

Trabalho Prático I de Introdução a Sistemas Computacionais

Lucas Ribeiro da Silva
2022055564
Engenharia de Sistemas
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil
Email: lucasrsilvak@gmail.com

I. INTRODUÇÃO

Neste relatório consta as informações acerca do Trabalho Prático I da Disciplina de Introdução a Sistemas Computacionais. O documento encontra-se separado nas seguintes seções, a primeira, a descrição do dispositivo e sistema operacional, e em seguida, a comprovação do ambiente NS3 instalado, e em seguida os itens que foram solicitados no enunciado e por fim a conclusão.

II. DESCRIÇÃO DO AMBIENTE

Esta seção detalha as especificações do hardware e a configuração do ambiente de software utilizado para a instalação e execução do ambiente **NS-3.36.1**.

A. Especificações do Dispositivo

As informações acerca do dispositivo utilizado bem como o Sistema Operacional encontra-se na tabela abaixo.

Tabela I: Especificações de Hardware do Dispositivo

Componente	Detalhes
Dispositivo	Samsung GalaxyBook4
Processador	Intel(R) Core(TM) i5-120U (1.40 GHz)
Memória RAM	16,0 GB (utilizável: 15,7 GB)
Tipo de Sistema	Sistema operacional de 64 bits, processador x64
Sistema Operacional	Windows 11 Home Single Language, Versão 24H2

B. Ambiente de Configuração para NS-3

A instalação e execução do simulador **NS-3** (versão **NS-3.36.1**) foram realizadas através do **Windows Subsystem for Linux (WSL)**, dentro do sistema operacional Windows 11. Os detalhes da configuração do NS-3 são apresentados na Tabela II.

Tabela II: Detalhes do Ambiente de Configuração do NS-3

Configuração	Detalhes
Ambiente Auxiliar	Windows Subsystem for Linux (WSL)
Distribuição Linux no WSL	Ubuntu 22.04.5 LTS (Jammy Jellyfish)
Versão do NS-3 Utilizada	NS-3.36.1

III. AMBIENTE INSTALADO

Na imagem abaixo, encontra-se o NS-3 instalado no computador.

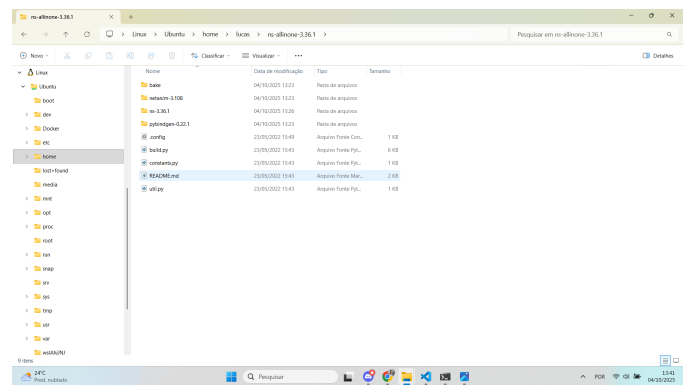


Figura 1: Arquivos do NS-3 no Repositório

E o teste do funcionamento do ambiente por meio do comando `run hello-simulator`.

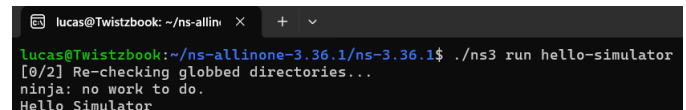


Figura 2: Teste do Funcionamento do Sistema

IV. TRABALHO PRÁTICO

Nesta seção, faremos o que foi proposto nos enunciados. Na primeira parte, configuraremos vários nós de cliente, cada um com um link ponto a ponto para o servidor, na segunda, adicionaremos um segundo link ponto a ponto do último nó na rede CSMA para outro nó e por último, substituiremos a LAN Ethernet por uma segunda rede WiFi com o mesmo número de nós que a primeira rede WiFi.

A. Primeira Parte

Na primeira parte do trabalho, alteramos o arquivo `first.cc` e configuramos vários nós de cliente, cada um com um link ponto a ponto para o servidor. O número de clientes e pacotes foi configurado para no máximo 5. A porta do

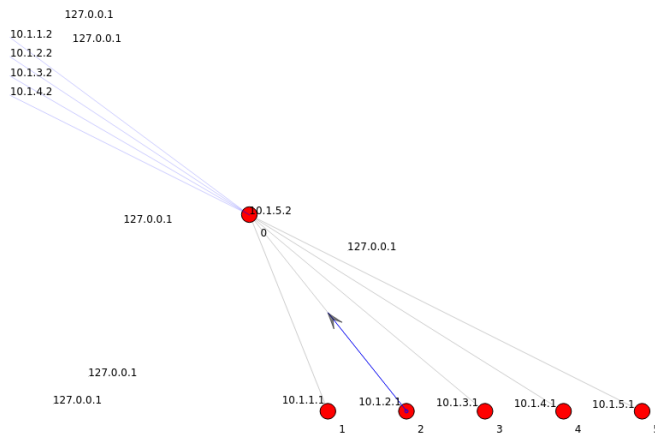


Figura 3: Topologia do Sistema Primeira Parte

UdpEchoServer foi definida com 15 e o tempo de configuração de UdpEchoClient foi definido aleatoriamente entre 2 e 7 segundos. A simulação roda em 20 segundos. A topologia do sistema está apresentada abaixo.

Para testar, foi definido um exemplo onde há 5 clientes e 4 pacotes. O resultado está abaixo.

```
lucas@Twistbook:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "scratch/lab1-part1 --nCsmas=4 --nPkts=10"
[0/2] Re-checking globed directories...
ninja: no work to do.
At time +2.27883s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +2.28251s server received 1024 bytes from 10.1.2.1 port 49153
At time +2.28251s server sent 1024 bytes to 10.1.2.1 port 49153
At time +2.2862s client received 1024 bytes from 10.1.2.2 port 15
At time +3.27883s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +3.28251s server received 1024 bytes from 10.1.2.1 port 49153
At time +3.28251s server sent 1024 bytes to 10.1.2.1 port 49153
At time +3.2862s client received 1024 bytes from 10.1.2.2 port 15
At time +3.77169s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +3.77538s server received 1024 bytes from 10.1.3.1 port 49153
At time +3.77538s server sent 1024 bytes to 10.1.3.1 port 49153
At time +3.77906s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 15
At time +4.27883s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +4.28251s server received 1024 bytes from 10.1.2.1 port 49153
At time +4.28251s server sent 1024 bytes to 10.1.2.1 port 49153
At time +4.2862s client received 1024 bytes from 10.1.2.2 port 15
At time +4.77169s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +4.77538s server received 1024 bytes from 10.1.3.1 port 49153
At time +4.77538s server sent 1024 bytes to 10.1.3.1 port 49153
At time +4.77906s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 15
At time +5.27883s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +5.28251s server received 1024 bytes from 10.1.2.1 port 49153
At time +5.28251s server sent 1024 bytes to 10.1.2.1 port 49153
At time +5.2862s client received 1024 bytes from 10.1.2.2 port 15
At time +5.64523s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +5.64892s server received 1024 bytes from 10.1.4.1 port 49153
At time +5.64892s server sent 1024 bytes to 10.1.4.1 port 49153
At time +5.65261s client received 1024 bytes from 10.1.4.2 port 15
At time +5.67229s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +5.67598s server received 1024 bytes from 10.1.5.1 port 49153
At time +5.67598s server sent 1024 bytes to 10.1.5.1 port 49153
At time +5.67966s client received 1024 bytes from 10.1.5.2 port 15
At time +5.77169s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +5.77538s server received 1024 bytes from 10.1.3.1 port 49153
At time +5.77538s server sent 1024 bytes to 10.1.3.1 port 49153
At time +5.77906s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 15
At time +6.44523s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +6.44892s server received 1024 bytes from 10.1.4.1 port 49153
At time +6.44892s server sent 1024 bytes to 10.1.4.1 port 49153
At time +6.45261s client received 1024 bytes from 10.1.4.2 port 15
At time +6.67229s client sent 1024 bytes to 10.1.1.2 port 15
At time +6.67598s server received 1024 bytes from 10.1.5.1 port 49153
```

Figura 4: Print da Execução (amostra do todo)

B. Segunda Parte

Para a segunda parte, alteramos o arquivo *second.cc* adicionando um segundo link ponto a ponto do último nó na rede CSMA para outro nó e configuramos o UdpEchoClient para rodar até 20 pacotes. A topologia da rede tem o seguinte formato:

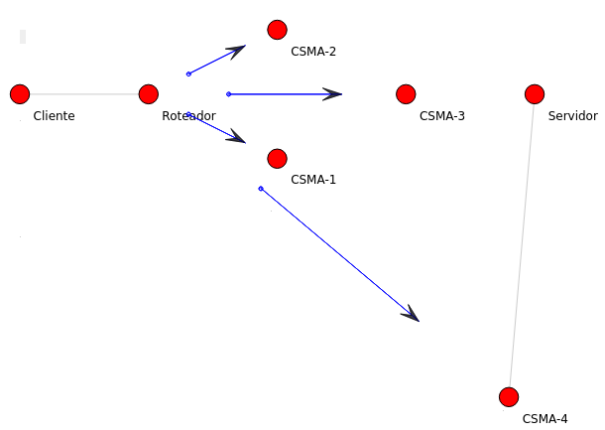


Figura 5: Topologia da Segunda Parte

Para testar, definimos o número de CSMA extras como 4 e o número de pacotes como 10. O resultado está abaixo.

```
lucas@Twistbook:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "scratch/lab1-part2 --nCsmas=4 --nPkts=10"
[0/2] Re-checking globed directories...
ninja: no work to do.
At time +2s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +2.01549s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +2.01549s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +2.03198s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +3s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +3.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +3.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +3.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +4s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +4.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +4.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +4.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +5s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +5.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +5.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +5.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +6s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +6.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +6.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +6.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +7s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +7.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +7.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +7.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +8s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +8.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +8.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +8.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +9s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +9.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +9.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +9.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +10s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +10.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +10.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +10.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
At time +11s client sent 1024 bytes to 10.1.3.2 port 9
At time +11.00746s server received 1024 bytes from 10.1.1.1 port 49153
At time +11.00746s server sent 1024 bytes to 10.1.1.1 port 49153
At time +11.01493s client received 1024 bytes from 10.1.3.2 port 9
```

Figura 6: Print da Execução Parte 2

A comparação entre a latência ponta-a-ponta do tempo entre requisição e resposta entre o original e o modificado está abaixo.

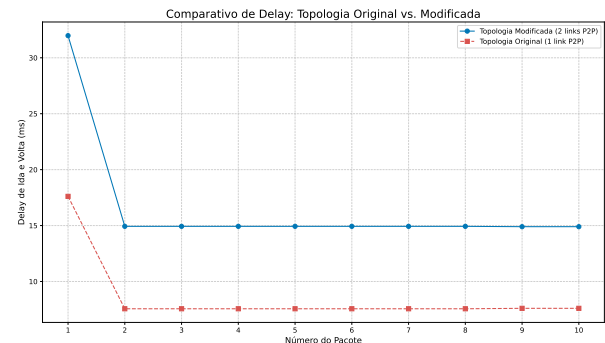


Figura 7: Comparação das respostas original e modificado

- 1) Não, a latência foi substancialmente maior que os valores de 8 e 4ms sugeridos. A discrepância pode ser explicada pelos atrasos de transmissão. Como cada pacote tem 1024 bytes ou seja, 8196 bits e a banda larga da rede é de 50kb, temos um atraso adicionado de $\frac{8196b}{56kb} = 1.64$ ms ao tempo de propagação, configurando 3.64 ms no total do tempo de ida. O tempo de ida e volta é duas vezes este valor e aproxima-se de 7.28 ms, o que é mais próximo do resultado observado. Na topologia modificada, o percurso é feito por 4 viagens e o tempo aproxima-se de 14.56 ms.
- 2) O atraso substancial da primeira resposta a requisição em relação as outras deve-se ao uso do protocolo ARP em broadcast para descobrir e traduzir o endereço IP do emissor e do destinatário para endereço físico (MAC).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	00:00:00:00:00:05	Broadcast	ARP	64	Who has 10.1.2.5? Tell 10.1.2.1
2	0.000012	00:00:00:00:00:09	00:00:00:00:00:05	ARP	64	10.1.2.5 is at 00:00:00:00:00:09
3	0.000105	10.1.1.1	10.1.3.2	UDP	1070	49153 -> 9 Len=1024
4	0.016400	00:00:00:00:00:09	Broadcast	ARP	64	Who has 10.1.2.1? Tell 10.1.2.5
5	0.016583	00:00:00:00:00:05	00:00:00:00:00:09	ARP	64	10.1.2.1 is at 00:00:00:00:00:05

Figura 8: Protocolo ARP

C. Terceira Parte

Para a terceira parte, alteramos o arquivo *third.cc* substituindo a Ethernet LAN pelo WiFi. Também foi criada um novo canal físico e configurados 2 APs para fazer a comunicação entre os dois canais físicos. A topologia da rede resultante tem o seguinte formato:

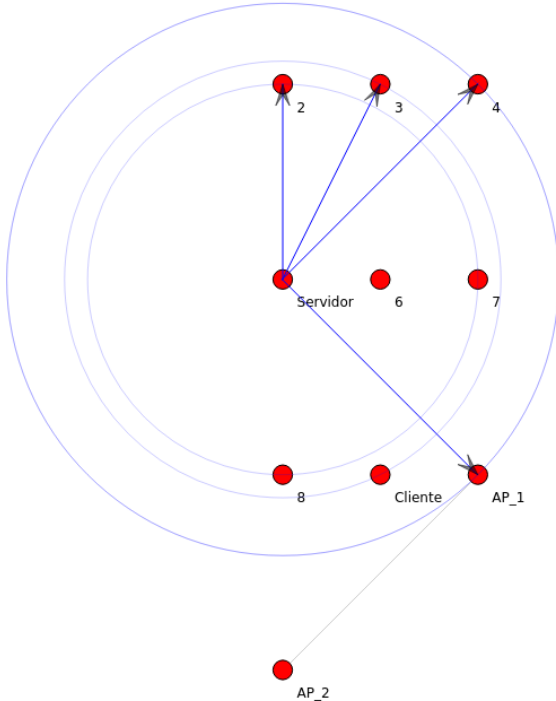


Figura 9: Topologia da Parte 3

Para testar, definimos o número de nós de WiFi como 4 e o número de pacotes como 10. O resultado está abaixo:

```
lucas@twistbook:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "lab1-part3 --nWifi=4 --nPackets=10"
[0/2] Re-checking globbed directories...
[2/2] Linking CXX executable ../build/scratch/ns3.36.1-lab1-part3-default
At time +2s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +2.03123s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +2.03123s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +2.06651s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +3s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +3.02153s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +3.02153s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +3.04338s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +4s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +4.02153s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +4.02153s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +4.04338s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +5s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +5.02153s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +5.02153s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +5.04338s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +6s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +6.02153s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +6.02153s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +6.04338s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +7s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +7.02153s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +7.02153s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +7.04338s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +8s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +8.02153s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +8.02153s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +8.04419s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +9s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +9.01718s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +9.01718s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +9.03468s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +10s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +10.0128s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +10.0128s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +10.0259s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
At time +11s client sent 1024 bytes to 10.1.2.4 port 9
At time +11.0128s server received 1024 bytes from 10.1.3.4 port 49153
At time +11.0128s server sent 1024 bytes to 10.1.3.4 port 49153
At time +11.0259s client received 1024 bytes from 10.1.2.4 port 9
lucas@twistbook:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$
```

Figura 10: Print da Execução Parte 3

Quanto a latência da parte 3, os resultados estão no gráfico abaixo. A principal diferença entre os dois é a instabilidade após configuração do canal, além de pequenas variações na latência. Essas instabilidades estão diretamente ligadas a não ser possível configurar o data-rate na rede de WiFi e os dispositivos configurarem o uso da rede de acordo com a disponibilidade do canal e do receptor.

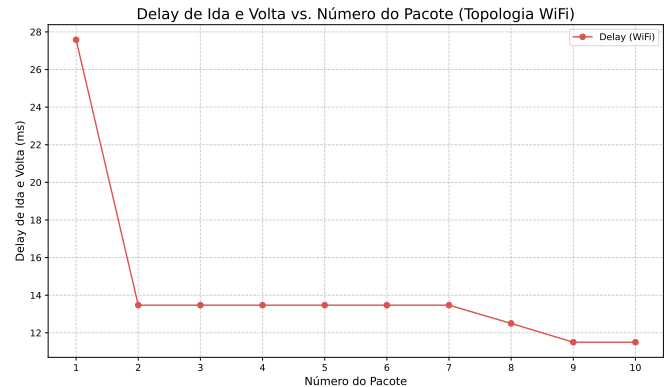


Figura 11: Latência da Parte 3

V. CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu a compreensão aprofundada dos temas estudados em sala de aula como latência, RTT, diferentes tipo de rede, comunicação ponta-a-ponta, entre outros. Também possibilitou maior compreensão das estruturas de rede por meio de testes práticos e observações gráficas e leitura dos arquivos PCAP. Também utilizei o NetAnim para compreender o funcionamento da rede e foi uma ferramenta muito didática. Os arquivos foram submetidos por meio do arquivo *Lab1_Lucas_Ribeiro.tar.gz* e estão disponibilizados no Github se necessário <https://github.com/lucasrsilvak/UFGM-Redes>.