Escola de Engenharia
Curso de Bacharelado em Engenharia de Sistemas

DCC218 - Introdução a Sistemas Computacionais
Relatório do TP 1 - Parte 2

Raphael Henrique Braga Leivas - 2020028101

Belo Horizonte
5 de novembro de 2025

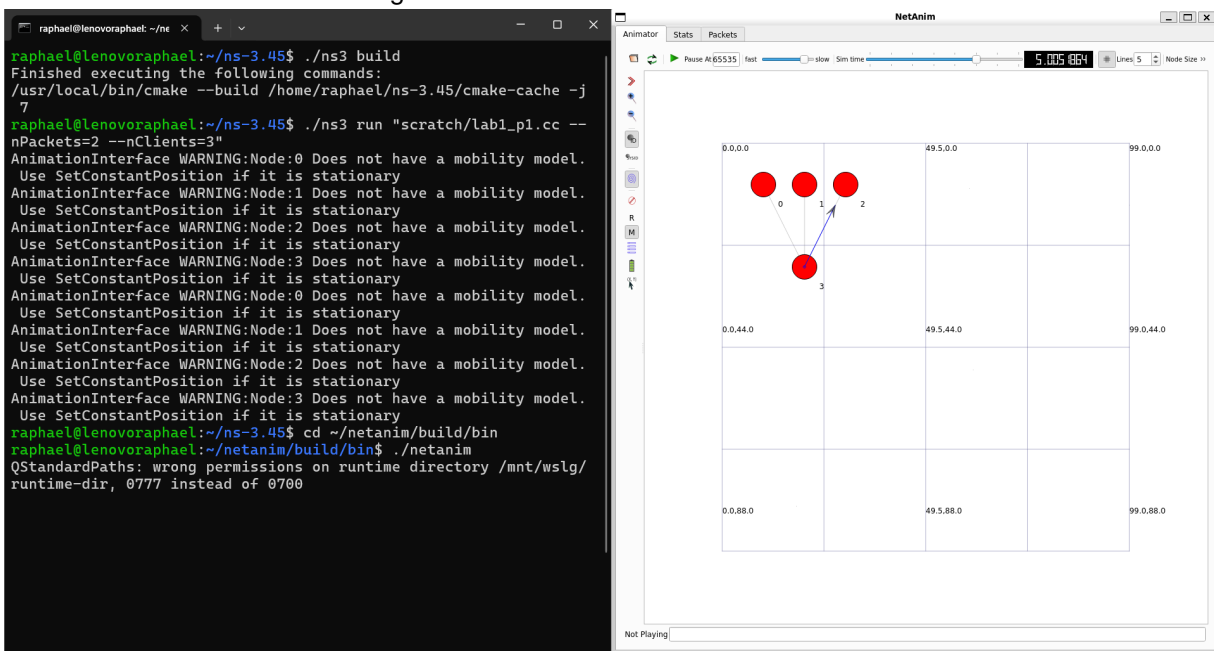
SUMÁRIO

1 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

O projeto é desenvolvido em um notebook Lenovo com processador Intel-Core i5 de 11º geração, com arquitetura x64. A frequência do processador é 2.4 GHz e possui 4 cores. O processador possui 8 GB de memória RAM disponível. O sistema operacional do computador é Windows 11, mas o ambiente NS-3 é instalado através de WSL (Windows Subsystem for Linux) Ubuntu 22.04.1 LTS.

O ambiente NS-3 é instalado na pasta `home` do WSL. A Figura 1 ilustra o ambiente de desenvolvimento utilizado no projeto.

Figura 1 – Ambiente de desenvolvimento.



Fonte: Elaboração própria.

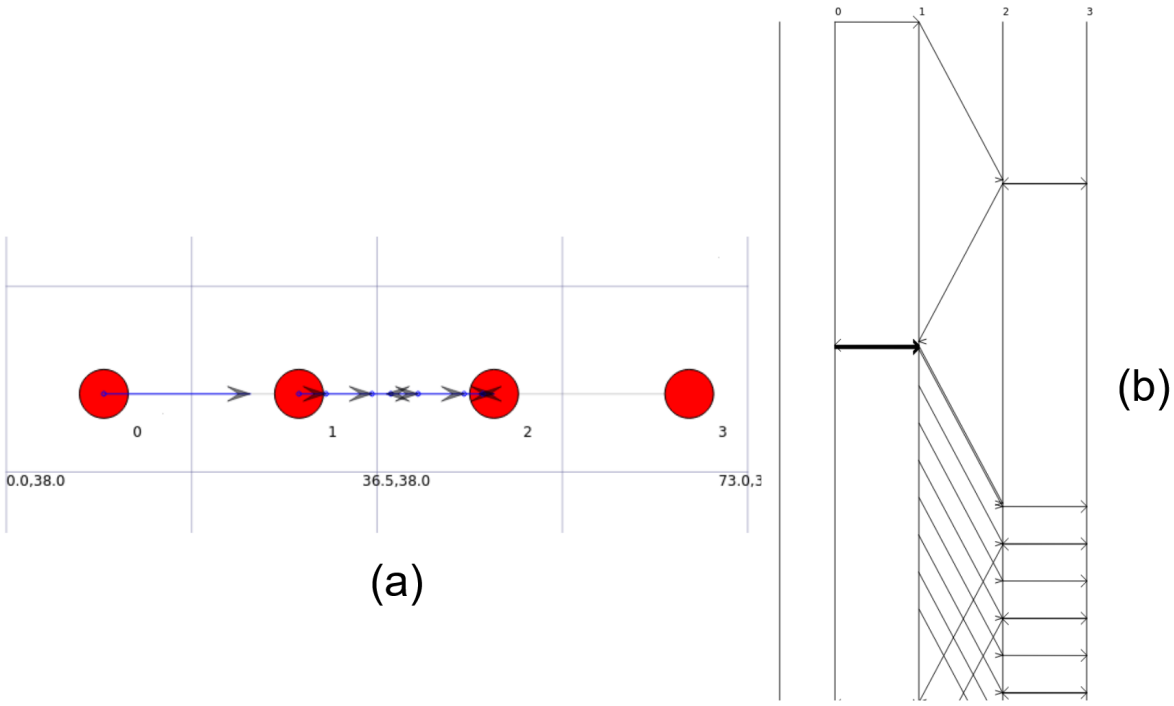
Essencialmente, é adotado um procedimento de duas etapas:

1. O comando `./ns3 build`, seguido de `./ns3 run` com o programa e argumentos de linha de comando desejados, é usado para executar o script C++ com as funções do NS-3. A saída dos comandos será um arquivo XML;
2. O comando `./netanim` é usado para visualizar o arquivo XML exportado na etapa 1, obtendo a animação exibida no lado direito da Figura 1.

2 PARTE 1: TOPOLOGIA COM GARGALO

O primeiro passo é obter uma topologia em que há um link de gargalo entre os nós que estão se comunicando. A Figura 2 (a) mostra a topologia e os tempos de envio e recepção dos pacotes (b).

Figura 2 – (a) Topologia base da parte 1 e (b) envio de pacotes.



Fonte: Elaboração própria.

Na topologia, os links entre os nós 0 - 1 e 2 - 3 possuem largura de banda de 100 Mbps. O link entre 1 - 2 representa o gargalo, com apenas 1Mbps de banda. Isso se reflete na Figura 2 (a), com um grande número de pacotes acumulado nesse ramo. Além disso, na Figura 2 (b) vemos que os pacotes rapidamente trafegam entre os nós 0 - 1 e 2 - 3, mas gastam muito mais tempo no ramo 1 -2, que representa o gargalo.

A Figura 2 (b) mostra também o primeiro comando de ACK do protocolo TCP enviado, seguido de rajada de pacotes enviada pelo `BulkSend` configurado no NS-3.

2.1 Janela de Congestionamento

Para avançar na parte 1, é necessário extrair os valores das janelas de congestionamento para realizar as análises na simulação. Isso pode ser feito de duas formas:

- Usar o procedimento de `fifth.cc`, com o método `TraceConnectWithoutContext` que recebe um callback e nesse callback podemos chamar uma função de log;

- Usar o procedimento de `tcp-variants-comparison.cc`, que conecta ao socket do nó a partir do método `Config::Connect`.

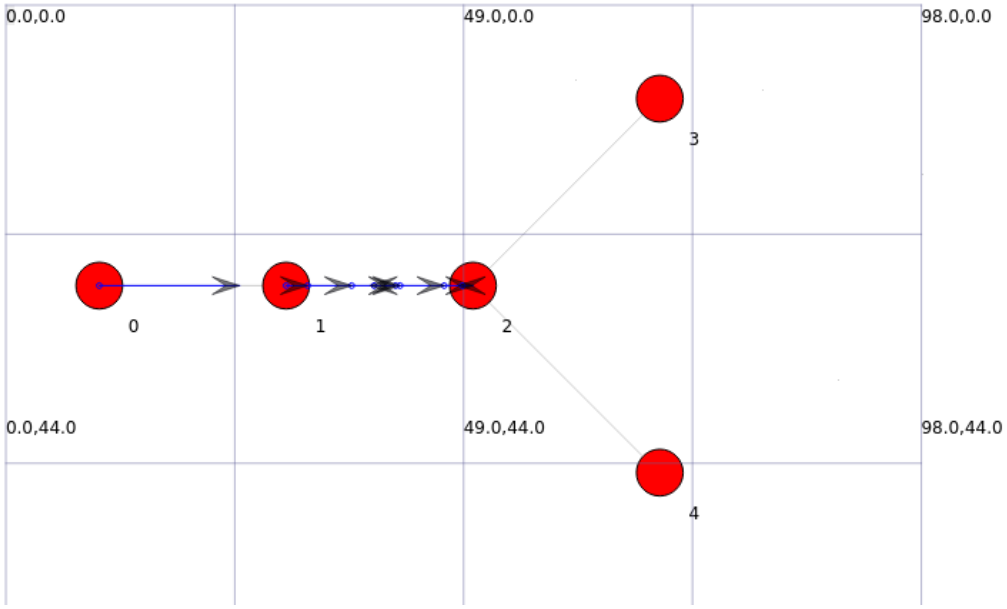
Executando ambos arquivos acima sem modificações, eles conseguem extrair os valores da janela de congestionamento. No entanto, ao adaptar o código desses arquivos para a nova topologia, não foi possível extrair esses valores. Ou nada era printado, ou erros de referenciamento de ponteiro como `<Signals.SIGABRT: 6>` aconteciam. Tentei solucionar, sem sucesso.

Como a parte dois não precisa da janela de congestionamento, vamos avançar para ela nesse momento.

3 PARTE 2: TOPOLOGIA COM GARGALO + FLUXOS HETEROGÊNEOS

A topologia usada nesse exercício está exibida na Figura 3. O nó 0 (remetente) deseja enviar vários pacotes para os nós 3 e 4 (destinatários). Entre os nós 1 e 2, há um gargalo com banda 1 Mbps e 20 ms de delay. A banda das demais conexões é 100 ms com delay 0.01 ms, exceto o ramo entre os nós 2 e 3 que possui delay consideravelmente maior de 50 ms.

Figura 3 – Topologia da parte 2.



Fonte: Elaboração própria.

Note na Figura 3 que os pacotes vão se acumulando no gargalo. O objetivo é verificar no experimento como isso afeta a transmissão de dados de entre o remetente e os destinatários, inclusive para diferentes algoritmos de controle de congestionamento. Para isso, será adotado o seguinte procedimento:

1. Calcula o goodput (taxa de dados efetivamente enviada) dos nós 3 e 4;
2. Repete 10 vezes e toma a média;
3. Repete para os algoritmos TCP New Reno e TCP CUBIC;
4. Faz isso para o número de fluxos de 2, 4, 6 e 8.
5. Exporta tudo em csv e plota gráficos com os dados coletados em python com a ferramenta `matplotlib`.

Calculando o goodput na topologia da Figura 3 com 4 fluxos, obtemos os resultados da Figura 4. Vemos que o servidor B (nó 4) recebe menos dados devido ao

maior delay no seu ramo; contudo, devido ao congestionamento no ramo central, ele acaba recebendo uma quantidade de dados não muito menor que o nó 3, que possui um delay mais de 100 vezes menor.

Além disso, note que a banda de ambos os ramos é 100 Mbps. No entanto, com o gargalo de 1 Mbps entre o remente e o destinatário, a banda efetivamente usada é menos que 1% disso.

Figura 4 – Goodput calculados na topologia da parte 2.

```
raphael@lenovoraphael:~/ns-3.45$ ./ns3 run "scratch/lab2_p2.cc --dataRate="1Mbps" --delay="20ms" --errorRate=0.00001
--transport_prot="ns3::TcpNewReno" --nFlows=4"
[  0%] Building CXX object scratch/CMakeFiles/scratch_lab2_p2.dir/lab2_p2.cc.o
[  0%] Linking CXX executable /home/raphael/ns-3.45/build/scratch/ns3.45-lab2_p2-debug
AnimationInterface WARNING:Node:0 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:1 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:2 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:3 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:4 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:0 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:1 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:2 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:3 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
AnimationInterface WARNING:Node:4 Does not have a mobility model. Use SetConstantPosition if it is stationary
----- Calcula o Goodput -----
FLuxo 0 recebeu: 439520 bytes, Goodput = 0.351616 Mbps (Servidor A (3))
FLuxo 1 recebeu: 241200 bytes, Goodput = 0.19296 Mbps (Servidor A (3))
FLuxo 2 recebeu: 173128 bytes, Goodput = 0.138502 Mbps (Servidor B (4))
FLuxo 3 recebeu: 153296 bytes, Goodput = 0.122637 Mbps (Servidor B (4))
raphael@lenovoraphael:~/ns-3.45$
```

Fonte: Elaboração própria.

Repetindo esse experimento 10 vezes, obtemos a distribuição de Goodput calculados para cada destinatário exibido na Figura 5. Calculando a média de cada um, obtemos

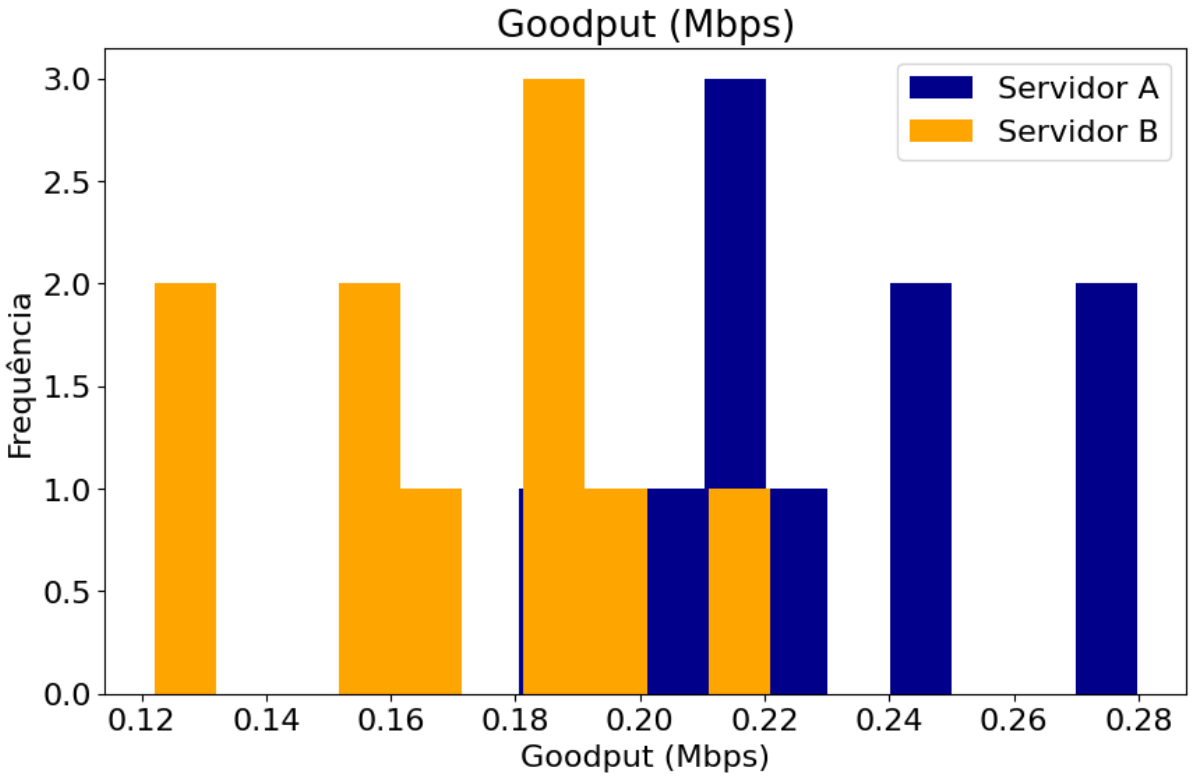
$$\mu_A = 0.23 \text{ Mbps} \quad , \quad \mu_B = 0.17 \text{ Mbps}$$

O próximo passo é comparar o goodput médio obtido entre cada servidor para diferentes algoritmos de congestionamento, para diferentes números de fluxos. O resultado obtido pode ser visto na Figura 6.

Analisando as curvas, podemos chegar às seguintes conclusões:

- Ambos algoritmos de congestionamento apresentam Goodput similar entre os mesmos servidores;
- O servidor B, em ambos protocolos, apresenta menor Goodput devido ao fato de possuir maior delay que o servidor A;
- Quanto maior o número de fluxos menor o Goodput em todos os casos. Isso ocorre devido ao aumento do congestionamento no ramo de gargalo , reduzindo a quantidade de pacotes que conseguem chegar aos destinatários.

Figura 5 – Histograma do goodput obtido por servidor executando 10 vezes.

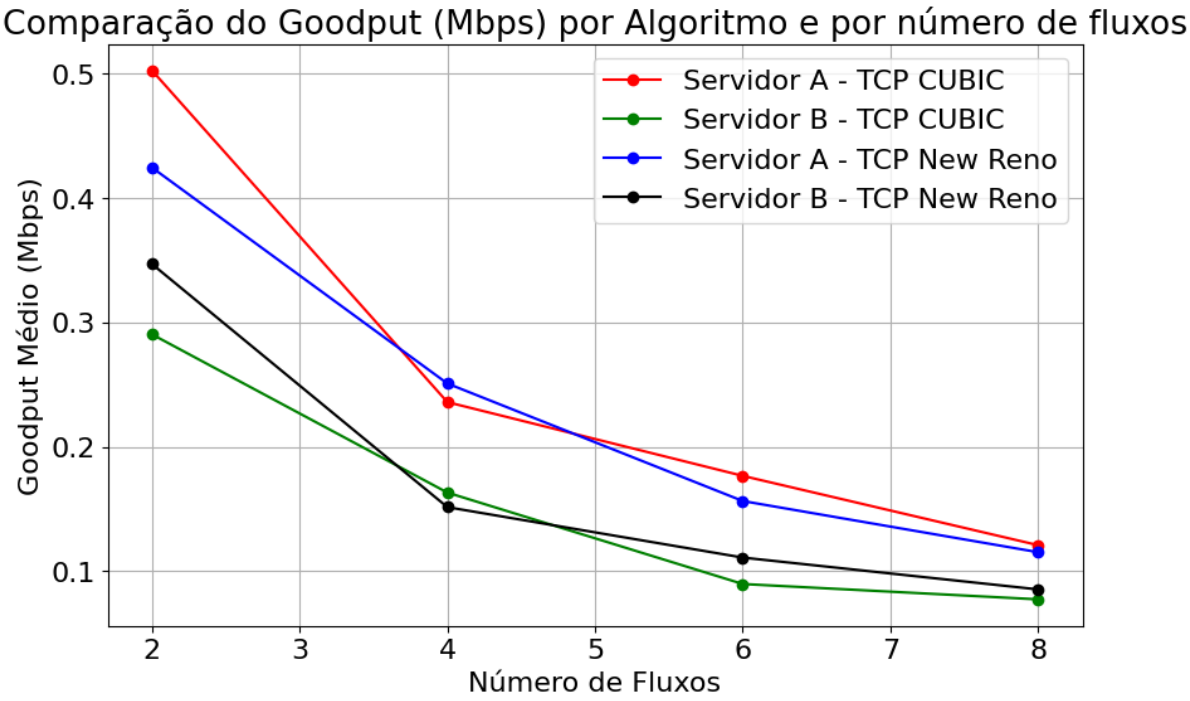


Fonte: Elaboração própria.

Um outra conclusão que podemos tomar a partir do gráfico se refere à como ambos algoritmos tentam ser "justos"(fairness) com ambos servidores, tentando fazer com que ambos tenham o mesmo RTT mesmo que o delay dos ramos sejam consideravelmente diferente. Para isso, podemos tomar a diferença entre os Goodputs dos servidores para cada algoritmo e plotar o resultado, exibido na Figura 7.

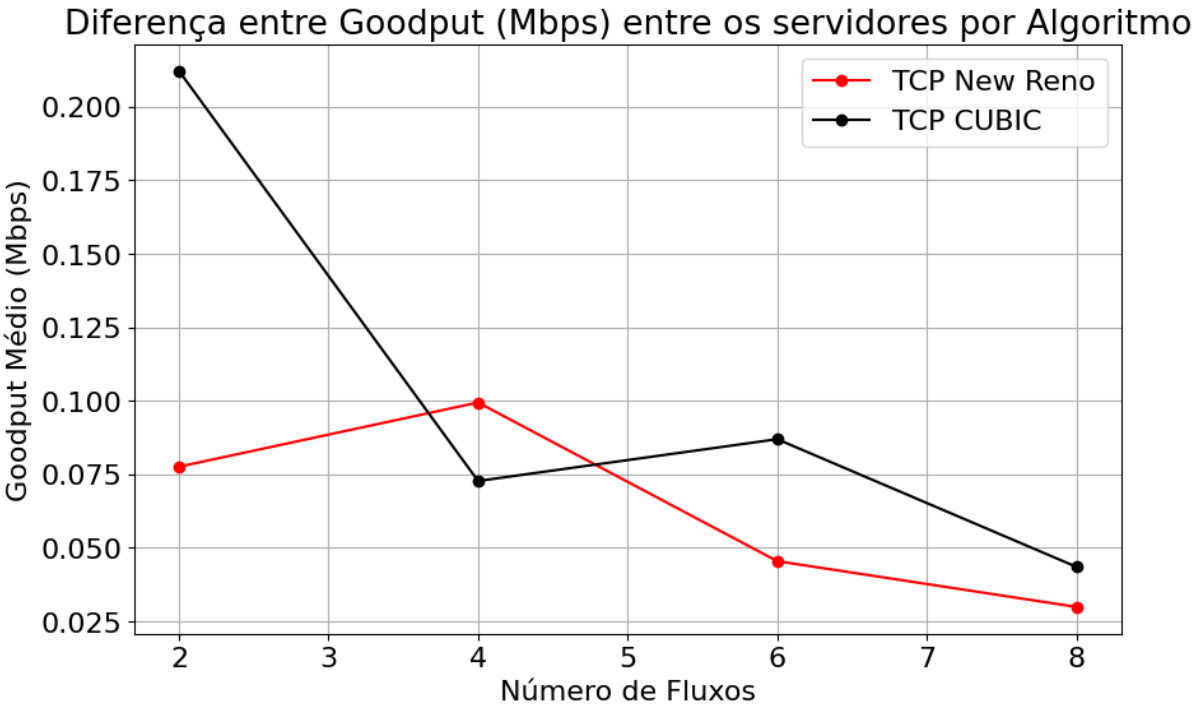
Em média, o New Reno apresenta diferença de 0.06 Mbps, enquanto o CUBIC apresenta diferença média de 0.1 Mbps. Assim, concluímos que o New Reno é mais justo que o TCP CUBIC, por apresentar menor diferença entre os Goodputs de cada servidor.

Figura 6 – Diferença de Goodput (Mbps) entre servidores para os diferentes algoritmos.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7 – Histograma do goodput obtido por servidor executando 10 vezes.



Fonte: Elaboração própria.

4 CONCLUSÃO

Tendo em vista os objetivos do exercício, foi possível verificar experimentalmente o impacto que gargalos têm na taxa de transmissão global da rede. Além disso, algoritmos de controle de congestionamento que havíamos somente visto em sala de aula de forma teórica ficaram mais claros, verificando também experimentalmente as diferenças entre eles.

Dificuldades encontradas com a extração da janela de congestionamento não permitiram aprender muito com o item 1 do exercício. Contudo, dado que na primeira parte do TP 1 usamos apenas UDP, foi interessante ver os pacotes TCP na Figura 2 (b), em particular o ACK.