo é realizar experimentos para avaliar os ganhos obtidos com o uso das técnicas de agregação A-MPDU e A-MSDU.

Na sequência será apresentado o cenário da simulação utilizado nas primeiras simulações envolvendo tráfego CBR. O tráfego CBR foi escolhido para as simulações deste capítulo no intuito validar a implementação dos métodos de agregação na ferramenta de simulação, assim como realizarmos uma avaliação comparativa entre os métodos A-MPDU e A-MSDU.

5.1. Ferramenta de simulação

O NS2 [29] é uma ferramenta baseada em eventos discretos destinada para a modelagem os protocolos de rede, sejam estas redes com ou sem fios.

Duas linguagens de programação são utilizadas pelo NS2: C++ e OTcl (*Object-oriented Tool Command Language*). O C++ é utilizado no núcleo central do simulador enquanto o OTCL é destinado para configuração dos objetos, assim como modelagem da topologia de rede.

O C++ e o OTCL são utilizados em conjunto com o TclCL, que é uma linguagem de programação derivada da linguagem Tcl na qual fornece uma camada de ligação entre o C++ e o OTCL pelo fato de possuir suporte a classes.

O NS2 foi escolhido para realização das simulações por proporcionar um ambiente confiável onde é possível modelar a topologia desejada, obter os resultados de como cada elemento da rede reage e por ser uma ferramenta gratuita. Estas vantagens tornam o NS2 uma das mais amplamente usadas ([18], [19] e [25]) ferramentas de simulação de redes de computadores.

Porém, a ferramenta de simulação em questão não possui o padrão 802.11n nativamente implementado e conseqüentemente também não possui implementados os métodos de agregação A-MPDU e A-MSDU.

Por conta disto utilizamos como base o padrão 802.11a para realizarmos as alterações e as implementações necessárias para que este pudesse retratar uma rede do padrão 802.11n, com e sem o recurso de agregação, no intuito de verificarmos o ganho que os métodos de agregação oferecem.

Dentre as implementações e alterações realizadas, foi necessário alterar a camada MAC existente no NS2, para que fossem incluídas as linhas de código de forma que esta camada realizasse a agregação de quadros e para que fossem implementados os recursos obrigatórios conforme a norma, tal como o recurso *block ACK*.

Foi necessário, também, alterar a programação, desabilitando a possibilidade do envio de pacotes em *broadcast* e *multicast*, uma vez que só é permitido, pelo IEEE 802.11n, o envio de pacotes agregados em *unicast*, foram alteradas também as linhas de código referente a retransmissão dos pacotes para reenviar os pacotes de acordo com a informação recebida do *block ACK*.

A ferramenta de simulação foi instalada em três máquinas virtuais com as mesmas configurações e com sistema operacional Linux Ubuntu. Destas três máquinas, duas foram destinadas às simulações do padrão 802.11n com o recurso de agregação, uma com o método A-MPDU e outra com o método A-MSDU, a terceira máquina foi destinada para simulações do padrão 802.11n sem o recurso de agregação de quadros.

Após as alterações e as implementações necessárias, foi então realizado o primeiro grupo de simulações, com dois propósitos: validar as implementações realizadas e iniciar a avaliação dos métodos de agregação. A validação das implementações será apresentada no decorrer deste capítulo em conjunto com a avaliação de cada parâmetro analisado.

5.2. Métricas utilizadas

Essa seção tem o objetivo de definir as métricas utilizadas nas avaliações de desempenho, que foram: vazão, atraso máximo, atraso médio e taxa de pacotes recebidos.

A vazão é dada por:

$$Vazão = \frac{\sum_0^{Total\ de\ pacotes\ transmitidos} Pacotes\ recebidos\ (em\ bits)}{Tempo\ de\ transmissão}$$

Portanto, para se obter o valor da vazão total da transmissão é feito o somatório de todos os bytes recebidos, Este valor é, dividido pelo tempo de transmissão.

A métrica de atraso máximo do tráfego é obtido através da subtração do tempo de chegada, no receptor, do pacote na camada de aplicação (T_{ch}) do tempo em que o pacote foi transmitido, no emissor, pela camada de aplicação para a camada MAC (T_{tr}), conforme abaixo.

$$Atraso = T_{ch} - T_{tr}$$

Uma vez obtido o atraso de todos os pacotes do tráfego em análise é verificado qual pacote possui o maior atraso.

O atraso médio do tráfego em análise é obtido da seguinte forma:

$$Atraso\ médio = \frac{\sum_0^{Total\ de\ pacotes\ transmitidos} atraso\ dos\ pacotes\ recebidos}{Total\ de\ pacotes\ recebidos}$$

Ou seja, é realizado o somatório do atraso de todos os pacotes recebidos e o total é dividido pelo número total de pacotes recebidos.

Por fim, a fração de pacotes recebidos é obtida da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \text{fração de pacotes recebidos} \\ & = \frac{\sum Pacotes\ recebidos\ (Un) - \sum (Pacotes\ de\ atraso > 200ms)}{Total\ de\ pacotes\ enviados} \end{aligned}$$

Para calcular a fração de pacotes recebidos, é observado o número de pacotes recebidos pelo receptor. Deste total, é subtraído o número de pacotes que foram recebidos com um atraso superior a 200 ms. Com isso temos o número de pacotes recebidos e que não foram descartados pelo receptor.

Este novo total é dividido pelo total de pacotes enviados resultando na fração de pacotes recebidos.

5.3. Cenário das Simulações

O cenário das simulações que utilizam o tráfego CBR é composto por três elementos: um servidor que é capaz de enviar pacotes em uma taxa constante (CBR); um ponto de acesso (Access Point - AP) com duas antenas uma para cada fluxo espacial e; uma estação apta para receber altas taxas.

Os três elementos estão dispostos em uma região bidimensional quadrada com 100 metros de lado. O AP está localizado em um dos vértices da região, vértice esse que serve de ponto de origem para o sistema de coordenadas e a estação está 10 metros do AP.

O *link* entre o servidor e o AP é ideal, para que este *link* não influencie na avaliação de cada um dos métodos, desta forma poderíamos considerar o servidor como um elemento do AP, pois sua localização não influencia nos resultados da simulação.

A Figura 5.1 mostra a topologia do primeiro cenário e a Tabela 5.1 mostra os valores adotados para os parâmetros do sistema 802.11n.

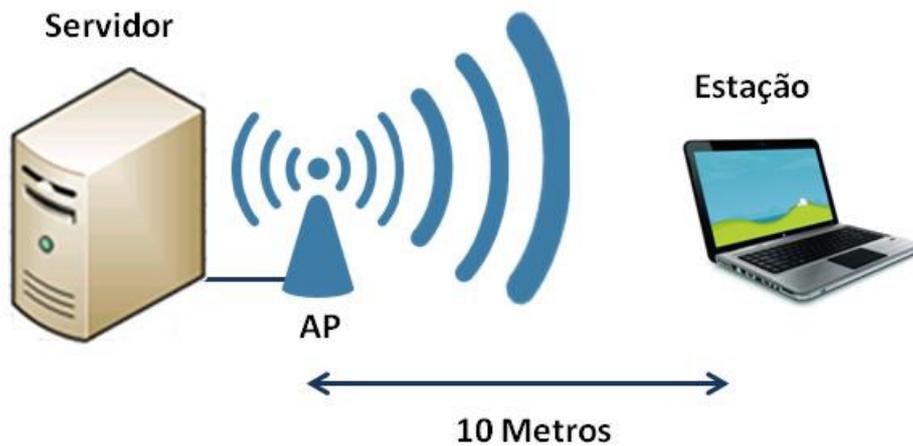


Figura 5.1 - Cenário utilizado nas simulações

Tipo de Antena	Omni
Frequência	5 GHz
CWmin	15
CWmax	1023
Slot Time	9 μ s
SIFS	16 μ s

Tabela 5.1 - Parâmetros do padrão 802.11n utilizados na simulação.

5.4. Análise dos resultados obtidos em ambiente sem erro

Para os experimentos realizados, consideramos que o canal é perfeito e não introduz erro na transmissão, para compararmos o desempenho dos métodos sem a interferência do canal.

O servidor foi configurado para enviar pacotes na taxa máxima, e constante (CBR), fornecida pela camada física. O tamanho dos pacotes enviados foi variado desde 600 até 2000 bytes com saltos de 100 em 100 bytes.

Nesta simulação consideramos a taxa máxima da camada física como 135 Mb/s e conseqüentemente a taxa de transmissão dos pacotes também utilizada foi de 135 Mb/s. Conforme mencionado anteriormente nestas simulações, o canal

será considerado sem erros e portando a taxa de erro de pacotes será igual à zero. Foi permitida a retransmissão do pacote até o limite de sete vezes, pois é possível que tenhamos perdas causadas por enchimento do *buffer*.

Análise da Vazão

Com o servidor configurado, a primeira medida realizada foi da vazão alcançada com a utilização dos métodos de agregação A-MPDU, A-MSDU e sem a utilização de um método de agregação. Nessa simulação medimos também o atraso máximo, médio e mínimo e a fração de pacotes recebidos. Estes resultados serão apresentados posteriormente.

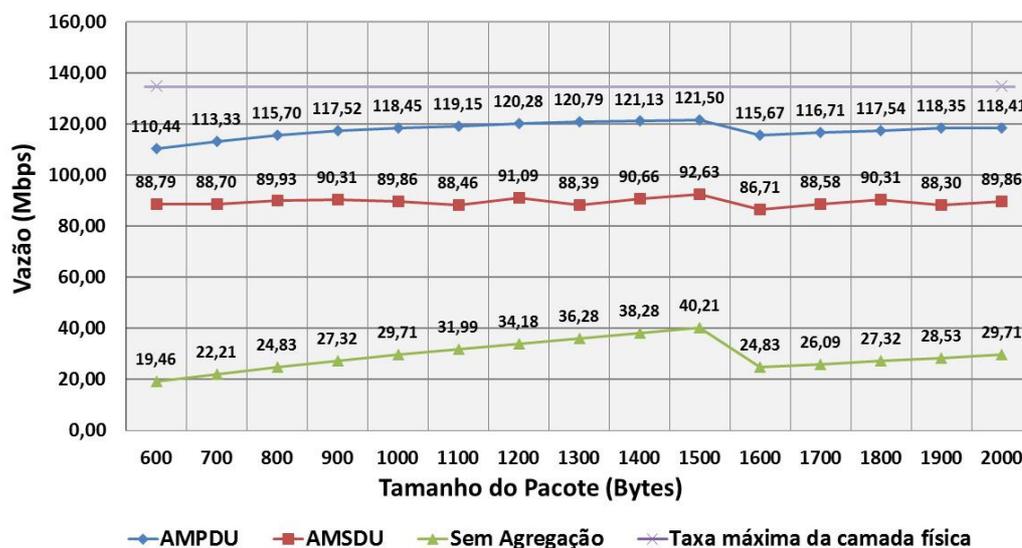


Figura 5.2 - Vazão máxima de cada método de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

A Figura 5.2 mostra os resultados obtidos, podemos ver que independente do método, a maior vazão é alcançada com o pacote no tamanho de 1500 bytes, com destaque para o método de agregação A-MPDU, onde é possível utilizar 90% da taxa fornecida pela camada física. O método A-MSDU utiliza aproximadamente 68% da capacidade e quando não se utiliza um método de agregação, é possível fazer uso de menos de 30% da taxa fornecida pela camada

física. Esse baixo uso da taxa fornecida pela camada física reflete a ineficiência da camada MAC, quando esta não utiliza um dos métodos de agregação. O percentual que encontramos é semelhante ao demonstrado em [23]. É possível ver também uma queda na vazão dos pacotes maiores que 1500 bytes, isso mostra que o modelo respeita o tamanho máximo do quadro ethernet, pois, os mesmos são fragmentados ocasionando assim a queda na vazão.

Comparando os resultados obtidos com de vários artigos constata-se que o resultado que obtivemos está de acordo com [16], [19] e [20] apesar [16] e [19] usarem a camada física, respectivamente, com 144Mb/s e 150 Mb/s de taxa máxima. Outra diferença em relação à [16] está no tamanho dos MSDUs utilizados para se obter a máxima vazão. Em [16] são utilizados pacotes deste 125 bytes até 1500 bytes enquanto focamos nos pacotes entre 600 bytes e 2000 bytes. Ainda com relação a vazão foi realizada uma nova simulação alterando apenas a taxa máxima da camada física para 130 Mb/s e a taxa de transmissão dos pacotes também para 130 Mb/s e posteriormente para 150 Mb/s, tanto para a camada física quanto para transmissão de pacotes. Os resultados obtidos para a taxa de 130 Mb/s são mostrados pela Figura 5.3, e para a taxa de 150 Mb/s são mostrados pela Figura 5.4. Com estes resultados vemos que estão compatíveis com os trabalhos mencionados.

Em relação ao uso da taxa máxima fornecida pela camada física, temos a Tabela 5.2 que mostra o percentual que cada método de agregação consegue utilizar da taxa fornecida pela camada física e a variação deste percentual com a alteração da taxa máxima fornecida pela camada física.

	130 Mb/s	135 Mb/s	150 Mb/s
A-MPDU	90,2%	90,0%	89,5%
A-MSDU	69,4%	68,6%	66,5%
Sem Agregação	30,5%	29,8%	27,7%

Tabela 5.2 - Percentual da taxa de transmissão da camada física utilizada pela camada MAC.

Em [23] já havia sido demonstrado que existe uma queda na eficiência da camada MAC com o aumento da taxa de transmissão da camada física para os casos onde não se faz o uso de técnicas de agregação. Com a Tabela 5.2 é possível verificar que essa queda na eficiência da camada MAC com o aumento da taxa de transmissão da camada física ocorre, embora pequena, também para quando se faz uso dos métodos de agregação.

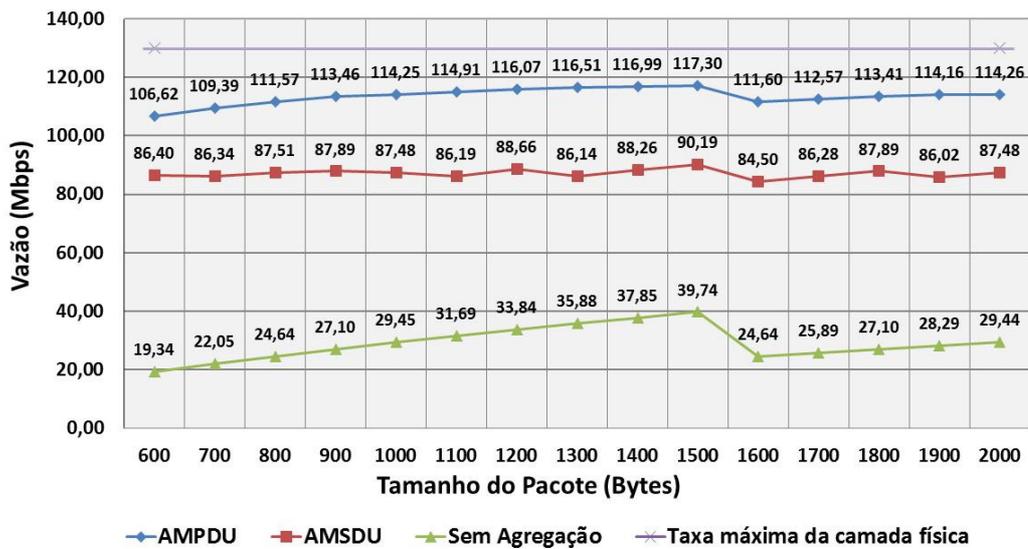


Figura 5.3 - Vazão máxima de cada método de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 130 Mb/s.

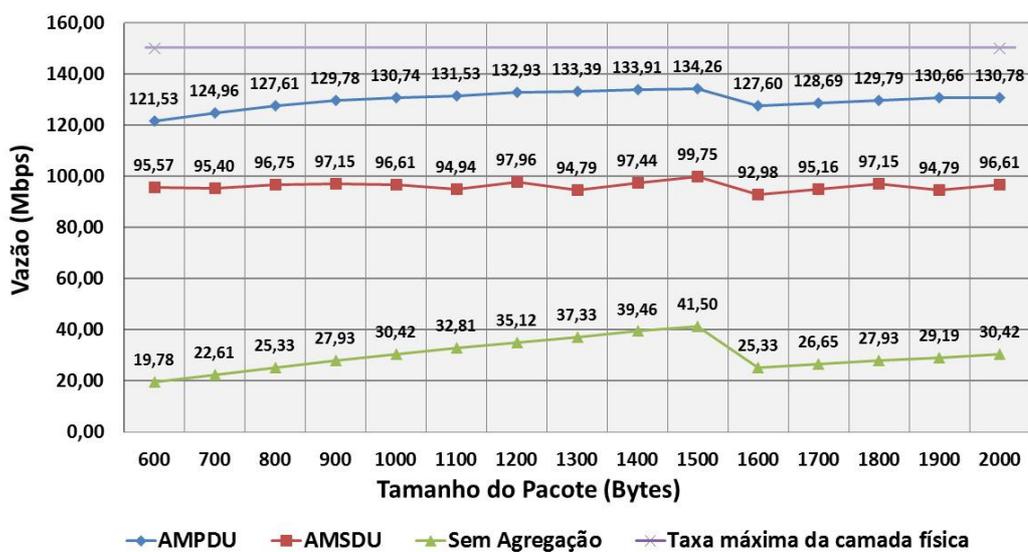


Figura 5.4 - Vazão máxima de cada método de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 150 Mb/s

Em termos de vazão a técnica de agregação A-MPDU tem um desempenho significativamente melhor que o da técnica A-MSDU e também que aquele obtido sem a utilização de uma técnica de agregação. O próximo passo é analisar o atraso ocasionado pela transmissão.

Análise do Atraso

Com relação ao atraso para a taxa de transmissão igual a 135 Mb/s, o atraso máximo é mostrado pela Figura 5.5.

Vemos que sem utilizar um método de agregação o atraso pode chegar a 24 segundos com pacotes de 600 bytes e na faixa de 11 segundos com pacotes de 1500 bytes. É importante lembrar que estamos enviando pacotes com taxa de transmissão de 135 Mb/s, enquanto a vazão obtida com pacotes de 600 bytes e de 1500 bytes conforme Figura 5.4 é de apenas 19,4 e 40,2 Mb/s respectivamente.

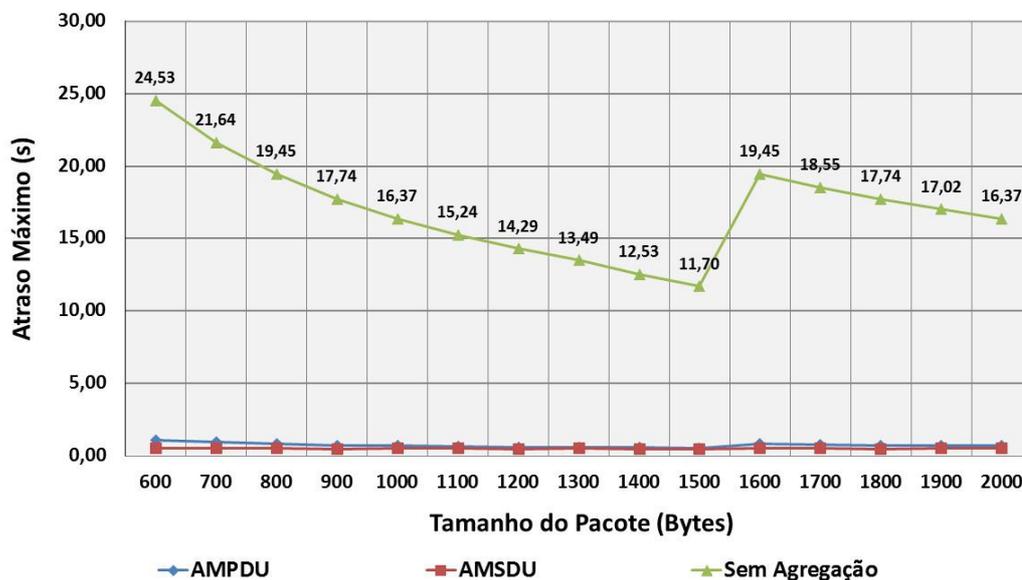


Figura 5.5 - Atraso máximo obtido sem a utilização de um dos métodos de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s

Como o atraso máximo é muito maior quando não é utilizado um método de agregação a Figura 5.6 mostra o atraso máximo somente dos métodos de

agregação A-MPDU e A-MSDU. Nesta figura podemos ver que o método de agregação A-MSDU possui um atraso mais independente do tamanho do pacote, enquanto no A-MPDU o tamanho do pacote influencia diretamente o atraso máximo.

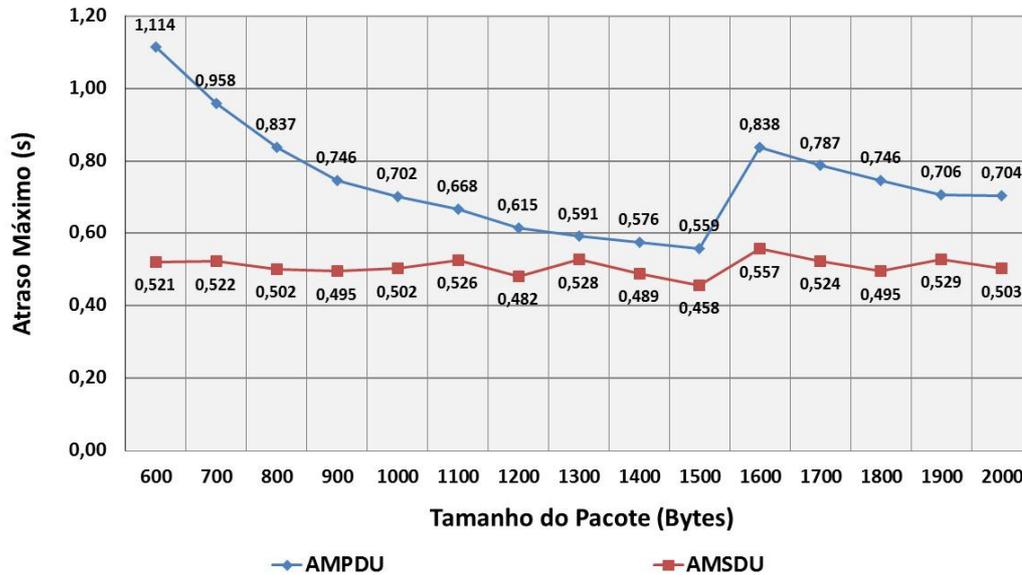


Figura 5.6 - Atraso máximo de cada método de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s

Em ambos os métodos o menor atraso máximo é obtido com pacotes com tamanho de 1500 bytes, mesmo assim este valor está muito acima dos 200 ms necessários para atender os requisitos de transmissão de vídeo, conseqüentemente podemos esperar que muitos pacotes não irão chegar a tempo se o vídeo for transmitido na mesma taxa da camada física. Para as taxas de 130 Mb/s e 150 Mb/s a variação é muito pequena com relação aos resultados já discutidos.

O atraso médio obtido para a taxa de 135 Mb/s é mostrado na Figura 5.7 e é próximo da metade do atraso máximo mostrado pela Figura 5.5 no caso da não utilização de nenhum método de agregação. Mesmo assim permanece muito maior do que quando se utiliza um método de agregação. Isso já era esperado devido à baixa vazão e a alta taxa de transmissão dos pacotes.

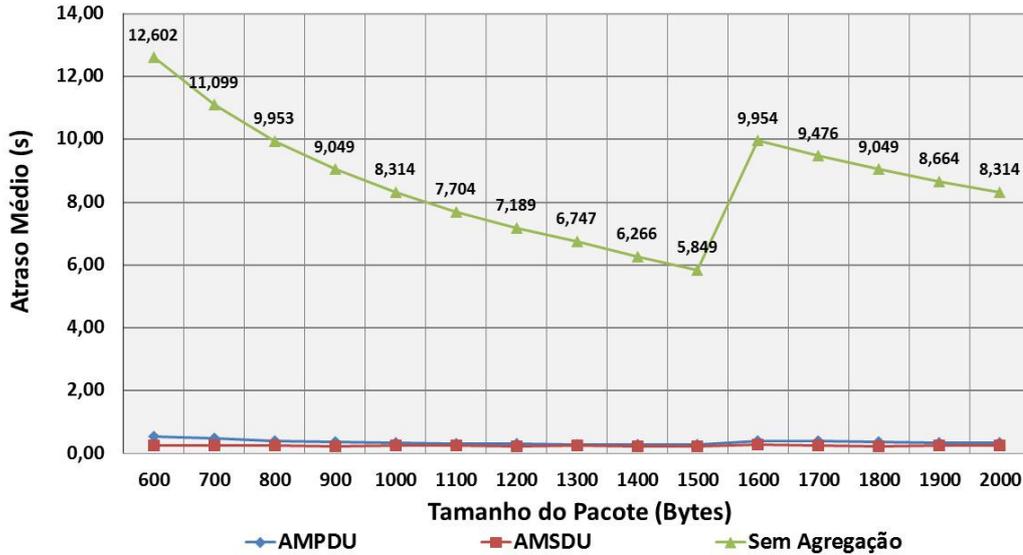


Figura 5.7 - Atraso médio obtido sem e com utilização dos métodos de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s

Para facilitar a visualização, a Figura 5.8 mostra o atraso médio somente dos métodos de agregação. Podemos notar que o perfil do gráfico é muito próximo da Figura 5.6 onde o método A-MSDU possui um atraso quase que independente do tamanho do pacote enquanto o A-MPDU depende diretamente do tamanho do pacote.

Vemos que na média ambos os métodos se aproximam bastante dos 200 ms necessários para transmissão de vídeos, porém não satisfazendo esse limite. Com estas figuras podemos dizer que não é possível transmitir com a mesma taxa da camada física nem com uma taxa muito superior ao permitido pela camada MAC e que o tamanho ideal de pacote é de 1500 bytes.

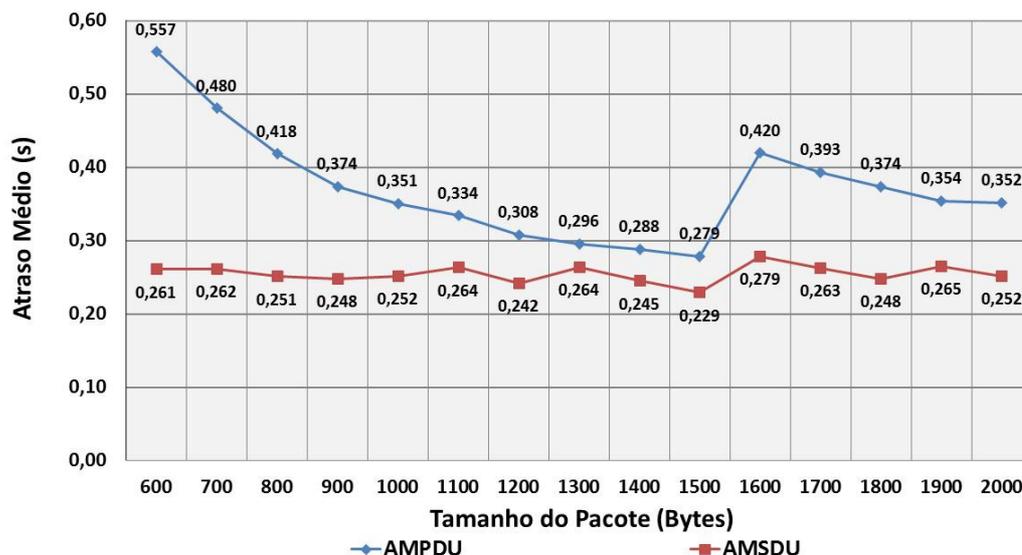


Figura 5.8 - Atraso máximo de cada método de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Para que pudéssemos comparar melhor o atraso de cada método de agregação ajustamos a taxa de transmissão dos pacotes para a vazão máxima obtida por cada método. Desta forma podemos comparar os métodos quando estes estão operando no máximo de sua vazão. Assim para o método A-MPDU a taxa de envio foi configurada para 121,5 Mb/s, para o método A-MSDU foi configurada em 92,6 Mb/s enquanto que sem método de agregação a taxa foi configurada para 40,2 Mb/s. Em todos os casos foi mantida a taxa de 135 Mb/s para a camada física. Para o pacote de 1500 bytes os resultados estão mostrados na Tabela 5.3.

	A-MPDU	A-MSDU	Sem Agregação
Atraso Máximo	7,5 ms	2,0 ms	1,7 ms
Atraso Médio	5,0 ms	1,2 ms	0,6 ms
Atraso Mínimo	0,4 ms	0,4 ms	0,2 ms

Tabela 5.3 - Atraso máximo, médio e mínimo de cada métodos de agregação considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s e taxa de transmissão 100% da vazão de cada método.

Na tabela podemos ver que ao configurarmos o servidor para transmitir no máximo da vazão de cada método, o atraso continua menor quando não se faz o uso de um método de agregação. E dentre os métodos de agregação o atraso é menor no método A-MSDU. Porém em todos os casos o atraso é muito menor que o teto de 200 ms, desta forma ambos os métodos de agregação atendem os requisitos de transmissão de vídeo. O número de retransmissões não altera o atraso.

Análise da fração de pacotes recebidos

A fração de pacotes recebidos com o canal ideal é de 100% para os métodos de agregação e é variável de acordo com o tamanho do pacote quando não se utiliza um dos métodos de agregação, a Figura 5.9 mostra essa variação. A perda de pacote que ocorre quando não se utiliza um dos métodos de agregação é ocasionada pelo excesso de pacotes no buffer devido à baixa vazão. Para o canal em condições ideais o número de retransmissões não altera os resultados.

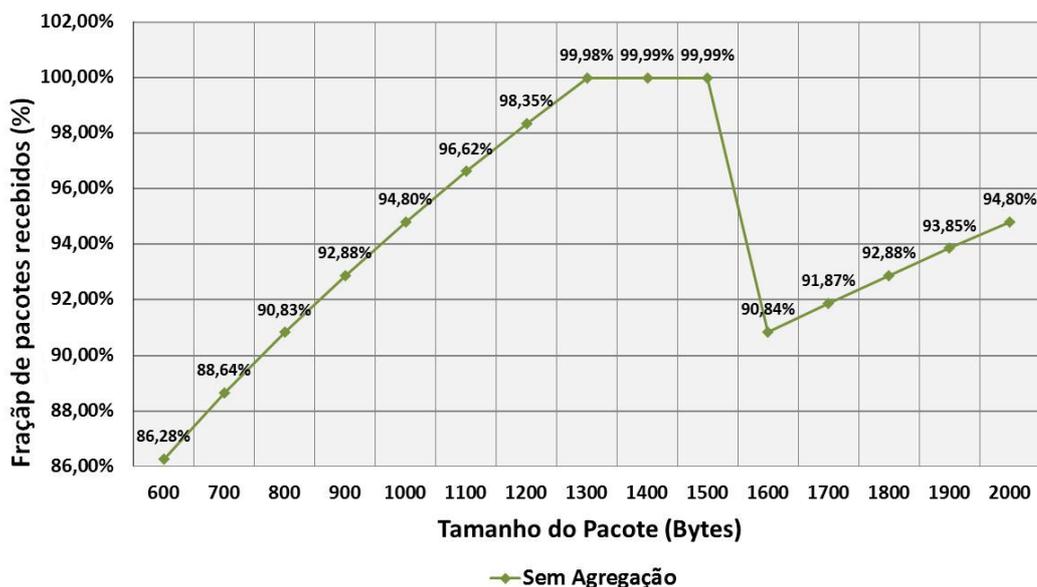


Figura 5.9 - Fração de pacotes recebidos obtidos sem a utilização de um dos métodos de agregação considerando PER=0 e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s

5.5. Análise dos resultados obtidos em ambiente com erro

Realizadas as simulações considerando a taxa de erro de pacotes igual a zero e conseqüentemente a taxa de erro de bits também igual à zero, as simulações foram repetidas, desta vez com diferentes taxas de erro de pacote, para que possamos comparar os métodos de agregação em um ambiente mais próximo da realidade.

Nestas simulações foram utilizadas a taxa de erro de pacotes (PER) para representar e medir o desempenho das transmissões quando ocorrem perdas nas transmissões devido a imperfeições do canal. A PER foi variada de 10^{-4} até 10^{-1} com saltos múltiplos de 10, que seria análogo a variar a BER de 6×10^{-8} até 7×10^{-5} se consideramos pacotes cujo o tamanho seja 1500 bytes. A relação entre a PER e a BER é dada pela equação:

$$PER = 1 - (1 - BER)^{\text{Tamanho do Pacote}} \quad (5-1)$$

De forma inversa temos que:

$$BER = 1 - 10^{\log(PER+1)/\text{Tamanho do pacote}} \quad (5-2)$$

Consideramos a taxa máxima da camada física como 135 Mb/s e o servidor foi configurado para enviar pacotes na taxa máxima da camada física, ou seja, 135 Mb/s para ambos os métodos de agregação (A-MPDU e A-MSDU) assim como para a transmissão sem o uso de método de agregação. Foi permitida a retransmissão dos pacotes até sete vezes se necessário.

Foram medidas: (i) a vazão alcançada por cada um dos métodos de agregação A-MPDU, A-MSDU e sem a utilização de um método de agregação para cada PER; e (ii) o atraso (máximo, médio e mínimo); e (iii) a fração de pacotes recebidos para cada PER que serão apresentados ao longo desta seção.

Análise da Vazão

A Figura 5.10 mostra os resultados obtidos para a vazão com as taxas de PER de 10^{-2} , 10^{-1} e 0 sendo que essa última foi replicada da Figura 5.3 no intuito de facilitar a visualização da redução da vazão devido os erros causados pelo canal. Para as taxas de PER de 10^{-4} e 10^{-3} a vazão obtida não estão representadas no gráfico, pois a variação nos resultados foi muito pequena, tornando assim, difícil a visualização.

Essa redução é para PER igual a 10^{-4} no pior caso da ordem de 0,07% menor que a vazão obtida quando PER é igual à zero, nesse caso a BER equivalente é de $1,6 \times 10^{-7}$. Para PER igual a 10^{-3} a redução é no pior caso de 0,21% se comparado com a vazão obtida quando PER igual a zero, nesse caso a BER equivalente é de $1,25 \times 10^{-6}$.

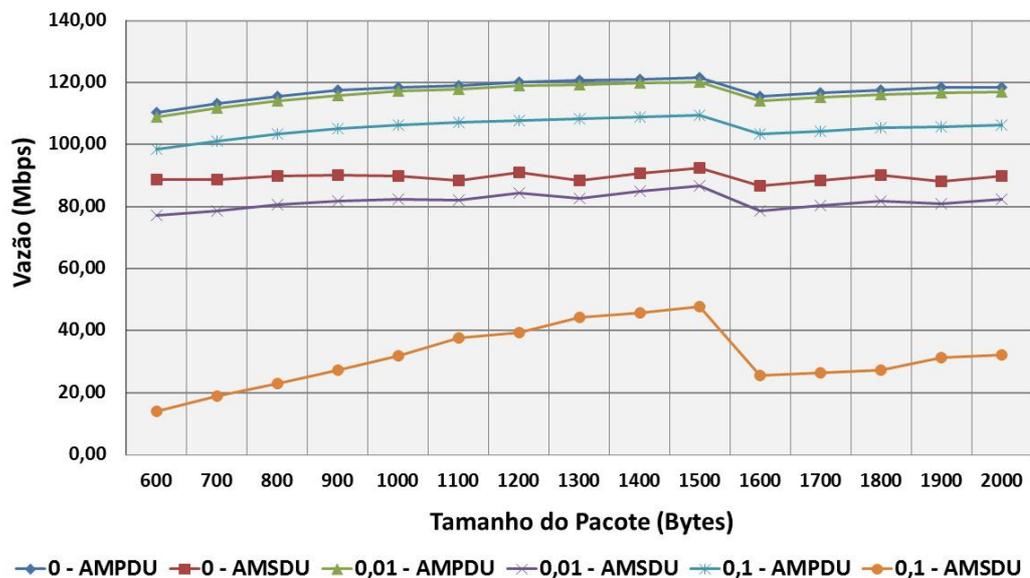


Figura 5.10 - Vazão dos métodos de agregação obtido de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Analisando os resultados obtidos e demonstrados pela Figura 5.10 é possível verificar que o método A-MSDU é o que possui maiores perdas na vazão quando a PER é igual a 10^{-1} . Isso deve-se ao fato de que este método possui somente um CRC para todos os pacotes concatenados. Por isso se um dos pacotes

concatenados é danificado todo o grupo de pacotes deve ser reenviado, causando assim significativa redução na vazão.

Já com o método A-MPDU, isto não ocorre, pois mesmo que um dos pacotes que faça parte do A-MPDU seja danificado e precise ser retransmitido, somente esse pacote é retransmitido. Isso é possível, pois cada pacote possui o seu próprio CRC, com isso a queda na vazão no método A-MPDU é menor que no método A-MSDU, mesmo quando a PER é igual a 10^{-1} conforme mostrado na figura.

A Figura 5.11 e a Figura 5.12 mostram o comparativo da vazão obtida com diferentes taxas de PER, cada uma para um método de agregação de forma separada no intuito de facilitar a visualização. Sendo assim a Figura 5.11 mostra a vazão somente para o método A-MPDU enquanto a Figura 5.12 ilustra a vazão para o método A-MSDU.

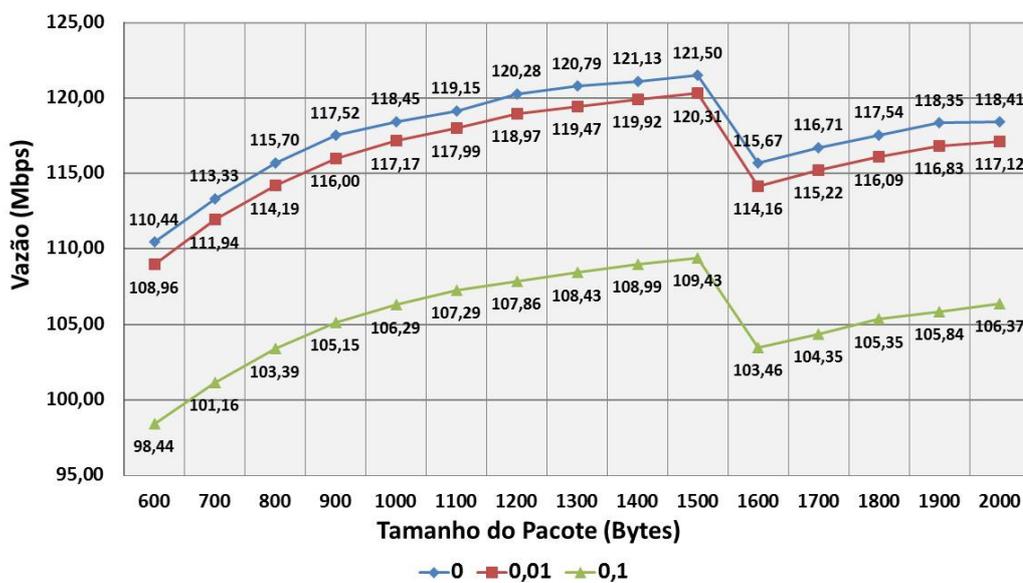


Figura 5.11 - Vazão do método de agregação A-MPDU obtida de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

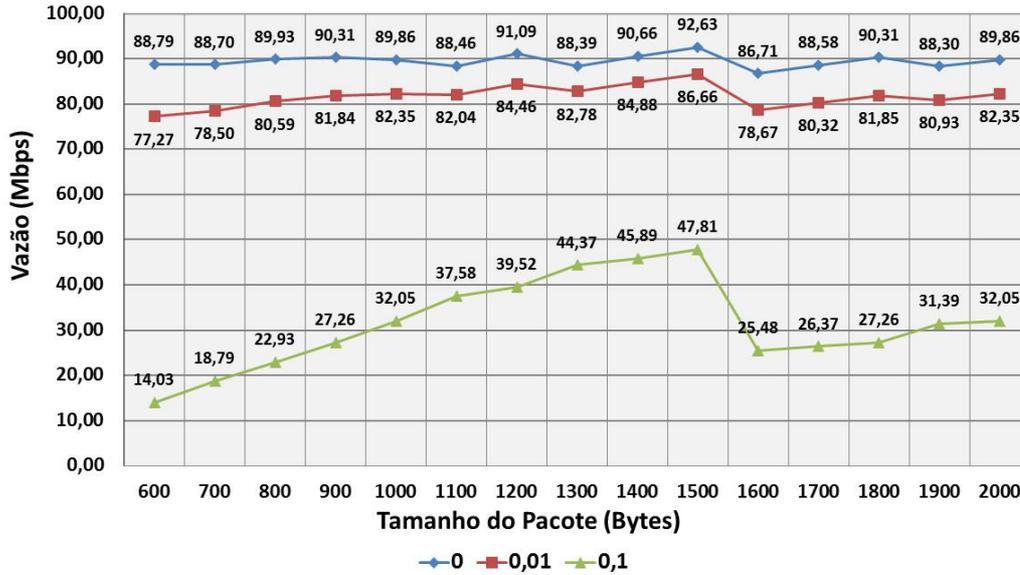


Figura 5.12 - Vazão do método de agregação A-MSDU obtida de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Independentemente da PER e do método de agregação a vazão obtida é sempre maior para pacotes cujo tamanho é de 1500 bytes.

Portanto, a Figura 5.13 mostra este valor para os pacotes com 1500 bytes de tamanho para cada o método de agregação de acordo com a PER. A vazão obtida quando não se utiliza um dos métodos de agregação permanece constante em 40,2Mb/s independente da PER e por isso, não é apresentada na figura.

A Figura 5.13 faz uso da equação 5-2 para obter a BER a partir da PER. Isso permite um comparativo da vazão para diferentes taxas de BER.

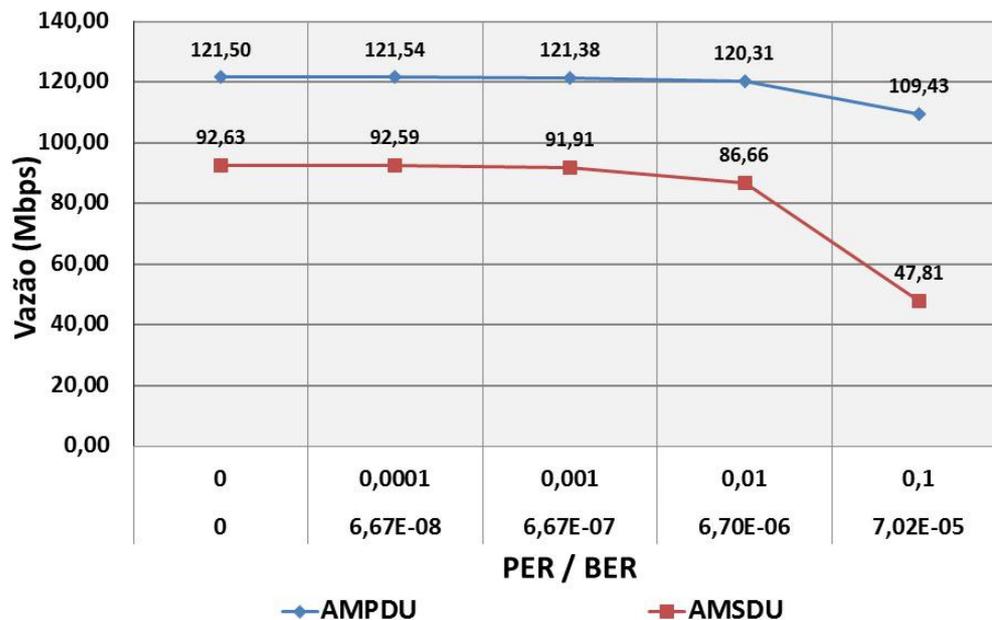


Figura 5.13 - Vazão dos métodos de agregação obtida de acordo com a taxa de PER fazendo relação com a BER e considerando tamanho do pacote 1500 bytes e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Note que quando maior for a PER, menor será a vazão obtida para ambos os métodos de agregação. Essa redução da vazão é devida a quantidade de pacotes que não são entregues ao receptor, necessitando assim serem retransmitidos e quanto maior é a PER maior é a quantidade de pacotes que necessitam ser retransmitidos.

Análise da influência da quantidade de retransmissões na vazão

Quando o canal não é perfeito, ou seja, a PER e a BER são diferentes de zero a quantidade de retransmissões dos pacotes pode influenciar na transmissão.

Para analisar a influência da quantidade de retransmissões nos métodos de agregação A-MPDU e A-MSDU, com relação à vazão a Figura 5.14 e a Figura 5.15 mostram o percentual de pacotes recebidos juntamente com a vazão obtida, ambos de acordo com o número máximo de retransmissões permitido. Para estes experimentos, considerou-se pacotes com tamanho de 1500 bytes.

Na Figura 5.14 temos a análise para o método de agregação A-MPDU. Nesta, podemos verificar que para PER menor ou igual a 10^{-2} , duas retransmissões são suficientes para efetuar a transmissão de todos os pacotes e

obter a máxima vazão. Abaixo de duas retransmissões a perda é de apenas 1% e a queda na vazão é mínima.

Já para PER igual 10^{-1} é necessário quatro retransmissores para entregar todos os pacotes. Neste caso até uma retransmissão a perda é de 10%, entanto com duas e três retransmissões é de 1% e 0,1% respectivamente. O valor da vazão é muito pouco afetado pelo número de retransmissões.

Já na Figura 5.15 temos a análise para o método de agregação A-MSDU. Neste, podemos verificar é que para PER menor que 10^{-2} , o resultado é semelhante ao método A-MPDU com a diferença de que são necessárias três retransmissões para efetuar a transmissão de todos os pacotes. A vazão sofre uma queda mínima com aumento das retransmissões. Abaixo de três retransmissões a perda de pacotes é 0,2% para duas retransmissões e de 5,6% para até uma retransmissão.

Para PER igual 10^{-1} são necessários oito retransmissores para entregar todos os pacotes. Neste caso até uma retransmissão a perda de pacotes chega a quase 40% e conforme aumenta o número de retransmissões a perda vai sendo reduzida. Neste caso a vazão sofre uma redução mais significativa.

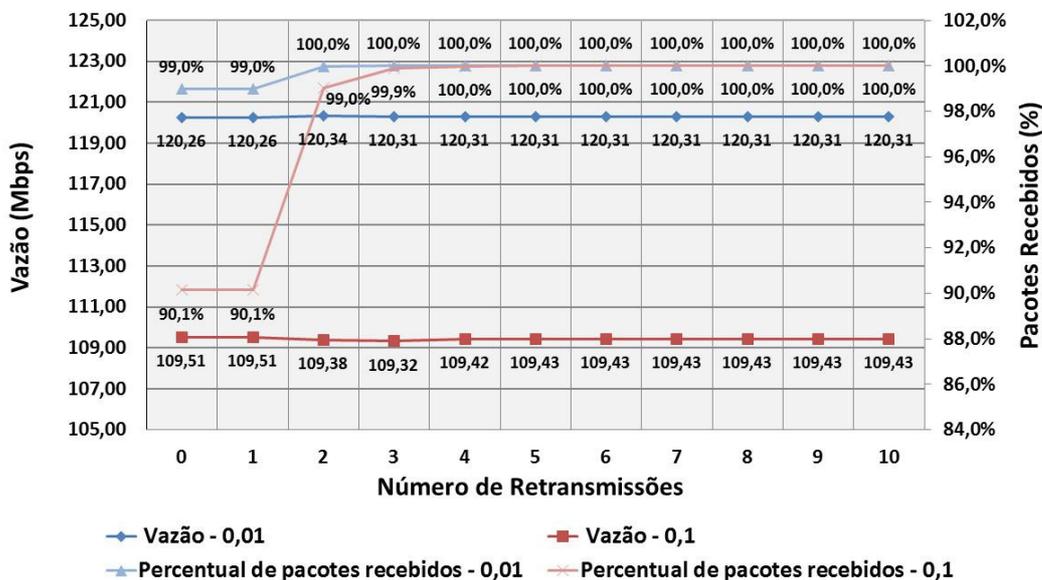


Figura 5.14 - Vazão do método A-MPDU em conjunto com o percentual dos pacotes recebidos ambos obtidos de acordo o número de retransmissões e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s

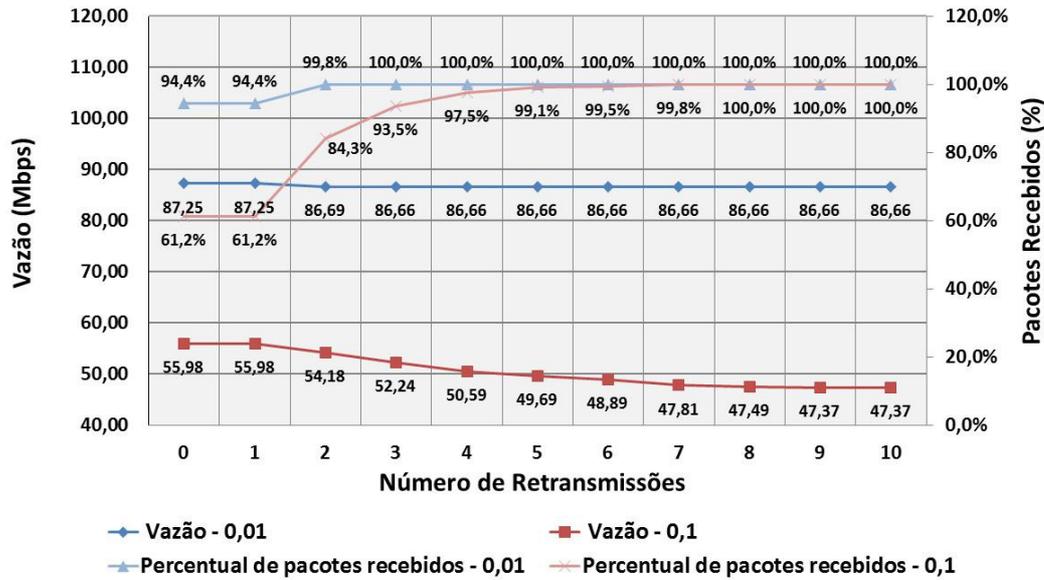


Figura 5.15 - Vazão do método A-MSDU em conjunto com o percentual dos pacotes recebidos ambos obtidos de acordo o número de retransmissões e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s

Com a análise demonstrada para a vazão obtida em transmissões com perda de canais, verificamos que a técnica de agregação A-MPDU é mais robusta e consequentemente sofre menos perdas, necessitando de um menor número de retransmissões se compararmos com a técnica A-MSDU.

Análise do Atraso

Da mesma forma que a PER foi variada para que pudéssemos avaliar a vazão, foi realizada a mesma análise para o atraso (máximo, médio e mínimo), inclusive com o servidor configurado da mesma maneira.

Sendo assim, a PER foi variada de 10^{-4} até 10^{-1} com saltos múltiplos de 10, o que é análogo a variar a BER de 6×10^{-8} até 7×10^{-5} se consideramos pacotes cujo tamanho seja 1500 bytes.

A Figura 5.16 mostra o atraso máximo tanto para os métodos de agregação A-MPDU e A-MSDU, quanto para quando não se utiliza um dos métodos de agregação.

Os valores obtidos para PER igual a 10^{-4} e 10^{-3} em todos os casos foi muito próximo e por vezes igual ao valor obtido para PER igual a zero. Sendo

assim somente os valores para PER igual a 10^{-2} e 10^{-1} são apresentados na figura.

Na Figura 5.16 é possível verificar que o atraso obtido quando não se utiliza um método de agregação e se transmite a 135 Mb/s é tão elevado, devido à baixa vazão, que mesmo quando há perdas o atraso máximo não se altera. Em relação aos métodos de agregação é possível verificar que em todos os casos o atraso é bem próximo, com exceção de PER igual 10^{-1} no método A-MSDU.

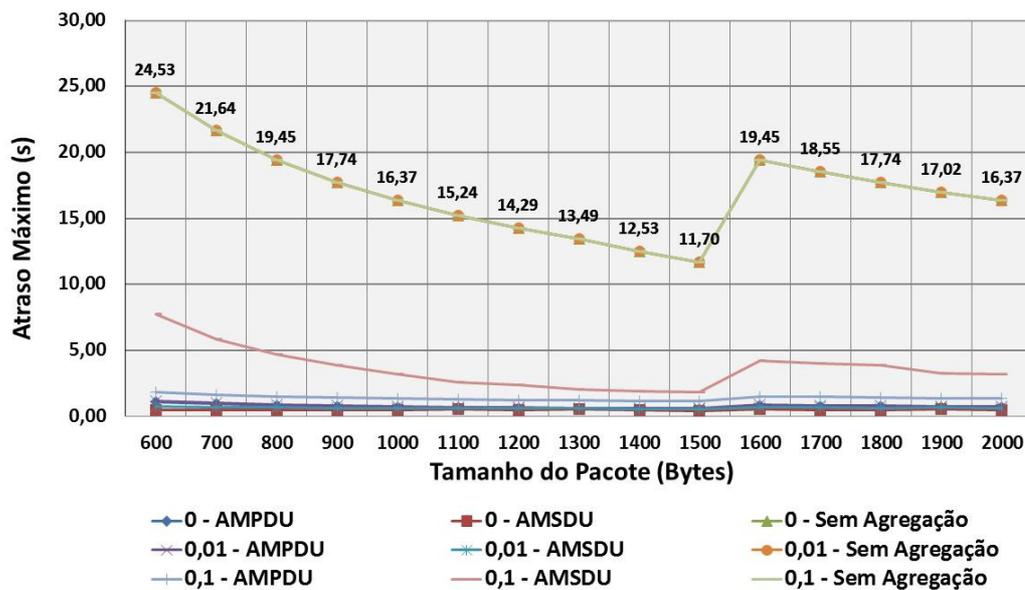


Figura 5.16 - Atraso máximo dos métodos de agregação obtido de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER sendo a taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Para que se possa analisar melhor o atraso máximo de cada método de agregação, a Figura 5.17 e a Figura 5.18 ilustram separadamente o comportamento desta métrica para os métodos A-MPDU e A-MSDU, respectivamente. Em ambas as situações pode-se ver que o atraso sofre um aumento principalmente para PER igual a 10^{-1} .

Os dados referentes ao cenário com PER igual a zero estão presentes nas figuras para efeito de comparação e visualização do aumento ocasionado pela perda de pacotes e os dados foram replicados da Figura 5.6.

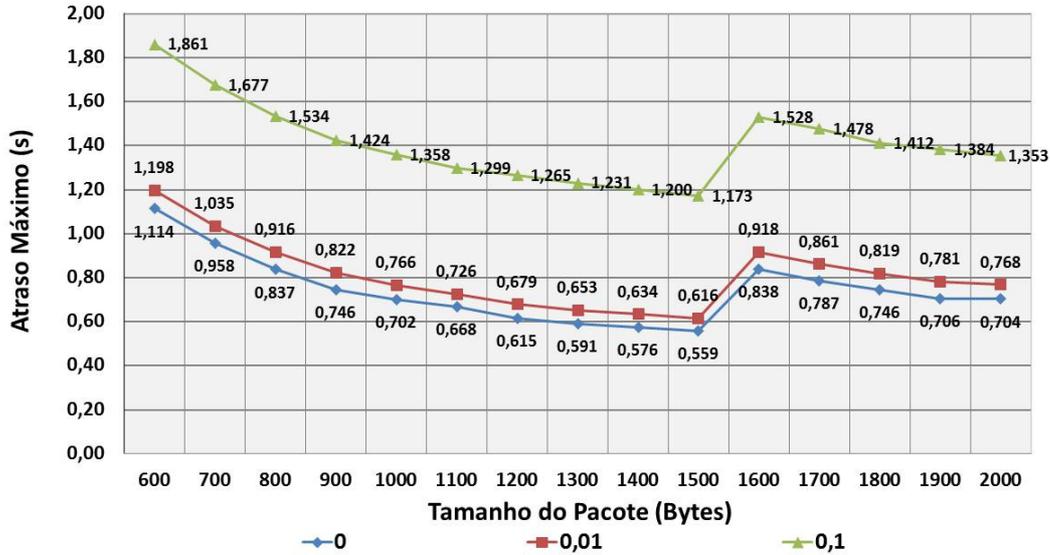


Figura 5.17 - Atraso máximo do método de agregação A-MPDU obtido de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

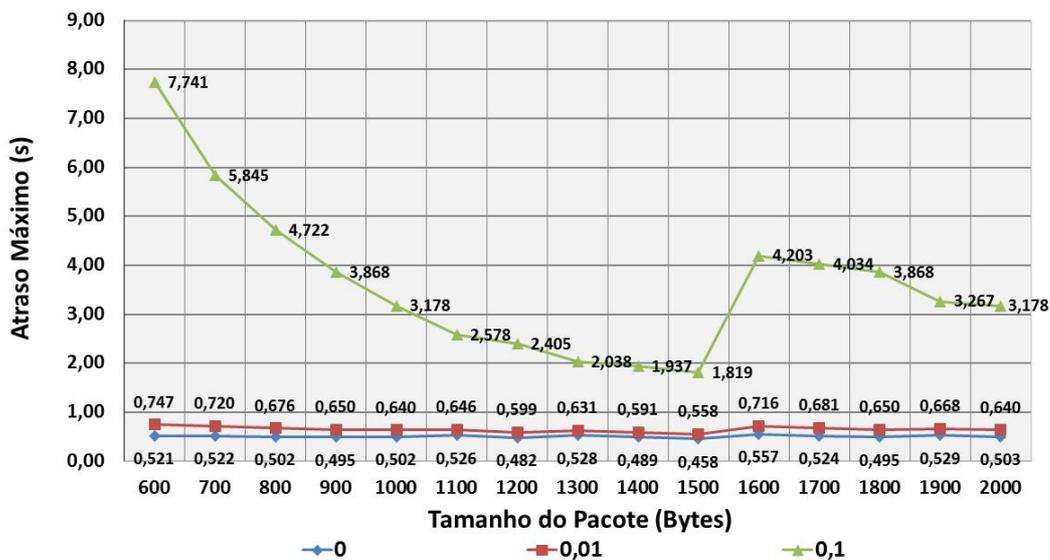


Figura 5.18 - Atraso máximo do método de agregação A-MSDU obtido de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Vemos nas Figura 5.17 e Figura 5.18 que para o método A-MPDU independente da PER e do tamanho do pacote o valor obtido para o atraso máximo é significativamente superior aos 200 ms necessários para transmissão de

vídeos. O mesmo ocorre, em menor grau, para o método A-MSDU onde em todos os casos obtemos um atraso máximo superior aos 200 ms.

O atraso médio tanto para os métodos de agregação A-MPDU e A-MSDU quanto para quando não é utilizado os métodos de agregação é mostrado pela Figura 5.19. É possível verificar que os resultados obtidos possuem o mesmo perfil que os obtidos para atraso máximo.

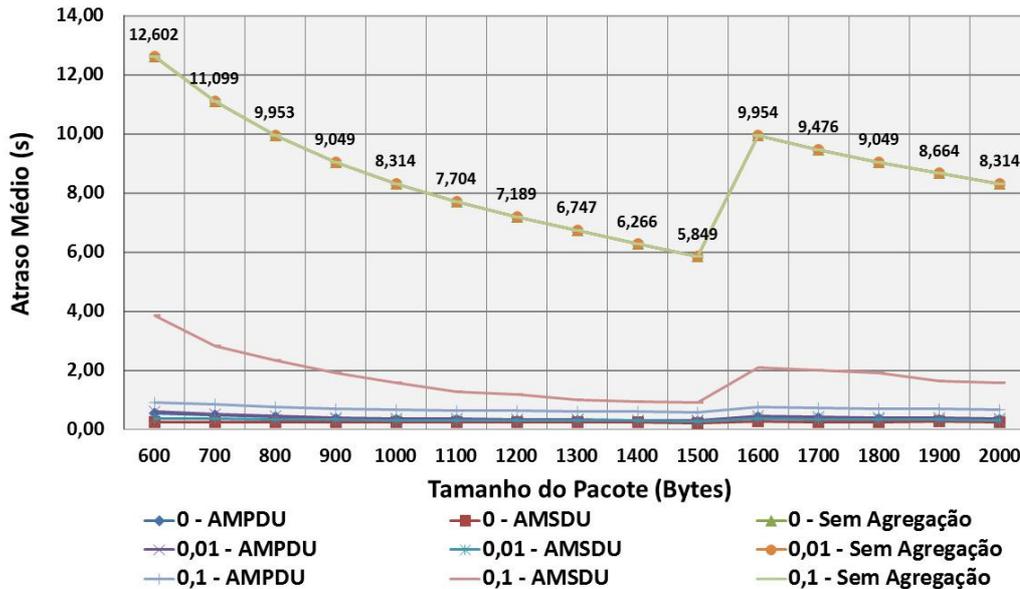


Figura 5.19 - Atraso médio dos métodos de agregação obtido de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Para facilitar a análise, a Figura 5.20 e a Figura 5.21 mostram de forma separada o atraso médio obtido para cada método. A Figura 5.20 mostra o atraso máximo obtido com o método A-MPDU enquanto a Figura 5.21 mostra o valor obtido com o método A-MSDU.

Com estas figuras é possível verificar que ambos os métodos de agregação possuem o atraso médio acima dos 200ms, quando o servidor envia os dados para serem transmitidos em uma taxa superior a vazão suportada pela camada MAC proporcionada por cada método de agregação, neste caso o servidor envia com a mesma taxa fornecida pela camada física.

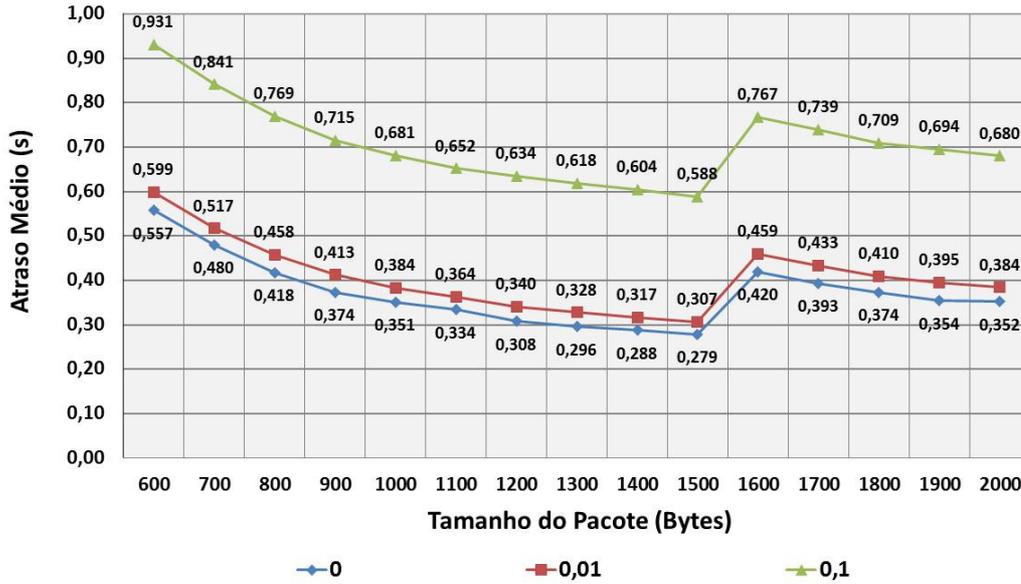


Figura 5.20 - Atraso médio do método de agregação A-MPDU obtido de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

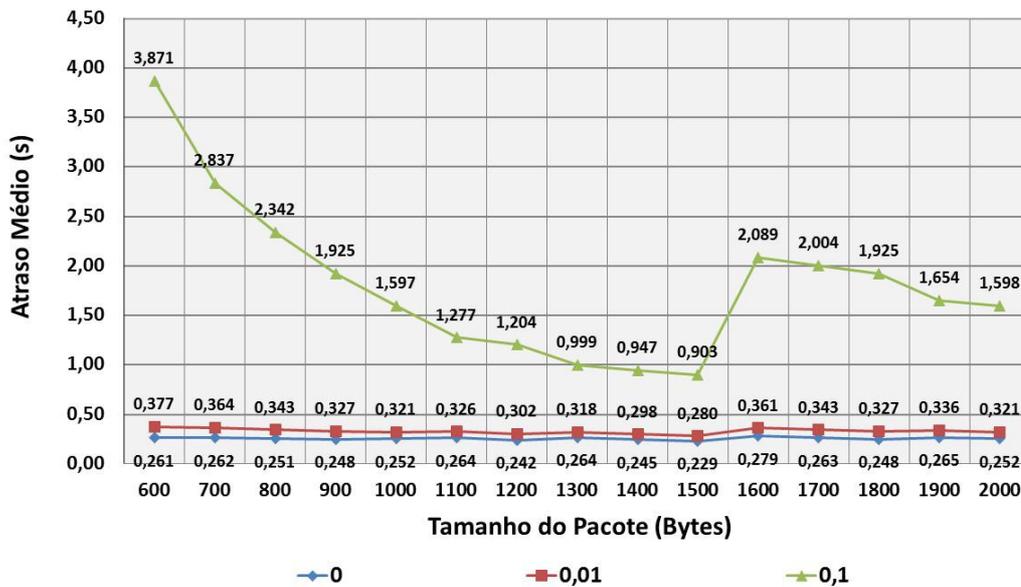


Figura 5.21 - Atraso médio do método de agregação A-MSDU obtido de acordo com o tamanho do pacote e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Da mesma forma que foi realizada para PER igual a zero, no intuito de se obter uma avaliação mais justa do atraso, a taxa de transmissão dos pacotes foi então ajustada para a vazão máxima obtida por cada método.

Com essa configuração estudamos os valores de atraso quando os sistemas estão operando no máximo de sua vazão. A máxima vazão considerada foi a obtida para PER igual a zero. Conforme mostrado na Seção 0.

Portanto, da mesma forma que foi realizado para PER igual a zero, para o método A-MPDU a taxa de envio foi configurada para 121,5 Mb/s, para o método A-MSDU foi configurada em 92,6 Mb/s enquanto que sem método de agregação a taxa foi configurada para 40,2 Mb/s. Em todos os casos foi mantida a taxa de 135 Mb/s para a camada física.

Para o pacote de tamanho 1500 bytes, os resultados estão mostrados para atraso máximo na Figura 5.22 e para atraso médio na Figura 5.23.

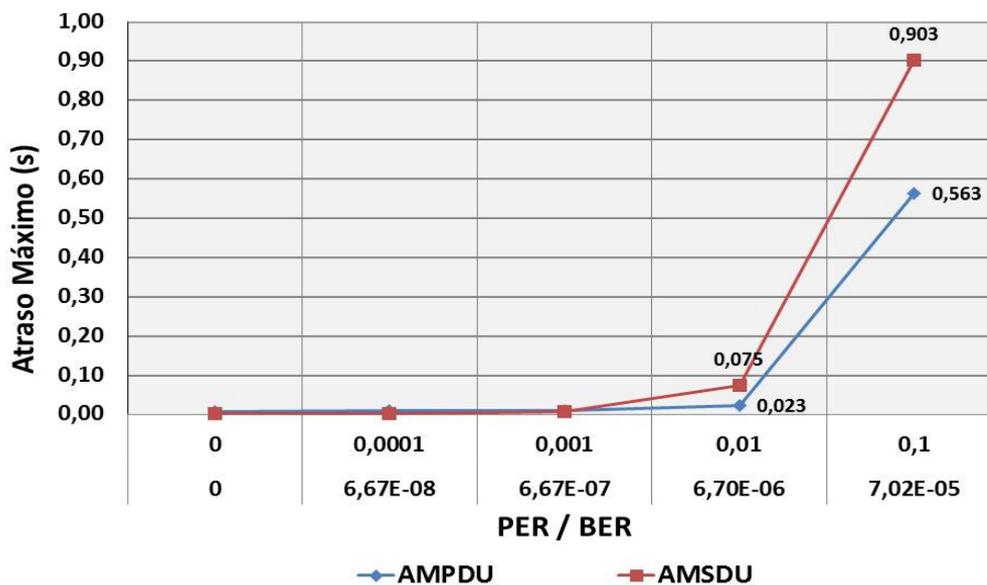


Figura 5.22 - Atraso máximo dos métodos de agregação obtido de acordo com a taxa de PER e considerando tamanho do pacote 1500 bytes e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

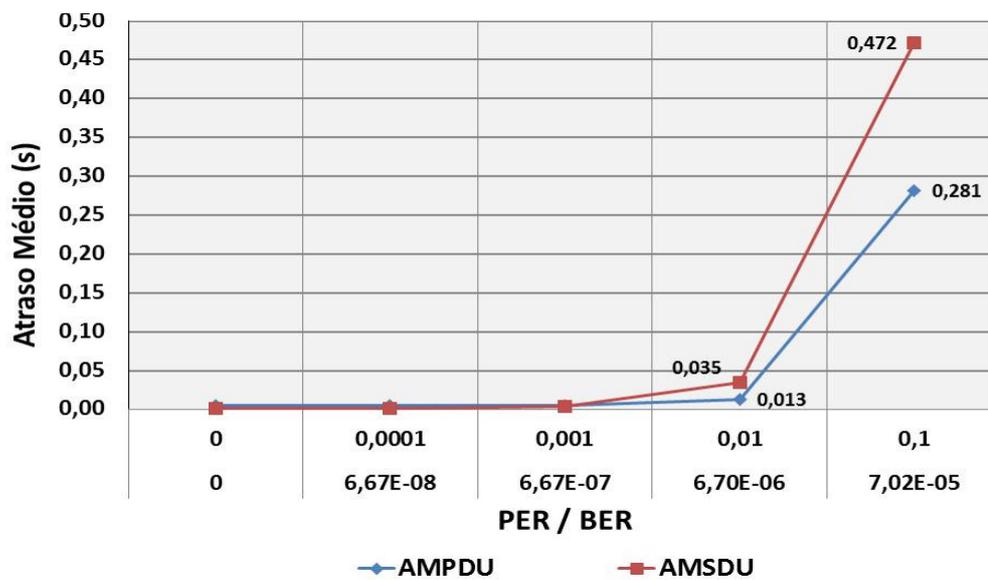


Figura 5.23 - Atraso médio dos métodos de agregação obtido de acordo com a taxa de PER e considerando tamanho do pacote 1500 bytes e taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Com as Figura 5.22 e Figura 5.23 é possível verificar que para PER até 10^{-2} ou BER igual a $6,7 \times 10^{-6}$ ambos os métodos atendem o que requisito de possuir o atraso menor que 200 ms, permitido assim a transmissão de vídeo. Já para PER igual 10^{-1} nenhum dos métodos atendem, sendo que para o método A-MPDU o atraso médio fica um pouco acima dos 200 ms enquanto para o método A-MSDU fica bastante acima. O resultado obtido mostra que o A-MPDU é mais robusto devido a cada subquadro possuir seu próprio CRC e que pelo fato do A-MSDU necessitar armazenar os pacotes para então formar o A-MSDU resultando em retardo maior.

Quando não se utiliza um método de agregação tanto o atraso máximo quanto o atraso médio não sofrem alterações com a variação da PER sendo estes 1,7 ms e 0,6 ms respectivamente. O fato da vazão obtida quando não se utiliza um método de agregação ser muito baixa contribui para que o atraso permaneça constante.

Quanto maior é a PER, maior é o atraso obtido para ambos os métodos de agregação isso se deve à vazão obtida ser menor quando maior for a PER. No caso do método A-MSDU, além de obter uma vazão menor que o método A-

MPDU, este necessita armazenar os pacotes antes de concatenar os mesmos para realizar a sua transmissão, resultando em um maior atraso com este método.

Análise da influência da quantidade de retransmissões no atraso.

Nesta seção, analisamos a influência da quantidade de retransmissões nos métodos de agregação com relação ao atraso.

As Figura 5.24 e Figura 5.25 mostram o percentual de pacotes recebidos juntamente com o atraso médio percebido, ambos de acordo com o número de retransmissões máximas permitidas, para os métodos A-MPDU e A-MSDU, respectivamente. Os valores apresentados são referentes ao pacote de tamanho 1500 bytes.

É possível verificar, através da Figura 5.24, que para o método A-MPDU três retransmissões são o suficiente para entregar todos os pacotes quando a PER é menor ou igual a 10^{-2} , neste caso independentemente do número de retransmissões o atraso permanece bem abaixo de 200 ms.

Porém, para PER igual a 10^{-1} são necessários pelo menos cinco retransmissões para que todos os pacotes sejam entregues. Entretanto a partir de duas retransmissões o atraso na média ultrapassa um pouco os 200 ms o que dificulta a transmissão de vídeo.

Para que o atraso médio fique menor que 200 ms para PER igual a 10^{-1} é necessário que seja feita, no máximo, uma retransmissão. Porém, cerca de 10% dos pacotes não serão entregues com essa escolha. Essa perda irá causar uma degradação no vídeo recebido.

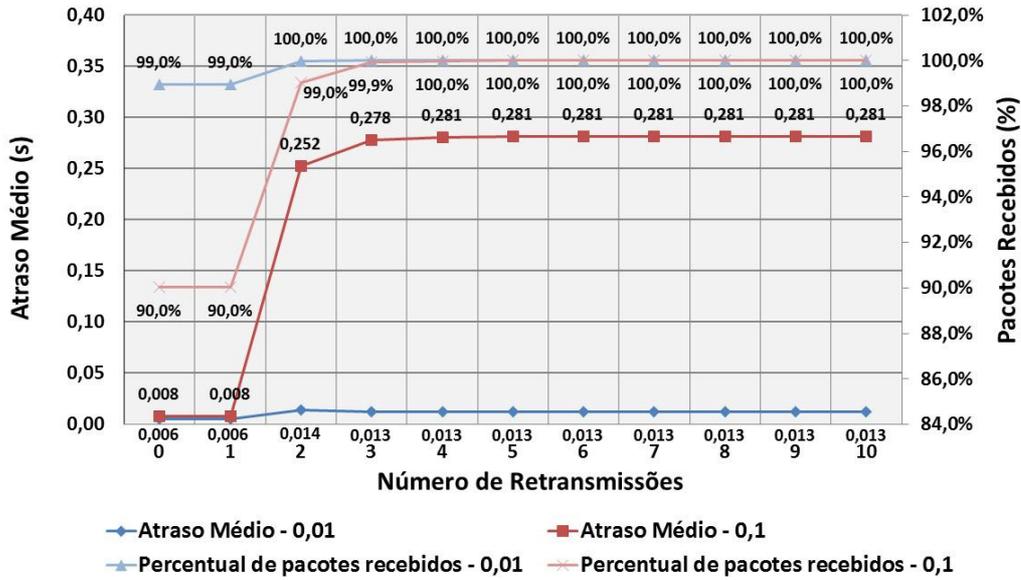


Figura 5.24 - Atraso médio do método de agregação A-MPDU em conjunto com o percentual dos pacotes recebidos ambos obtidos de acordo o número de retransmissões e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

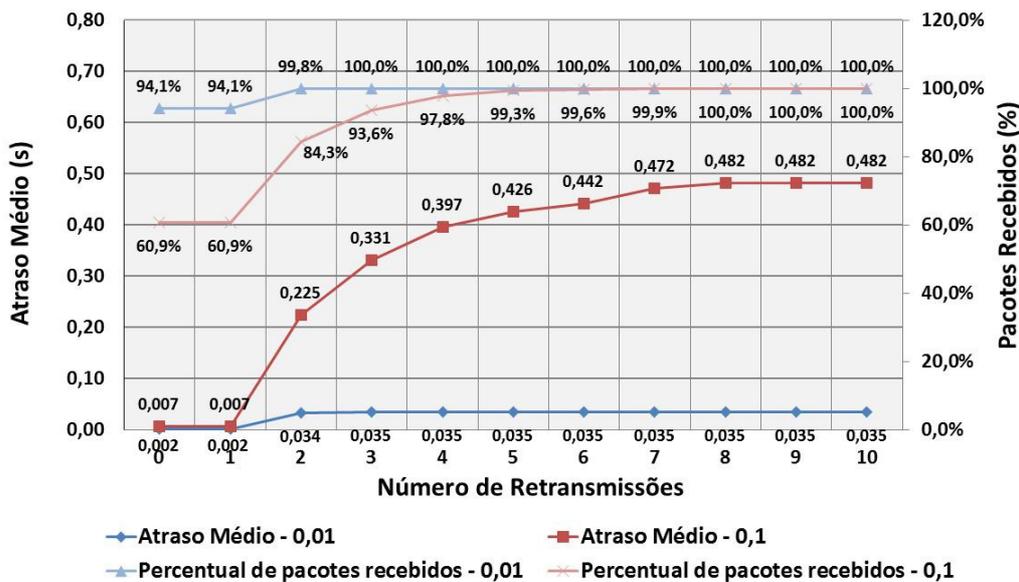


Figura 5.25 - Atraso médio do método de agregação A-MSDU em conjunto com o percentual dos pacotes recebidos ambos obtidos de acordo o número de retransmissões e para diferentes taxas de PER considerando taxa máxima da camada física = 135 Mb/s.

Para o método A-MSDU pode-se verificar, através da Figura 5.25, que assim como o método A-MPDU, três retransmissões são suficientes para entregar todos os pacotes quando a PER é menor ou igual a 10^{-2} . Da mesma forma neste caso independentemente do número de retransmissões, o atraso permanece bem abaixo de 200 ms.

Já para PER igual a 10^{-1} , são necessários pelo menos oito retransmissões para que todos os pacotes sejam entregues, entretanto a partir de duas retransmissões o atraso na média ultrapassa os 200 ms e a cada nova retransmissão vai se afastando ainda mais dos 200 ms, impossibilitando assim a transmissão de vídeo.

Para que o atraso na media seja inferior a 200ms, para PER igual a 10^{-1} , é necessário que no máximo seja feita uma retransmissão, porém diferentemente do método A-MPDU onde se perdia cerca de 10% dos pacotes no método A-MSDU cerca de 39% dos pacotes não serão entregues. Tornando assim inviável a transmissão de qualquer informação.

A Tabela 5.4 resume a quantidade mínima de retransmissões necessária para se transmitir todos os pacotes para o método de agregação A-MPDU sob o ponto de vista de vazão e do atraso médio. Sendo assim é possível se concluir que para transmitir pacotes de 1500 bytes utilizando o método A-MPDU quando PER é menor ou igual a 10^{-2} (1%) são necessárias no mínimo três retransmissões e neste caso a vazão obtida é de 120,3 Mb/s com um atraso médio de 13 ms.

A-MPDU		10^{-2}	10^{-1}
Vazão	<i>Nº de retransmissões p/ transmitir 100% dos Pacotes</i>	2	4
Atraso Médio	<i>Nº de retransmissões p/ transmitir 100% dos Pacotes</i>	3	5

Tabela 5.4 - Quantidade de retransmissões mínima necessárias para se transmitir todos os pacotes para o método de agregação A-MPDU sob o ponto de vista de vazão e do atraso médio.

Para o método A-MSDU quantidade mínima de retransmissões necessária para se transmitir todos os pacotes para o método de agregação A-MPDU sob o ponto de vista de vazão e do atraso médio é mostrado pela Tabela 5.5.

Com esta tabela podemos concluir que para transmitir pacote de 1500 bytes utilizando o método A-MPDU quando PER é menor ou igual a 10^{-2} são necessárias três retransmissões e neste caso a vazão obtido é de 86,6 Mb/s com um atraso médio de 35 ms.

A-MSDU		10^{-2}	10^{-1}
Vazão	<i>Nº de retransmissões p/ transmitir 100% dos Pacotes</i>	3	8
Atraso Médio	<i>Nº de retransmissões p/ transmitir 100% dos Pacotes</i>	3	8

Tabela 5.5 - Quantidade de retransmissões mínima necessárias para se transmitir todos os pacotes para o método de agregação A-MSDU sob o ponto de vista de Vazão e do atraso médio.

Com ambos os métodos de agregação quando a PER é igual a 10^{-1} (10%) o valor do retardo médio ultrapassa 200 ms, com isso a transmissão de vídeo fica comprometida.

5.6. Resumo dos resultados

Para concluir a análise comparativa dos métodos de agregação, a Tabela 5.6 mostra os valores obtidos para a vazão e do atraso médio para ambos os métodos, considerando PER menor ou igual a 10^{-2} , pacotes com 1500 bytes. Considera-se, também que todos os pacotes são entregues.

Os valores apresentados pela Tabela 5.6 são válidos tanto para três retransmissões, que é o mínimo necessário para que todos os pacotes sejam entregues. Porém, estes valores também são válidos para quatro retransmissões.

Para adicionar uma margem de segurança é indicado que se utilize um limite de quatro retransmissões.

	A-MPDU	A-MSDU
Vazão	120,3 Mb/s	86,6 Mb/s
Atraso Médio	13 ms	35 ms

Tabela 5.6 - Comparativo da vazão e do atraso médio dos entre os métodos de agregação, para pacotes de 1500 bytes e PER menor ou igual a 10^{-2} .