

Relatório

MIECT: DDR Network Simulation



Autores:

Gabriel Vieira 68021

Francisco Alves 28618

Tabela de conteúdos:

[Introdução](#)

[Objectivos](#)

[Virtual-Circuit Switched Network](#)

[Packet Switched Network](#)

[Single-queue simulation](#)

[Multi-queue simulation](#)

[Multi-queue simulation with routing](#)

Introdução:

Nos dias de hoje, e cada vez mais, é extremamente importante fazer planear uma rede de forma adequada, ou seja, dimensioná-la. Para dimensionar uma rede é necessário ter em conta que tipo de serviços vão ser usados, ter uma estimativa de quantos dispositivos se vão ligar à rede, prever atrasos na ligação, ter em conta a duração média das chamadas, percentagem de uma chamada bloquear, etc.

Neste trabalho, pretende-se fazer a simulação de uma rede de acordo com vários cenários da rede e tirar conclusões quanto aos valores de percentagem de bloqueio, percentagem média de perda de pacotes, percentagem de ocupação da capacidade da rede, e como estes valores evoluem de acordo com as características da rede

Objectivos:

Os objectivos deste trabalho são os seguintes:

- Virtual-circuit switched network simulation,
- Packet switched network simulation,
 - Single-queuing simulation,
 - Multi-queuing simulation,
 - Network capacity simulation.

Virtual-Circuit Switched Network

1.

No primeiro exercício, considerava-se um circuito virtual de rede onde os nós da rede recebiam pedidos para estabelecer circuitos virtuais (VCs) usando uma ligação de capacidade limitada. O nó 1 está conectado ao nó 2 através de uma ligação com largura de banda B . Assume-se também que (i) todos os VCs requeriam uma largura de banda de B , implicando que a ligação Assume that: (i) all VCs require a bandwidth of b , implicando o destino como uma capacidade para C VCs, com $C = B / b$ (ii) o tempo entre solicitações de estabelecimento de capital de risco é uma variável aleatória distribuídos exponencial com média $1/\lambda$ e (iii) cada VC está ativo durante um tempo que é uma exponencial variável aleatória distribuído com duração média de $1/\mu$.

De acordo com tudo o que foi mencionado, era pedido que se efectuasse a simulação de desempenho do nó 1 para saber:

- Qual a percentagem de bloqueio;
- Carga média da ligação;

O gráfico seguinte mostra os resultados alcançados:

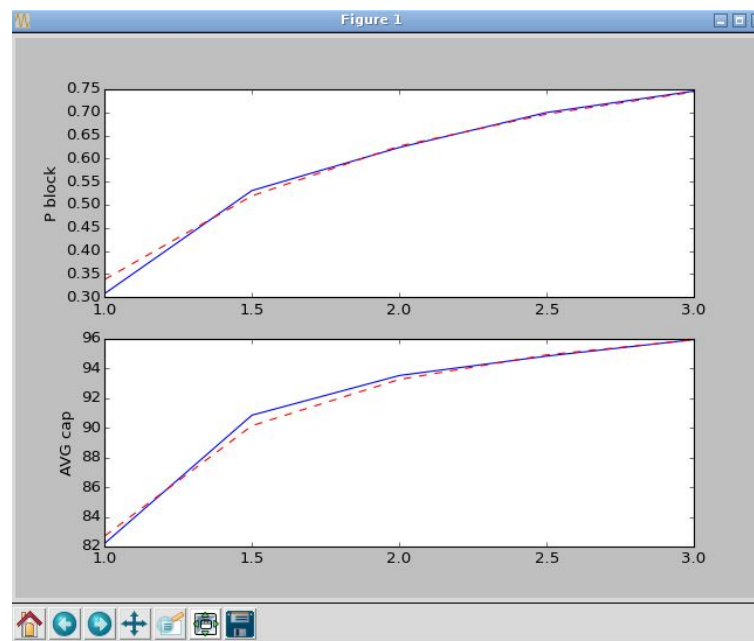


Figura 1: Gráfico com a evolução da % de ocupação e link load

De acordo com o gráfico, podemos ver que quando a capacidade já vai a 60 e pouco por cento de ocupação que a probabilidade de bloqueio é de aproximadamente 2%. Depois, à

medida que vão chegando mais pedidos, a probabilidade de ocupação da capacidade aumenta e, conseqüentemente, a probabilidade de bloqueio também aumenta, pois a rede fica mais ocupada, sobrecarregada.

2.

Comparar os resultados da simulação (numericamente e graficamente) com as métricas de desempenho teoricamente esperadas.

Foi efectuado apenas um cálculo de cada para exemplificar este exercício. Foi calculado para $\lambda = 1$ com duração média de chamadas ($1/\mu$) = 10 tendo como base as seguintes formulas:

$$\text{Blocking probability: } \frac{\frac{\rho^C}{C!}}{\sum_{i=0}^C \frac{\rho^i}{i!}}, \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\text{Average link load (percentage): } \frac{1}{C} \frac{\sum_{i=1}^C \frac{\rho^i}{(i-1)!}}{\sum_{i=0}^C \frac{\rho^i}{i!}}, \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

- **Blocking probability:**

Logo $\rho = 1/\mu = 10$, ou seja, $\mu = 10 \rightarrow \rho = 1/0,1 = 10$

$C \rightarrow$ capacidade = $B/b = 16\text{Mbits/s}/2\text{Mbits/s} = 8\text{Mbits}$

O calculo foi feito apenas para a percentagem de bloqueio, portanto:

$$10^8/8! / (10^0/0! + 10^1/1! + 10^2/2! + 10^3/3! + 10^4/4! + 10^5/5! + 10^6/6! + 10^7/7! + 10^8/8!) = 0,338 \text{ (aproximadamente)}$$

- **Average link load:**

Sabendo já o valor da capacidade e do ρ , basta apenas proceder à formula para o cálculo do average link load:

$$= \frac{1}{8} \times ((10^1/0! + 10^2/1! + 10^3/2! + 10^4/3! + 10^5/4! + 10^6/5! + 10^7/6! + 10^8/7!) / 10^0/0! + 10^1/1! + 10^2/2! + 10^3/3! + 10^4/4! + 10^5/5! + 10^6/6! + 10^7/7! + 10^8/8!) = 0,827 \times 100\% = 82,7\% \text{ (aproximadamente)}$$

Tendo em conta o resultado obtido para a probabilidade de bloqueio para $\lambda = 1$, olhando para o gráfico vemos que quando $\lambda = 1$ o valor ronda entre 0,30 a 0,35, portanto conclui-se que o resultado obtido é próximo do observado no gráfico da figura 1. O mesmo se verifica para o average link load, em que também para a mesma taxa de pacotes/s o valor da cerca de 82,7 %.

3.

Considerar agora que VCs deve ter de 2 tipos diferentes: standard e especial. VCs standard requer 2 Mbits/s e o VCs especial requer 4 Mbits/s. Os nós devem ter R Mbits/s reservados para VCs especiais. Pretende-se então neste exercício criar um script de simulação **VCSim2.py** em python para inferir pela simulação de desempenho do nó 1 em termos de percentagem de bloqueio standard VCs, percentagem de bloqueio de VCs especial e link load médio, para vários valores de tráfego:

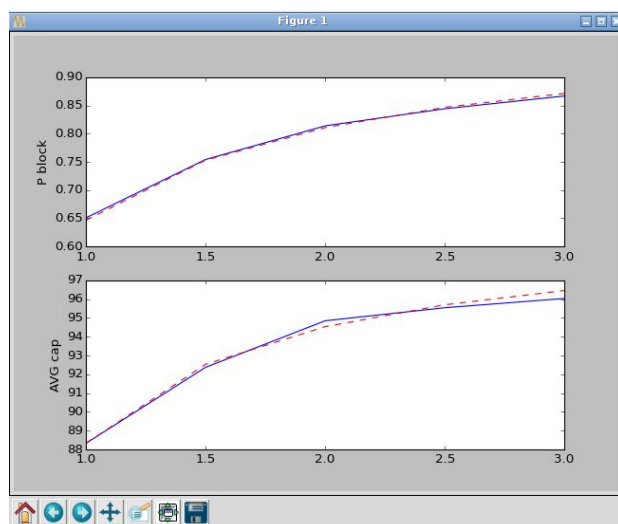


Figura 3: VCs especial (4 Mbits/s)

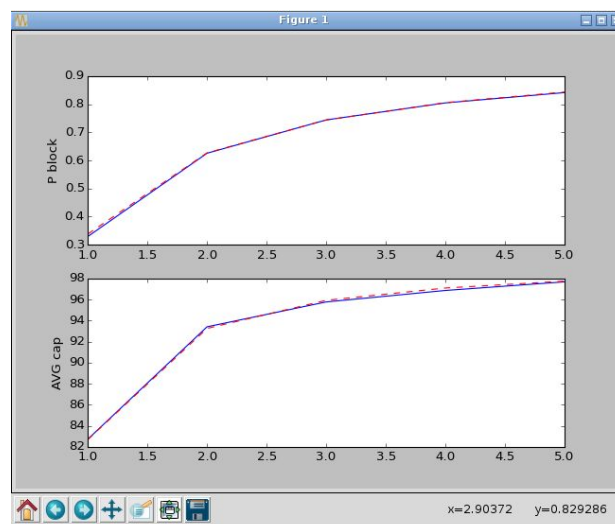


Figura 4: VCs standard (2 Mbits/s)

Os gráficos mostram os resultados dos diferentes VCS. Para o gráfico da figura 3, a taxa de chamadas efectuadas tinha os seguintes valores: 1, 1.5, 2, 2.5 e 3 enquanto que no da figura 4 eram: 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 e 5. A duração média das chamadas era a mesma e apenas variava o nº de bits por segundo requeridos pelas chamadas.

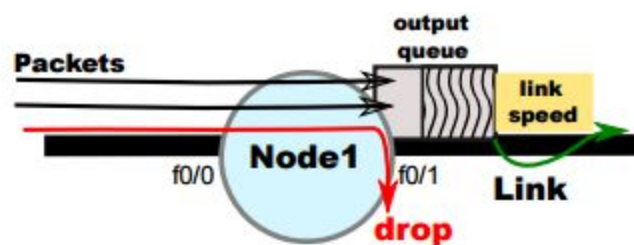
Olhando para ambos os gráficos, podemos facilmente concluir que estes resultados fazem sentido, pois na figura 3 inicialmente a capacidade atinge logo 65% da ocupação, isto

deve-se ao facto de o valor do VCs ser de 4 Mbits/s, ou seja, necessita de mais dados para as chamadas do que o gráfico da figura 4, que inicialmente apenas tem 30 e pouco por cento de ocupação visto que apenas necessita de 2 Mbits/s. Na parte final do gráfico, podemos ver que a percentagem de ocupação de ambos é praticamente igual, visto que o nº de chamadas vai aumentando em cada uma das amostras.

Packet Switched Network

Single-queue simulation

4.



Neste exercício assume-se que o nó da rede (Node 1) é um router com grande velocidade de routing conectado a um link de 2Mbps. Tanto o interface de entrada como o de saída têm tamanho de entrada limitado e filas FIFO de saída. O Node1 recebe pacotes na interface f0/0 e faz o routing deles para a ligação de 2Mbps usando o interface f0/1. Considerando que o fluxo de pacotes recebidos pelo Node1 são caracterizados por: (i) o tempo entre chegada de pacotes é uma variável exponencial aleatória distribuída com média $1/\lambda$ e (ii) o tamanho dos pacotes é uma variável discreta inteira aleatória com as seguintes percentagens: 50% para 64 bytes, 50% para 1500 bytes. De notar que a velocidade de transmissão da ligação depende dos tamanho dos pacotes.

Portanto, baseando no código fornecido no script python PktSim1.py, inferir pela simulação de desempenho do Node1 em termos de (i) perda de pacotes (percentagem de pacotes descartados devido a overflow da fila), (ii) atraso médio de pacotes e (iii) largura de banda transmitida, para o seguinte tráfego e valores do tamanho da fila:

λ (pkts/sec): 150, 300, and 450;
Queue size (packets): 64, 96, 128, and 10000.

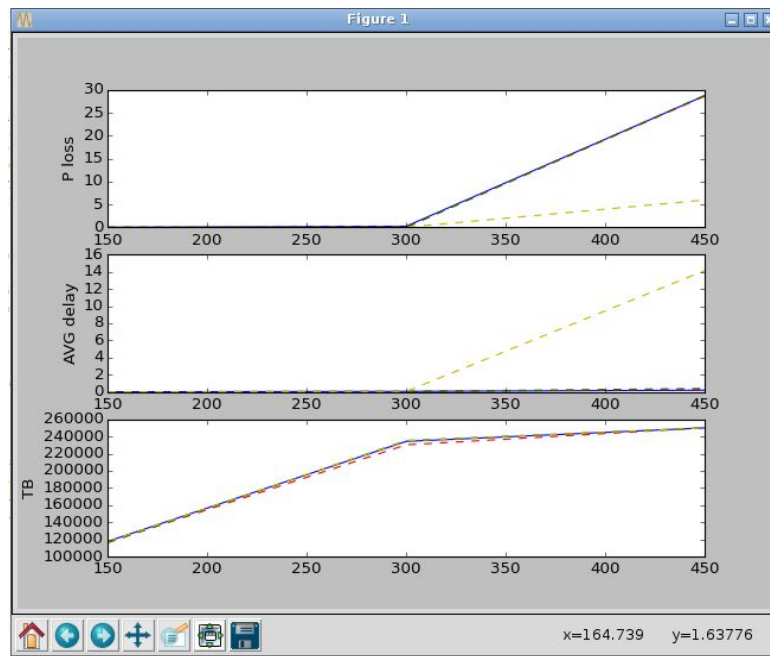


Figura 5: Gráficos da percentagem de perda, atraso e largura de banda

As perdas vão aumentar porque o tráfego também aumenta. Em relação aos gráficos obtidos, concluímos que os resultados fazem sentido, pois quanto menor for a fila de espera, maior será a percentagem de perda de pacotes, mas o atraso médio será menor.

5.

No exercício 5 era pedido que com os resultados da performance da simulação, desenhar algumas conclusões sobre o desempenho do Nó1 para os diferentes valores de entrada de taxa de pacotes e tamanho da fila. Depois, comparar os resultados de desempenho obtidos pela simulação com valores teóricos de atraso médio, média de ocupação da fila e perda de pacotes para os modelos de queueing M/M/1, M/D1, M/G/1 e M/M/1/K.

Abaixo encontram-se as formulas para os respectivos modelos:

- M/M/1

$$W = 1/(\mu - \lambda) \rightarrow \text{atraso médio}$$

$$\mu = 319,69$$

Para $\lambda = 150$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 0,47$$

$$W = 1/(319,69 - 150) = 0,005893 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 0.94$$

$$W = 1/(319,69 - 300) = 0,05708 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = >1$$

W dá negativo, logo há perda de pacotes

Atraso médio da fila:

$$Wq = \lambda / \mu(\mu - \lambda)$$

Para $\lambda = 150$:

$$Wq = 150 / 319,69(319,69 - 150) = 0,0027 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$Wq = 0,0476 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

Wq dá negativo, logo há perda de pacotes

Média de ocupação da fila:

$$Lq = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda)$$

Para $\lambda = 150$:

$$Lq = 0,41$$

Para $\lambda = 300$:

$$Lq = 14,30$$

Para $\lambda = 450$:

Lq dá negativo, logo há perda de pacotes

- M/D/1

$$W = 1/\mu + \lambda / (2\mu(\mu - \lambda))$$

Para $\lambda = 150$:

$$W = 1/319,69 + 150 / (2 \times 319,69 \times (319,69 - 150)) = 0,0045 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$W = 0,2696 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

W dá negativo, logo há perda de pacotes

Atraso médio da fila:

$$Wq = W - 1/\mu$$

Para $\lambda = 150$:

$$Wq = 0,0045 - 1/319,69 = 0,0013 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$Wq = 0,2696 - 1/319,69 = 0,26647 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

Wq dá negativo, logo há perda de pacotes

Média de ocupação da fila:

$$Lq = \lambda Wq$$

Para $\lambda = 150$:

$$Lq = 0,195$$

Para $\lambda = 300$:

$$Lq = 79,911$$

- M/G/1

Transforma-se em M/M/1, pois o tempo de serviço é exponencial/distribuído, logo os resultados são os calculados anteriormente.

- M/M/1/K

$$W = (1/\lambda) * ((pb/1-pb) - ((2*pb^2)/(1-pb^2)))$$

Para $\lambda = 150$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 0,47$$

$$W = 0,00214 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 0.94$$

$$W = 0,001616 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = >1(1.41)$$

$$W = 0,0012 \text{ s}$$

Atraso médio da fila:

$$Wq = W - 1/\mu$$

Para $\lambda = 150$:

$$Wq = 0,00214 - 1/319,69 = < 0 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$Wq = 0,001616 - 1/319,69 = < 0 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$Wq = 0,0012 - 1/319.69 = < 0 \text{ s}$$

Média de ocupação da fila:

$$Lq = \lambda Wq$$

Para $\lambda = 150, 300, 450$:

$$Lq = < 0$$

6.

Neste exercício assume-se que a rede agora tem o Node2 que é um router com routing speed de 350 pacotes/s conectado a um link com 10Gbps. Os interfaces de entrada e saída têm a mesma capacidade, bem como a fila de espera respectivamente. A restante descrição do exercício é exactamente igual à do exercício 4, no qual se pretende calcular a percentagem de perda de pacotes, atraso médio e largura de banda.

A figura seguinte ilustra a rede deste exercício:

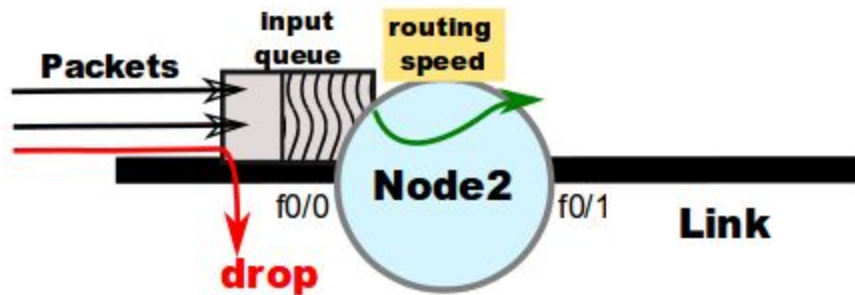


Figura X: Rede do exercício 6

De acordo com a rede da figura acima, era suposto criar um script em python (**PktSim2.py**) que calculasse a percentagem de perda de pacotes, atraso médio e largura de banda, para isso a figura seguinte mostra todos esse resultados nos respectivos gráficos:

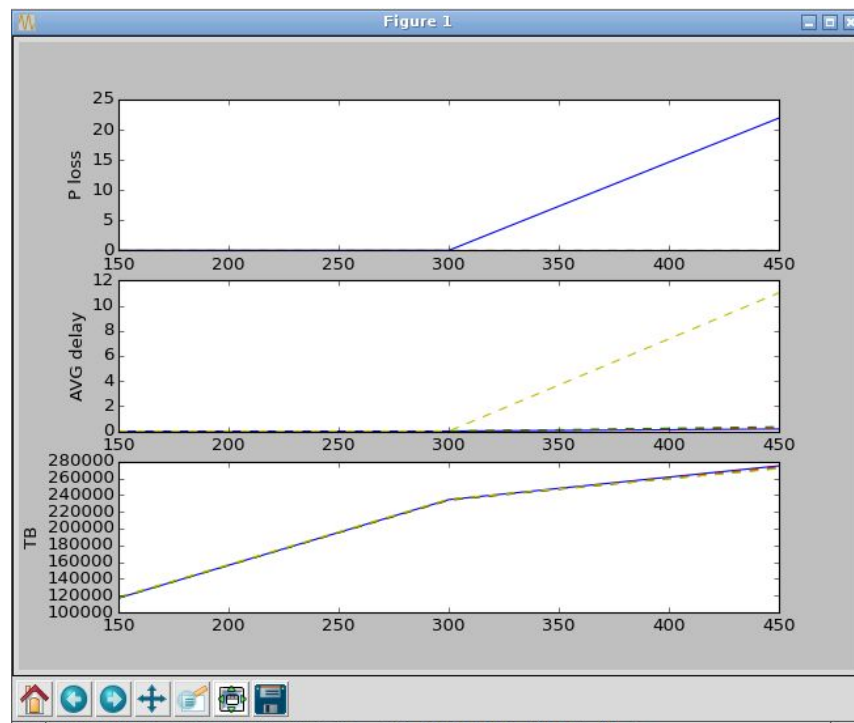


Figura X: Gráficos com resultados obtidos através da execução do script

Através da análise dos gráficos podemos concluir que fazem sentido, uma vez que o routing speed é de 350 pacotes/s a fila de espera é constante e o link tem capacidade infinita praticamente (10Gbps/s) e por isso é natural que a partir dos 300 pacotes/s a percentagem de

perda de pacotes vá aumentando, assim como o atraso médio e consequentemente isso leva a que a largura de banda aumente.

7.

Neste exercício era pedido que conforme os resultados desempenhados nas simulações, tirar conclusões acerca do desempenho do Node2 para diferentes taxas de pacotes (λ) e tamanhos de fila. Depois comparar os resultados obtidos pela simulação com valores teóricos de atraso médio, média de ocupação da fila e perda de pacotes para os modelos M/M/1, M/D/1, M/G/1 e M/M/K/1.

- M/M/1

$$W = 1/(\mu - \lambda) \rightarrow \text{atraso médio}$$

$$\mu = 10e9/782*8 \Leftrightarrow \mu = 1598465$$

Para $\lambda = 150$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 9e-5$$

$$W = 1/(1598465 - 150) = 6e-7 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 1,8e-4$$

$$W = 1/(1598465 - 300) = 6,25e-7 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 2,8e-4$$

$$W = 1/(1598465 - 300) = 6,25e-7 \text{ s}$$

Atraso médio da fila:

$$Wq = \lambda / \mu(\mu - \lambda)$$

Para $\lambda = 150$:

$$Wq = 150 / 1598465(1598465 - 150) = 5,87e-11 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$Wq = 1,17e-10 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$Wq = 1,76e-10.$$

Média de ocupação da fila:

$$Lq = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda)$$

Para $\lambda = 150$:

$$Lq = 8,8e-9$$

Para $\lambda = 300$:

$$Lq = 3,52e-8$$

Para $\lambda = 450$:

$$Lq = 7,9e-8$$

- M/D/1

$$W = 1/\mu + \lambda / (2\mu(\mu - \lambda))$$

Para $\lambda = 150$:

$$W = 1/1598465 + 150 / (2 \times 1598465 \times (1598465 - 150)) = 6,25e-7 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$W = 6,25e-7 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$W = 6,25e-7 \text{ s}$$

Atraso médio da fila:

$$W_q = W - 1/\mu$$

Para $\lambda = 150$:

$$W_q = 2,93e-11 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$W_q = 5,87e-11 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$W_q = 8,8e-11 \text{ s}$$

Média de ocupação da fila:

$$L_q = \lambda W_q$$

Para $\lambda = 150$:

$$L_q = 4,396e-9$$

Para $\lambda = 300$:

$$L_q = 1,76e-8$$

Para $\lambda = 450$:

$$L_q = 3,96e-8$$

- **M/G/1**

Transforma-se em M/M/1, pois o tempo de serviço é exponencial/distribuído, logo os resultados são os calculados anteriormente.

- **M/M/1/K**

$$W = (1/\lambda) * ((pb/1-pb) - ((2*pb^2)/(1-pb^2)))$$

Para $\lambda = 150$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 9e-5$$

$$W = 6,25e-7 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 1,8e-4$$

$$W = 6,25e-7 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$pb = \lambda/\mu \Leftrightarrow pb = 2,8e-4$$

$$W = 6,25e-7 \text{ s}$$

Atraso médio da fila:

$$W_q = W - 1/\mu$$

Para $\lambda = 150$:

$$W_q = 0,00214 - 1/319,69 = < 0 \text{ s}$$

Para $\lambda = 300$:

$$W_q = 0,001616 - 1/319,69 = < 0 \text{ s}$$

Para $\lambda = 450$:

$$W_q = 0,0012 - 1/319,69 = < 0 \text{ s}$$

Média de ocupação da fila:

$$L_q = \lambda W_q$$

Para $\lambda = 150, 300, 450$:

$$L_q = < 0$$

8.

Multi-queue simulation

9.

Neste exercício assumia-se que a rede com dois nós (Nó1 e Nó2) que são Routers com grande velocidade de routing interconectado e conectado para 2 Mbits/s. Ambos os interfaces (entrada e saída) têm um limite de capacidade nas filas FIFO. O nó1 recebe pacotes no interface f0/0 e manda-os para o nó2 pelo interface f0/1, e o nó2 recebe os pacotes no interface f0/0 e manda-os para o link de 2 Mbits pelo interface f0/1. Considera-se também que o fluxo de pacotes recebidos pelo nó1 e filas de espera têm as mesmas características.

A figura seguinte exemplifica a rede deste exercício:

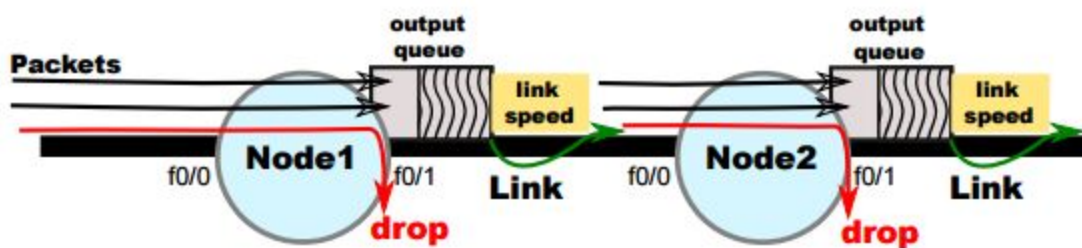


Figura X: Multi-queue simulation: 2 Nós com 2 Links

Tendo em conta a situação apresenta, procedeu-se à produção dos gráficos representado os valores da percentagem de perda de pacotes e atraso médio:

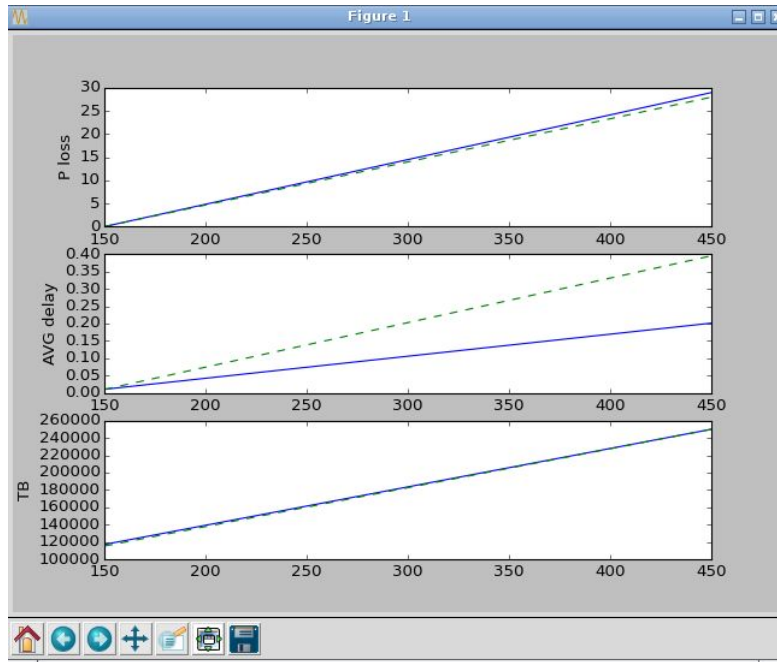


Figura X: Percentagem de perda de pacotes,, atraso médio e largura de banda transmitida

Estes resultados fazem sentido, pois para uma taxa de 150 pacotes/s e uma fila de espera com capacidade para 64 pacotes, a percentagem de perda de pacotes é praticamente nula, e obviamente de igual forma se verifica o mesmo para um tamanho da fila igual a 128 pacotes. Mas à medida que a taxa vai aumentando, as filas de espera vão começando cada vez mais a ficar cheias e quando enchem os pacotes que chegam são descartados e por isso a percentagem de perda de pacotes aumenta, daí tanto para o tamanho da fila de 64 como para 128 a percentagem é praticamente igual.

No que toca ao atraso médio, inicialmente como a fila de espera tem capacidade para suportar a quantidade de pacotes que chegam atraso médio é praticamente o mesmo. À medida que se vai aumentando a taxa de pacotes, o atraso para a fila de espera de 64 é menor que o de 128, pois a de 64 enche mais rapidamente e portanto também acaba por haver mais pacotes descartados e o atraso não é tão significativo, mas já a de 128 como vai armazenar mais pacotes, mais tempo vai demorar a processá-los e por isso o mesmo o atraso médio é maior do que na fila com tamanho de 64.

A largura de banda é sempre a mesma para ambos, porque depende apenas do overall de bytes recebidos e do tempo de simulação.

10.

Neste exercício era pedido que se comparasse os resultados desempenhados obtidos pela simulação com os valores teóricos obtidos usando a aproximação de Kleinrock, assumindo que o sistema obedece a todos os requisitos para a aproximação.

A abordagem inicial para este exercício é analisar com detalhe a formula de aproximação de Kleinrock e aplicá-la de acordo com o contexto do exercício. O raciocínio feito para este exercício foi o seguinte:

Se:

$$W = \frac{1}{\gamma} \sum_{(i,j)} \frac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij} - \lambda_{ij}} \quad \gamma = \sum_s x_s$$

Então:

$$W = 1/\gamma (\lambda_1 / (\mu_1 - \lambda_1) + \lambda_2 / (\mu_2 - \lambda_2))$$

$$\mu_1 = \mu_2 = B/\text{taxa med pkts, em que } B = \text{largura de banda (bytes/s)}$$

Como para este exercício não existe perda de pacotes, então:

$$\lambda_1 = \lambda_2 \quad \text{e} \quad \lambda_1 = \lambda_2 - \lambda = \gamma$$

Logo:

$$W = 1/(\mu_1 - \lambda_1) + 1/(\mu_2 - \lambda_2) \text{ ,tendo em conta as inferições anteriores:}$$

$$W = 1/(\mu_1 - \lambda_1) + 1/(\mu_1 - \lambda_1) = 2/(\mu_1 - \lambda_1)$$

No print seguinte é mostrado o resultado de Kleinrock para um exemplo (um basta para ajudar a entender), com o tamanho da fila de espera de 128 pacotes e a taxa de pacotes é de 450 pacotes por segundo:

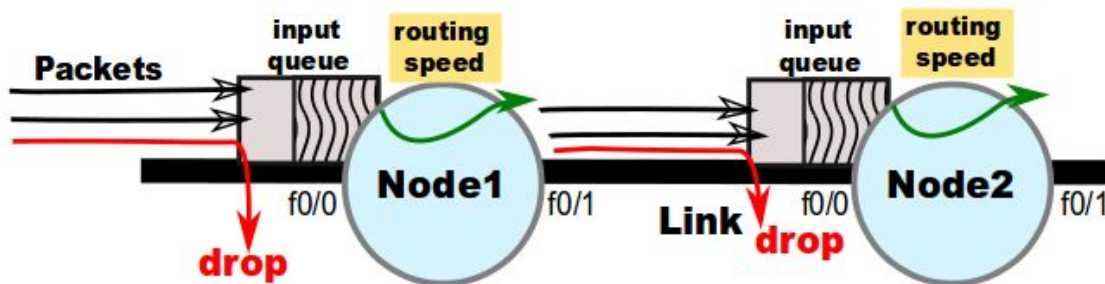
```
Loss probability: 28.00%
Average delay: 0.398073 sec
Transmitted bandwidth: 249942.0 Bytes/sec
KleinRock W = -0.015348
```

Figura X: Com tamanho da fila = 128 e taxa de pacotes = 450

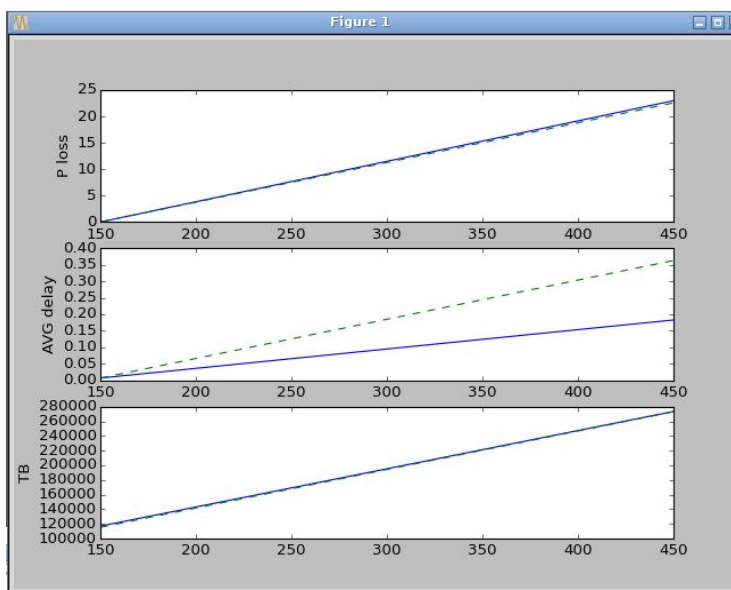
Portanto, olhando para o valor obtido de Kleinrock, podemos concluir que no contexto do exercício faz sentido, uma vez que a percentagem de perda ronda os 28%, então significa que vai haver perda de pacotes e por isso mesmo é que o atraso vai ser menor do que o esperado, daí o valor de W (atraso médio) ser inferior a 0. Se o atraso fosse W = 0, então a percentagem de perda de pacotes teria de ser de 0%.

11.

Neste exercício era necessário saber o valor da percentagem de perda, atraso médio e largura de banda na seguinte situação:



Abaixo seguem-se o respectivo gráfico e print das estatísticas obtidas:



```
Loss probability for 64 queue size
[0.006637021304833901, 22.2493778883754]
Loss probability for 128 queue size
[0.0, 22.59919493962047]
kleinrock 64: 0.221071809
kleinrock 128: 0.223249436
Loss probability: 22.60%
Average delay: 0.362583 sec
Transmitted bandwidth: 275564.2 Bytes/sec
```

Figura X: Gráfico resultante do exercício 11 e respectivas estatísticas

De acordo com o gráfico e estatísticas obtidas, podemos concluir que inicialmente para 150 pacotes/s em filas de 64 e 128, e com a velocidade de transporte de tráfego nos links infinita, a percentagem perda de pacotes é nula. O mesmo já não acontece quando a taxa é de 450 pacotes/s, pois o routing sped é de apenas 350 pacotes/s e portanto é natural que haja pacotes perdidos, daí a percentagem de perda de pacotes ser de aproximadamente 22%.

Em relação ao Kleinrock, como neste exercício temos atrasos nos nós 1 e 2, temos de somar os pacotes perdidos nos nós 1 e 2 e dividir pelo total de pacotes enviados. Os links não vão interferir aqui, pois têm capacidade ilimitada.

12.

Neste exercício assumia-se que a rede tinha um único Nó (Node1) que é um router com routing speed de 350 pacotes/s e ligado a um link com 2Mbts/s. Interfaces de entrada e saída tinham o tamanho limitado, assim como a fila de espera.

Pretendia-se então inferir um script em python (**PktSim5.py**) pela simulação os valores da percentagem de perda e atraso médio. Depois comparar os resultados obtidos com os valores teóricos pela aproximação de Kleinrock.

Na figura seguinte é possível ver a rede deste exercício:

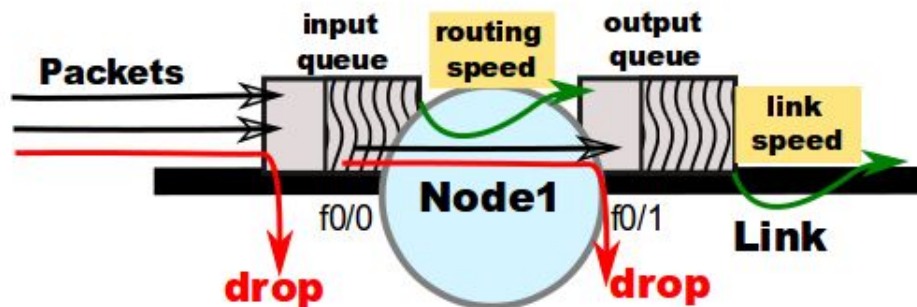
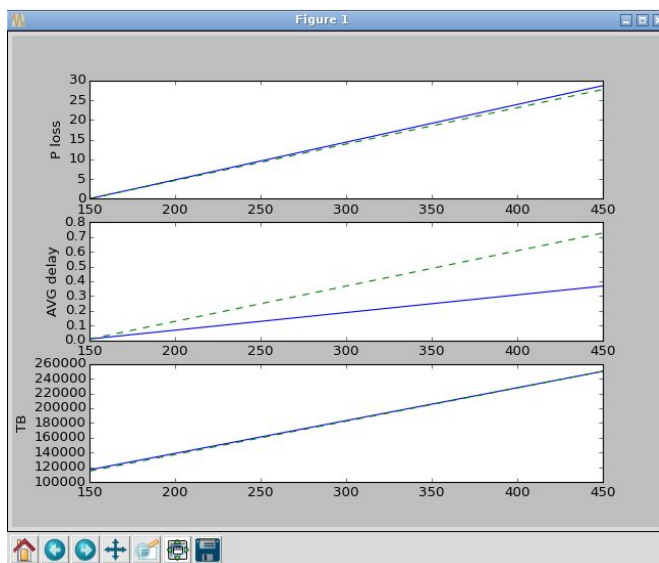


Figura X: Rede com filas de espera antes e depois do Node1

Abaixo podemos ver o gráfico e estatísticas resultantes da implementação do script mencionado neste exercício para as taxas de pacotes de 150 e 450, e para os tamanhos de fila de 64 e 128:



```
Loss probability for 64 queue size
[0.013439956992133961, 28.84179157585731]
Loss probability for 128 queue size
[0.0, 29.754864240958558]
Loss probability: 29.75%
Average delay: 0.738361 sec
Transmitted bandwidth: 249978.9 Bytes/sec
```

Figura X: gráfico e estatísticas resultantes da execução do script

Comparando estes resultados com os do exercício 11, podemos concluir que fazem sentido, uma vez, para além do Nó ser apenas um mas com a mesma velocidade de routing (350 pacotes /s), os links têm capacidade limitada, ao cabo que no exercício anterior havia 2 Nós mas os links não tinham limite de capacidade, e por isso é natural que a percentagem de perda de pacotes nesta rede seja maior que na do exercício anterior, bem como o atraso respectivamente.

Multi-queue simulation with routing

13.

Neste exercício temos 4 Nós que são Routers interligados por links com 10Mbps/s. Tanto os interfaces de entrada como de saída tinham tamanho limitado, bem como o tamanho λ das filas de espera. Esta rede permite a transmissão de fluxo de pacotes a partir de 2 LANs para a Internet. As LANs geram fluxos de pacotes onde o tempo entre chegada de pacotes é uma variável aleatória exponencialmente distribuída com média $1/\lambda$ e o tamanho dos pacotes é uma variável discreta aleatória com percentagens de 50% para 64 bytes e 50% para 1500 bytes.

O objectivo do exercício passa por inferir pela simulação a percentagem de perda de pacotes e o seu atraso médio.

A figura seguinte ilustra o exercício descrito:

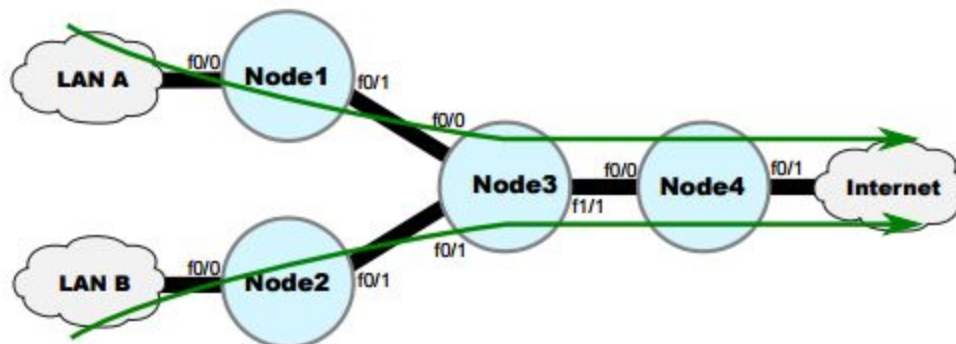


Figura X: Rede do exercício 13

De seguida abaixo é mostrado o gráfico com os resultados para as taxas 150, 300, 450 e 600 pacotes por segundo e para os tamanhos de fila de 64, 96, 128 e 256:

- Capacidade de roteamento 500 pacotes/seg

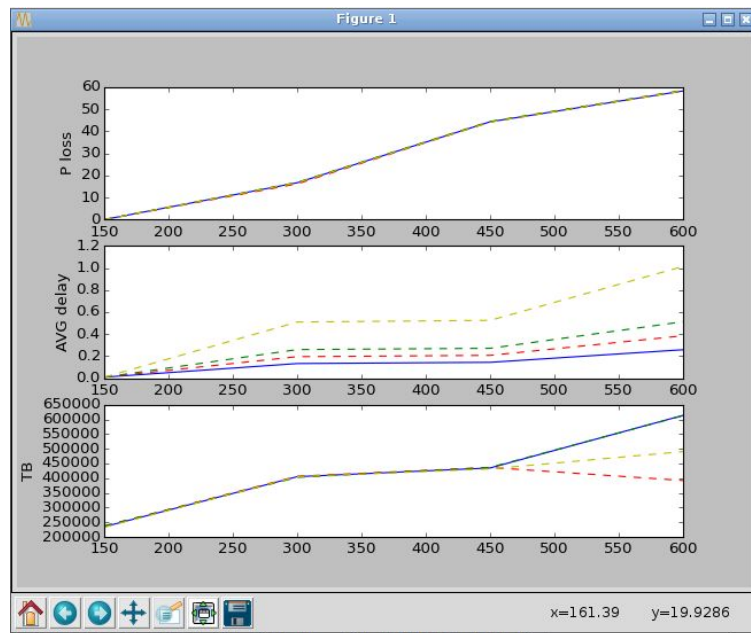


Figura X: Gráficos obtidos para capacidade de roteamento de 500 pacotes/s

- Capacidade de roteamento 750 pacotes/seg

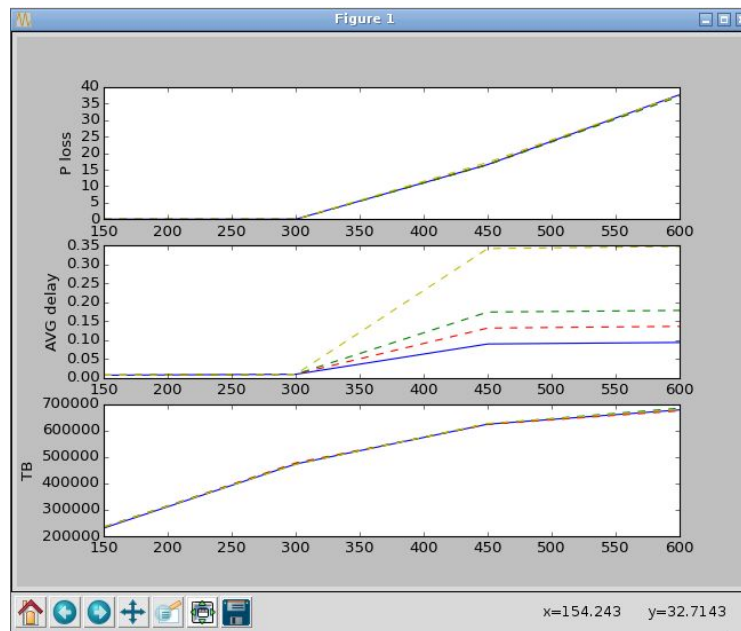


Figura X: Gráficos obtidos para capacidade de roteamento de 750 pacotes/s

- Capacidade de roteamento 1000 pacotes/seg

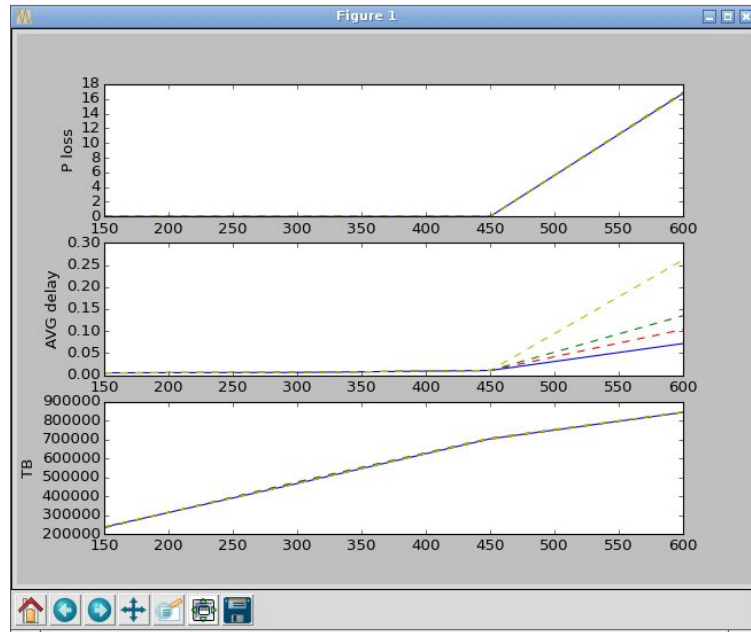


Figura X: Gráficos obtidos para capacidade de roteamento de 1000 pacotes/s

Como se pode verificar nos gráficos, para uma velocidade de roteamento em todos os routers igual a 500 pacotes por segundo verificamos que para um λ igual a 300 pacotes por segundo já temos perdas na ordem dos 15% a 20%, isto deve-se porque embora sejam menos pacotes do que a capacidade dos routers, este tráfego vai juntar-se no router 3 ultrapassando assim a capacidade dos routers, traduzindo-se na perda de pacotes isto para qualquer um dos tamanhos das filas. No que diz respeito ao atraso este também só se evidencia quando a soma dos tráfegos A e B ultrapassa a capacidade de roteamento ou seja para λ s iguais a 300 pacotes por segundo, e como era de esperar varia com o tamanho das filas isto é para filas com maior capacidade o atraso aumenta. No que diz respeito a taxa de transmissão esta aumenta com o aumento dos pacotes como esperado nunca atingindo a capacidade máxima.

Para capacidades de roteamento de 750 e 1000 pacotes por segundo, o comportamento é semelhante diferindo apenas no valor do λ isto é quando a soma dos tráfegos ultrapassa a capacidade de roteamento.

14.

Tendo em conta o que foi feito no exercício anterior, respectiva rede e os mesmos valores de taxa de pacotes/s, tamanhos da fila de espera, etc mas desta vez também existe

tráfego no sentido oposto, ou seja, da Internet para as LANs A e B. Para ajudar melhor na ilustração da rede é mostrada na seguinte figura o seu respectivo esquema:

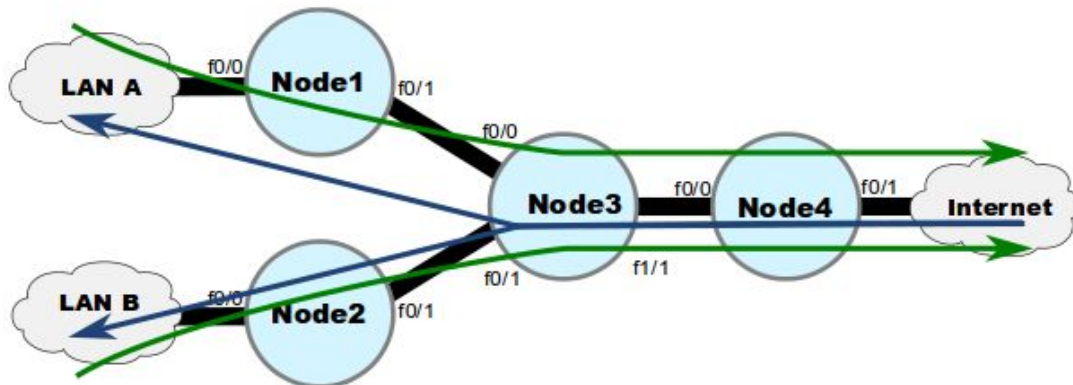


Figura X: Rede com tráfego das LANs para a Internet e vice-versa

Para a realização do respectivo script em python que é pedido para calcular a percentagem de perda e o atraso médio, é necessário estabelecer novos links entre os nós (Nodes) para o tráfego da Internet até às respectivas LANs, ou seja, é necessário estabelecer um outro link por exemplo entre o Node 4 e o Node 3 e por aí em diante.

As seguintes figuras mostram os gráficos obtidos com a percentagem de perda de pacotes, atraso médio e largura de banda para as capacidades de roteamento de 500 e 750 pacotes/s:

- **Capacidade de roteamento 500 pacotes/seg**

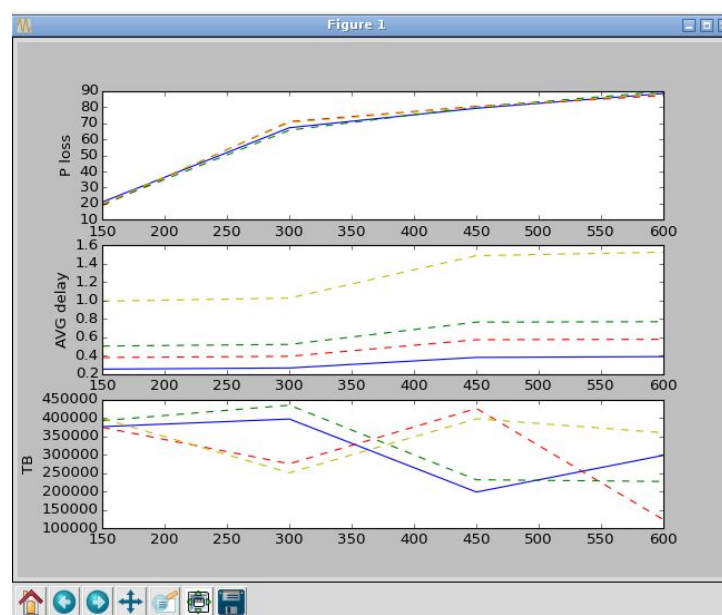
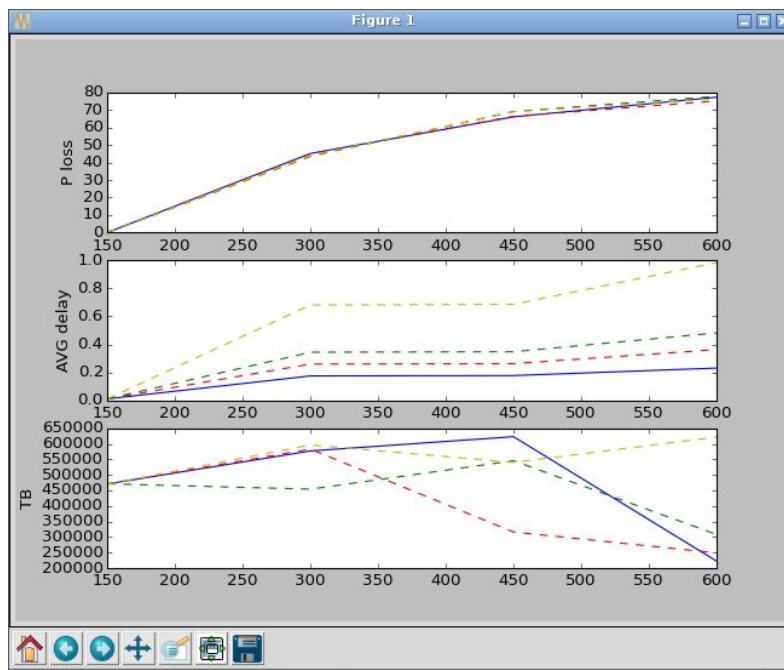
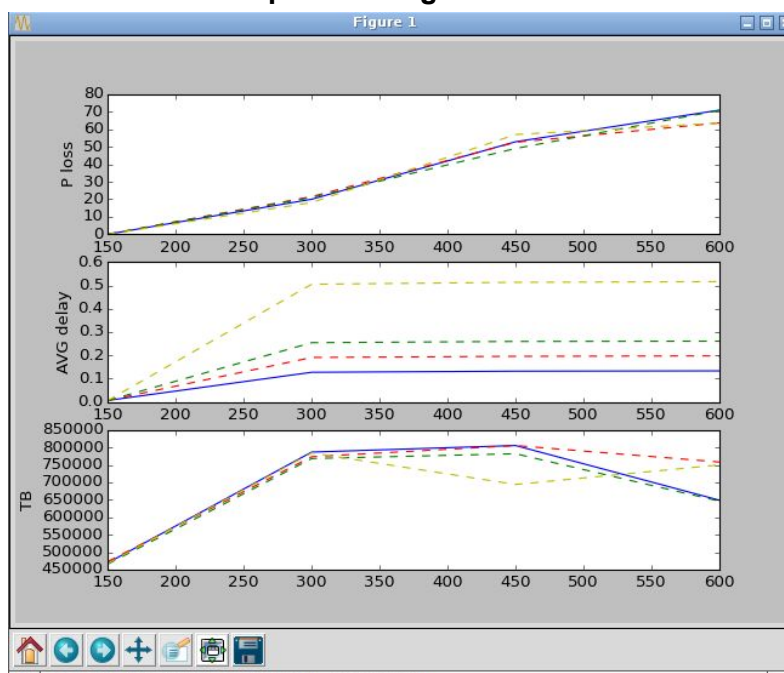


Figura X: Gráfico para capacidade de roteamento de 500 pacotes/s

- Capacidade de roteamento 750 pacotes/seg



- Capacidade de roteamento 1000 pacotes/seg



Come se pode verificar para capacidades de roteamento igual a 500 pacotes por segundo, mesmo para um λ igual a 150 pckts/seg já se observa uma probabilidade de perda na ordem dos 25%, isso deve-se ao facto de a soma das fontes de pacotes (igual a 600 pckts/seg) ser superior a capacidade de roteamento. Já o atraso médio aumenta com o aumento do tamanho das filas, sendo também evidente que mesmo para um λ igual a 150 pckts/seg já se regista um atraso considerável, pois como observamos já existem percas de pacotes e consequente povoamento das filas. No que diz respeito a velocidades de roteamento de 750 e 1000 pacotes por segundo só começamos a ter percas de pacotes a partir de um λ igual a 300 pckts/seg (soma das fontes igual a 1200 pckts/seg) pois já ultrapassa a capacidade de roteamento dos routers. Nestes últimos casos o atraso médio também só se começa a verificar a partir dos mesmos 300 pacotes por segundo, que é quando as filas começam a receber pacotes, aumentando com o tamanho das filas como esperado. No que toca a taxa de transmissão esta como espectável aumenta com a quantidade de tráfego na rede ou seja, é máxima para valores de λ maiores.