

ARQUITETURAS DE REDES

Prof. José Augusto Suruagy Monteiro
suruagy@cin.ufpe.br

2

A Internet

Internet: Origens

3

- ❑ ARPAnet (1969): motivada pelo compartilhamento de recursos computacionais.
- ❑ Grupo limitado de usuários: laboratórios que desenvolviam pesquisas de interesse da ARPA.
- ❑ Rede robusta e relativamente confiável.
- ❑ Usuários: pesquisadores e não o público em geral.

Internet: Anos 70

4

- Interconexão de redes com diferentes tecnologias (algumas proprietárias):
 - ▣ Rede ALOHA
 - ▣ Ethernet
 - ▣ Arquiteturas proprietárias: DECnet, SNA, XNA
 - ▣ Definição da arquitetura para a interconexão de redes levou ao IP e, posteriormente, ao TCP

Internet: Anos 80

5

- Implantação do TCP/IP
- Surgimento de novos aplicativos/serviços/protocolos:
 - ▣ SMTP para correio eletrônico
 - ▣ DNS para tradução de nomes para endereços IP
 - ▣ Definição do Protocolo FTP
- Novas redes “nacionais”:
 - ▣ CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel.

Internet: Anos 90

6

- Surgimento da Web:
 - ▣ HTML, HTTP: Berners-Lee
 - ▣ Surgimentos dos navegadores
- Comercialização da Web (explosão do número de usuários)
- Novas aplicações:
 - ▣ Mensagens instantâneas
 - ▣ Compartilhamento de arquivos P2P
- Novos problemas:
 - ▣ Segurança
 - ▣ Direitos autorais

Internet: Anos 00

7

- Multimídia (voz e vídeo) sobre IP
- Compartilhamento de vídeos, jogos
- Proliferação de redes sem fio:
 - ▣ Wi-Fi, redes celulares
 - ▣ Smartphones
- Web 2.0
- Redes Sociais
- Computação na nuvem

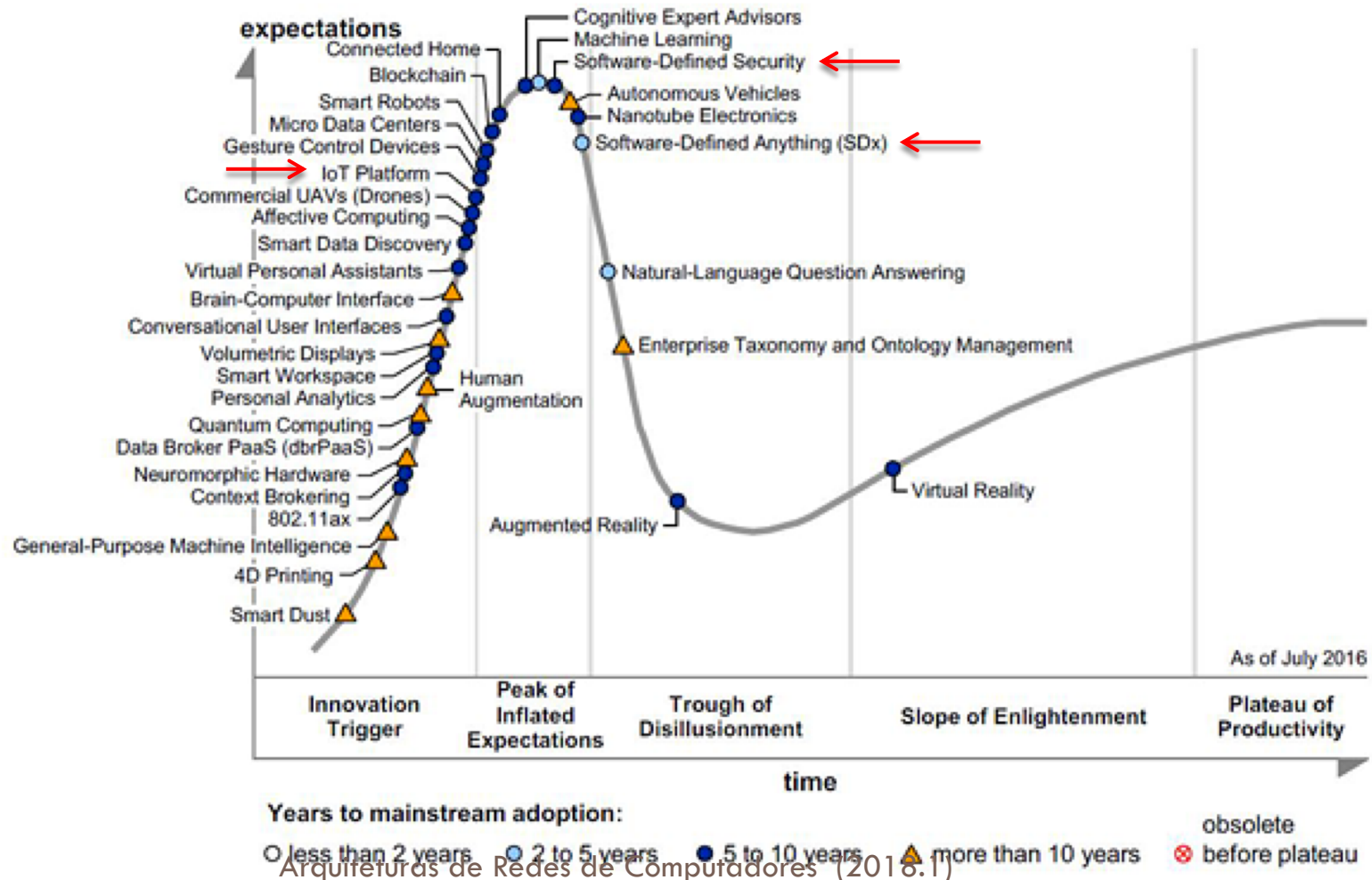
Internet: Anos 10

8

- Virtualização de Redes
- Redes definidas por software (SDN – *Software Defined Networking*)
- Funções virtualizadas de rede (NFV – *Network Functions Virtualization*)
- Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*)
- Redes Verdes
- *Streaming*
- ?

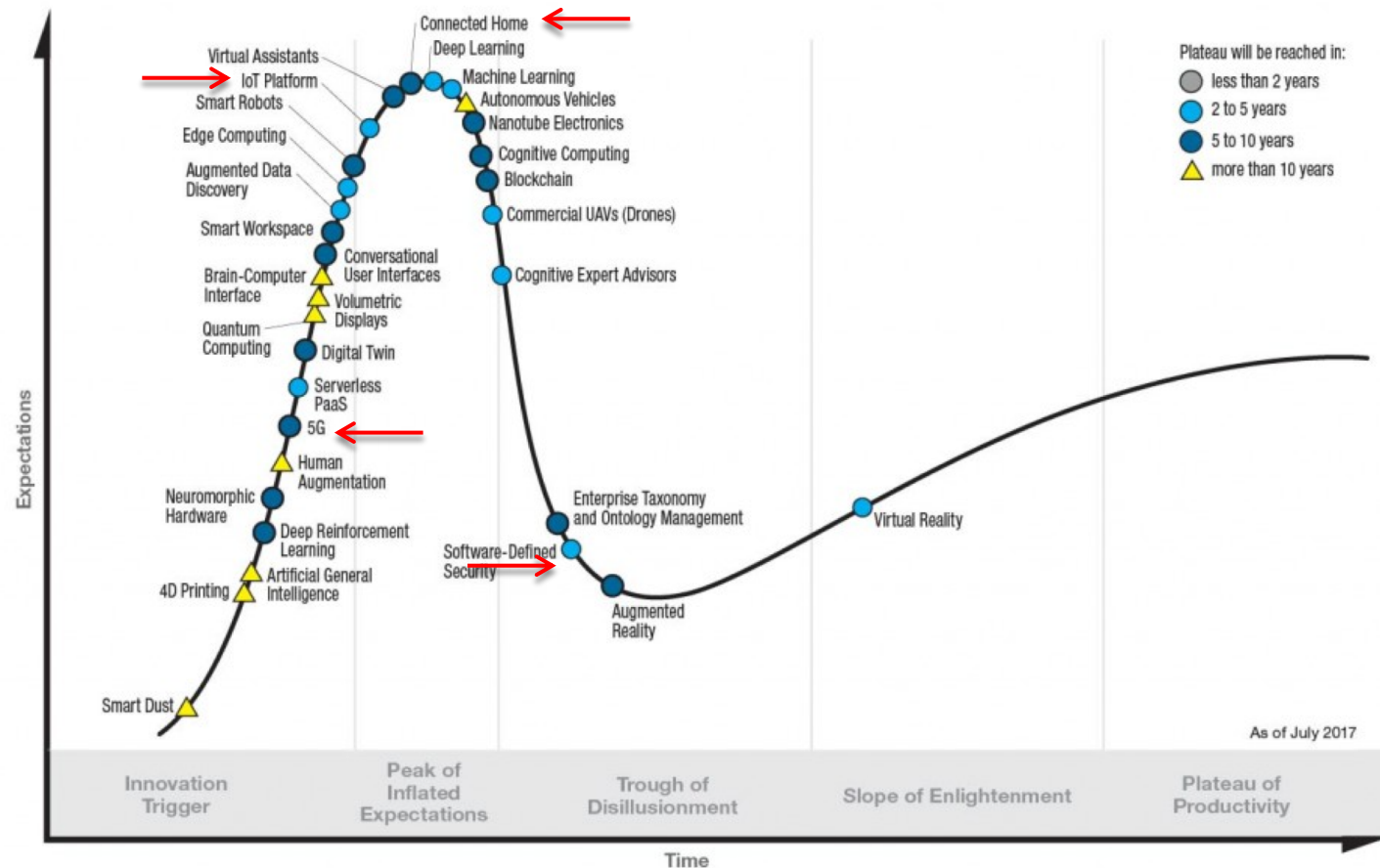
Gartner Hype Cycle 2016

9



Gartner Hype Cycle 2017

10



gartner.com/SmarterWithGartner

Source: Gartner (July 2017)
© 2017 Gartner, Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.

Gartner

Interesse ao longo do tempo

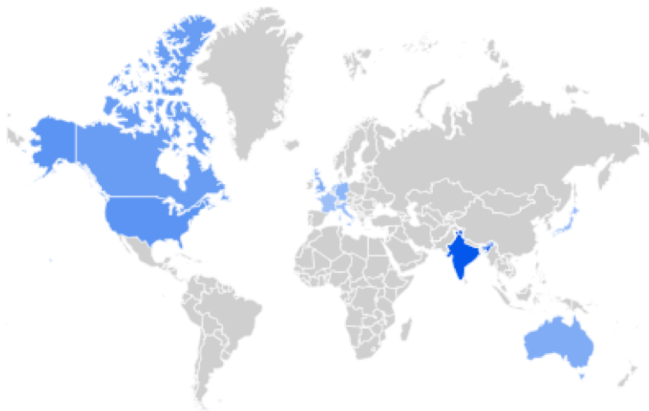


<https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=Network%20virtualization>



Interesse por região

Região



1	Índia	100	
2	Estados Unidos	49	
3	Canadá	41	
4	Reino Unido	29	
5	Austrália	29	



Incluir regiões com baixo volume de pesquisa

Arquiteturas de Redes de Computadores (2018.1)

< 1 a 5 de 10 regiões >

Consulta em 05/03/18

Software Defined Networking

Termo de pesquisa

+ Comparar

Todo o mundo ▼

2004 - presente ▼

Todas as categorias ▼

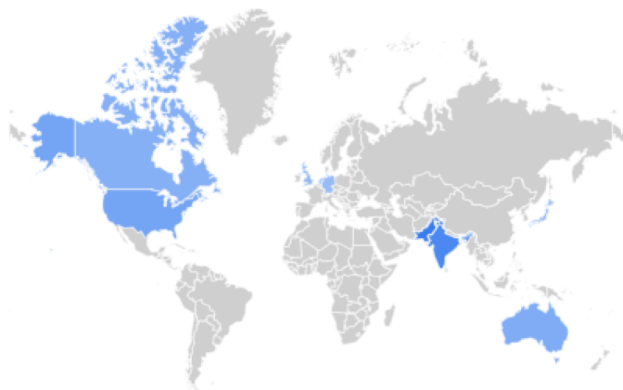
Pesquisa na Web ▼

Interesse ao longo do tempo ⓘ



Interesse por região ⓘ

Região ▼



1	Singapura	100	
2	Paquistão	69	
3	Índia	58	
4	Estados Unidos	35	
5	Austrália	28	

Consulta em 05/03/18

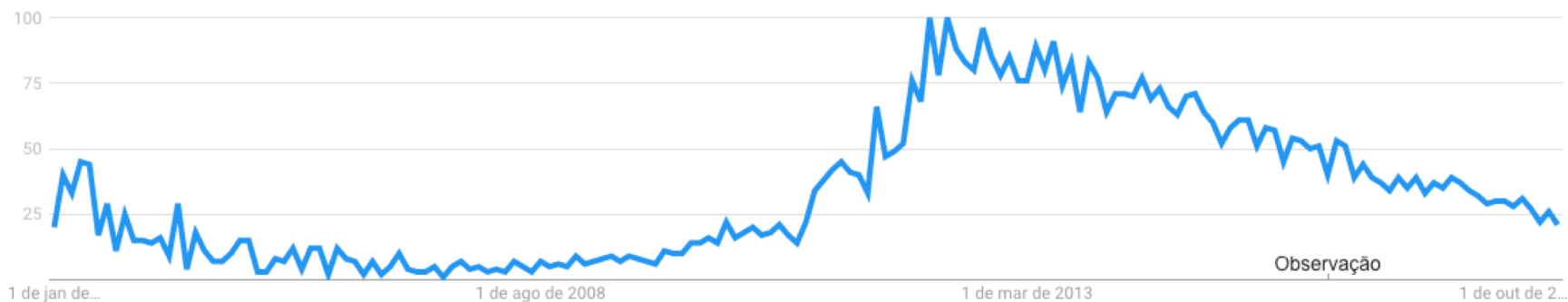
Todo o mundo ▼

2004 - presente ▼

Todas as categorias ▼

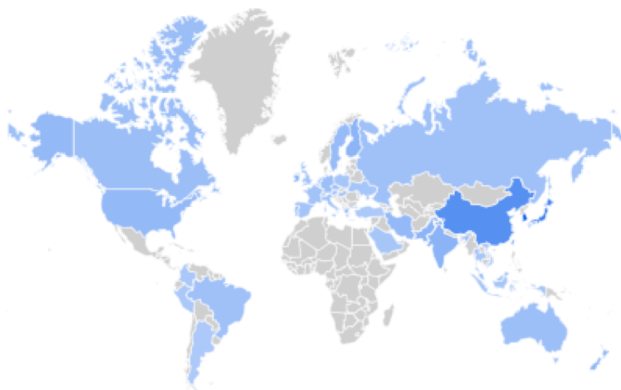
Pesquisa na Web ▼

Interesse ao longo do tempo ⓘ



Interesse por região ⓘ

Região ▼



1	Coreia do Sul	100	
2	Taiwan	93	
3	Japão	72	
4	China	51	
5	Singapura	42	

Consulta em 05/03/18

A Internet “Hoje”

14

- **1ª Revolução:** “Longo Alvorecer” da Idade da Informação [Newman, 2007]
 - ▣ 4,2B Usuários da Internet (12/17); 385M com Banda Larga – membros da OECD (6/16)
<http://internetworldstats.com>
 - ▣ Surgimento da Web 2.0: Bilhões de páginas Web, conteúdo rico, aplicações embutidas
 - ▣ Sinais da Web 3.0: informação ubíqua, com conteúdo rico e *streams* persistentes

A Internet “Hoje”

15

- ❑ Locomotivas da **2ª Revolução** [Newman, 2007]:
Aplicações científicas com grande quantidade de dados
 - ❑ Física Nuclear e de Alta Energia, Astrofísica: Transferência de blocos de dados de Tbyte a Pbyte a 1-10+ Gbps
 - ❑ eVLBI: Muitos fluxos de dados em tempo real a 1-10 Gbps
 - ❑ Bioinformática, Imagens Clínicas: imagens de GByte sob demanda
 - ❑ Energia de Fusão: distribuição de dados em blocos em tempo crítico; Simulações, visualização e análise distribuída de plasma.
- ◆ Desafio: Aproveitar os recursos globais de computação, armazenamento e Rede, para permitir que a comunidade global trabalhe colaborativamente a grandes distâncias

Internet: Requisitos Atuais

16

- Mobilidade
- Variedade de tecnologias de acesso
- Computação em nuvem
- Aplicações industriais
- Aplicações médicas
- Aplicações pessoais
- Redes domésticas
- Entretenimento
- Etc.

17

Arquitetura da Internet

Princípios da Arquitetura da Internet

18

- ❑ Conectividade
- ❑ Robustez
- ❑ Heterogeneidade
- ❑ Gerenciamento
- ❑ Custo
- ❑ Acessibilidade
- ❑ Responsabilização

Evolução através de “Remendos”

19

- Criação de subredes, sistemas autônomos e DNS
- CIDR – *Classless InterDomain Routing*
- Controle de Congestionamento no TCP
- *Multicast IP*
- IPv6
- NAT – *Network Address Translation*
- IPSec – *IP Security*
- IP Móvel
- Intserv e Diffserv (Serviços Integrados e Diferenciados)
- Caches
- *Firewalls*

Funcionalidades sob pressão

20

- ❑ Processamento/manipulação dos dados
- ❑ Armazenamento dos dados
- ❑ Transmissão dos dados
- ❑ Controle de processamento, armazenamento, transmissão de sistemas e funções

Problemas

21

- ❑ Complexidade nas aplicações
- ❑ Novas aplicações com requisitos incompatíveis com a arquitetura atual
- ❑ Endereçamento: semântica sobrecarregada – localização e identificação
- ❑ Mobilidade
- ❑ Segurança
- ❑ Confiabilidade da rede e disponibilidade dos serviços
- ❑ Diagnóstico de problemas e gerenciamento da rede
- ❑ Qualidade de serviço
- ❑ Escalabilidade
- ❑ Modelo econômico e liberdade de inovação

Novos Paradigmas de Redes

Novos Paradigmas de Redes

23

- Separação dos Planos de Controle e de Dados
 - ▣ FORCES, OpenFlow
- Virtualização de Redes
 - ▣ Redes Definidas por Software (SDN – *Software Defined Networks*)
 - ▣ Virtualização de Funções de Rede (NFV – *Network Functions Virtualization*)
- Programabilidade dos switches: P4

Roteadores atuais

24



Muitas funções complexas integradas na infraestrutura

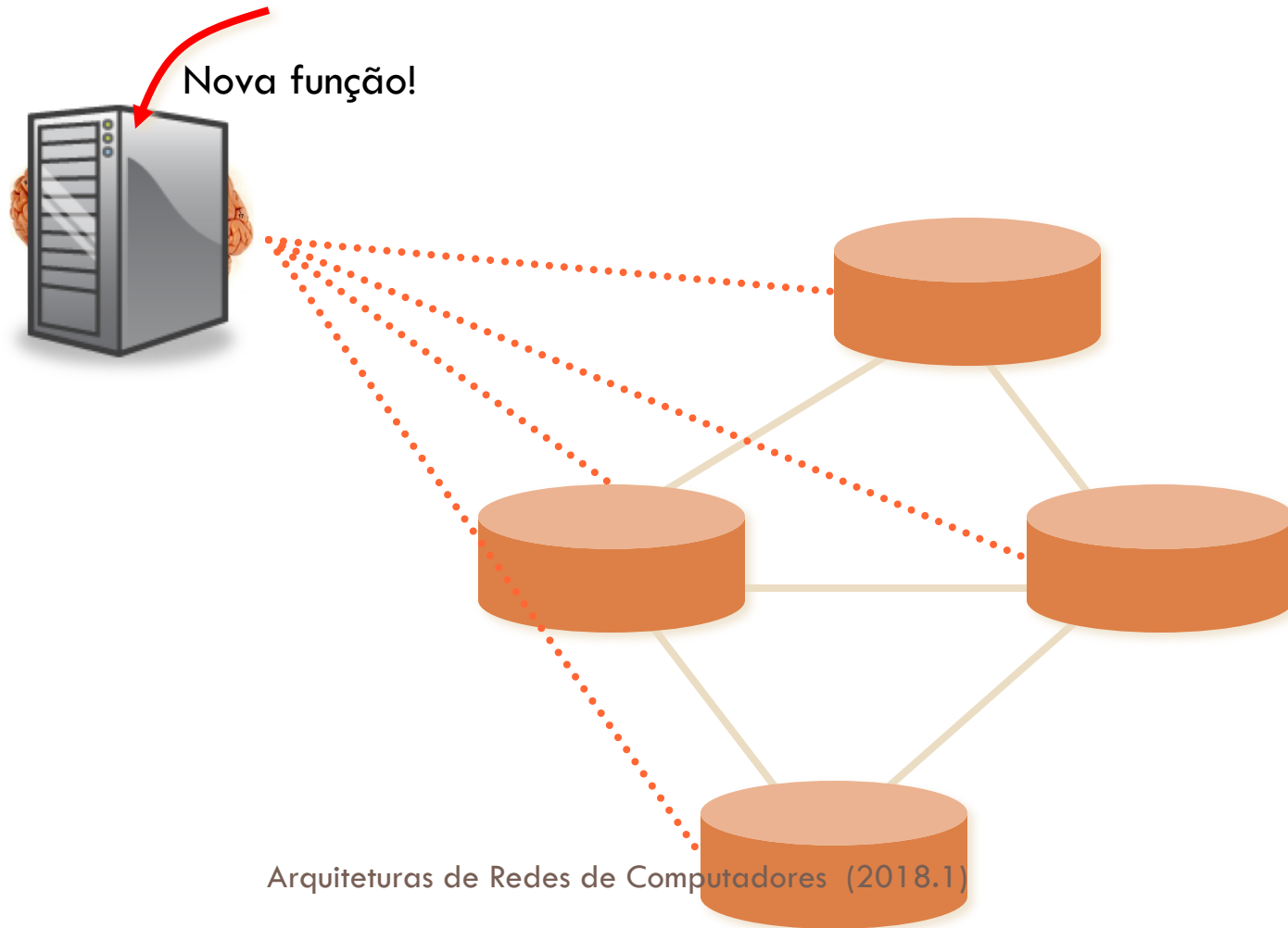
*OSPF, BGP, multicast, serviços diferenciados,
Engenharia de Tráfego, NAT, firewalls, MPLS, camadas redundantes, ...*

Passo 1:

Separar a inteligência do *datapath*

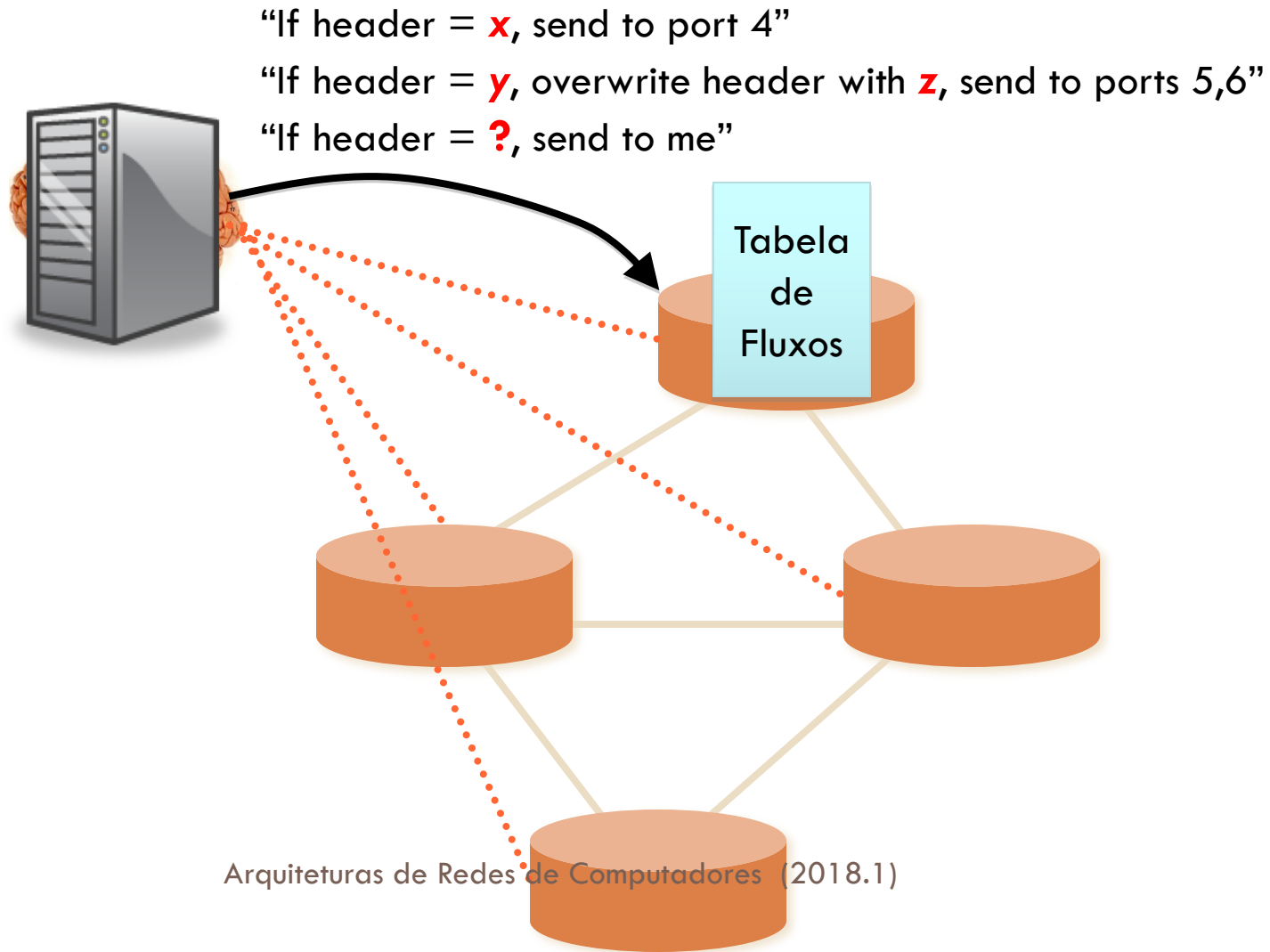
25

Operadores, usuários, desenvolvedores, pesquisadores, ...



Passo 2: Armazena as decisões em tabelas mínimas de fluxo

26



Controlador OpenFlow

Protocolo OpenFlow (SSL)



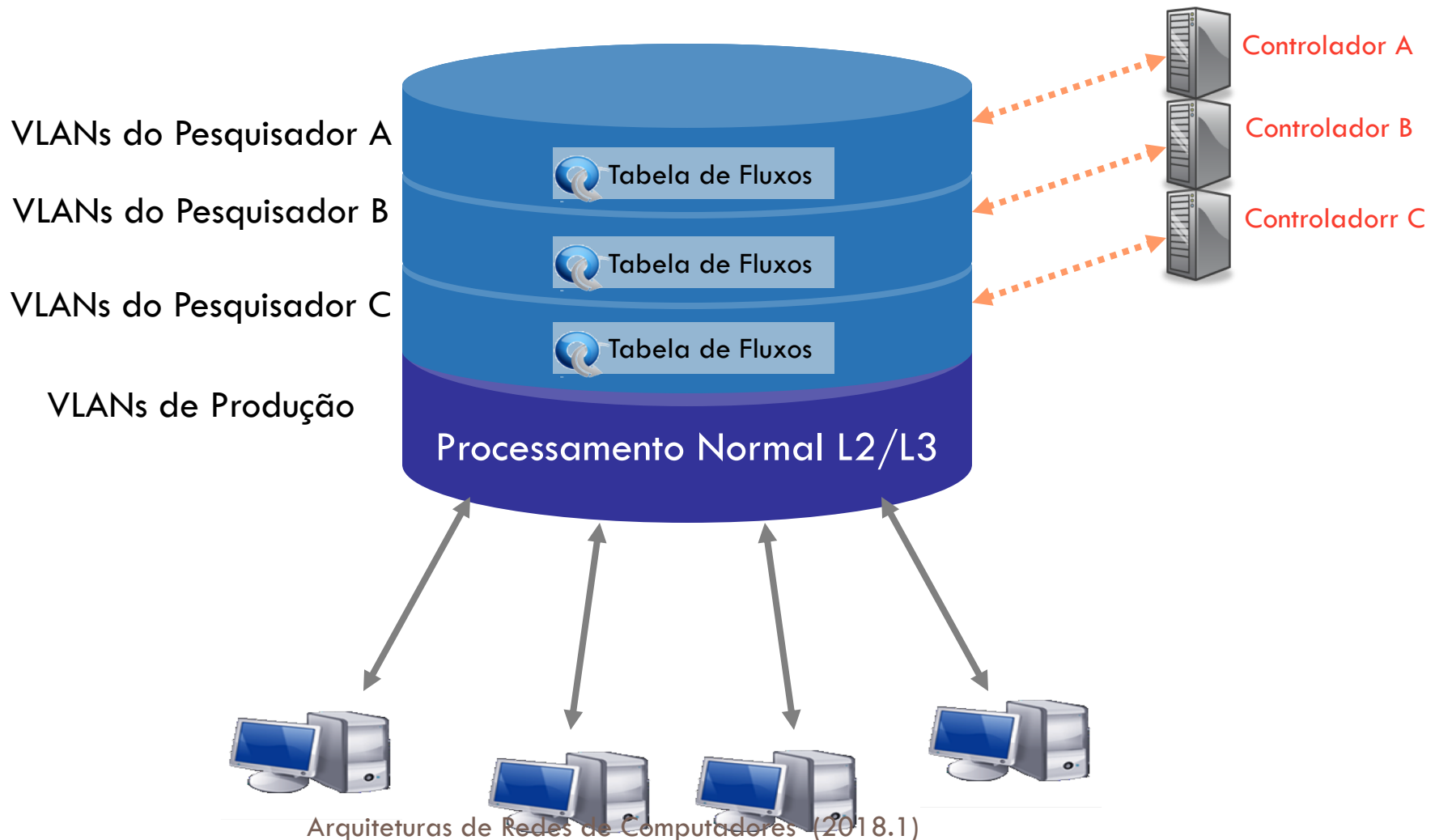
Caminho de
controle

OpenFlow

Caminho de Dados (Hardware)

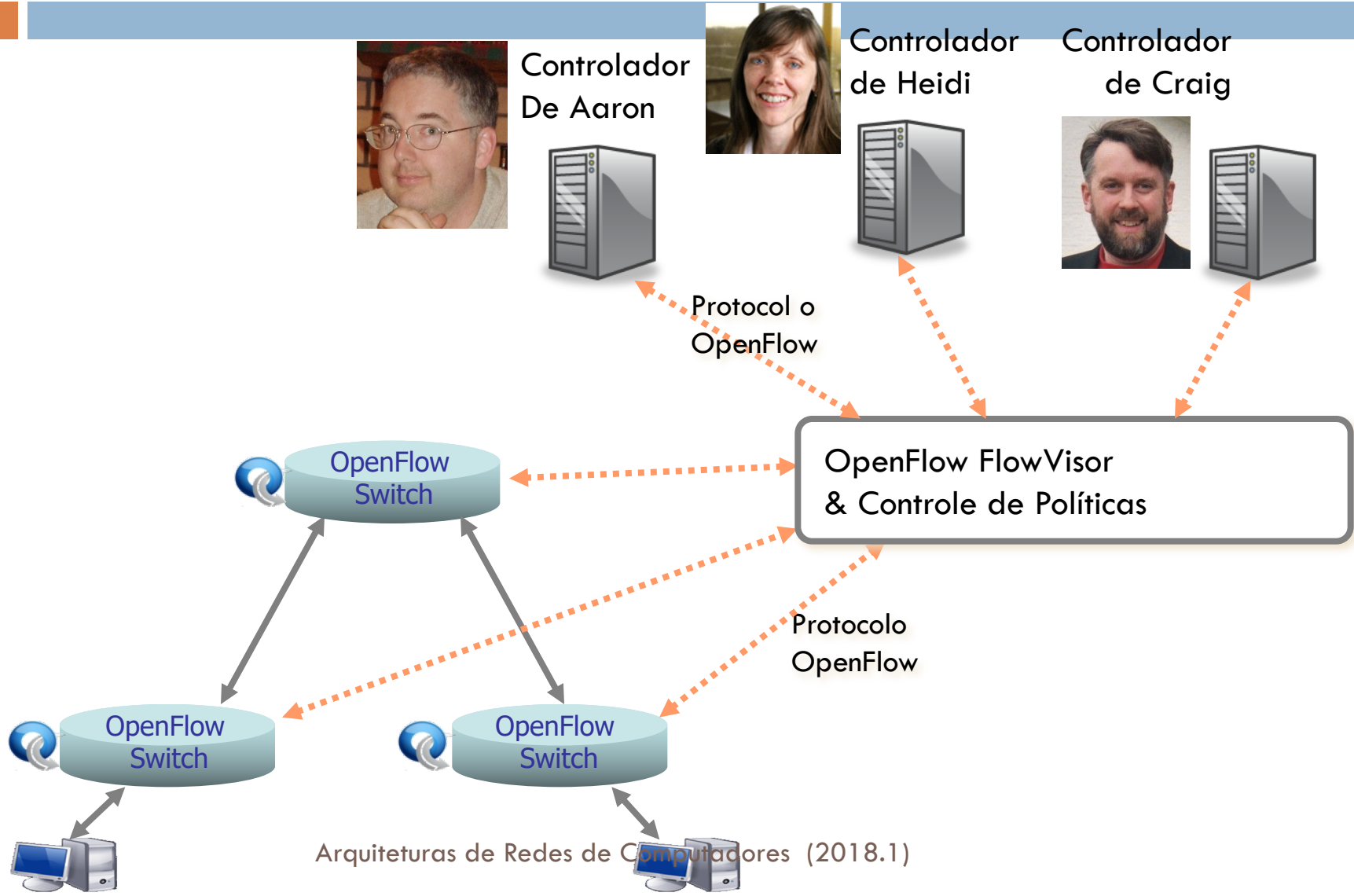
Virtualizando o Switch OpenFlow

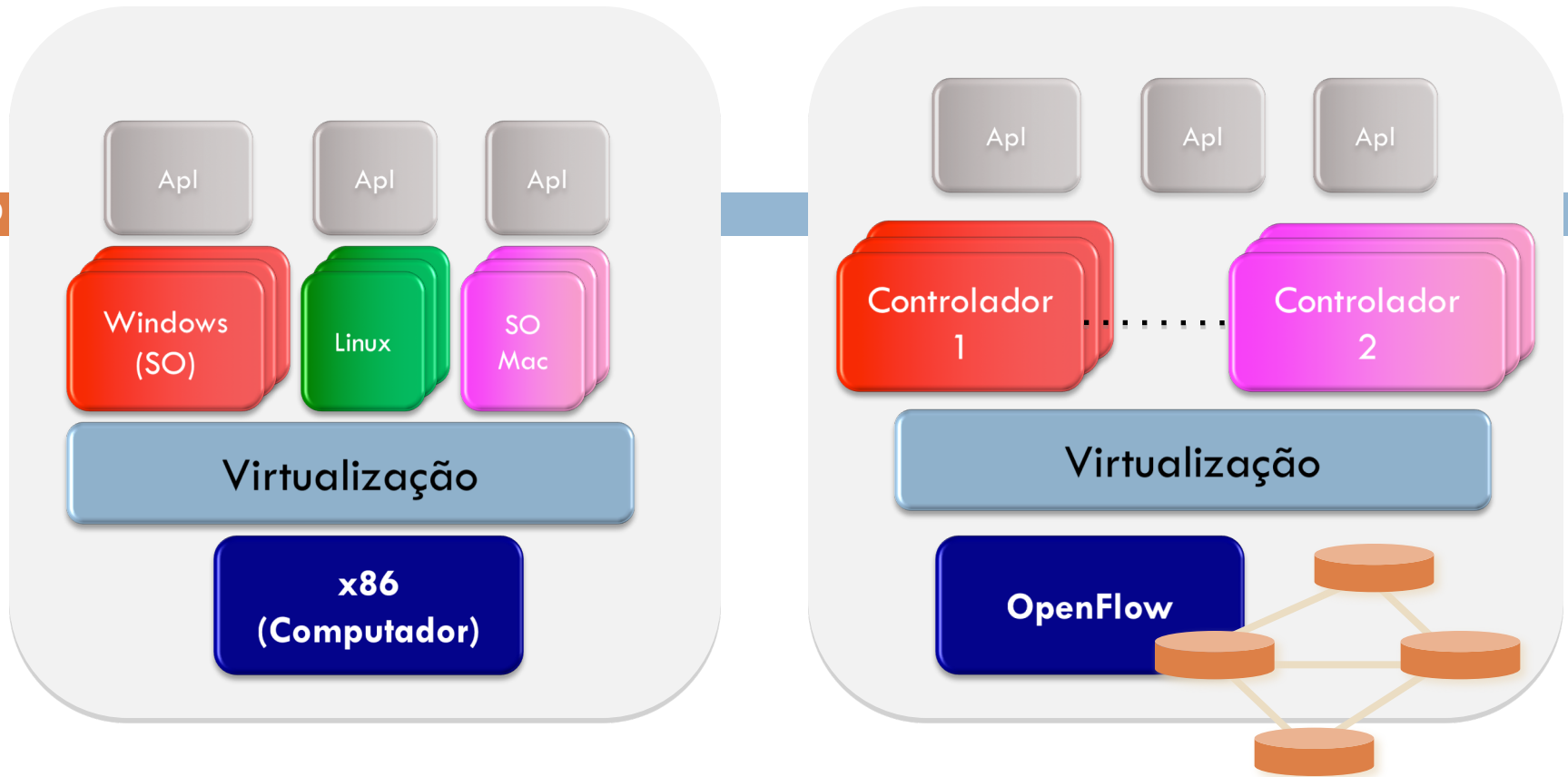
28



Virtualizando o OpenFlow

29





Substrato de hardware simples, comum, estável
+ Programabilidade
+ Modelo de isolamento forte
+ Competição acima
→ Inovação mais rápida

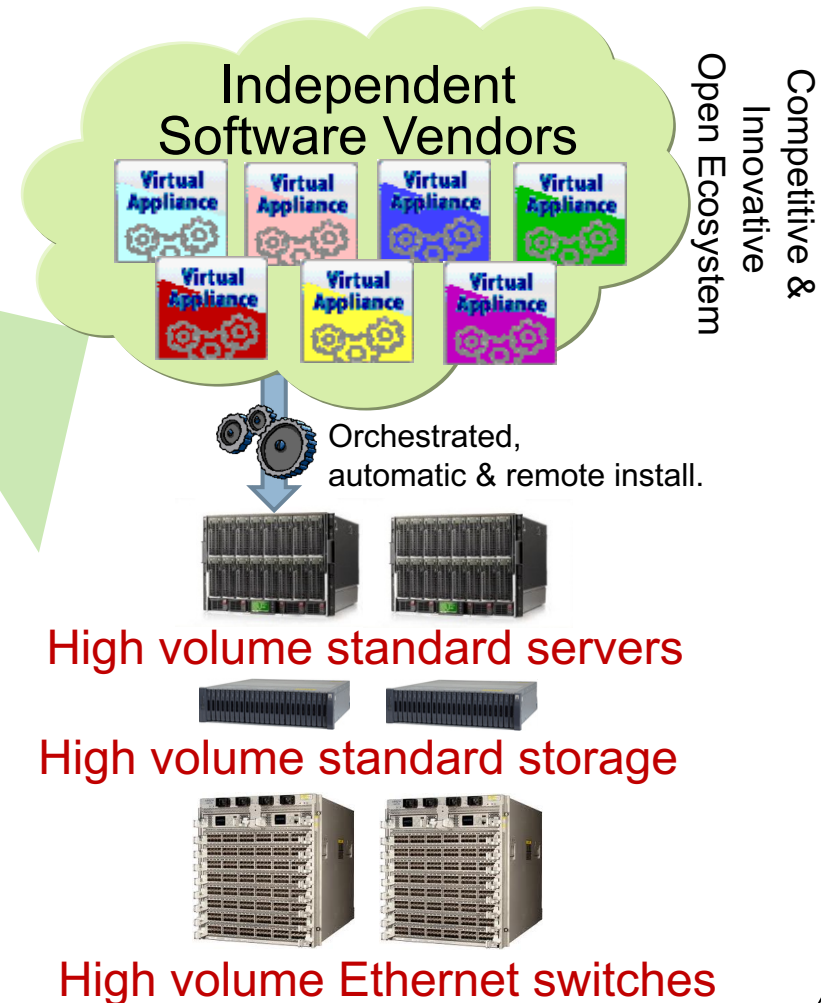
NFV: visão

Classical Network Appliance Approach



- Fragmented, purpose-built hardware.
- Physical install per appliance per site.
- Hardware development large barrier to entry for new vendors, constraining innovation & competition.

Network Functions Virtualisation Approach



- ❑ Motivação semelhante à das SDNs
- ❑ NFV implementa funções de rede, que hoje rodam em *hardwares* proprietários, em software fazendo uso de servidores padrão e virtualização de TI.
- ❑ Permite o uso de uma única plataforma física para diferentes aplicações, usuários e provedores
- ❑ Facilita a inovação
- ❑ Aplicável a quaisquer funções dos planos de dados e de controle (para redes fixas ou móveis)

NFV e SDN

33

- São altamente complementares, mas independentes (NFV pode ser implantada sem SDN e vice-versa)

P4: Programmable Packet Processing for NFV/SDN

34

- Fonte: OFC 2017 Panel Session – available at <https://www.youtube.com/watch?v=MHhzD8syC-Y>
- P4: packet forwarding in the data plane
- Short history:
 - ▣ First proposed in July 2014 (ACM Computer Communication Review Article)
 - ▣ Community now managed by P4 language Consortium (P4.org)
 - ▣ Current ‘widely-supported’ spec is P4₁₄; current release spec is P4₁₆

□ Goals:

▣ Protocol Independence

- Define a packet parser
- Define a set of typed match+action tables

▣ Target Independence

- Program without knowledge of packet-processing device details
- Let compilers configure the target device

▣ Reconfigurability

- Allow users to change parsing and processing in the field

▣ Interface Definition

- Automatically derive control-plane interface

36

Internet do Futuro

Abordagem Radical

37

- Baseado em slides de Scott Shenker (@FCRC 2007)
- Radical = não incremental (*Clean Slate*)
- Projetos obtidos a partir da pergunta: “O que *faríamos se pudéssemos reprojetar a Internet do zero?*”
- Questões:
 - ▣ Por que devemos considerar projetos radicais?
 - ▣ Quais são algumas destas idéias radicais?
 - ▣ Como podemos testar projetos radicais?

Três afirmações óbvias

38

- Vivemos hoje num mundo conectado
 - ▣ *Conectar é tão importante quanto computar*
- A Internet é um dos grandes triunfos da pesquisa
 - ▣ O projeto original foi produto de pesquisa e não da indústria
- A Internet é uma vítima do seu próprio sucesso
 - ▣ Alterou os padrões pelos quais é julgada...

Mudando o Contexto e as Expectativas

39

- A arquitetura da Internet foi um sucesso absoluto
 - ▣ Cresceu muitas ordens de grandeza em dimensão e velocidade
 - ▣ Acomodou uma diversidade de usos e tecnologias
 - ▣ Mudou o **contexto** no qual opera

- Levou a requisitos não alcançados pela arquitetura original
 - ▣ Estes novos requisitos impõem profundos desafios intelectuais
 - ▣ Não se trata de “remendar”, mas “como projetar do zero”.

- **Compreender** requer repensar o paradigma básico
 - ▣ Lidar pode (não) necessitar de mudanças arquiteturais significativas

Ambiente:

Confiável $\Rightarrow$ Não confiável

40

- Requer uma Internet muito mais segura
 - ▣ O que entendemos por segurança
 - ▣ Que aspectos são de responsabilidade da rede?
- Grandes desafios de projeto
 - ▣ Resiliência a ataques externos de grande escala (DDoS)
 - ▣ Resiliência a roteadores comprometidos
 - ▣ Fácil autenticação de dados
 - ▣ Forense e auditoria
 - ▣ Prover tanto responsabilidade como privacidade
 - ▣ ...

Usuários:

Pesquisadores $\Rightarrow$ Usuários

41

- Os usuários demandam alta **disponibilidade**
 - ▣ O serviço quase nunca deveria ser interrompido
- A Internet foi projetada para grandes propriedades de recuperação
 - ▣ Recuperação de falhas graves
- Como a Internet pode prover disponibilidade de 5 9's (99,999%)?
 - ▣ ... e fazer isto de forma econômica
 - ▣ A Internet hoje está na casa de 2-3 9's (99 a 99,9%)

Operadores:

Sem fins lucrativos $\Rightarrow$ Comercial

42

- Os operadores devem ser capazes de gerenciar suas redes
 - ▣ Configuração
 - ▣ Identificação de problemas
 - ▣ Caixas intermediárias (*proxies, firewalls, NATs, etc.*)
 - ▣ Política (roteamento, controle de acesso)
- Quais são as abstrações corretas para o gerenciamento?
 - ▣ Quais os mecanismos que dão melhor suporte?

Uso: Orientação a host $\Rightarrow$ Orientada a dados

43

- A Internet foi projetada em torno de um modelo orientado ao host (sistema final)
 - ▣ O usuário diz ao cliente para contatar outro host (telnet, ftp)
- O uso atual é mais voltado para os dados
 - ▣ O usuário quer acessar dados ou serviços particulares
 - ▣ Não se importa onde o serviço esteja localizado
- Desencontro hoje tratado por mecanismos *ad hoc*
 - ▣ Akamai, P2P
- Quais são as abstrações corretas para uma Internet orientada a dados?

Conectividade: IP E2E $\Rightarrow$ X intermitente

44

- A arquitetura assume uma conectividade IP fim a fim
- Em algumas configurações específicas, cada enlace é intermitente e uma conectividade fim a fim é rara
 - ▣ Espaço, submarino, economias em desenvolvimento
 - ▣ Levou a “redes tolerantes a atrasos” (DTN)
- De um modo geral quer isolar as aplicações dos detalhes da rede
 - ▣ Comunicação oportunista e dependente do contexto
- Qual é a API adequada para permitir esta generalização?

Redes para Experimentação (*Testbeds*)

45

- ❑ Usável por muitos experimentos simultaneamente
- ❑ Facilmente programável
- ❑ Pode realizar experimentos em qualquer nível (do ótico até o de aplicações)
- ❑ Usuários podem se conectar mesmo de localizações remotas
- ❑ Escala razoavelmente grande

(Algumas) Redes para Experimentação no Mundo

46

- GENI (Estados Unidos)
- FIRE (Europa)
- AKARI (Japão)
- FIBRE (Brasil)

Arquitetura de Redes

Princípios Fundamentais

48

- Motivação: identificar um pequeno número de princípios que possam levar a uma teoria unificada de redes!
- A diferença principal entre a Ciência da Computação e outros campos científicos é que: “Nós construímos aquilo que medimos”!
- Hipótese:
 - ▣ Princípios são independentes das implementações

O que é uma boa arquitetura?

49

- Definição comum de dicionário:
 - ▣ Um conjunto de regras e restrições que caracterizam um estilo particular de construção

- Houaiss (4^a. Definição):
 - ▣ Conjunto de princípios, normas, materiais e técnicas usadas para criar o espaço arquitetônico

Projeto e Especificação da Arquitetura da Rede

50

- Níveis de abstração:
 - ▣ Modelo
 - ▣ Serviço
 - ▣ Protocolo e interface
 - ▣ Implementação.

New Architectures Examples

51

- Information Centric Networks (ICN)
 - ▣ Content Centric Networks (CCN)
 - ▣ Named Data Networks (NDN)
 - ▣ Data-Oriented Network Architecture (DONA)
 - ▣ NovaGenesis (NG) – INATEL
 - ▣ Entity Title Architecture (ETArch)
- eXpressive Internet Architecture (XIA)
- Recursive InterNetwork Architecture (RINA)

52

A Disciplina

Organização da Disciplina

53

- Redes para Experimentação
- O Ambiente FIBRE
- Virtualização de Redes
 - ▣ Redes Definidas por Software (SDN – *Software Defined Networks*)
 - ▣ Virtualização de Funções de Rede (NFV – *Network Functions Virtualization*)
 - ▣ P4 – *Packet Forwarding Programming Language*
- Princípios de Arquiteturas de Redes de Computadores (fundamentos e implementações existentes)
- Arquitetura InterRedes Recursiva – RINA
 - ▣ baseada em IPC – *InterProcess Communication*
- Outras Arquiteturas de Rede

Avaliação

54

- Experimentações no FIBRE
- Participação nas aulas
- Apresentações nas aulas:
 - ▣ Virtualização de redes
 - ▣ RINA
 - ▣ Nova Arquitetura
- Plus: execução de uma nova arquitetura no FIBRE