

Software Defined Network

1st André Geraldo Guimarães Pinto
Departamento da Computação
Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)
Cuiabá, Brasil
andregp019@gmail.com

2nd Danubia Gama Macedo
Departamento da Computação
Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT)
Cuiabá, Brasil
danubia.macedo@estudante.ifmt.edu.br

I. INTRODUÇÃO

A rede telefônica durante muitos anos foi o principal meio de comunicação, mas a partir do desenvolvimento do primeiro computador Eniac (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) em 1946 fez com que o cenário fosse reconfigurado. A necessidade desenvolver uma comunicação entre esses dispositivos fez com que nascesse a ARPANET em 1969, aplicando técnicas de comunicação já existentes como conexão orientada e estática [1].

Com o exponencial crescimento da rede de Internet e a ascensão da *World Wide Web* na década de 90, grandes *data-centers* foram desenvolvidos e estruturados para armazenamento de dados com arquiteturas distribuídas, descentralizadas e posicionados fisicamente em locais geograficamente distantes. A comunicação entre os *data-centers* era desenvolvida com dispositivos de rede, entre eles o *switch* tradicional, que possuem como característica três planos de funcionamento, o de dados, controle e gerenciamento. Existe aqui uma grande problemática, a descentralização da configuração da rede. Essa descentralização nos gera um grande acoplamento, grande tempo de configuração e elevado custo [1].

Como proposta de solução para esses problemas, foi desenvolvida a *Software Defined Network* (SDN). A SDN tem como principal característica a programabilidade da rede e a configuração de todo um conjunto de dispositivos em apenas um local [1]. Esses fatores tornam a rede mais eficiente, ágil, programável e de menor custo, além de uma grande área de aplicabilidade como IoT, *Machine Learning* (vice-versa), *Big Data*, *Blockchain*, *Cloud* e segurança.

Iremos apresentar aqui os principais conceitos, diferença entre redes tradicionais e trabalhos relacionados que englobam a rede SDN. Diante disso, esse artigo está organizado da seguinte maneira: na seção II apresentamos alguns trabalhos relacionados que utilizam SDN. A seção III contém a metodologia, formada por diversos tópicos que abrange aspectos históricos e conceitos ao qual as tecnologias utilizadas aqui abrangem. Na seção IV é demonstrado o resultado obtido com o artigo e a última seção V a conclusão desse artigo.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A SDN apresenta grande maleabilidade para diversas aplicações na comunicação entre dispositivos, grandes vantagens é apresentada a partir do seu uso. Em áreas como IoT, *Big Data*, *Machine Learning* sua utilização aprimora os resultados.

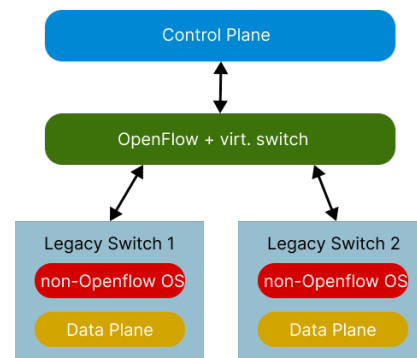
Nessa seção são apresentados alguns trabalhos relacionados ao qual são de grande importância para o estudo, compreensão e evolução da tecnologia.

A. Transition to SDN is HARMLESS: Hybrid Architecture for Migrating Legacy Ethernet Switches to SDN

A necessidade de migração da rede tradicional para a rede SDN é uma realidade apresentada no artigo a partir da necessidade de um gerenciamento de rede centrado e flexível. Para empresas de menor porte, a tomada de decisão da migração da rede deve ser bem avaliada, pois fatores como custo, desempenho, disponibilidade de serviço, gerenciamento e segurança devem ser bem avaliados [2]. Com a proposta de facilitar a migração de uma rede tradicional para SDN, os autores apresentam o HARMLESS, um SDN com um nível adicional de separação dentro dos elementos de encaminhamento.

A figura 1 apresenta a arquitetura proposta por HARMLESS, com uma camada de abstração acima do plano de dados, desacoplando o hardware do processamento de pacotes do sistema operacional do *switch*, diferente de um SDN tradicional que existe a integração em uma única caixa [2]. O

Figura 1. HARMLESS: solução para transformação de redes tradicionais em rede SDN



HARMLESS adiciona recursos em existente switch tradicional na rede através do nível adicional de virtualização, combinando as vantagens da comutação de hardware e software, a alta densidade de porta, processamento de pacotes brutos em hardwares e programabilidade, adaptabilidade e padrões [2].

B. When Big Data Meets Software-Defined Networking: SDN for Big Data and Big Data for SDN

Big data é definido como *datasets* com um tamanho tão grande que nem um banco de dados consegue capturar, guardar, gerenciar e analisar. Além disso, possui os atributos: volume (tamanho do dataset), variedade (variações do tipo do dado e a fonte), velocidade (velocidade que os dados entram e saem), valor (quão útil o data é) e veracidade (qualidade do dado) [3].

Este artigo, relaciona as contribuições que o SDN traz para o *big data* e vice-versa. Por exemplo, o desacoplamento do plano de controle, visão global da rede e deixar a rede programável pode facilitar a aquisição, transmissão, armazenamento e processamento em *big data*.

Por outro lado, o *big data* pode redesenhar o SDN. Por exemplo, com a visão global o controlador centralizado pode obter *big data* de todas as camadas, da física à de aplicação, o que é um problema para a rede tradicional.

Recentemente, o SDN tem sido usado com *big data* para alocar recursos de acordo de nível de serviço, que é quando uma empresa garante aos usuários que estão usufruindo do serviço, o mínimo de *performance* que foi combinado e pode ser penalizada caso não cumpra as metas. Alguns dos parâmetros analisados em aplicações de *big data*, são: tempo de resposta, tempo de processamento, taxa de falha, estimativa de custo, quantidade de dados processados e muito mais [3].

O artigo vai a fundo nos benefícios nos dois lados, SDN e *big data*. Como beneficiar em *data-centers* na nuvem, entrega grande volumes de aplicações de *big data*, no lado do SDN para o *big data*. E no lado do *big data* para o SDN: engenharia do tráfico (analisando a rede dinamicamente), defender ataques, entre outras aplicações.

C. A Survey of Machine Learning Techniques Applied to Software Defined Networking (SDN): Research Issues and Challenges

O rápido desenvolvimento de dispositivos inteligentes geram tráficos de dados cada vez maior, em ordem exponencial. A otimização do tráfico em uma arquitetura de rede distribuída e heterogênea pode se tornar complexa, pois o número de dispositivos é grande, tornando a eficiência, gerenciamento e organização mais dificultosa [4].

Para solucionar esse problemas os autores propõe o uso de técnicas de *Machine Learning* (ML) devido as seguintes razões [4]:

- Avanços em tecnologias referente à Unidade de Processamento de Dados (GPU) e Tensor Unidade de Processamento (TCU).
- A grande quantidade de dados gerada através da rede é chave para aplicar ML.
- A facilidade de programação de uma rede SDN permitindo aprendizado de máquina em tempo real.

O artigo apresenta discussões detalhadas do uso de ML nas perspectivas do classificação de tráfico, otimização de roteamento, predição QoS/QoE, gerenciamento de recursos e segurança.

III. METODOLOGIA

A. Aspectos Históricos e Motivação

A rede telefônica foi o principal meio de comunicação no século XX. A comunicação entre duas entidades eram estabelecidas e estáticas durante uma chamada, sendo considerada assim uma conexão orientada. Uma das características da telefônica da época estudada pelo polonês Paul Baran é a facilidade de perturbação e interferência na rede. Baran propôs a transmissão de dados em pacotes, dessa forma a transmissão poderia sofrer interferências mas ainda sim a transmissão sobreviveria. Essa ideia foi utilizada posteriormente em 1969 na ARPANET. Com o crescimento da rede de Internet diversas arquiteturas eram estudadas e utilizadas, entre elas a distribuída e centralizada. Com a ascensão da Internet e WWW (*World Wide Web*) na década de 90, a maioria das redes se consolidaram como arquitetura distribuída [1].

O usuário de um sistema web não imagina os caminhos aos quais os dados devem trafegar até que chegue ao seu destino e retorne sua solicitação. Durante esse processo diversos pacotes são enviados não diretamente ao servidor final, mas sim entre diversos servidor até que chegue no IP da solicitação. Esses servidores estão localizados geograficamente longe um dos outros e são normalmente grandes *data-centers* que funciona 24/7 com uma elevada quantidade de tráfego e dados a serem armazenamentos. Para que tudo ocorra de forma correta, é necessário diversos protocolos de comunicação, controle de tráfego e congestionamento, roteadores e hardwares robustos. Uma das dificuldades encontradas no processo de comunicação de servidor e de qualquer rede que seja grande é a configuração dos hardwares individualmente pela qual é formada. Frequentemente é necessário reconfiguração de protocolos, portas e IPs, o que demanda tempo e agilidade [1].

Dessa forma a rede SDN surgiu para solucionar os seguintes problemas [5]:

- Encaminhamento de pacotes personalizado, como a definição da rota ao qual um pacote ira passar.
- *Data-centers*, sendo uma rede distribuída, protocolos comum não solucionam o problema de configuração ágil.
- Tempo de convergência da rede.

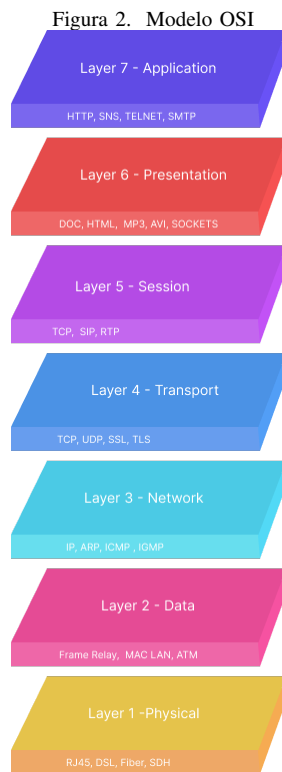
O SDN nos disponibiliza uma configuração da rede de forma centralizada, sendo um único controlador, facilitando a tomada de decisões e *performance*. Desse modo, a SDN gera benefícios como centralização de fluxos de gerenciamento, programação da rede do hardware da rede simplificada, simplificação da configuração da rede, encaminhamento de regras com a atualizações dinâmica e abstração do fluxo. [6]

B. A camada OSI

O processo entre a comunicação entre dispositivos é estudada à muito tempo e é feita a nível de hardware e software, através de conceitos de camadas. Para que aconteça a comunicação entre dois dispositivos sempre teremos um receptor, transmissor e meio de transporte. O modelo mas conhecido ao qual explica a comunicação de dados é modelo

OSI (*Open Systems Interconnection*). O finalidade desse modelo é facilitar a comunicação entre diferentes dispositivos sem que haja necessidade de realizar alterações na lógica do hardware e software de cada dispositivo que forma a rede [7].

O modelo OSI é formado por sete camadas relacionadas entre si, cada uma com uma responsabilidade no processo de transferência de dados. Apesar de ser um modelo muito conhecido, sua implementação nunca foi realizada de fato [7]. Observe a figura 2 onde temos a apresentação das setes camadas:



As camadas apresentam as seguintes responsabilidades [7]:

- Camada de Aplicação: habilitar o usuário ao acesso à rede, fornecendo assim suporte a serviços, como o *e-mail*.
- Camada de Apresentação: responsável pela sintaxe e semântica na troca de dados entre dois dispositivos, realizando assim tradução, compreensão e criptografia dos dados.
- Camada de Sessão: fornece o controle e sincronização da rede.
- Camada de Rede: responsável pela entrega processo a processo, garantindo que a mensagem chegue correta, com controle de erros e fluxo.
- Camada de Dados: responsável pela entrega de pacotes da origem ao destino através da rede.
- Camada Física: responsável pela transferência de *frames*.

C. Switch Tradicionais

Tudo que os dispositivos de redes fazem podem ser categorizados em um tipo de plano específico. E a programabilidade

da rede é dividida em três planos: *data plan* (plano de dados), *control plan* (plano de controle) e *management plan* (plano de gerenciamento) [8].

O plano de dados é responsável por lidar e aplicar ações nos pacotes de dados, como receber, redirecionar e processar os dados do pacote ou *frame* utilizando a tabela de roteamento [1]. Caso não reconhecer o pacote/*frame*/mensagem recebida, é enviado para o plano de controle.

O plano de controle dentro de suas principais funções é responsável por qualquer ação que controla o *data plan* como calcular, programar ações e criar a tabela de roteamento IP, a tabela ARP (Address Resolution Protocol) e tabela de endereços MAC (Media Access Control), entre outros [1].

O plano de gerenciamento onde os administradores de redes configuram e monitoram a rede e controlam os outros planos. O monitoramento é feito com protocolos de gerenciamento de redes, como o SNMP (Simple Network Management Protocol) [1].

No *switch* tradicional o plano de dados, plano de controle e plano de gerenciamento são usados de forma distribuída. Assim, cada dispositivo tem um plano de dados e plano de controle e a rede distribui essas funções para cada dispositivo [8].

Desde dos primeiros *switches* do tipo LAN (Local Area Network), surgiu a necessidade de enviar uma grande quantidade de *frames* por segundo (fps). Como exemplo, considerando-se um *switch* low-end com o mínimo do tamanho do frame sendo do tamanho do frame Ethernet de 125 bytes, número de portas de 24 e a velocidade das portas de 1Gbps, esse *switch* vai receber 1 milhão de fps e 24 milhões de fps no total. Dessa forma, para se ter uma melhor performance o plano de dados é feito via hardware, utilizando *application-specific integrated circuit* (ASIC, ou em português, como circuito integrado de aplicação específica). O ASIC faz a procura na tabela de endereço MAC, em uma memória especial chamada de TCAM (*ternary content-addressable memory*) que permite que o ASIC consulte a tabela sem o uso de algoritmo de busca [8].

D. Switch SDN

A maneira de funcionamento tradicional do *switch* é feita de forma distribuída. Cada dispositivo funciona de maneira independente com o uso dos protocolos. A ideia de fazer isso foi de simplificar, tanto que tem os mesmos objetivos da SDN (Software-Defined Network), no entanto com o advento da demanda e as diferentes aplicações dessa rede, se torna muitas vezes inviável trabalhar com uma rede distribuída. Com isso surge, o SDN que tem como objetivo principal centralizar a rede, removendo o plano de controle para um local central, chamado de controlador que é responsável pela rede inteira e a tomada de melhores decisões devido ao conhecimento amplo da rede [1]. O SDN pretende separar a rede da seguinte maneira:

- Responsabilidades de roteamento: implementados em tabela em hardware, continua no dispositivo.

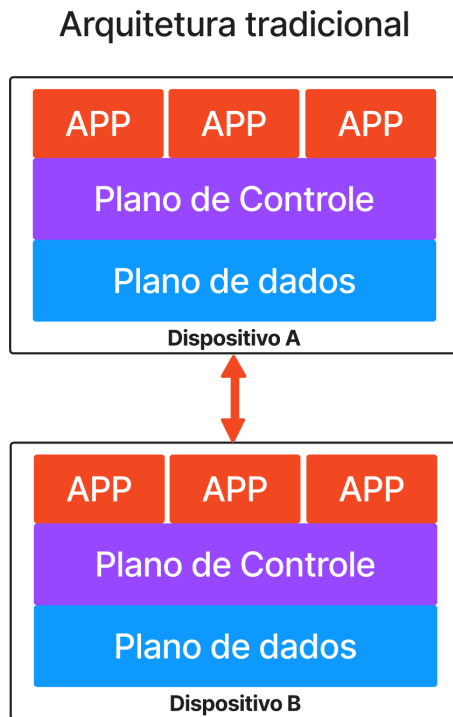


Figura 3. Diagrama da arquitetura de redes tradicional.

- Controle: o controle complexo em software é retirado dos dispositivo e colocado em um controle central que é capaz de tomar melhores decisões, já que tem uma visão ampla da rede.
- Aplicação: acima do controlador, as aplicações comunicam com ele por meio de APIs (Application Programming Interface), e participam das decisões de com gerenciar e distribuir os pacotes.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um das principais diferenças do SDN para a rede tradicional é o controlador. O controlador é uma entidade central na rede que centraliza o controle dos dispositivos da rede. Existem várias variações do grau de controle e o tipo de controle, podendo ter o plano de controle completamente desabilitado do switch e tratar tudo isso por software no controlador, ou deixar com as funcionalidades do plano de controle básicas funcionando [8].

Além disso, as principais diferenças aos quais a arquitetura tradicional e SDN se difere é: desacoplamento, estrutura, custo e tempo de configuração.

1) *Desacoplamento*: desacoplar o sistema de rede permite que ela seja gerenciada por uma abstração de alto nível. No SDN, as operações de rede, como roteamento e a adição das regras nas tabelas de roteamento são feitas por um controlador central.

2) *Estrutura*: A estrutura do modelo tradicional é distribuída, assim cada dispositivo funciona de maneira independente com a utilização do plano de controle e protocolos da

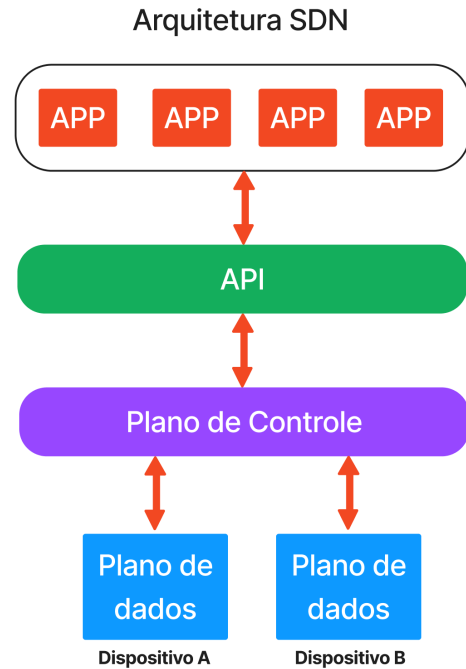


Figura 4. Diagrama da arquitetura SDN.

rede que ditam como as mensagens são transmitidas. Com isso, os dispositivos tem que ser configurados manualmente de forma individual.

O SDN possui uma estrutura centralizada, em que controla os dispositivos distribuídos na rede. Desse modo, com o plano de controle centralizado, é possível configurar os dispositivos somente de um lugar, verificar status da rede em tempo real e tomar decisões a partir disso de forma programática e dinâmica [9].

3) *Custo*: Um dos objetivos das operações em redes é utilizar os recursos dos equipamentos de forma mais eficiente possível.

O modelo SDN é mais eficiente, principalmente ao otimizar a performance da rede. Na rede tradicional as melhores de *performance* ocorrem somente em subredes e baseadas somente em informação local, sem considerar os efeitos de cruzar alguma configuração. O SDN por sua vez permite um controle centralizado, global e *feedback* das informações entre redes diferentes. Permitindo assim a solução de problemas clássicos, como: controle de congestionamento *end-to-end* e qualidade de serviço [9].

4) *Tempo de configuração*: como não há um mecanismo de controle central na rede tradicional, a configuração dos dispositivos da rede não é consistente, devido a heterogeneidade entre os dispositivos dos fabricantes e configurações de interfaces, exige-se um certo nível de trabalho manual e muita tentativa e erro, consumindo muito tempo.

No SDN é feita uma unificação do plano de controle de todo tipo de dispositivos da rede, como switches, roteadores, balanceadores de carga, entre outros. Assim, uma rede inteira pode ser configurada por um controle central de forma pro-

gramável e otimizada baseada em dados do status da rede em tempo real [9].

V. CONCLUSÃO

A rede tradicional ainda é usada em diversos projetos de rede, como em pequenas empresas, entretanto para locais como *data-centers*, onde a infraestrutura é grande, não apresenta grandes vantagens. O principal motivo é descentralização da configuração dos dispositivos que formam a rede. Fatores como acoplamento, descentralização, custo e tempo levam muita das vezes a partir para uma nova abordagem, a SDN.

Como foi apresentado neste trabalho, o SDN possui muitos benefícios, especialmente quando aplicado em certas aplicações específicas, como *big data*, *data-centers*, IoT, ML. Isso acontece pois esse modelo permite tratar a rede de forma mais dinâmica, programável e reconfigurável.

Mesmo com diversas vantagens, o SDN possui algumas limitações que podem ocorrer em sua implementação. Um exemplo disso é a virtualização, ela causa a sobrecarga e aumento de latência da rede, essa que só exige cada vez mais velocidade. Dessa forma, com a implementação atual de 60% das conexões com 10 Gb/s e o uso de dispositivos IoT, vai tornar o tráfego cada vez maior, e o uso da virtualização limita o que o SDN pode fazer.

Algumas das desvantagens:

- Requisitar a mudança da infraestrutura de uma rede inteira para utilizar seus protocolos e configurações do SDN, gerando custos.
- Treinamento de pessoas.
- Novas ferramentas de gerenciamento, gerando um certo atraso na sua implementação.
- Novos problemas de segurança que não ocorriam no modelo distribuído.

Portanto, é imprescindível que o uso do SDN nas aplicações seja cuidadosamente considerada. Pois, apesar das vantagens, é uma tecnologia em desenvolvimento que ainda precisa desenvolver maturidade para ser aplicada de forma segura e confiável.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Goransson, C. Black, and T. Culver, *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach*, 2nd ed. Elsevier Inc, 2014.
- [2] L. Csikor, M. Szalay, G. Rétvári, G. Pongrácz, D. P. Pezaros, and L. Toka, "Transition to sdn is harmless: Hybrid architecture for migrating legacy ethernet switches to sdn," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 28, no. 1, pp. 275–288, 2020.
- [3] L. Cui, F. R. Yu, and Q. Yan, "When big data meets software-defined networking: Sdn for big data and big data for sdn," *IEEE Network*, vol. 30, pp. 58–65, 1 2016. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7389832/>
- [4] J. Xie, F. R. Yu, T. Huang, R. Xie, J. Liu, C. Wang, and Y. Liu, "A survey of machine learning techniques applied to software defined networking (sdn): Research issues and challenges," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 21, no. 1, pp. 393–430, 2019.
- [5] R. Y. Soma and W. R. de Souza, "Introdução a SDN e OpenFlow," ? [Online]. Available: <https://www.ic.unicamp.br/~edmundinho/MC822/mc822/MO655/Introduo%20a%20SDN%20e%20OpenFlow.pdf>
- [6] E. R. Jimson, K. Nisar, and M. H. A. Hijazi, "The state of the art of software defined networking (sdn) issues in current network architecture and a solution for network management using the sdn," vol. 10. *International Journal of Technology Diffusion*, 2019.

- [7] B. A. Forouzan, *Comunicação de dados e redes de computadores*, 4th ed. AMGH Editora Ltda, 2010.
- [8] W. Odom, "Introduction to controller-based networking," 2020. [Online]. Available: <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2995354&seqNum=2>
- [9] W. Xia, Y. Wen, C. H. Foh, D. Niyato, and H. Xie, "A survey on software-defined networking," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 17, pp. 27–51, 1 2015. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6834762/>