

MO655 - Simulação de Rede Wifi

Luís Felipe Mattos - RA: 107822

28 de Novembro de 2016

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Ferramentas	3
3	Cenários	6
4	Resultados e Análise	8
4.1	Rede Estática	8
4.2	Rede Dinâmica	10
4.3	Cliente mais próximo	11
4.4	Cliente mais distante	13
5	Conclusão	16
6	Referências	17
7	Apêndices	18
7.1	Rede Estática	18
7.1.1	UDP	18
7.1.2	TCP	19
7.2	Rede Dinâmica	20
7.2.1	UDP	20
7.2.2	TCP	21
7.3	Cliente mais próximo	22
7.3.1	UDP	22
7.3.2	TCP	23
7.4	Cliente mais distante	24
7.4.1	UDP	24
7.4.2	TCP	25

1

Introdução

A simulação de redes é uma ferramenta muito útil para prever o comportamento de redes sem que haja necessidade de montar toda a estrutura necessária para os testes. Além disso, pode prover informações para o dimensionamento, como por exemplo os protocolos a serem usados, o tamanho dos pacotes, a taxa de transmissão necessária nos links, entre outras.

Neste relatório, iremos montar uma rede simples, com um AP Wifi conectados em um roteador e este conectado em um servidor que representa os serviços de internet que devem ser acessados pelos clientes. Foram feitas análises em cima desta rede utilizando o protocolo UDP e com dois tipos de tráfegos diferentes, em rajadas e com taxa de bits constante (CBR). Foram utilizados dois protocolos diferentes de comunicação, o TCP e o UDP, para se comparar o comportamento da rede com relação ao congestionamento. Além disso, foi variado o número de clientes na rede, a fim de encontrar o ponto em que começa a ocorrer o congestionamento da rede e com isso, o ponto onde existe o aumento do atraso e da perda de pacotes e a diminuição da vazão máxima que a rede suporta.

Esta análise pode ser usada para dimensionar o tipo de tráfego de uma rede, o tamanho dos pacotes, além da quantidade de dados que pode ser gerada pelos clientes e pelo servidor, sem que haja o congestionamento.

O objetivo desta análise é demonstrar que a simulação pode ser bastante útil para fazer este dimensionamento sem que haja necessidade da construção de um protótipo físico.

2

Ferramentas

Para este projeto foi utilizado o simulador de redes NS-3. Este simulador utiliza uma biblioteca (em C++ ou em Python) que é utilizada para especificar a topologia de redes e o comportamento desejado de clientes e servidores.

Para esta implementação, foram utilizados alguns módulos do NS-3:

- ApWifiMac: Cria o endereço MAC para os AP's e faz a comunicação do sinal da rede sem fio (camada física) com a camada de rede
- StaWifiMac: Cria o endereço MAC para os clientes e faz a comunicação do sinal da rede sem fio (camada física) com a camada de rede
- CsmaDevice - Responsável por fazer a comunicação na parte cabeada da rede, ou seja, entre os AP's, o switch e o servidor
- Mobility: Responsável por alocar as posições e a mobilidade dos nós da rede
- BridgeNetDevice: Responsável por fazer a comunicação da parte sem fio com a parte cabeada nos AP's
- OLSR: Responsável pelo roteamento de pacotes pela rede Wifi. Mantém uma tabela de redirecionamento de pacotes que é atualizada dinamicamente
- Stack: Responsável por criar as pilhas e buffers utilizadas pelos protocolos da camada de transporte e da camada de rede
- Ipv4Address: Responsável por atribuir os IP's para os nós da rede
- OnOffApplication: Define o comportamento dos clientes, como por exemplo, o tamanho dos pacotes e o intervalo de envio

Para verificar a corretude da topologia e do comportamento, foi utilizado o plugin nativo do NS-3 chamado Visualizer. Ele é bem simples de utilizar, bastando somente a utilização do seguinte comando:

```
cmd.Parse (argc, argv);
```

E também é necessário incluir a flag `--vis` na linha de execução do programa. Desta forma, obtemos uma janela que mostra graficamente a topologia da rede e se pressionado o botão `F3`, a simulação é iniciada e todos os fluxos são mostrados, bem como as suas respectivas vazões. Um exemplo para 10 clientes pode ser visto na figura 2.1 e na figura 2.2:

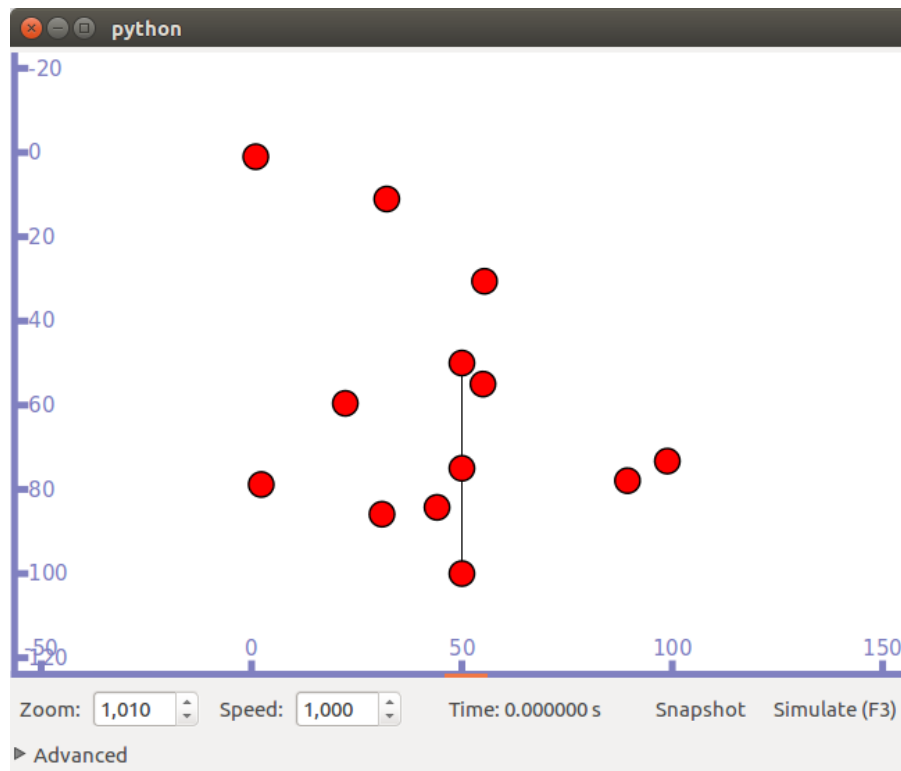


Figura 2.1: Topologia da rede no Visualizer

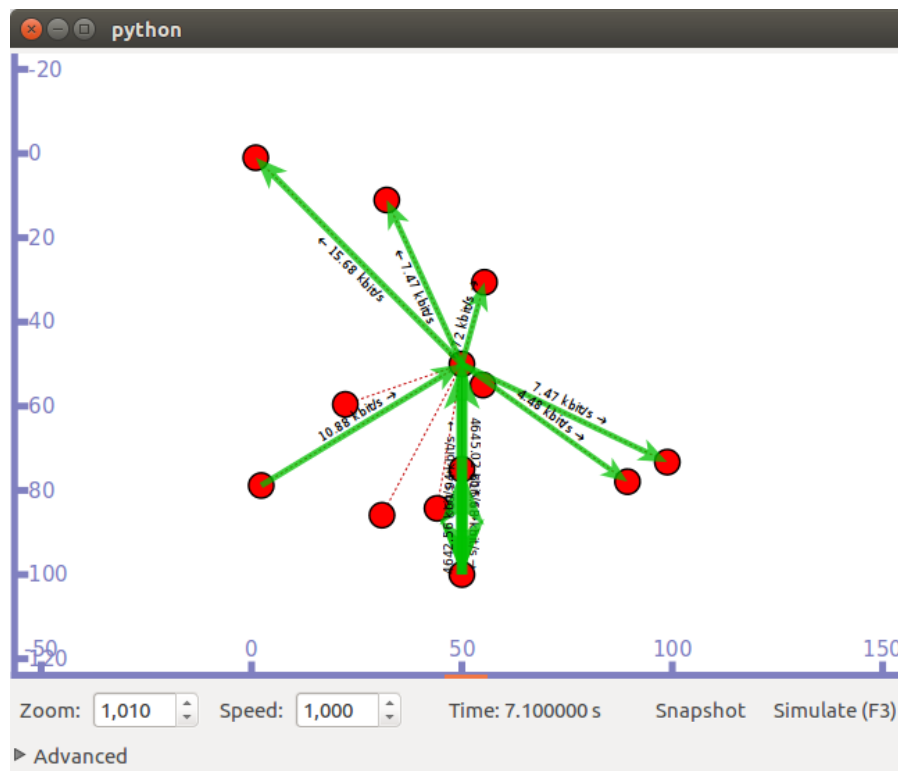


Figura 2.2: Fluxos da rede no Visualizer

Foram utilizados também scripts escritos em Python, que utilizam o pacote Parse. Estes scripts fazem o parsing dos resultados obtidos, calculam as médias da vazão, atraso e perda para uma única execução, a fim de calcular os valores médios para a rede como um todo.

Este procedimento é feito para cada execução separadamente e então para todas as execuções é calculada a média dos valores, bem como o intervalo de confiança de 95%, como foi pedido na especificação do projeto.

3

Cenários

O cenário utilizado para as execuções é bem simples, mas foi eficiente o bastante para se conseguir obter resultados expressivos. Foi feito um quadrado de 100m de lado, onde o AP fica localizado no centro, ou seja, (50, 50). Os cliente foram gerados em posições aleatórias dentro deste quadrado e podem ou não ser mover aleatoriamente dentro do quadrado. Como pode ser visto na figura 3.1:

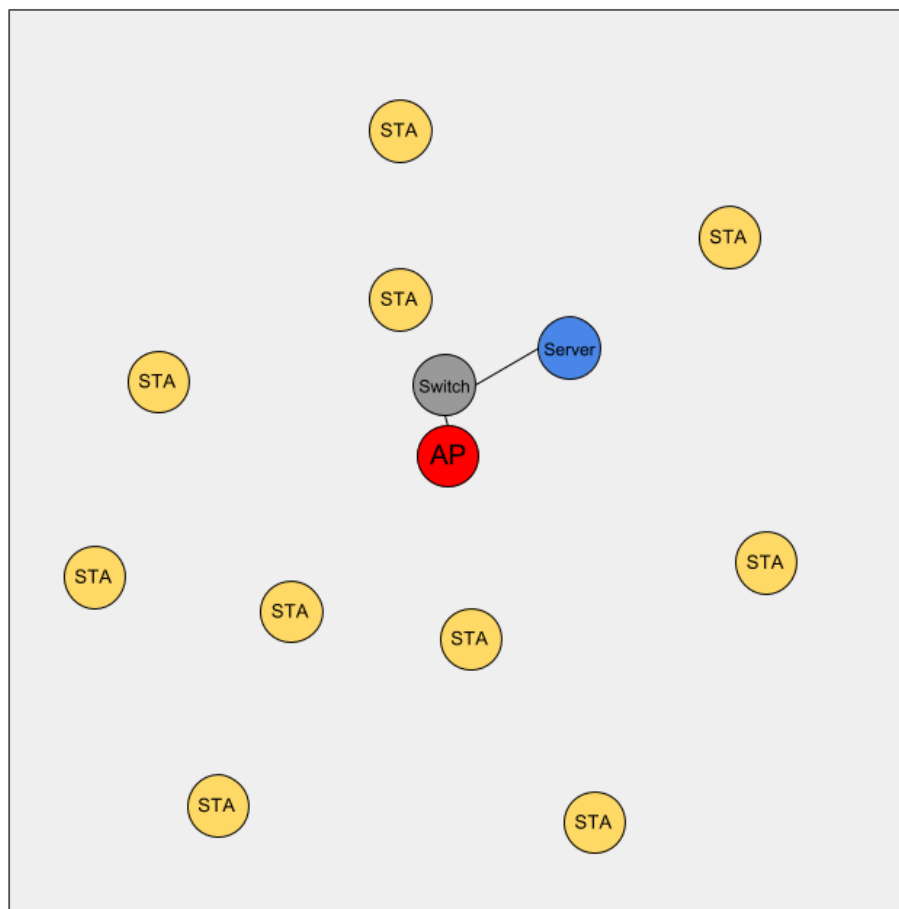


Figura 3.1: Topologia da rede

Foram realizadas dois tipos de simulações, com os clientes parados e com os clientes se movimentando aleatoriamente. Isso foi feito para observar as variações e interferências que a movimentação pode trazer para as conexões, principalmente com o aumento da perda de pacotes e o aumento da latência. Também foram monitorados 2 clientes específicos, o cliente mais próximo do AP e o mais distante do AP, para verificar a interferência da intensidade do sinal na qualidade de serviço.

Além disso, os testes foram realizados se alterando diferentes parâmetros a cada execução. Alguns desses parâmetros incluem a semente que gera aleatoriamente as posições e o movimento dos clientes, o número de clientes e o tipo de fluxo que será gerado por cada cliente.

Para o número de clientes, foram utilizados valores entre 5 e 40, variando de 5 em 5, ou seja, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 clientes. Além disso, para o tipo do fluxo, duas opções foram utilizadas, o fluxo em rajada e o fluxo com taxa de bits constante.

Para o fluxo em rajada, foi escolhido que os clientes deveriam enviar dados durante 0.1s e em seguida entrariam em pausa por 1s, sendo assim, o fluxo seria enviado por um período curto e ficaria em pausa por um período maior, 10 vezes mais longo do que o pico de envio. Além disso, foi determinado que o pacote teria o tamanho de 1500 bytes.

Para o fluxo em CBR, o fluxo tem uma taxa constante (500kbps, por padrão do NS-3) e um pacote de tamanho 512 bytes. Além disso, foram executadas as simulações utilizando tanto o TCP como o UDP, para comparação.

Para a execução, tivemos que para cada conjunto de parâmetros, foram executados 5 iterações para cada número de clientes na rede, dando um total de 40 execuções para cada combinação de parâmetros.

4

Resultados e Análise

4.1 Rede Estática

O primeiro experimento realizado gera a topologia aleatoriamente em relação às posições dos clientes, porém, estes clientes se mantêm parados durante toda a simulação. Este cenário é o melhor caso, ou seja, não há variação da intensidade do sinal da rede sem fio para um dado cliente. Isso faz com que haja uma estabilidade da rede e somente as posições dos clientes pode afetar as métricas calculadas (vazão, atraso e perda de pacotes).

Os valores foram obtidos da média aritmética de 5 execuções da simulação com diferentes sementes. Além disso, foi feita a média das métricas de todos os clientes, a fim de se obter uma informação estatisticamente relevante. As tabelas com os dados podem ser vistas na seção 7.1 do Apêndice.

Com os valores obtidos, foram plotados os gráficos relativos a cada métrica, comparando o tráfego em rajada com o tráfego CBR, além de comparar o TCP e o UDP:

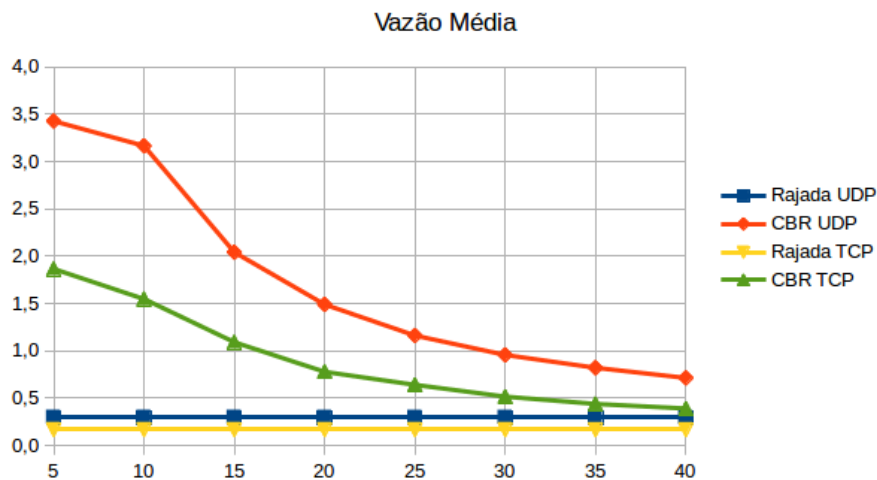


Figura 4.1: Vazão média da rede

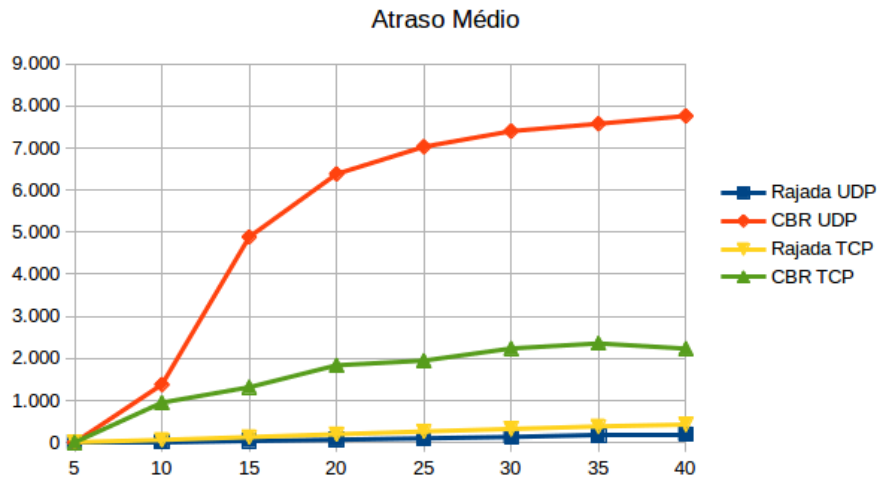


Figura 4.2: Atraso médio da rede

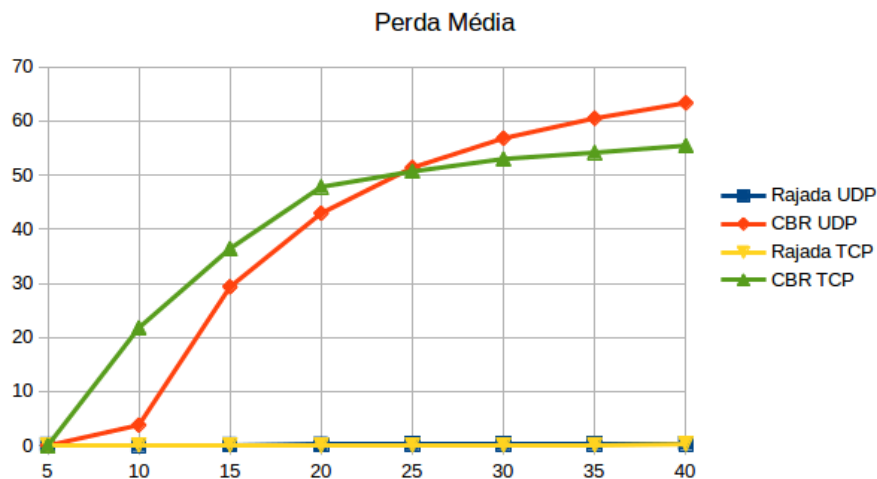


Figura 4.3: Perda média da rede

Como pode ser visto nos gráficos, os resultados são semelhantes aos esperados quando há o aumento da quantidade de clientes.

Para o tráfego em rajada, como há poucos pacotes trafegando pela rede, esta está subutilizada e não sofre com congestionamentos. Por causa disso, a vazão se mantém constante enquanto o atraso e a perda aumentam levemente. Este comportamento ocorre tanto para o UDP como para o TCP, o que é esperado, já que não ocorre congestionamento na rede.

Para o tráfego CBR, o cenário é completamente diferente, a rede é inundada por pacotes com o aumento do número de clientes, o que faz com que a vazão diminua exponencialmente enquanto o atraso e a perda aumentem expressivamente. Neste caso, o UDP se comporta de forma mais radical, sofrendo a maior queda da vazão e o menor aumento do atraso. O TCP se mantém levemente mais estável do que o UDP neste cenário.

4.2 Rede Dinâmica

Neste experimento, os clientes estão se movimentando, o que faz com que o sinal da rede sem fio seja menos estável, porém as métricas possuem um comportamento muito semelhante ao caso anterior. As tabelas com os dados podem ser vistas na seção 7.2 do Apêndice.

Com os valores obtidos, foram plotados os gráficos relativos a cada métrica, comparando o tráfego em rajada com o tráfego CBR, além de comparar o TCP e o UDP:

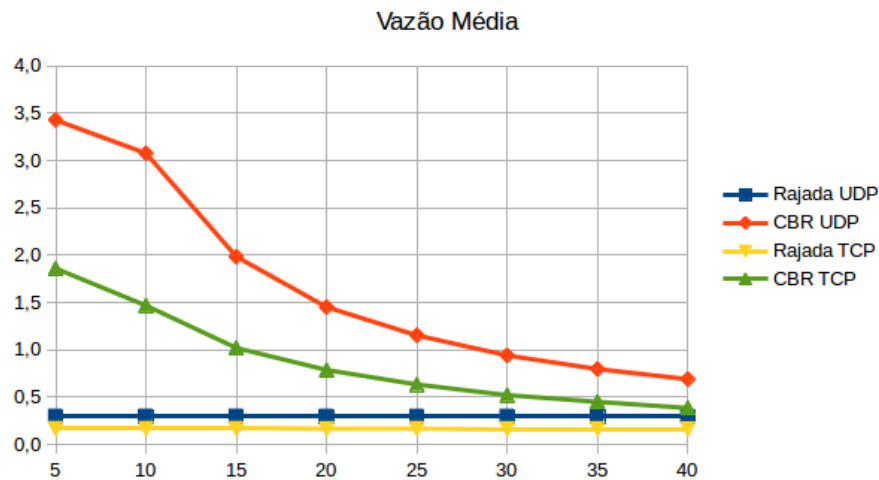


Figura 4.4: Vazão média da rede

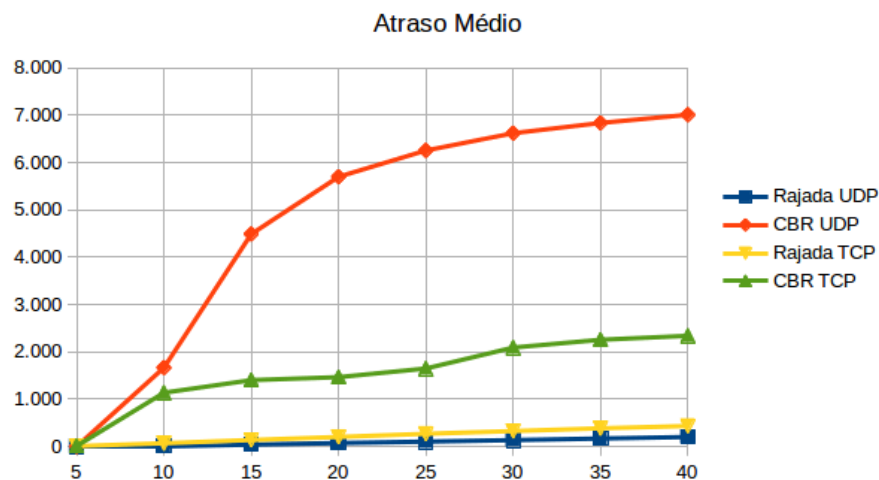


Figura 4.5: Atraso médio da rede

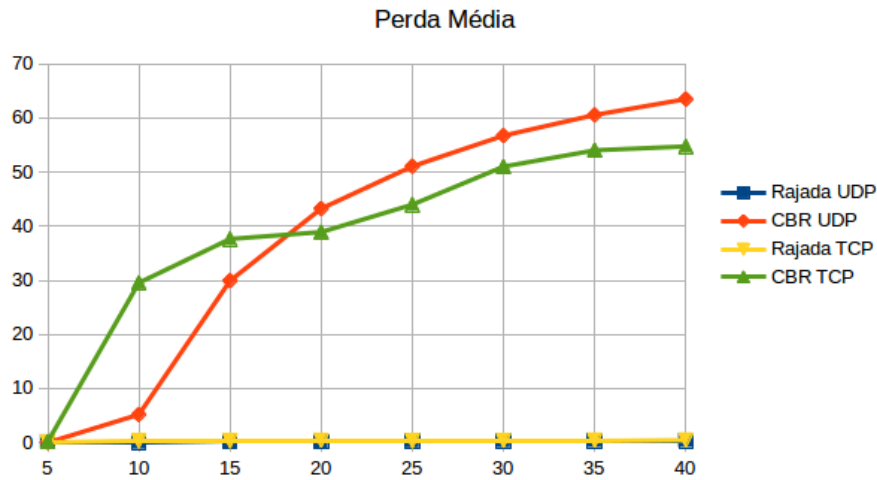


Figura 4.6: Perda média da rede

Para este caso, a vazão e o atraso possuem valores muito semelhantes ao caso onde os clientes não se movem. Por causa da variação da intensidade do sinal da rede sem fio, a perda de pacotes aumenta mais rapidamente com o aumento do número de nós. Apesar disso, todas as métricas se estabilizaram em valores próximos quando o número de nós ultrapassa 30.

4.3 Cliente mais próximo

Neste caso, por causa da posição do cliente, não há variação da intensidade do sinal e além disso, o sinal está com intensidade máxima. Por causa disso, as métricas devem ser muito mais estáveis do que nos casos anteriores e devem estabelecer um "limite superior", ou seja, são as melhores métricas possíveis para a rede. As tabelas com os dados podem ser vistas na seção 7.3 do Apêndice.

Com os valores obtidos, foram plotados os gráficos relativos a cada métrica, comparando o tráfego em rajada com o tráfego CBR, além de comparar o TCP e o UDP:

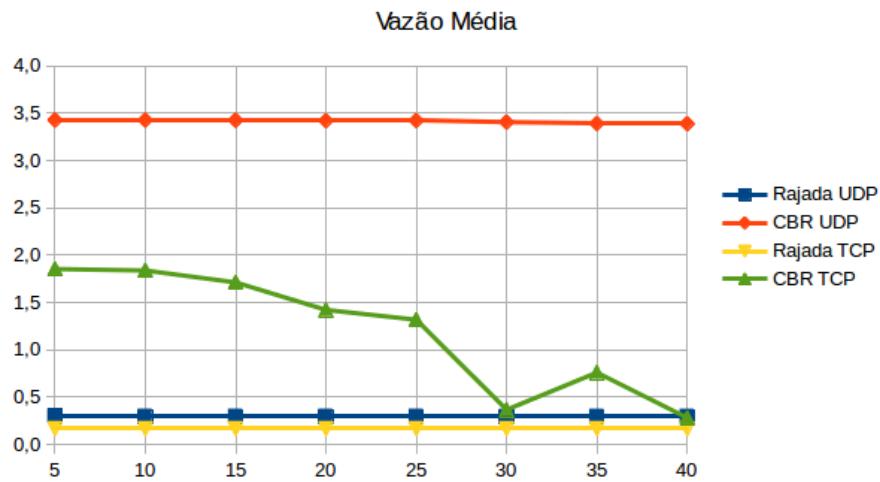


Figura 4.7: Vazão média da rede

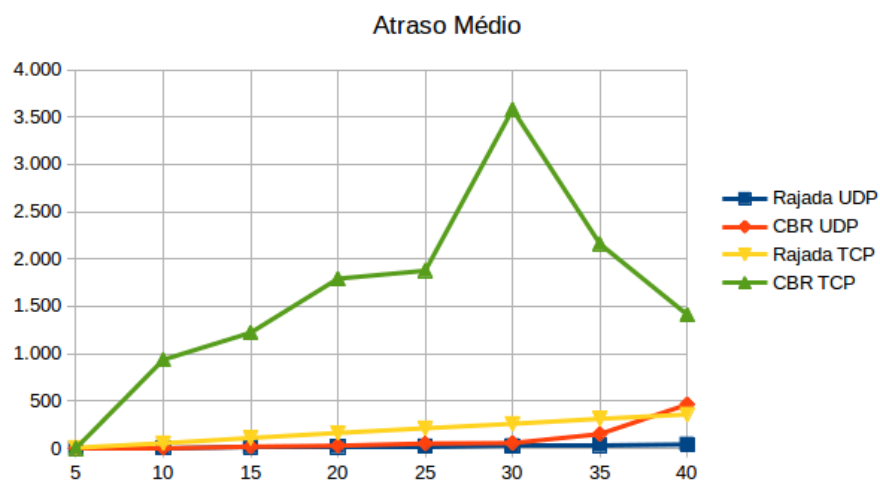


Figura 4.8: Atraso médio da rede

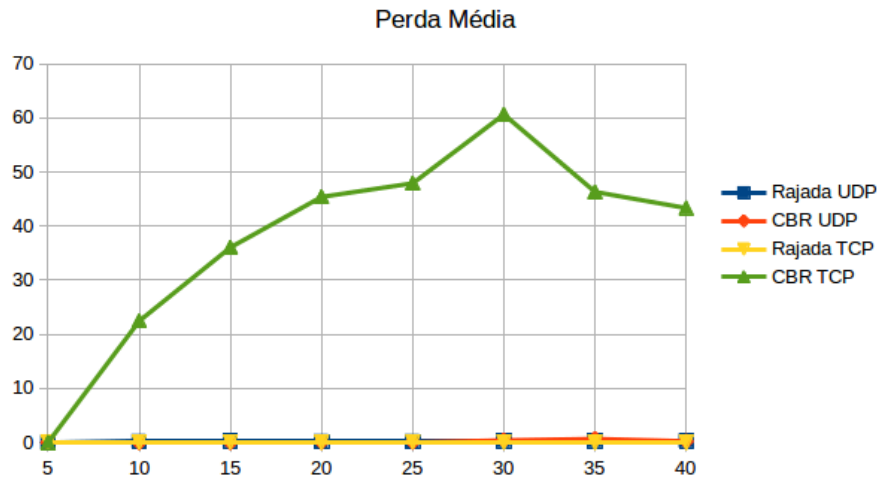


Figura 4.9: Perda média da rede

Como esperado, a vazão para os tráfegos de UDP são constantes para um número qualquer de nós testados, além disso, o tráfego CBR possui uma vazão muito maior do que o tráfego em rajada. Para os pacotes TCP, o tráfego CBR faz com que a rede fique um pouco congestionada e a janela de congestionamento seja ajustada, diminuindo a vazão de com o aumento do número de nós.

O atraso para o tráfego CBR com TCP tem um aumento considerável, porque quando há uma perda de pacote, há também o reenvio do mesmo. Quanto ao tráfego CBR com UDP, há o aumento do atraso quando há um aumento do número de nós, como era esperado.

Para a perda, quando há o aumento do número de nós da rede, ocorre o congestionamento e faz com que o tráfego CBR com TCP tenha o aumento das perdas. Nos outros casos, não há o aumento tão expressivo como no caso anterior, isso se dá por conta da baixa transmissão de dados no caso do tráfego em rajada e por causa da proximidade com o AP no caso do CBR com UDP.

4.4 Cliente mais distante

Neste caso, por causa da posição do cliente, não há variação da intensidade do sinal, porém o sinal está com intensidade muito fraca. Por causa disso, as métricas devem ser muito mais instáveis do que nos casos anteriores e devem estabelecer um "limite inferior", ou seja, são as piores métricas possíveis para a rede. As tabelas com os dados podem ser vistas na seção 7.4 do Apêndice.

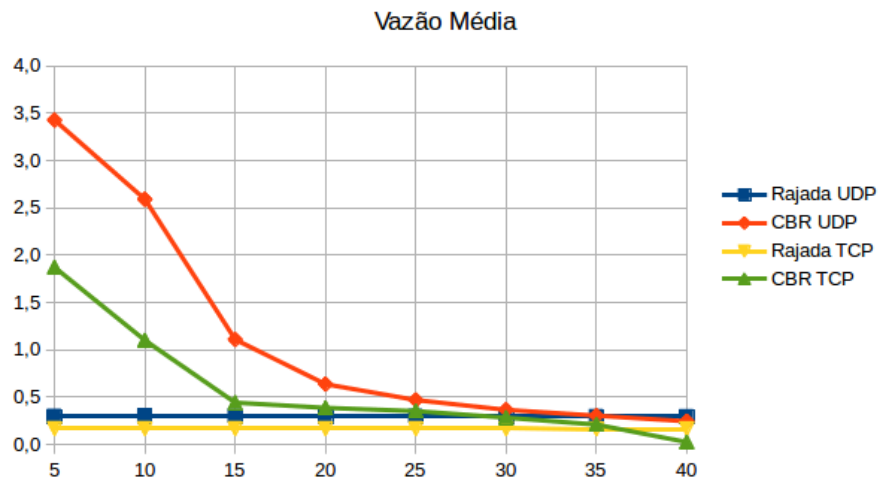


Figura 4.10: Vazão média da rede

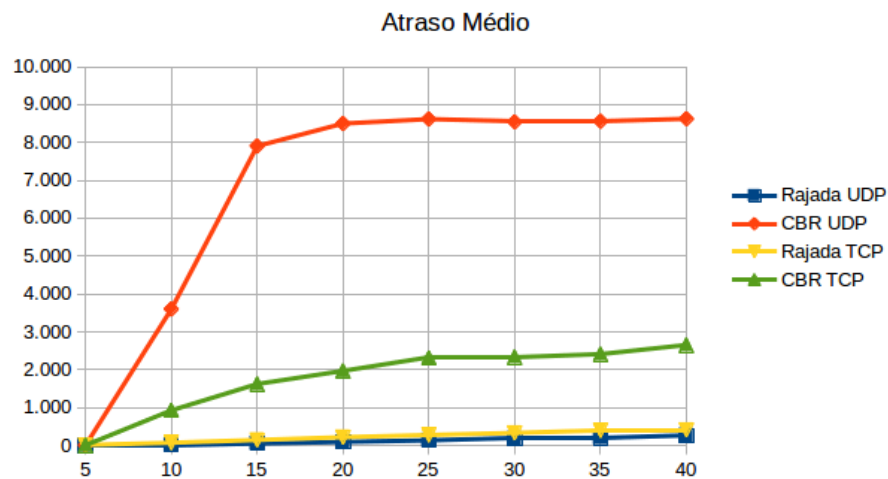


Figura 4.11: Atraso médio da rede

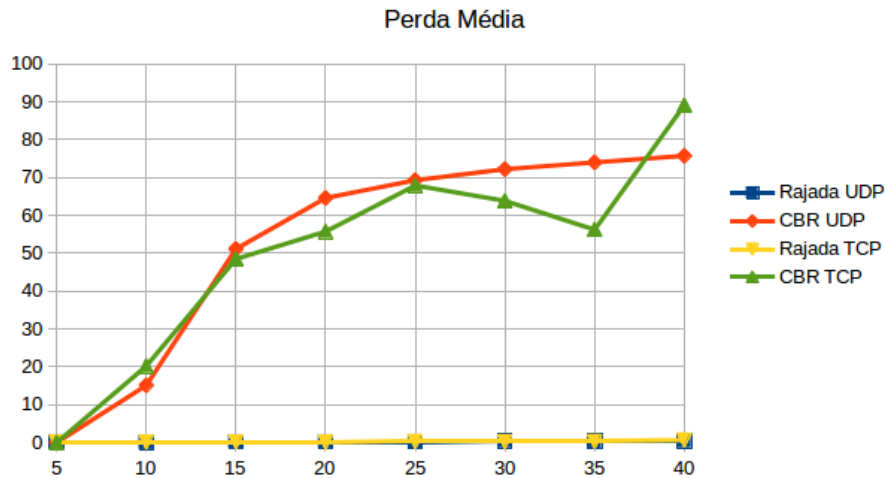


Figura 4.12: Perda média da rede

Novamente, para o tráfego em rajada, não há variação nos gráficos, uma vez que a rede não sofre congestionamento. Mas neste caso, a vazão é menor enquanto o atraso e a perda são levemente maiores do que nos outros experimentos. Isso se dá por conta da intensidade do sinal da rede sem fio.

Para o caso do tráfego CBR, a vazão diminui rapidamente com o aumento do número de nós, tanto para o TCP como para o UDP. Porém o TCP possui uma vazão menor, por conta dos reenvios dos pacotes perdidos.

Há também o aumento expressivo do atraso, onde o UDP possui um aumento aproximadamente 4 vezes maior do que o tráfego com TCP. Isso se dá por conta do controle de congestionamento do TCP, que faz com que a vazão diminua mais rapidamente para evitar o congestionamento da rede.

Apesar disso, o aumento do número de nós causa um aumento expressivo da perda de pacotes, tanto para o UDP como para o TCP. Neste caso, o controle de congestionamento do TCP não foi o suficiente para evitar o aumento da perda de pacotes da rede, do ponto de vista do nó que está na posição mais distante do AP.

5

Conclusão

Este experimento mostrou que o tráfego em rajada, apesar de possuir uma vazão muito menor do que o tráfego CBR, se mostrou mais confiável para o número de clientes testados, porém, neste caso, a rede está sub-utilizada, visto que o tráfego em rajada está muito abaixo da assíntota gerada pelo tráfego CBR. Poderia ser feito o redimensionamento desta rede, a fim de aumentar a eficiência.

Poderia ser feito um aumento da taxa de dados gerados pelos clientes/servidor ou então, um aumento do tempo em que os clientes estão enviando rajadas de pacotes.

De um modo geral, para poucos clientes, a rede com tráfego CBR se mostrou muito mais eficiente, uma vez que a vazão é grande e o atraso e a perda são pequenos. Enquanto que, para muitos clientes, a rede com tráfego em rajadas se mostrou mais eficiente, uma vez que o atraso e a perda são pequenos, apesar da vazão não ser tão alta como no tráfego CBR para a mesma quantidade de clientes.

Para serviços que necessitam de alta disponibilidade/confiabilidade e baixa latência, mesmo com quantidade grande de outros nós conectados na mesma rede, o tráfego em rajadas se mostrou melhor, enquanto que para serviços que toleram uma alta taxa de perda de pacotes e um atraso grande, o tráfego CBR é uma opção melhor, já que a vazão é maior.

Além disso, o TCP se mostrou mais estável do que o UDP, mesmo que utilizado com tráfego CBR. Para redes com um número grande de nós e que é necessário ter uma vazão relativamente maior, a melhor combinação é o tráfego CBR utilizando o TCP como protocolo.

6

Referências

- Manual de referência do NS-3

<https://www.nsnam.org/docs/release/3.8/manual.pdf>

- Documentação

<https://www.nsnam.org/doxygen/index.html>

7

Apêndices

7.1 Rede Estática

7.1.1 UDP

Tabela 7.1: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.2984, 0.2985, 0.2987]	[3.4272, 3.4273, 3.4273]
10	[0.2986, 0.2987, 0.2988]	[3.0675, 3.166, 3.2644]
15	[0.2983, 0.2984, 0.2985]	[1.9606, 2.0422, 2.1238]
20	[0.2981, 0.2981, 0.2982]	[1.4441, 1.4904, 1.5367]
25	[0.2979, 0.2979, 0.298]	[1.1224, 1.1627, 1.203]
30	[0.2971, 0.2974, 0.2976]	[0.9321, 0.9571, 0.9821]
35	[0.2964, 0.2965, 0.2966]	[0.8, 0.822, 0.844]
40	[0.2957, 0.2957, 0.2958]	[0.7011, 0.7148, 0.7286]

Tabela 7.2: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[6.31, 6.44, 6.57]	[2.4, 2.4, 2.4]
10	[13.43, 13.9, 14.37]	[986.34, 1379.86, 1773.38]
15	[38.53, 40.4, 42.27]	[4529.23, 4888.17, 5247.12]
20	[66.56, 69.56, 72.56]	[6239.72, 6386.01, 6532.3]
25	[98.55, 102.77, 106.99]	[6878.34, 7032.62, 7186.89]
30	[129.44, 134.79, 140.13]	[7287.08, 7403.11, 7519.15]
35	[160.81, 166.63, 172.46]	[7491.4, 7578.86, 7666.32]
40	[190.81, 197.81, 204.82]	[7717.24, 7763.13, 7809.02]

Tabela 7.3: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.09, 0.16, 0.24]	[0.0, 0.0, 0.0]
10	[0.02, 0.06, 0.11]	[1.86, 3.79, 5.72]
15	[0.12, 0.16, 0.21]	[27.84, 29.34, 30.84]
20	[0.22, 0.24, 0.25]	[41.97, 42.95, 43.92]
25	[0.27, 0.3, 0.32]	[50.52, 51.4, 52.28]
30	[0.3, 0.31, 0.33]	[56.24, 56.81, 57.39]
35	[0.33, 0.35, 0.36]	[59.99, 60.51, 61.02]
40	[0.35, 0.37, 0.39]	[63.02, 63.35, 63.67]

7.1.2 TCP

Tabela 7.4: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.8613, 1.8663, 1.8713]
10	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.4878, 1.5485, 1.6092]
15	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.0701, 1.0921, 1.114]
20	[0.1698, 0.1698, 0.1698]	[0.7749, 0.779, 0.783]
25	[0.1693, 0.1694, 0.1696]	[0.6235, 0.642, 0.6605]
30	[0.1689, 0.169, 0.1691]	[0.4981, 0.5173, 0.5365]
35	[0.1686, 0.1687, 0.1688]	[0.4331, 0.4402, 0.4474]
40	[0.1686, 0.1686, 0.1686]	[0.3823, 0.3923, 0.4023]

Tabela 7.5: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[8.96, 9.5, 10.04]	[3.03, 4.05, 5.07]
10	[63.51, 64.89, 66.27]	[821.35, 950.64, 1079.94]
15	[129.43, 132.37, 135.31]	[1260.21, 1316.47, 1372.73]
20	[195.86, 199.87, 203.88]	[1764.82, 1837.73, 1910.64]
25	[258.17, 265.07, 271.96]	[1843.11, 1948.84, 2054.57]
30	[321.81, 325.55, 329.3]	[2084.41, 2237.17, 2389.92]
35	[381.42, 386.28, 391.14]	[2272.63, 2357.45, 2442.27]
40	[423.17, 428.79, 434.41]	[2188.5, 2232.9, 2277.3]

Tabela 7.6: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.01, 0.04, 0.08]	[0.0, 0.0, 0.01]
10	[0.06, 0.11, 0.17]	[17.18, 21.78, 26.38]
15	[0.04, 0.11, 0.19]	[35.87, 36.42, 36.98]
20	[0.02, 0.03, 0.05]	[44.28, 47.83, 51.38]
25	[0.07, 0.11, 0.14]	[49.58, 50.68, 51.78]
30	[0.1, 0.13, 0.16]	[51.32, 52.99, 54.67]
35	[0.16, 0.17, 0.18]	[53.84, 54.16, 54.48]
40	[0.24, 0.27, 0.3]	[54.99, 55.45, 55.92]

7.2 Rede Dinâmica

7.2.1 UDP

Tabela 7.7: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.2983, 0.2985, 0.2988]	[3.427, 3.4271, 3.4272]
10	[0.2986, 0.2987, 0.2988]	[3.0065, 3.0765, 3.1465]
15	[0.2982, 0.2983, 0.2984]	[1.9671, 1.9847, 2.0023]
20	[0.2981, 0.2981, 0.2982]	[1.4385, 1.4518, 1.4651]
25	[0.2979, 0.2979, 0.298]	[1.1397, 1.1534, 1.1671]
30	[0.2971, 0.2972, 0.2974]	[0.9333, 0.9414, 0.9494]
35	[0.2961, 0.2962, 0.2964]	[0.7909, 0.7983, 0.8058]
40	[0.2955, 0.2956, 0.2958]	[0.6859, 0.6909, 0.6959]

Tabela 7.8: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[7.75, 8.08, 8.41]	[3.0, 3.0, 3.0]
10	[14.82, 15.52, 16.22]	[1321.71, 1668.24, 2014.77]
15	[43.08, 44.0, 44.92]	[4369.56, 4490.84, 4612.12]
20	[74.05, 75.16, 76.27]	[5629.22, 5699.66, 5770.1]
25	[104.43, 105.15, 105.88]	[6212.0, 6255.32, 6298.64]
30	[136.17, 137.27, 138.38]	[6589.53, 6620.18, 6650.83]
35	[169.16, 170.66, 172.16]	[6787.31, 6836.87, 6886.43]
40	[202.62, 203.75, 204.89]	[6918.71, 7011.01, 7103.32]

Tabela 7.9: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.04, 0.15, 0.25]	[0.0, 0.0, 0.01]
10	[0.0, 0.05, 0.09]	[3.25, 5.19, 7.12]
15	[0.14, 0.18, 0.22]	[29.35, 29.92, 30.48]
20	[0.23, 0.25, 0.26]	[42.91, 43.27, 43.63]
25	[0.29, 0.3, 0.31]	[50.67, 51.08, 51.49]
30	[0.3, 0.32, 0.34]	[56.49, 56.75, 57.01]
35	[0.34, 0.36, 0.38]	[60.31, 60.57, 60.83]
40	[0.36, 0.37, 0.39]	[63.3, 63.5, 63.7]

7.2.2 TCP

Tabela 7.10: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.8479, 1.86, 1.872]
10	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.414, 1.4682, 1.5223]
15	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[0.9937, 1.0204, 1.047]
20	[0.1665, 0.1681, 0.1698]	[0.7725, 0.7883, 0.8041]
25	[0.1686, 0.1689, 0.1693]	[0.6276, 0.635, 0.6425]
30	[0.1664, 0.1677, 0.1689]	[0.521, 0.5228, 0.5245]
35	[0.1674, 0.1678, 0.1682]	[0.4483, 0.4514, 0.4546]
40	[0.1649, 0.1665, 0.1682]	[0.3829, 0.3868, 0.3906]

Tabela 7.11: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[10.57, 10.9, 11.23]	[1.78, 12.1, 22.42]
10	[68.84, 71.27, 73.69]	[1069.16, 1137.8, 1206.44]
15	[138.56, 140.64, 142.72]	[1182.64, 1404.13, 1625.62]
20	[201.23, 204.77, 208.3]	[1324.4, 1468.04, 1611.68]
25	[270.05, 271.58, 273.12]	[1522.95, 1649.87, 1776.8]
30	[324.38, 328.7, 333.02]	[2059.83, 2092.05, 2124.27]
35	[382.42, 387.25, 392.09]	[2189.65, 2257.41, 2325.17]
40	[426.92, 435.75, 444.59]	[2247.27, 2340.35, 2433.44]

Tabela 7.12: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.03, 0.05, 0.08]	[0.0, 0.17, 0.46]
10	[0.04, 0.28, 0.52]	[26.82, 29.54, 32.25]
15	[0.16, 0.32, 0.47]	[30.81, 37.64, 44.47]
20	[0.17, 0.43, 0.7]	[36.01, 38.93, 41.84]
25	[0.13, 0.3, 0.48]	[41.52, 44.0, 46.48]
30	[0.26, 0.4, 0.53]	[50.21, 51.03, 51.85]
35	[0.32, 0.45, 0.58]	[53.85, 54.03, 54.22]
40	[0.35, 0.48, 0.61]	[53.72, 54.75, 55.78]

7.3 Cliente mais próximo

7.3.1 UDP

Tabela 7.13: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.2988, 0.2988, 0.2988]	[3.4277, 3.4277, 3.4277]
10	[0.2981, 0.2985, 0.299]	[3.4271, 3.4273, 3.4275]
15	[0.2977, 0.2983, 0.2988]	[3.4241, 3.4256, 3.4271]
20	[0.2977, 0.2983, 0.2988]	[3.4162, 3.4203, 3.4244]
25	[0.2977, 0.2983, 0.2988]	[3.4152, 3.4218, 3.4284]
30	[0.2974, 0.298, 0.2986]	[3.3896, 3.4062, 3.4227]
35	[0.2974, 0.298, 0.2986]	[3.3607, 3.3906, 3.4206]
40	[0.2974, 0.298, 0.2986]	[3.3715, 3.3886, 3.4057]

Tabela 7.14: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[0.85, 1.2, 1.55]	[0.0, 0.0, 0.0]
10	[6.34, 7.2, 8.06]	[6.09, 7.4, 8.71]
15	[11.76, 14.2, 16.64]	[14.34, 18.2, 22.06]
20	[15.21, 16.4, 17.59]	[22.09, 28.2, 34.31]
25	[17.27, 23.0, 28.73]	[36.61, 50.8, 64.99]
30	[22.15, 26.2, 30.25]	[38.61, 56.6, 74.59]
35	[26.08, 32.0, 37.92]	[76.22, 151.0, 225.78]
40	[33.53, 41.4, 49.27]	[148.84, 464.4, 779.96]

Tabela 7.15: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.0]
10	[0.0, 0.18, 0.5]	[0.0, 0.0, 0.0]
15	[0.0, 0.27, 0.59]	[0.0, 0.03, 0.07]
20	[0.0, 0.18, 0.38]	[0.01, 0.1, 0.19]
25	[0.0, 0.18, 0.38]	[0.0, 0.1, 0.2]
30	[0.08, 0.27, 0.47]	[0.0, 0.41, 0.93]
35	[0.08, 0.27, 0.47]	[0.0, 0.67, 1.64]
40	[0.08, 0.27, 0.47]	[0.01, 0.24, 0.47]

7.3.2 TCP

Tabela 7.16: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.8329, 1.8544, 1.8759]
10	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.8213, 1.8388, 1.8562]
15	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.617, 1.7127, 1.8083]
20	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.4074, 1.4223, 1.4372]
25	[0.1696, 0.1697, 0.1697]	[1.206, 1.3187, 1.4315]
30	[0.1696, 0.1696, 0.1697]	[0.0, 0.3685, 0.7875]
35	[0.1696, 0.1696, 0.1696]	[0.4608, 0.7613, 1.0619]
40	[0.1696, 0.1696, 0.1696]	[0.0, 0.283, 0.6426]

Tabela 7.17: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[6.17, 6.6, 7.03]	[0.19, 1.8, 3.41]
10	[53.51, 54.4, 55.29]	[817.74, 935.6, 1053.46]
15	[107.25, 110.2, 113.15]	[1152.58, 1221.6, 1290.62]
20	[159.15, 162.8, 166.45]	[1631.27, 1792.2, 1953.13]
25	[209.74, 212.6, 215.46]	[1787.94, 1876.4, 1964.86]
30	[257.02, 259.6, 262.18]	[2706.71, 3579.6, 4452.49]
35	[306.56, 312.2, 317.84]	[1760.06, 2159.8, 2559.54]
40	[343.89, 358.0, 372.11]	[1066.79, 1411.8, 1756.81]

Tabela 7.18: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.0, 0.12, 0.25]	[0.0, 0.01, 0.02]
10	[0.0, 0.06, 0.16]	[17.86, 22.47, 27.08]
15	[0.0, 0.09, 0.19]	[34.91, 36.07, 37.23]
20	[0.0, 0.0, 0.0]	[41.9, 45.41, 48.93]
25	[0.0, 0.12, 0.25]	[47.02, 47.93, 48.83]
30	[0.0, 0.06, 0.16]	[51.35, 60.64, 69.93]
35	[0.0, 0.0, 0.0]	[42.41, 46.33, 50.26]
40	[0.0, 0.0, 0.0]	[40.23, 43.35, 46.47]

7.4 Cliente mais distante

7.4.1 UDP

Tabela 7.19: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.2981, 0.2985, 0.299]	[3.4272, 3.4272, 3.4272]
10	[0.2988, 0.2988, 0.2988]	[2.4666, 2.5909, 2.7153]
15	[0.2977, 0.2983, 0.2988]	[1.0208, 1.1093, 1.1978]
20	[0.2977, 0.2983, 0.2988]	[0.5849, 0.6386, 0.6923]
25	[0.2977, 0.2983, 0.2988]	[0.4367, 0.4706, 0.5044]
30	[0.2945, 0.2964, 0.2983]	[0.3172, 0.3669, 0.4166]
35	[0.293, 0.2955, 0.2981]	[0.2846, 0.3057, 0.3267]
40	[0.2926, 0.2947, 0.2969]	[0.2319, 0.2463, 0.2607]

Tabela 7.20: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[8.0, 8.0, 8.0]	[3.0, 3.0, 3.0]
10	[14.41, 15.6, 16.79]	[3295.94, 3597.2, 3898.46]
15	[46.65, 51.2, 55.75]	[7701.57, 7903.8, 8106.03]
20	[87.88, 93.6, 99.32]	[8301.45, 8497.6, 8693.75]
25	[129.71, 134.0, 138.29]	[8511.02, 8615.6, 8720.18]
30	[173.94, 181.2, 188.46]	[8360.77, 8542.0, 8723.23]
35	[186.66, 200.6, 214.54]	[8492.86, 8559.2, 8625.54]
40	[250.0, 266.2, 282.4]	[8438.5, 8623.4, 8808.3]

Tabela 7.21: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.0, 0.18, 0.5]	[0.0, 0.0, 0.0]
10	[0.0, 0.0, 0.0]	[12.1, 15.1, 18.1]
15	[0.0, 0.18, 0.38]	[48.75, 51.14, 53.54]
20	[0.0, 0.18, 0.38]	[63.03, 64.58, 66.14]
25	[0.0, 0.18, 0.38]	[68.34, 69.3, 70.25]
30	[0.45, 0.45, 0.45]	[70.75, 72.2, 73.65]
35	[0.2, 0.36, 0.52]	[73.4, 74.0, 74.6]
40	[0.45, 0.45, 0.45]	[75.3, 75.73, 76.15]

7.4.2 TCP

Tabela 7.22: Vazão média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (Mbps)	Tráfego CBR [min, média, máx] (Mbps)
5	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[1.8722, 1.8724, 1.8726]
10	[0.1697, 0.1697, 0.1697]	[0.5167, 1.1017, 1.6867]
15	[0.1697, 0.1698, 0.1698]	[0.3937, 0.4433, 0.4929]
20	[0.1698, 0.1698, 0.1698]	[0.3283, 0.3886, 0.449]
25	[0.1697, 0.1698, 0.1699]	[0.2818, 0.3541, 0.4264]
30	[0.1681, 0.169, 0.1699]	[0.1922, 0.285, 0.3778]
35	[0.1677, 0.1681, 0.1685]	[0.0621, 0.2116, 0.3612]
40	[0.1672, 0.1677, 0.1683]	[0.0, 0.0266, 0.0709]

Tabela 7.23: Atraso médio e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (ms)	Tráfego CBR [min, média, máx] (ms)
5	[10.45, 10.8, 11.15]	[3.18, 4.2, 5.22]
10	[69.33, 71.2, 73.07]	[793.83, 925.4, 1056.97]
15	[141.09, 144.4, 147.71]	[1483.24, 1620.6, 1757.96]
20	[213.0, 216.2, 219.4]	[1929.63, 1966.8, 2003.97]
25	[268.27, 275.6, 282.93]	[2166.94, 2312.2, 2457.46]
30	[312.12, 330.4, 348.68]	[1952.58, 2336.0, 2719.42]
35	[374.41, 394.4, 414.39]	[2007.56, 2409.8, 2812.04]
40	[372.55, 410.2, 447.85]	[2282.85, 2651.0, 3019.15]

Tabela 7.24: Perda média e intervalos de confiança de 95%

# de Nós	Tráfego em Rajada [min, média, máx] (%)	Tráfego CBR [min, média, máx] (%)
5	[0.0, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.0, 0.01]
10	[0.0, 0.09, 0.19]	[14.06, 20.21, 26.35]
15	[0.03, 0.18, 0.33]	[40.05, 48.48, 56.9]
20	[0.0, 0.0, 0.0]	[55.53, 55.74, 55.96]
25	[0.12, 0.27, 0.42]	[66.68, 67.89, 69.11]
30	[0.1, 0.27, 0.45]	[59.39, 63.84, 68.29]
35	[0.15, 0.33, 0.5]	[48.2, 56.22, 64.24]
40	[0.4, 0.66, 0.91]	[77.28, 89.09, 100.0]