



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

PAULO HENRIQUE SOUZA FILHO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA REDE SDN
UTILIZANDO MININET E ONOS**

**FORTALEZA – CEARÁ
2025**

1. Introdução

As Redes Definidas por Software (Software-Defined Networking) representam um novo paradigma de redes no qual o plano de controle é separado do plano de dados, permitindo que decisões de encaminhamento sejam centralizadas em um controlador lógico. Esse modelo proporciona maior flexibilidade, programabilidade e facilidade de gerenciamento da rede, sendo amplamente utilizado em ambientes acadêmicos, de pesquisa e em redes de grande escala.

Este projeto tem como objetivo avaliar o desempenho de uma rede definida por software (SDN) utilizando o ambiente de emulação Mininet em conjunto com o controlador ONOS. A topologia implementada é baseada na rede acadêmica brasileira IPE/RNP, modelada de forma a representar cidades interligadas por enlaces com características proporcionais às realistas de largura de banda e atraso.

A proposta do trabalho consiste em implantar uma topologia realista no Mininet, associar um host a cada switch, configurar um controlador SDN para permitir a comunicação entre os hosts e, por fim, avaliar o desempenho da rede considerando métricas de latência e vazão, além de monitorar o tráfego nos switches por meio do ONOS.

2. Ferramentas e Tecnologias Utilizadas

2.1 Mininet

O Mininet é um emulador de redes que permite criar topologias virtuais realistas utilizando switches OpenFlow, links configuráveis e hosts Linux leves. Ele foi utilizado para:

- Criar a topologia da rede IPE/RNP;
- Definir largura de banda dos enlaces;
- Executar testes de desempenho, incluindo latência por meio do comando *ping* e vazão utilizando a ferramenta *iperf*

2.2 ONOS (Open Network Operating System)

O ONOS é um controlador SDN distribuído e orientado a aplicações,

projeto para o gerenciamento de redes de grande escala. Neste projeto, o ONOS foi responsável por:

- Descobrir dinamicamente switches, links e hosts da topologia;
- Instalar regras OpenFlow (flows) para permitir a comunicação entre os nós;
- Monitorar o tráfego por meio de estatísticas de portas e de fluxos, fornecendo uma visão detalhada do comportamento da rede.

2.3 Open vSwitch (OVS)

O Open vSwitch foi utilizado como switch virtual no ambiente Mininet, atuando no plano de dados da rede. Ele oferece suporte ao protocolo OpenFlow versão 1.3, possibilitando a comunicação direta com o controlador ONOS e a aplicação das regras de encaminhamento definidas pelo controlador.

3. Topologia da Rede

3.1 Descrição da Topologia

A topologia implementada representa a rede **IPE/RNP**, composta por 15 cidades. Cada cidade é modelada como:

- Um switch OpenFlow, representando o switch da cidade;
- Um host conectado diretamente ao switch, representando um nó final da rede.

As cidades incluídas são: Boa Vista, Fortaleza, Manaus, Recife, Porto Velho, Salvador, Cuiabá, Goiânia, Belo Horizonte, Campo Grande, São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

No total, a topologia possui:

- 15 switches;
- 15 hosts;
- 42 enlaces entre switches.

3.2 Configuração dos Enlaces

Os enlaces entre os switches foram configurados considerando as seguintes características:

- **Largura de banda (bw):** definida conforme a capacidade do enlace (por exemplo, 1 Mbit/s em enlaces específicos);
- **Atraso (delay):** calculado com base na distância aproximada entre as cidades, simulando atrasos de propagação reais.

Além do atraso de propagação, inicialmente configurado manualmente, outros tipos de atrasos, como atraso de enfileiramento e de processamento, são calculados dinamicamente durante a execução da rede.

4. Implementação da Topologia no Mininet

A topologia foi implementada em Python utilizando a API do Mininet. O script `ipe_rnp_topology.py` é responsável por:

- Criar os switches e hosts;
- Associar um host a cada switch;
- Definir os links entre os switches com parâmetros de banda e atraso;
- Conectar a topologia ao controlador SDN remoto ONOS.

Ao executar o comando:

```
sudo python3 ipe_rnp_topology.py
```

O Mininet instancia toda a infraestrutura da rede, criando os dispositivos, enlaces e hosts virtuais, além de estabelecer a comunicação com o controlador ONOS para o gerenciamento da topologia e do tráfego.

5. Integração com o Controlador ONOS

Após a execução da topologia no Mininet, o controlador ONOS passa a gerenciar a rede de forma centralizada:

- O ONOS detecta automaticamente os switches (dispositivos) e os links da topologia;
- Inicialmente, os hosts não aparecem na interface gráfica, pois o ONOS realiza a descoberta de hosts de forma dinâmica, apenas quando há tráfego gerado por eles;
- O ONOS instala flows padrão para tratamento de protocolos como ARP, IPv4, LLDP e BDDP.

A interface gráfica do ONOS apresenta informações para o gerenciamento da rede, como:

- Número de dispositivos, links e hosts;
- Estado de conectividade da topologia (SCCs);
- Estatísticas de portas e flows, permitindo o monitoramento do tráfego nos switches.

6. Metodologia de Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho da rede foi realizada em três etapas principais, contemplando testes de latência, conectividade global e vazão entre os nós da topologia.

6.1 Testes de Latência entre Pares de Hosts

Inicialmente, foi realizado um teste de comunicação entre dois hosts específicos utilizando o comando ping no Mininet:

```
h_bv ping -c 1 h_for
```

Esse teste permitiu medir a latência de ida e volta (Round-Trip Time – RTT) entre os hosts *h_bv* (host de Boa Vista) e *h_for* (host de Fortaleza), avaliando o impacto dos atrasos configurados nos enlaces da topologia.

6.2 Teste de Conectividade Global (pingall)

Em seguida, foi utilizado o comando:

```
pingall
```

Esse comando realiza testes ICMP entre todos os pares de hosts da topologia. O resultado obtido foi de 0% de perda de pacotes, confirmando que todos os hosts

conseguem se comunicar corretamente.

6.3 Testes de Vazão com Iperf

Para avaliar a vazão da rede, foi utilizado o iperf entre pares de hosts. Um host foi configurado como servidor e outro como cliente:

```
h_bv iperf -s &
h_for iperf -c 10.0.0.1
```

O iperf envia dados continuamente entre os hosts e mede a taxa de transmissão efetiva, permitindo avaliar se a largura de banda configurada nos enlaces está sendo respeitada pela emulação da rede.

7. Resultados Obtidos

7.1 Latência

- Os testes de latência realizados com o comando ping entre pares de hosts apresentaram valores compatíveis com os atrasos configurados nos enlaces da topologia, refletindo corretamente os delays de propagação simulados entre as cidades;
- O comando **pingall** confirmou a conectividade total da rede, apresentando 0% de perda de pacotes, o que indica que todos os hosts conseguem se comunicar corretamente através da topologia implementada.

7.2 Vazão

- O teste com **iperf** entre os hosts h_bv e h_for apresentou uma vazão média de aproximadamente **1,04 Mbit/s**;
- Esse resultado está de acordo com a limitação de largura de banda configurada para o enlace correspondente, validando a aplicação dos parâmetros de banda no Mininet e o funcionamento adequado do controle de tráfego.

7.3 Monitoramento no ONOS

No ONOS, foi possível monitorar o tráfego da rede por meio de:

- **Port View:** visualização dos contadores de pacotes e bytes enviados e recebidos por cada porta dos switches, permitindo analisar a utilização dos enlaces;
- **Flow View:** estatísticas detalhadas dos flows OpenFlow instalados, incluindo número de pacotes processados, duração, critérios de correspondência e ações aplicadas.

Essas informações permitem analisar a distribuição do tráfego na rede, identificar a carga em cada enlace e verificar o correto funcionamento do controlador SDN no gerenciamento da comunicação entre os hosts.

8. Conclusão

Neste projeto, foi implementada e avaliada uma rede definida por software (SDN) utilizando o Mininet em conjunto com o controlador ONOS, a partir de uma topologia realista baseada na rede IPE/RNP. Cada switch foi associado a um host, permitindo a análise completa da comunicação entre os nós da rede.

Os resultados mostraram que a topologia foi corretamente integrada ao ONOS, que realizou a descoberta dinâmica de dispositivos, links e hosts, além da instalação automática de flows OpenFlow para o encaminhamento do tráfego. Os testes de latência, realizados com o comando ping, apresentaram valores compatíveis com os atrasos configurados, enquanto o pingall confirmou conectividade total da rede, sem perdas de pacotes.

Nos testes de vazão com o iperf, a taxa de transmissão observada esteve de acordo com a largura de banda configurada nos enlaces, validando a correta aplicação dos parâmetros no Mininet. O monitoramento pelo ONOS, por meio das estatísticas de portas e flows, permitiu acompanhar o tráfego em cada switch e verificar o correto funcionamento do controlador SDN.

Dessa forma, os objetivos do trabalho foram plenamente atendidos. Como

trabalho futuro, podem ser explorados recursos mais avançados do ONOS, como meters, intents e aplicações customizadas, visando maior controle de tráfego e implementação de políticas de qualidade de serviço (QoS).