

# INTERNET DO FUTURO

Prof. José Augusto Suruagy Monteiro  
[suruagy@cin.ufpe.br](mailto: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

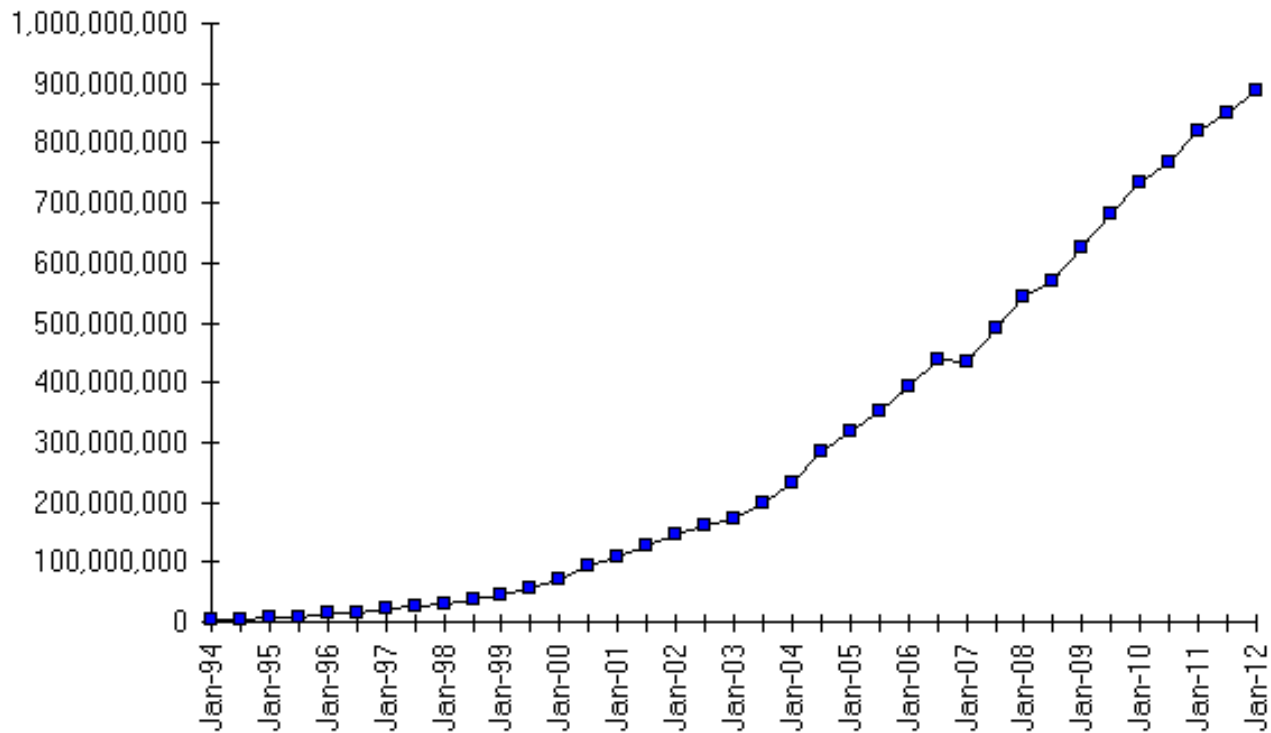
8

- Virtualização
- Redes definidas por software (SDN)
- Redes experimentais
- Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*)
- Redes Verdes
- ?



# Evolução do Número de Hosts

Internet Domain Survey Host Count

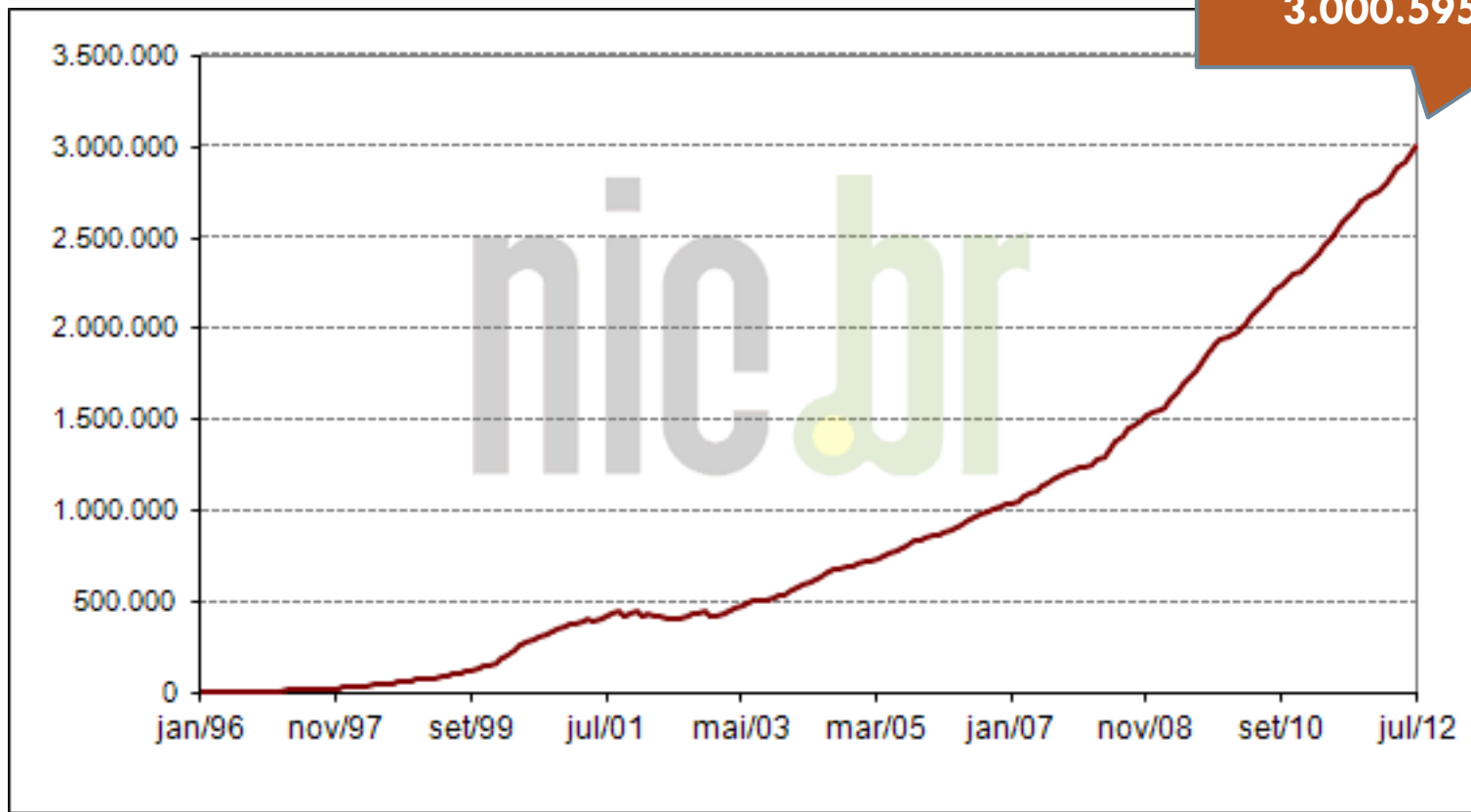


Source: Internet Systems Consortium ([www.isc.org](http://www.isc.org))

# Evolução do Número de Domínios .br

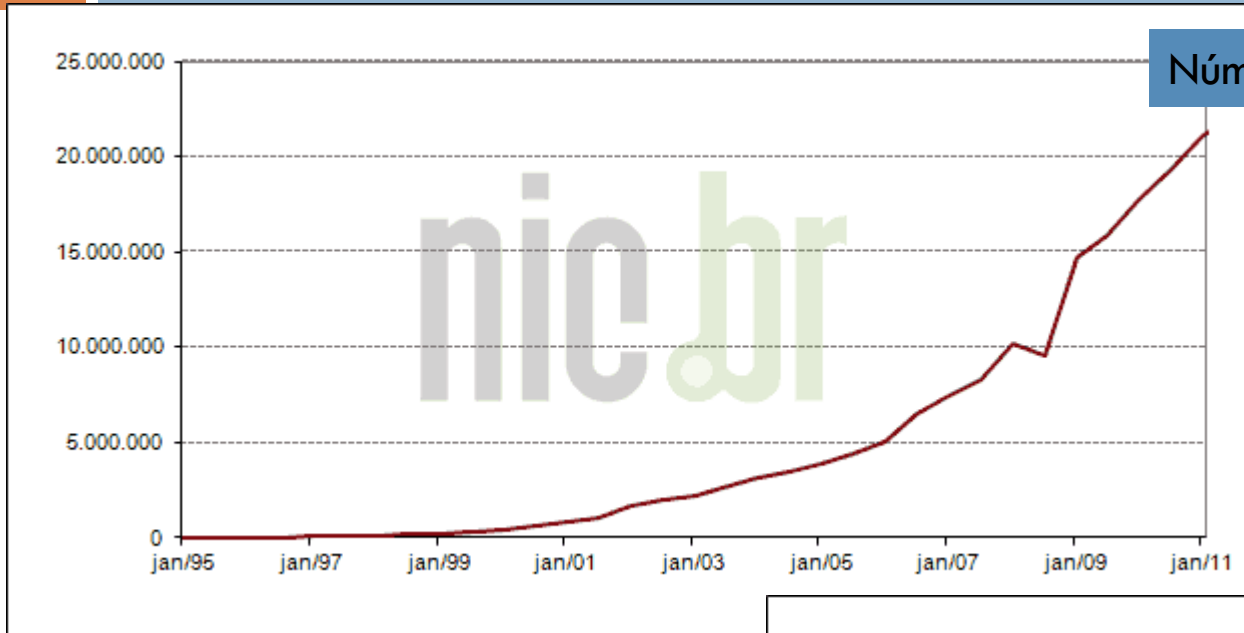
10

Julho de 2012:  
3.000.595

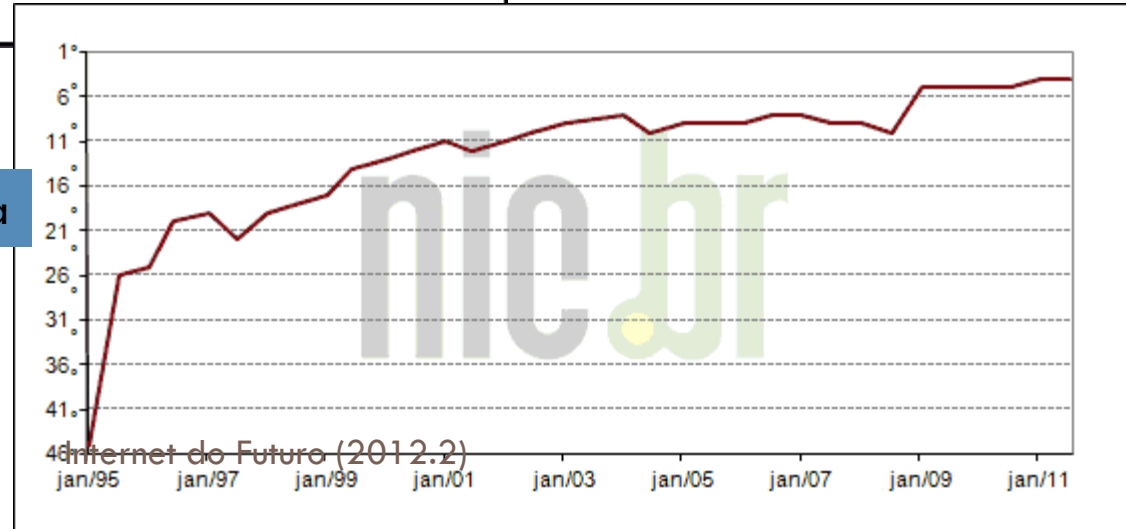


# Evolução do Número de Hosts do Brasil

11

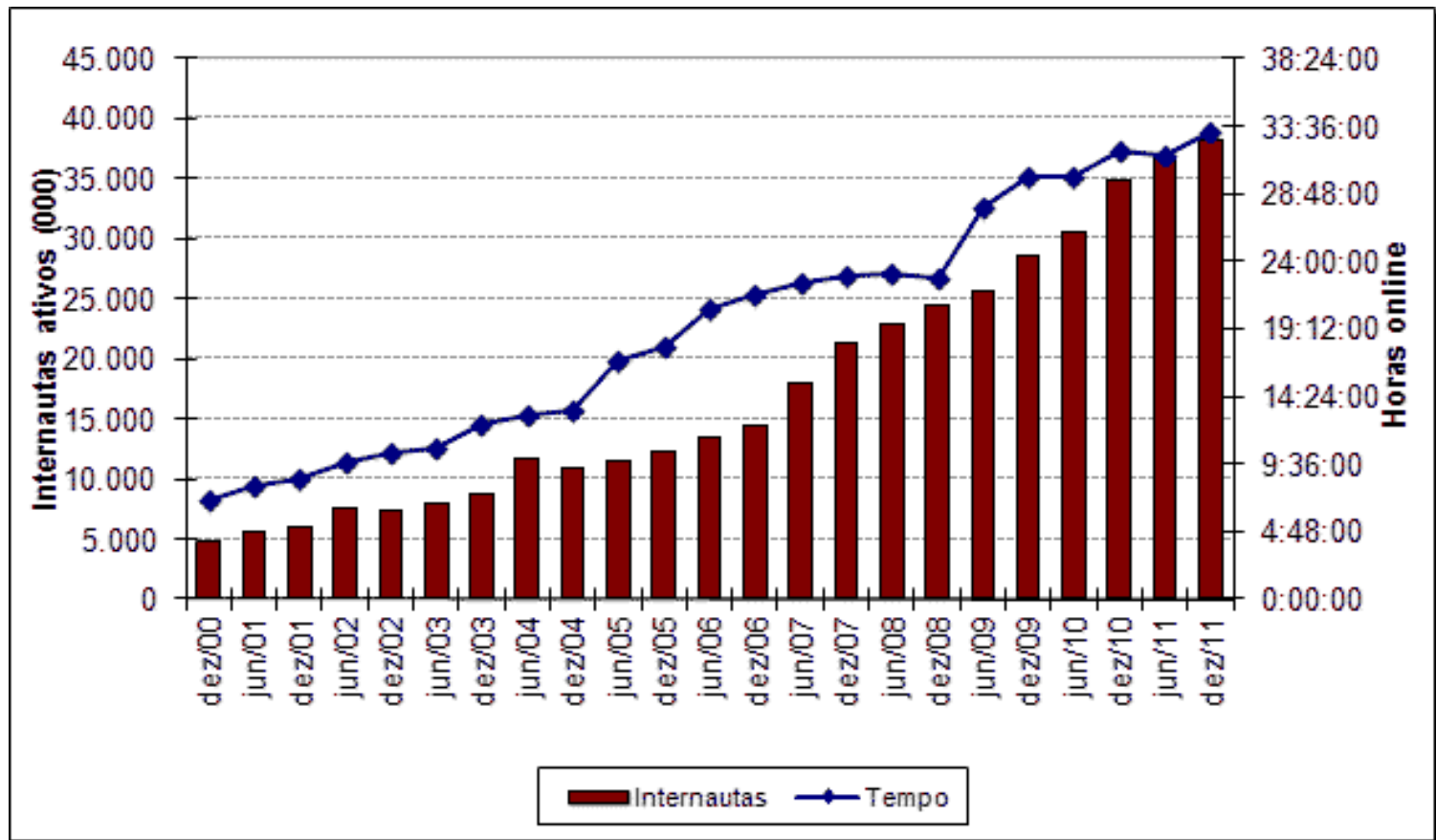


**Posição Relativa**



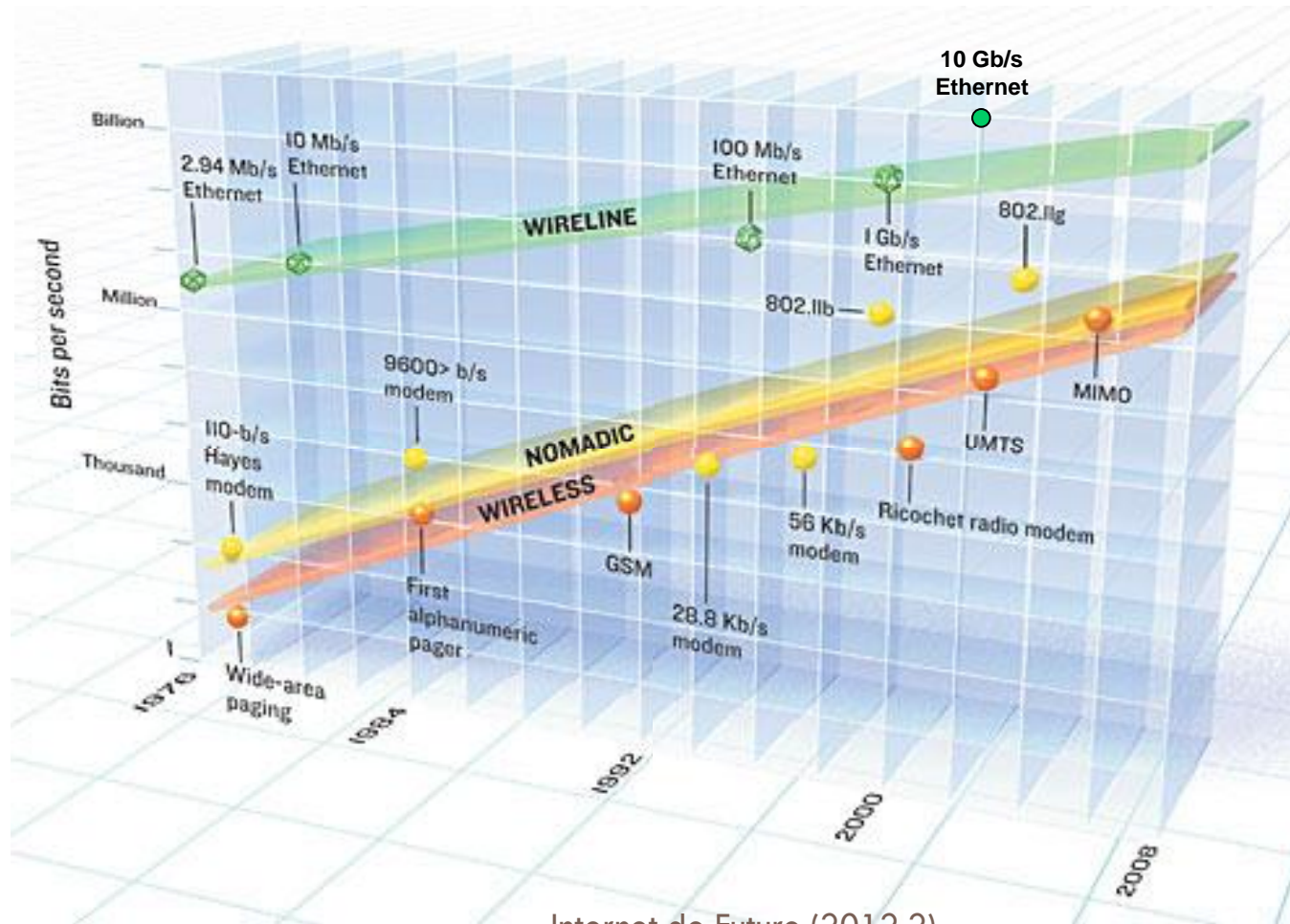
# Internautas Domiciliares Ativos e Horas Navegadas

12



# Lei da Largura de Banda de Edholm

13



Internet do Futuro (2012.2)

# A Internet “Hoje”

14

- **1ª Revolução:** “Longo Alvorecer” da Idade da Informação [Newman, 2007]
  - 2,3B Usuários da Internet (12/11); 300M com Banda Larga (7/07)  
<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

22

# Evolução da Internet

# Redes híbridas [Stanton, 2007]

23

- Para suportar economicamente fluxos P2P de alto capacidade, a solução mais indicada é de circuito
- Oferta simultânea de serviços de pacotes e circuitos é feita por redes híbridas
- Redes híbridas nos obrigam a manter estruturas paralelas de transporte usando pacotes e circuitos, usando uma infraestrutura comum
  - ▣ diferentes lambdas numa mesma fibra
- As redes híbridas começaram a ser implantadas a partir de 2004 (Holanda, Canadá)
- Em 2007 foram adotadas também na Europa e EUA.
- Experimentos no Brasil em 2010: Rede Cipó

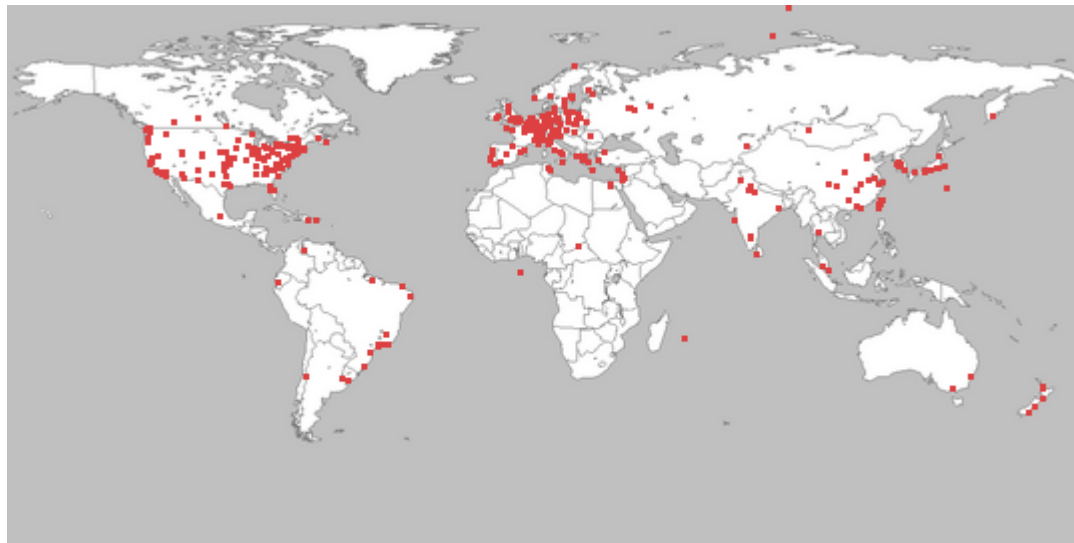




# PLANETLAB ([www.planet-lab.org](http://www.planet-lab.org))

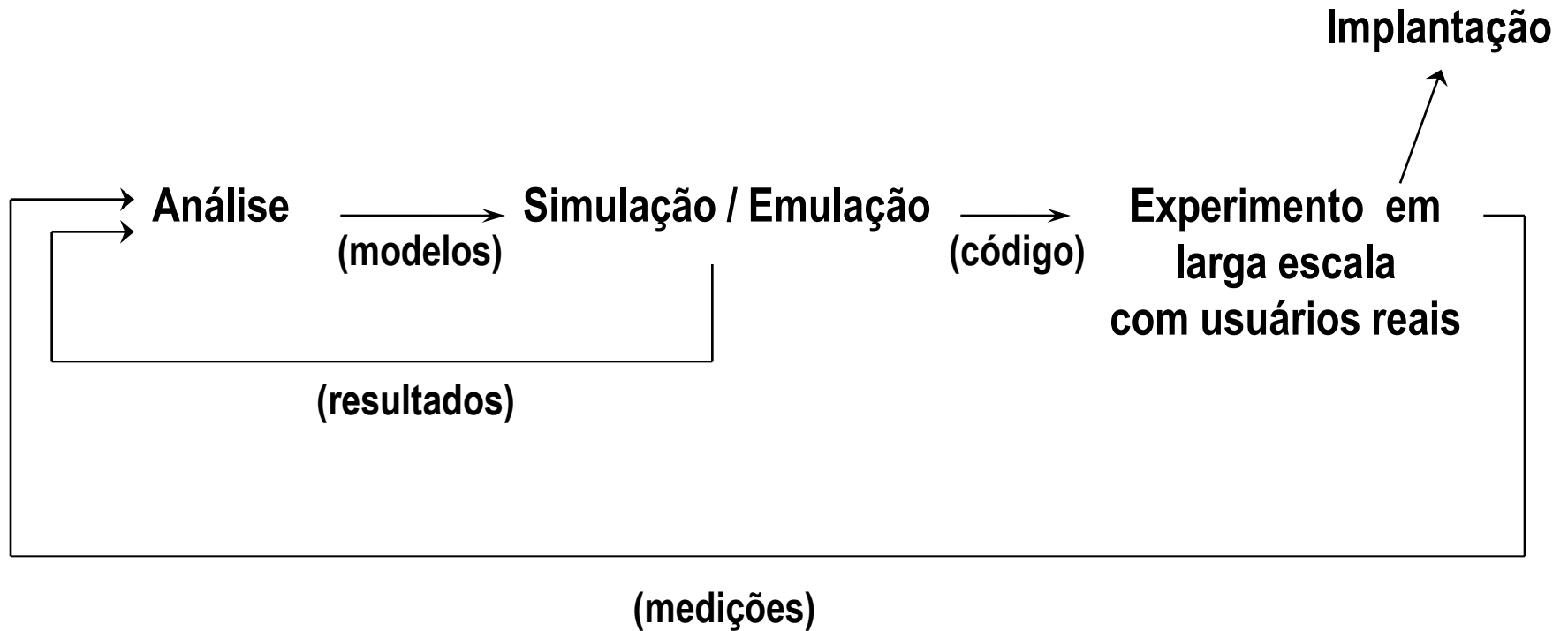
25

- Plataforma aberta para o desenvolvimento, implantação e acesso em escala planetária de serviços.
- Coleção de máquinas distribuídas no mundo inteiro (1114 nós em 538 locais):



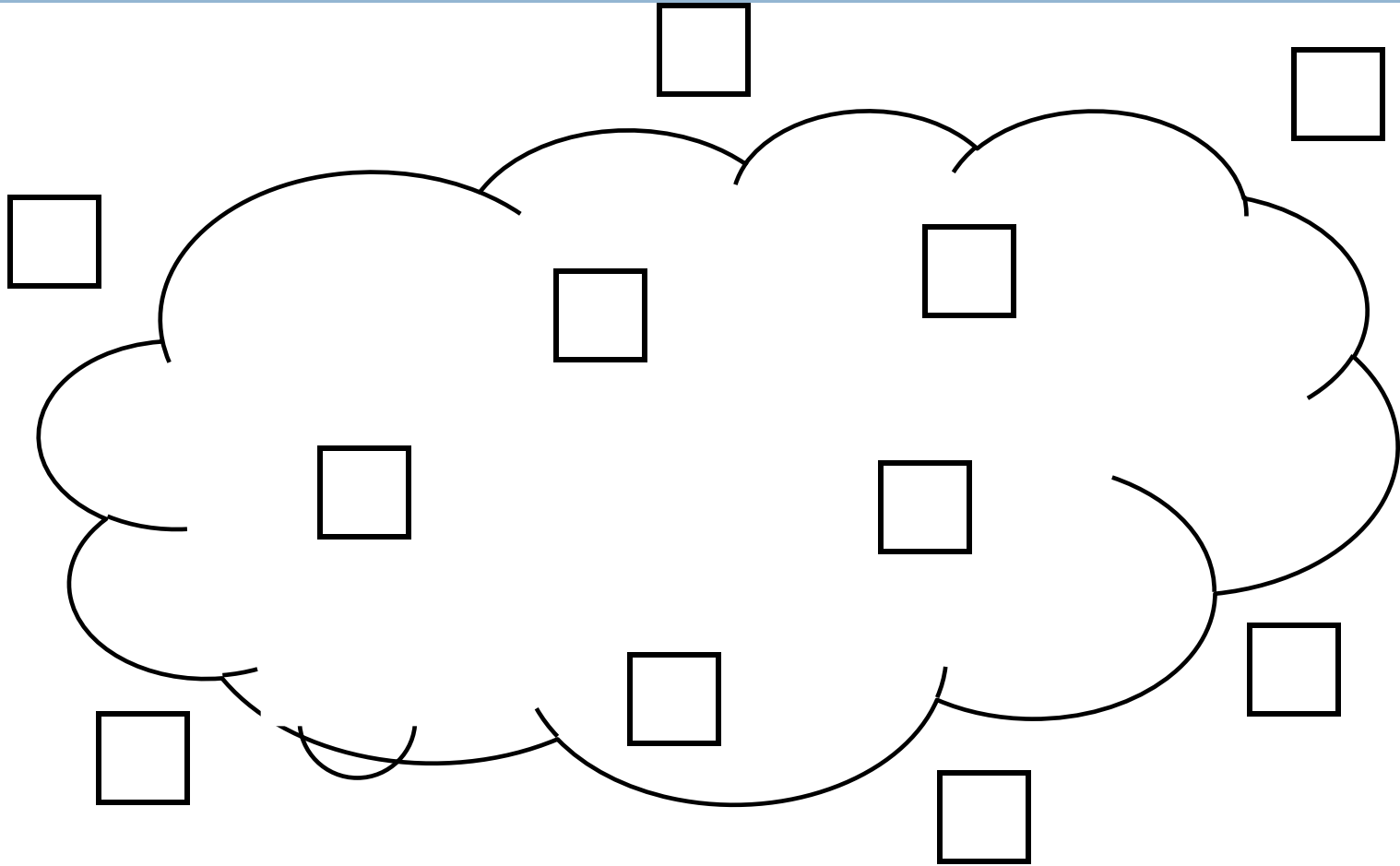
# Lacuna de Validação

26



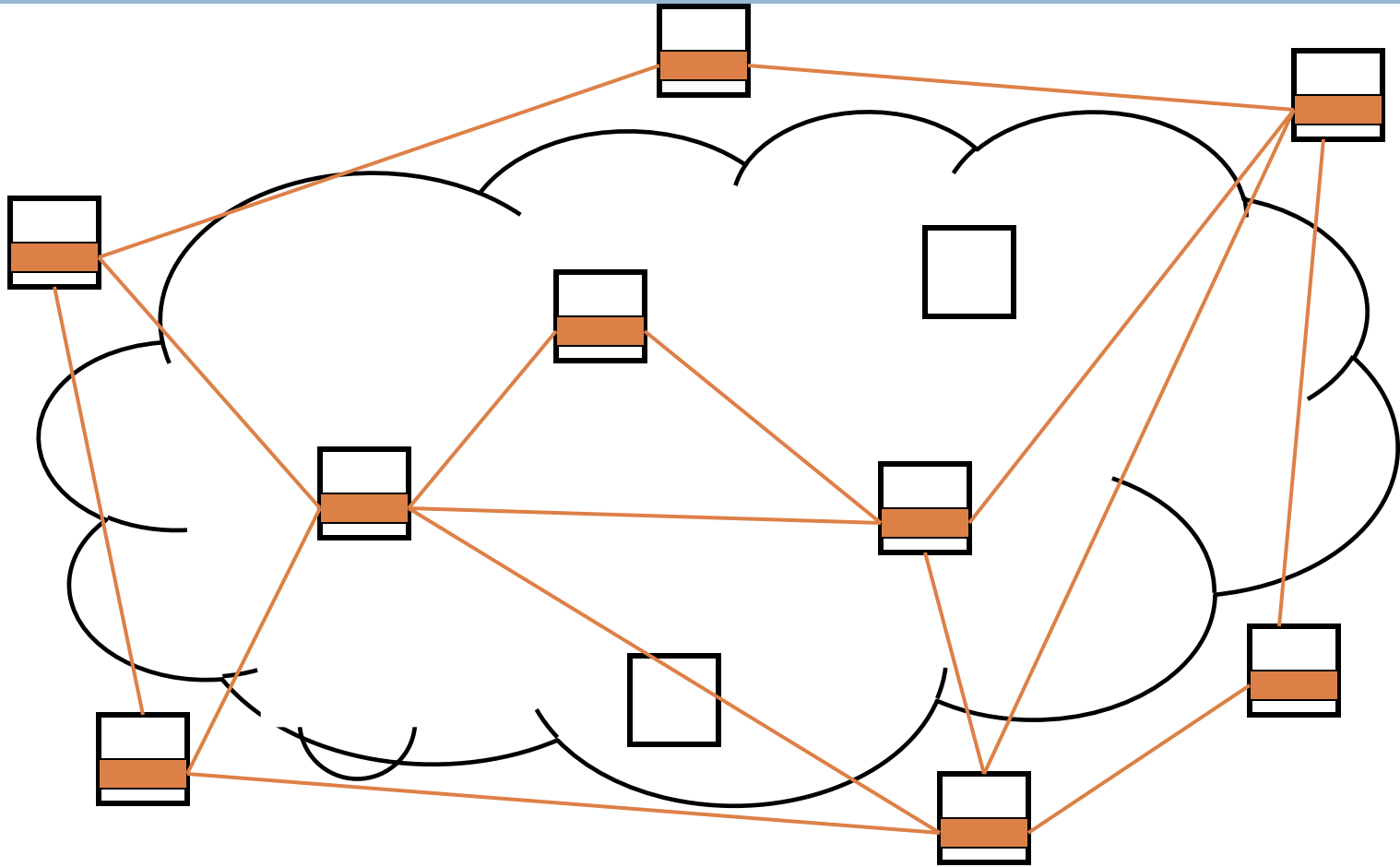
# Fatias (*Slices*)

27



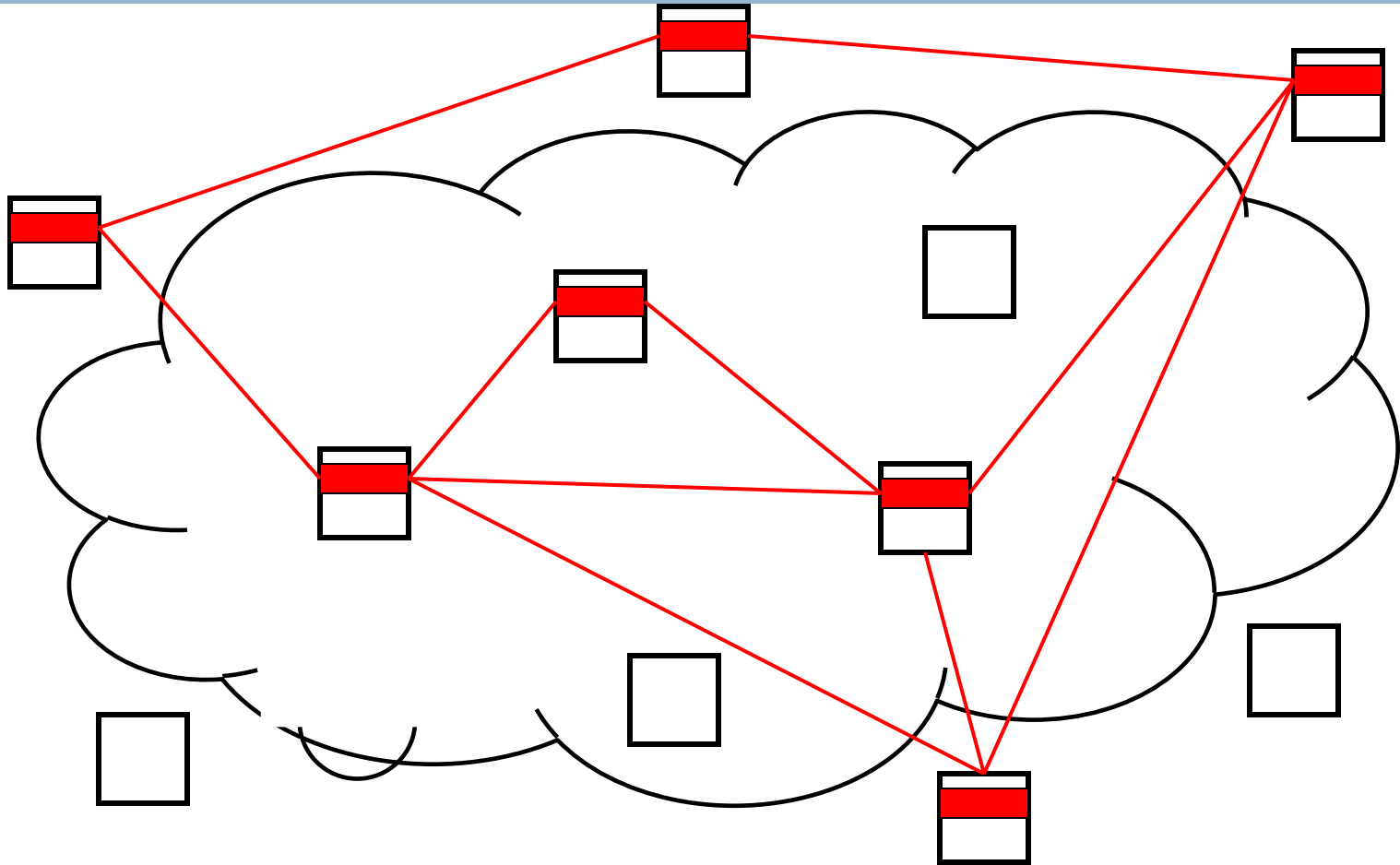
# Uma Fatia (Slice)

28



# Outra Fatia (*Slice*)

29



# OpenFlow/*Software Defined Network* (SDN)

Virtualização dos Equipamentos de Redes

[www.openflow.org](http://www.openflow.org)



# Roteadores atuais

31

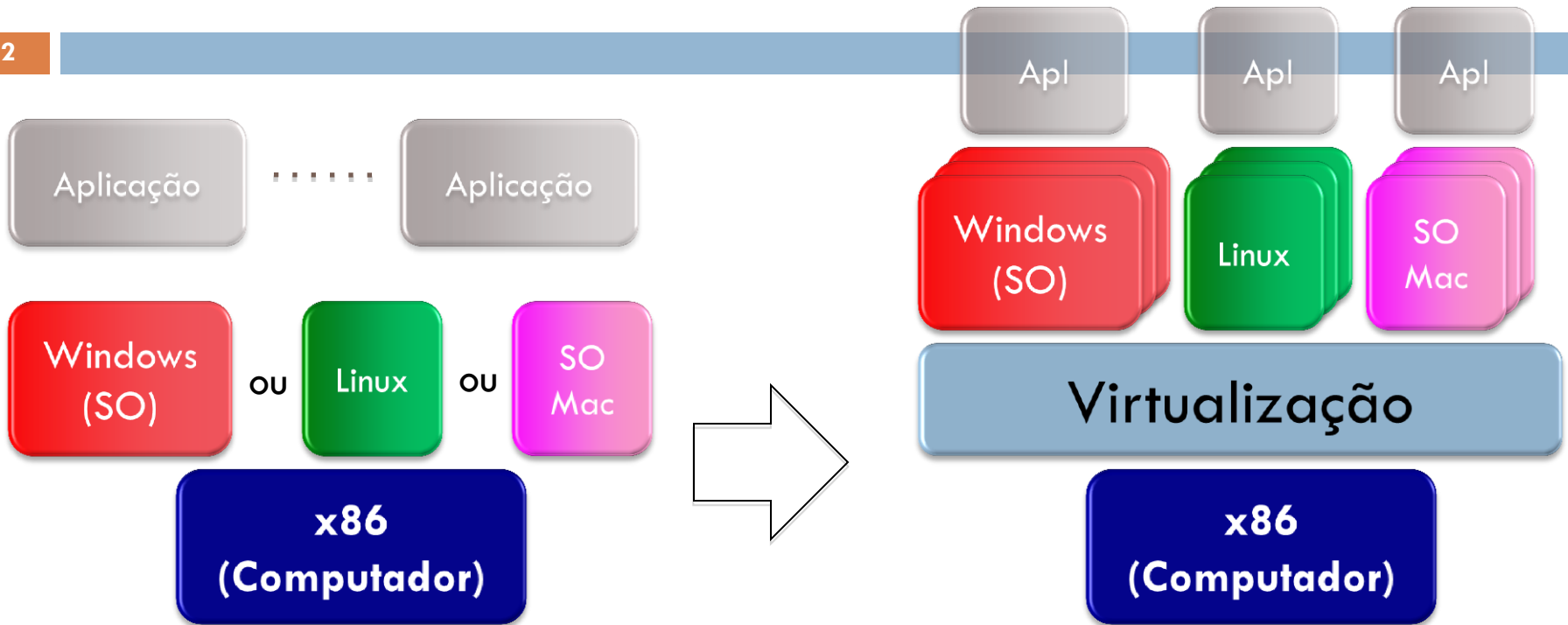


## Muitas funções complexas integradas na infraestrutura

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

# Computadores

32



Substrato de hardware simples, comum, estável

+ Programabilidade

+ Modelo de isolamento forte

+ Competição acima

→ Inovação na infraestrutura Internet do Futuro (2012.2)

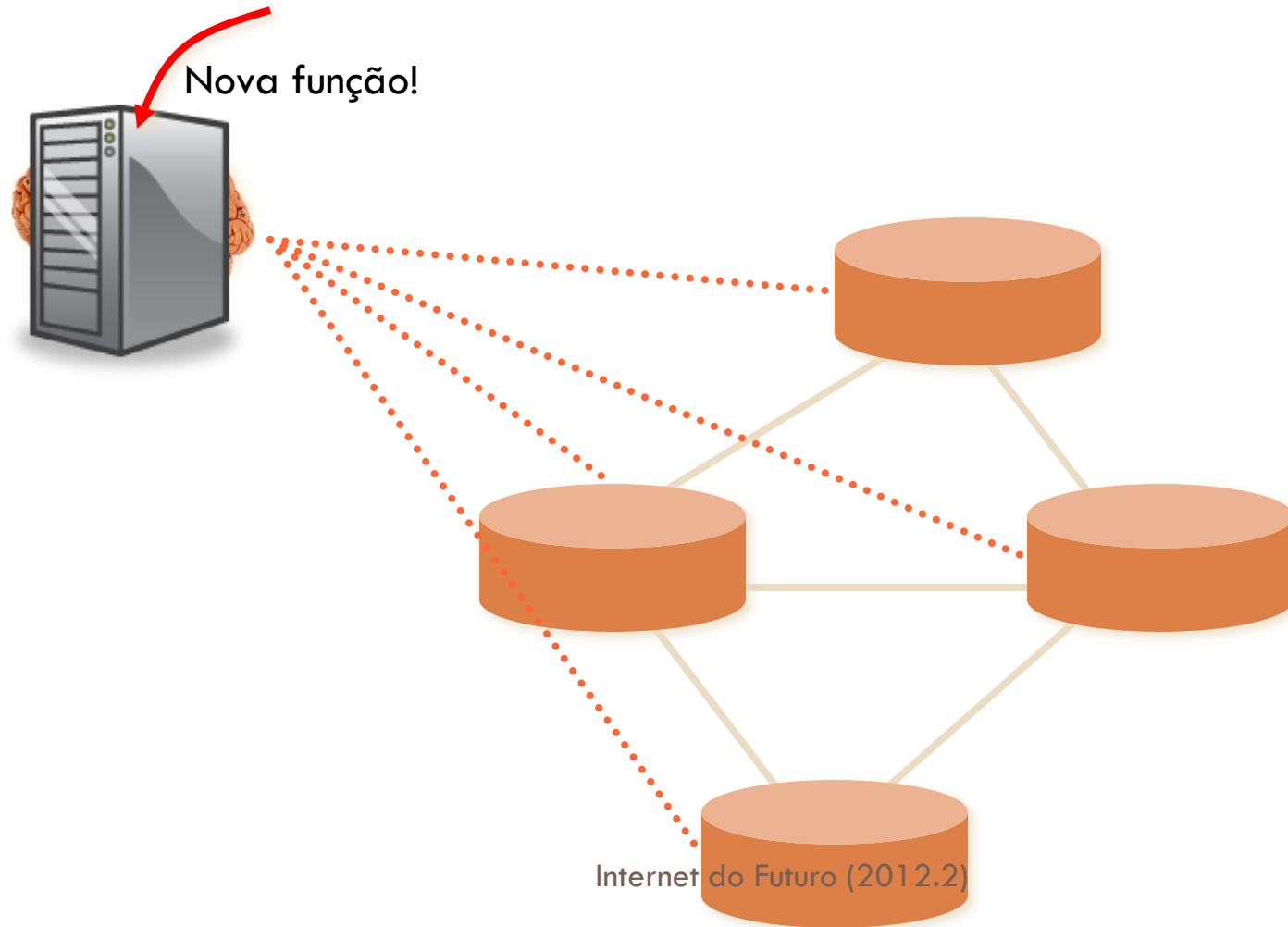


# Passo 1:

## Separar a inteligência do *datapath*

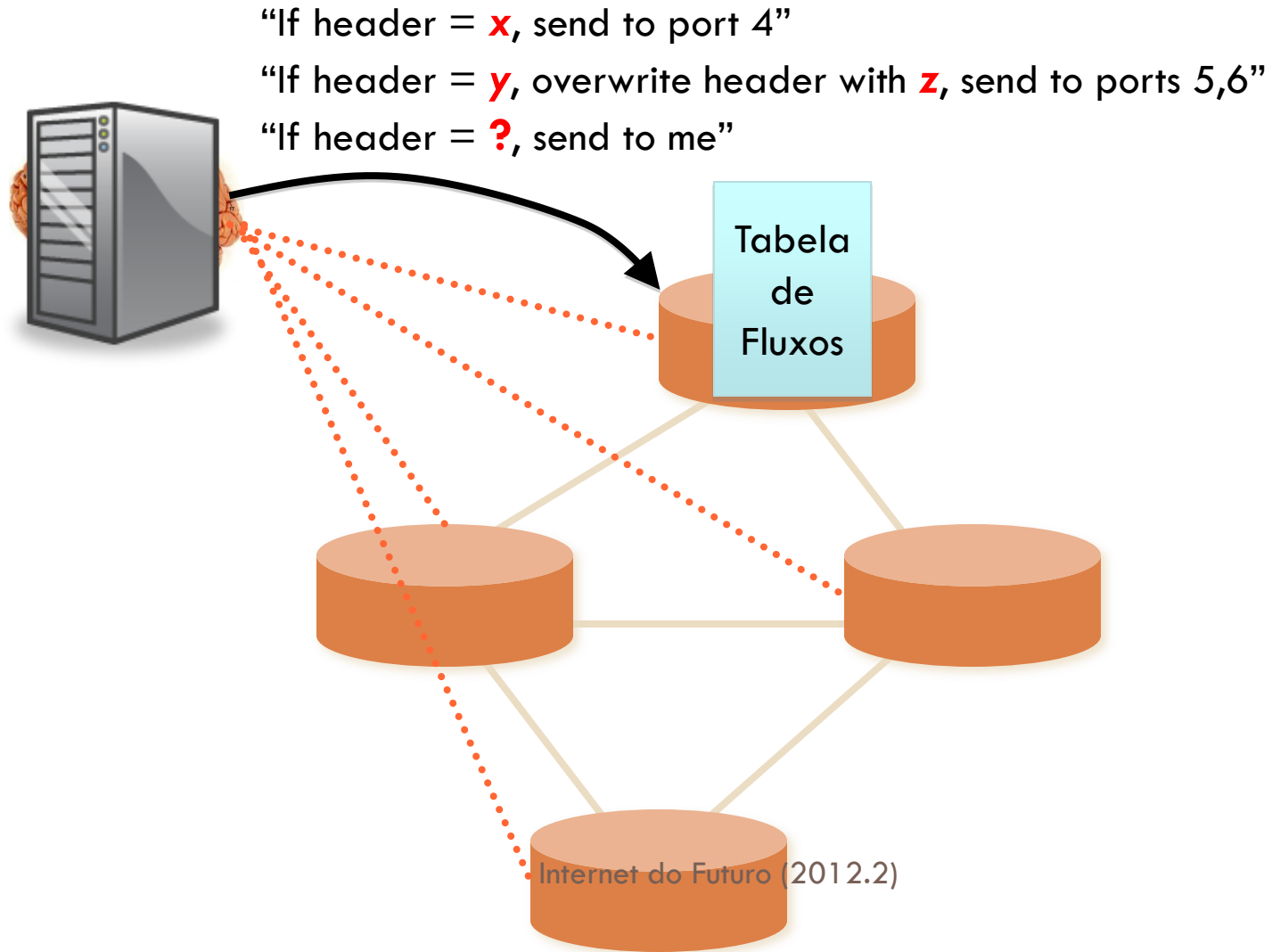
33

Operadores, usuários, desenvolvedores, pesquisadores, ...



# Passo 2: Armazena as decisões em tabelas mínimas de fluxo

34



# Controlador OpenFlow

Protocolo OpenFlow (SSL)



Caminho de  
controle

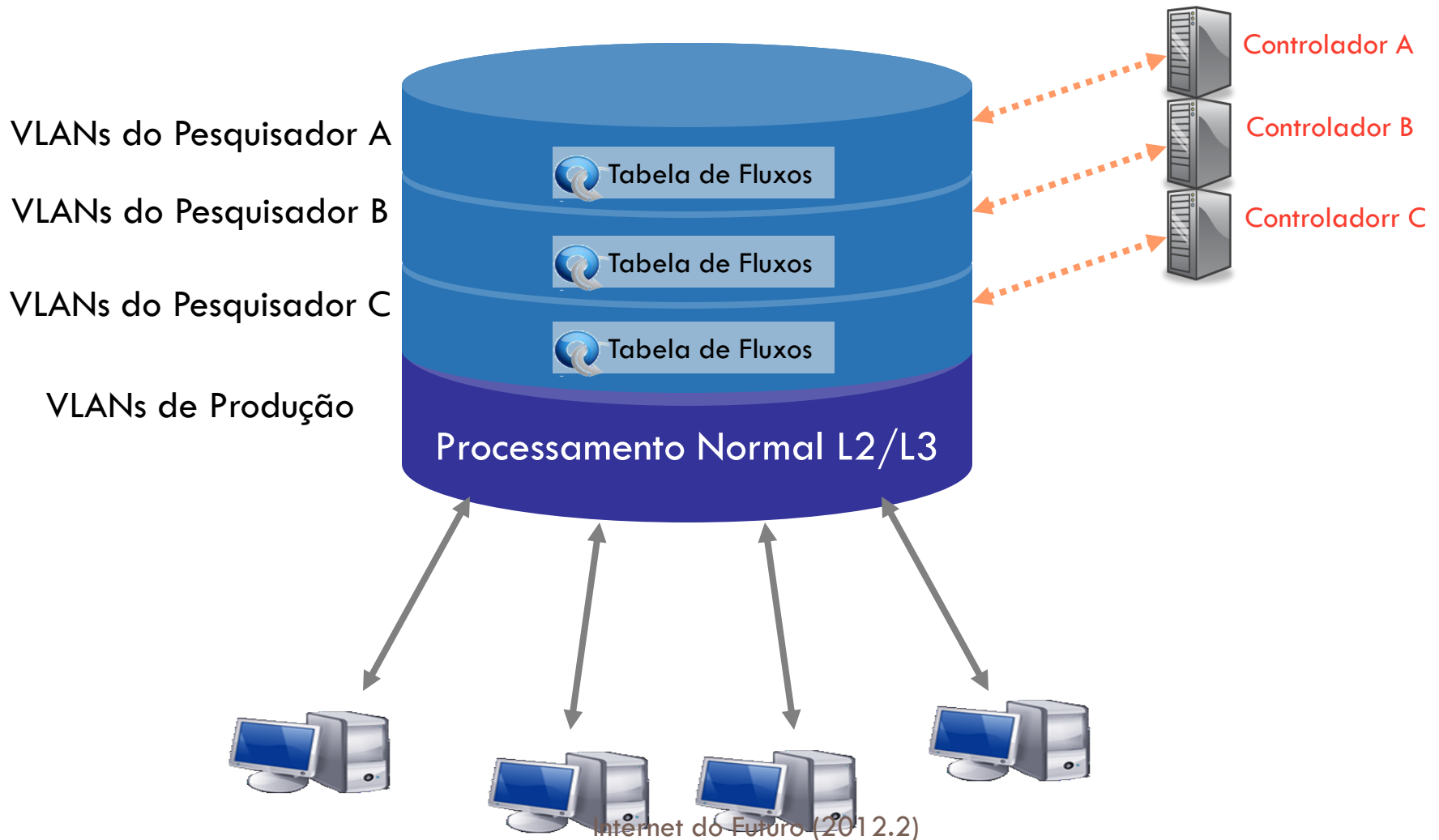
OpenFlow

---

Caminho de Dados (Hardware)

# Virtualizando o Switch OpenFlow

36



# Virtualizando o OpenFlow

37



Controlador De Aaron



Controlador de Heidi

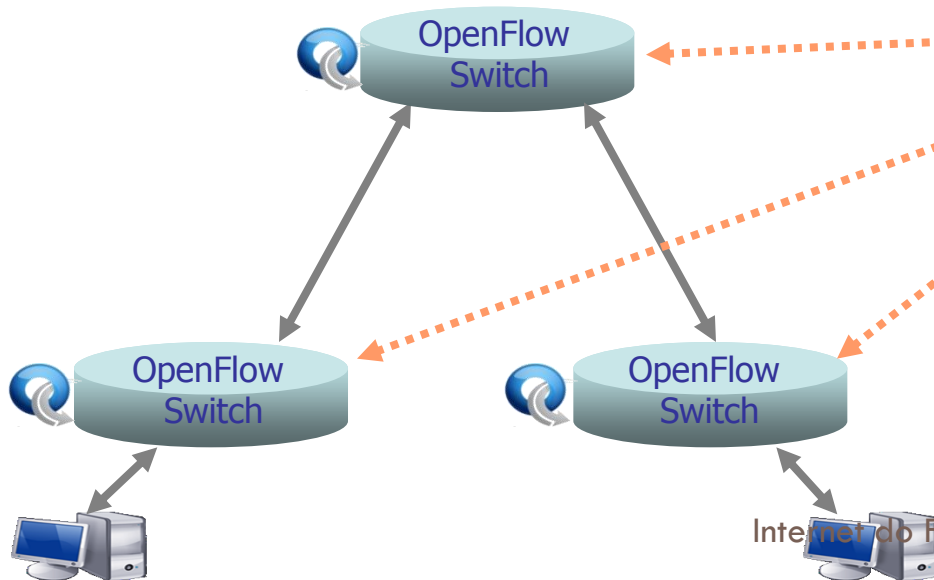
Controlador de Craig



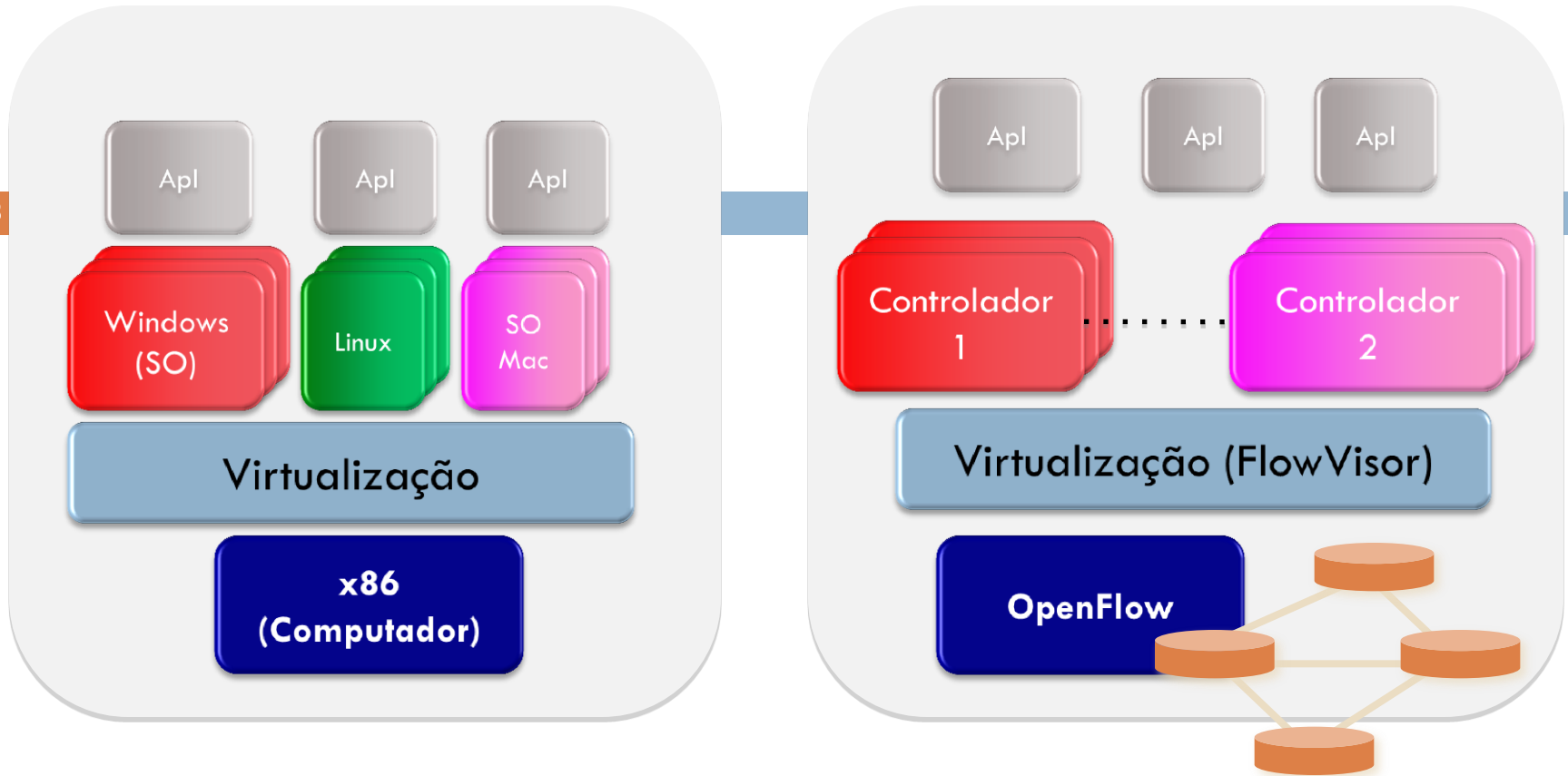
Protocol o OpenFlow

OpenFlow FlowVisor & Controle de Políticas

Protocolo OpenFlow



Internet do futuro (2012.2)



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

# Open Networking Foundation

39

**The New York Times** • Reprints

This copy is for your personal, noncommercial use only. You can order presentation-ready copies for distribution to your colleagues, clients or customers [here](#) or use the "Reprints" tool that appears next to any article. Visit [www.nytreprints.com](http://www.nytreprints.com) for samples and additional information. [Order a reprint of this article now.](#)



March 22, 2011

## Open Networking Foundation Pursues New Standards

By **JOHN MARKOFF**

MOUNTAIN VIEW, Calif. — Acknowledging that so-called cloud computing will blur the distinctions between computers and networks, about two dozen big information technology companies plan to announce on Tuesday a new standards-setting group for computer networking.

# Open Networking Foundation

40

□ <http://www.opennetworking.org/>

□ Empresas miembro:





# Software Defined Network (SDN) e OpenFlow

41

**NETWORKWORLD**

News | **Blogs & Columns** | Subscriptions | Videos | Events | **INS**

Security | LANs & WANs | UC / VoIP | Cloud Computing | Infrastructure Mgmt | Wireless | Software | Data Ce



BACK TO CISCO SUBNET

## No Interference

Art Fewell

◀ Previous Post

### Open Networking Summit Day 2: Cisco says "We see SDN as the next evolution of networking"

Today several of the largest names in tech provided an iron-clad case for the future of SDN and OpenFlow

By [Art Fewell](#) on Wed, 10/19/11 - 5:36am.

# OpenFlow @ Google

42

WIRED

SUBSCRIBE

SECTIONS

BLOGS

REVIEWS

VIDEO

HOW TO

MAGAZINE

SIGN IN | RSS FEEDS

## Going With the Flow: Google's Secret Switch to the Next Wave of Networking

BY STEVEN LEVY  04.17.12 11:45 AM

 Like 1.3k

 Tweet 913

 +1 1k



# Anúncio da Extreme

43

The screenshot shows the MarketWatch website interface. At the top, there's a navigation bar with 'WSJ', 'B', 'Live', 'F', and 'DJ' icons. The main header features the 'MarketWatch' logo with a green upward arrow, 'THE WALL STREET JOURNAL.', and the date 'August 20, 2012' and time '3:29 PM EDT'. A 'Latest News' section lists several headlines. Below that is a table of market indices: DOW (-8.20, -0.06%), NASDAQ (-1.97, -0.06%), and S&P 500 (-0.89, -0.06%). A banner for 'NEW YORK MARKETS CLOSE IN: 0:30:30' is visible. The main content area shows a 'PRESS RELEASE' dated 'July 2, 2012, 7:30 a.m. EDT' with the headline 'Extreme Networks Broadens Software-Defined Networking (SDN) Strategy and Portfolio' and a sub-headline 'Ethernet Switch Maker to support OpenFlow and OpenStack and create a web portal for application development'.

WSJ B Live F DJ

## MarketWatch

THE WALL STREET JOURNAL.

August 20, 2012 3:29 PM EDT

New York Open London Closed Tokyo Closed

### Latest News

View All

- 3:23p Oil prices end below \$96 after four-session climb
- 3:13p Ocean Power Tech up 9% on wave power license
- 3:09p When founders are the wrong CEO pick
- 3:08p U.S. stocks slip a bit ahead of FOMC

DOW	-8.20	NASDAQ	-1.97	S&P 500	-0.89
13,267.00	-0.06%	3,074.62	-0.06%	1,417.27	-0.06%

NEW YORK MARKETS CLOSE IN: 0:30:30 After Hours Preview Winners and Losers Today

Home News Viewer Markets Investing Personal Finance Industries Economy/Politics Trading

PRESS RELEASE

July 2, 2012, 7:30 a.m. EDT

## Extreme Networks Broadens Software-Defined Networking (SDN) Strategy and Portfolio

### Ethernet Switch Maker to support OpenFlow and OpenStack and create a web portal for application development

# Aquisição da Nicira pela VMware

44



The screenshot shows the ZDNet website interface. At the top left is the ZDNet logo. To its right is a search bar labeled 'Search ZDNet'. Below the logo and search bar is a navigation menu with links for 'White Papers', 'Hot Topics', 'Downloads', 'Reviews', and 'Newsletters'. On the far right of this menu are links for 'Log In' and 'Join ZDNet' next to a user profile icon. A secondary navigation bar below features links for 'US Edition', 'Laptops', 'Data Centers', 'Windows', 'Apple', 'Cloud', 'Microsoft', 'Security', 'Mobility', and 'All Writers'. The main content area has a 'Topic: Cloud' label and 'Follow via:' links for RSS and email. The article title is 'VMware buys Nicira for \$1.05 billion'. The summary reads: 'Summary: VMware eyes software-defined networking as it aims to take its virtualization efforts to the network.' Below the summary is a byline: 'By Larry Dignan for Between the Lines | July 23, 2012 -- 20:11 GMT (13:11 PDT)' and a 'Follow @ldignan' button.

Topic: [Cloud](#) Follow via:  

## VMware buys Nicira for \$1.05 billion

**Summary:** VMware eyes software-defined networking as it aims to take its virtualization efforts to the network.

By  Larry Dignan for [Between the Lines](#) | July 23, 2012 -- 20:11 GMT (13:11 PDT)  
[Follow @ldignan](#)

45

# Internet do Futuro

# Abordagem Radical

46

- Baseado em slides de Scott Shenker (FCRC)
- Radical = não incremental (*Clean Slate*)
- Projetos obtidos a partir da pergunta: “O que faríamos se pudéssemos reprojeter 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

47

- 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

48

- 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

49

- 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

50

- 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

51

- 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 dá melhor suporte?

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

52

- 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

53

- 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 Experimentais (*Testbeds*)

54

- ❑ 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 Experimentais no Mundo

55

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

# GENI

56

- *Global Environment for Network Innovations*
- [www.geni.net](http://www.geni.net)
- Iniciativa da NSF para criar um ambiente experimental compartilhado para assistir na validação de novas arquiteturas de rede
- O GENI dará suporte a pesquisas que podem levar a uma futura Internet com características melhoradas



# O ambiente experimental GENI

57

- Possibilita a realização de experimentos com arquiteturas de redes, serviços e aplicações alternativas, em grande escala e condições reais
- Através da virtualização, o GENI possibilita a realização de múltiplos experimentos independentes simultaneamente
- Facilita a pesquisa experimental através do uso extensivo de ferramentas de medição e coleção de dados.

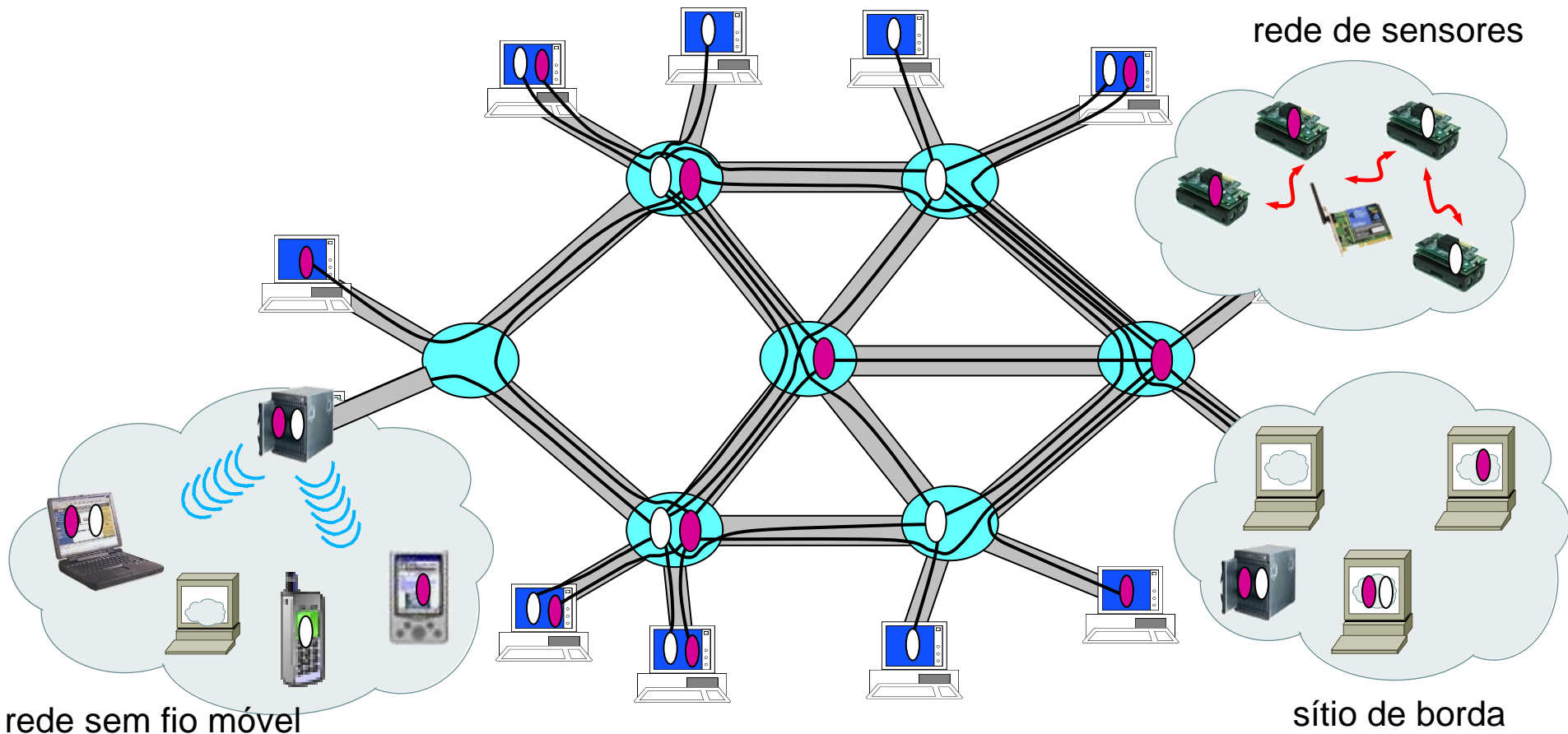
# Como o ambiente GENI está sendo construído

58

- Ideias principais (PlanetLab)
  - ▣ Virtualização de todos os componentes
  - ▣ Programabilidade de todos os componentes
  - ▣ Participação por usuário/ por aplicação
- Infraestrutura
  - ▣ Enlaces dedicados através de redes acadêmicas nacionais (NLR/Internet2)
  - ▣ Incorporando “extensões” para redes sem fio e de sensores

# Fatias e Virtualização

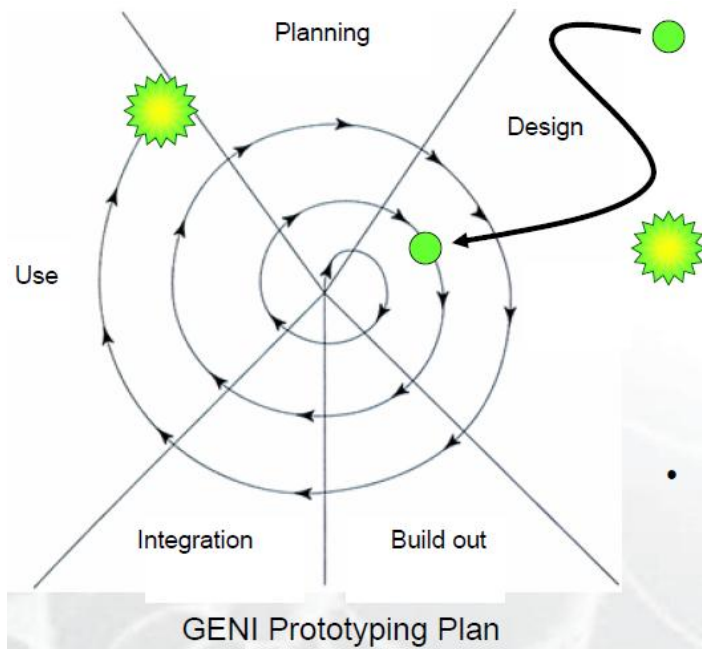
59



Internet do Futuro (2012.2)

# Desenvolvimento em Espirais

60



- Encontra-se atualmente na 4<sup>ª</sup> Espiral.
- Objetivos principais:
  - ▣ Aumentar significativamente o número de experimentos através da oferta de melhores ferramentas e serviços incluindo suporte 24x7;
  - ▣ Aumento de escala;
  - ▣ Primeira versão de sistemas de instrumentação e medições.

# Status do GENI (1 / 3)

61

- Redes Troncais:
  - Internet2
  - National Lambda Rail (NLR)
  - GENI OpenFlow Core
- Hosts Programáveis:
  - PlanetLab
  - ProtoGENI (Utah, Kentucky, GPO Lab)

# Status do GENI (2/3)

62

- Redes Programáveis:
  - Supercharged PlanetLab Platform (SPP)
  - ProtoGENI Backbone Nodes
  - BGP Mux
  - OpenFlow Networks (Stanford, Indiana, Rutgers, Washington, Wisconsin, GPO Lab)
- Redes Sem Fio
  - ORBIT
  - DOME

# Status do GENI (3/3)

63

- Outros Agregados que estão sendo adicionados:
  - GpENI
  - GENICloud
  - CMU Homenet Nodes
  - MAX
  - CMU Wireless Emulator
  - ORCA/BEM
  - Data Intensive Cloud
  - WiMAX (Rutgers, NY Poly, UCLA, GPO Lab)

# Redes Experimentais no Brasil

64

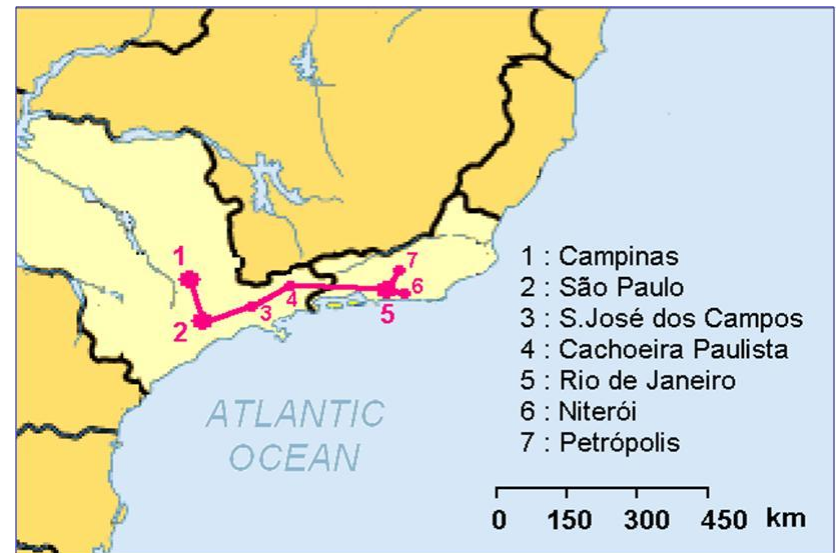
- Projeto GIGA
- A Rede Ipê
- Projeto FIBRE



# Projeto GIGA

65

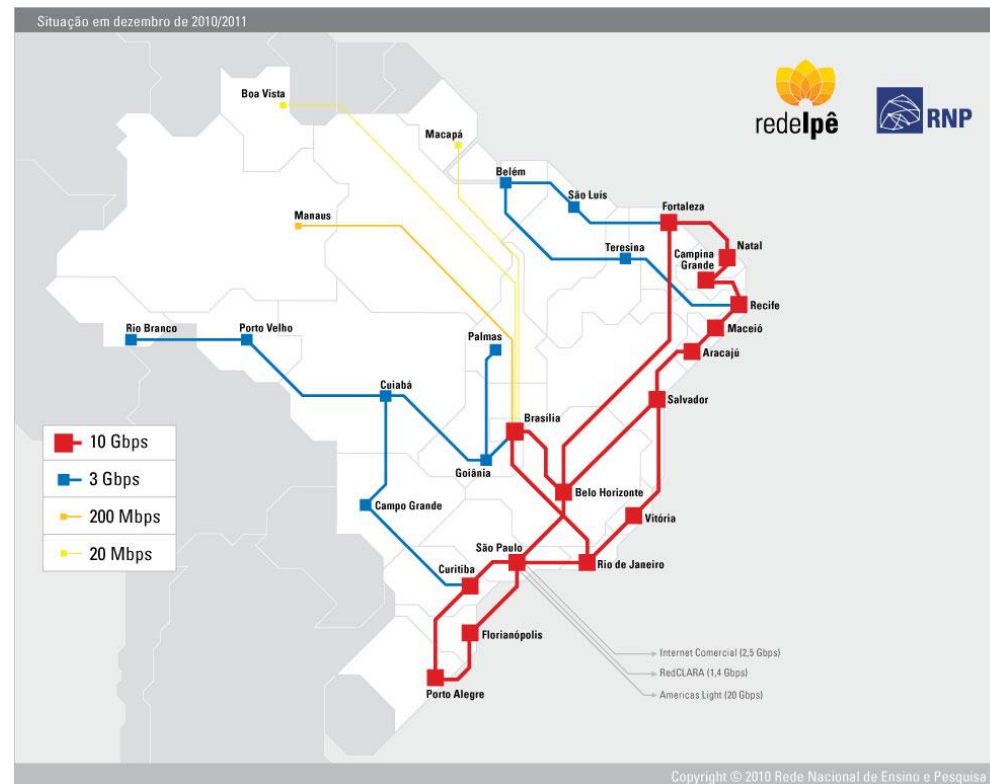
- Primeira fase (2002-2007): A RNP e o CPqD construíram uma rede experimental óptica na região sudeste, para P&D em redes e aplicações.
  - ~US\$20M do FUNTTEL
  - Acesso livre a fibras apagadas
  - 750km de fibra
  - Enlaces de 1G/10G
  - 25 instituições
- Segunda fase (2009-): está sendo transformado numa rede experimental para IF.



# A Rede Ipê

66

- 6ª versão do *backbone* nacional da RNP:
  - ▣ 24 das 27 capitais
  - ▣ Taxas entre 3 e 10 Gbps
  - ▣ Complementadas por redes ópticas metropolitanas
- Capacidade de estender a rede experimental IF para a maior parte do país.



# Projeto FIBRE



67

- Experimentação no Futuro da Internet entre Brasil e Europa
- Projeto submetido em resposta ao Edital MCT/CNPq No 066/2010, resultado esperado para Maio.
- Instituições participantes:
  - ▣ Fundació i2CAT, Nextworks Srl, University of Essex, Université Pierre et Marie Curie, University of Thessaly, National ICT Australia
  - ▣ UFPA, CPqD, RNP, UFF, UFG, UFRJ, UFSCar, UNIFACS, USP

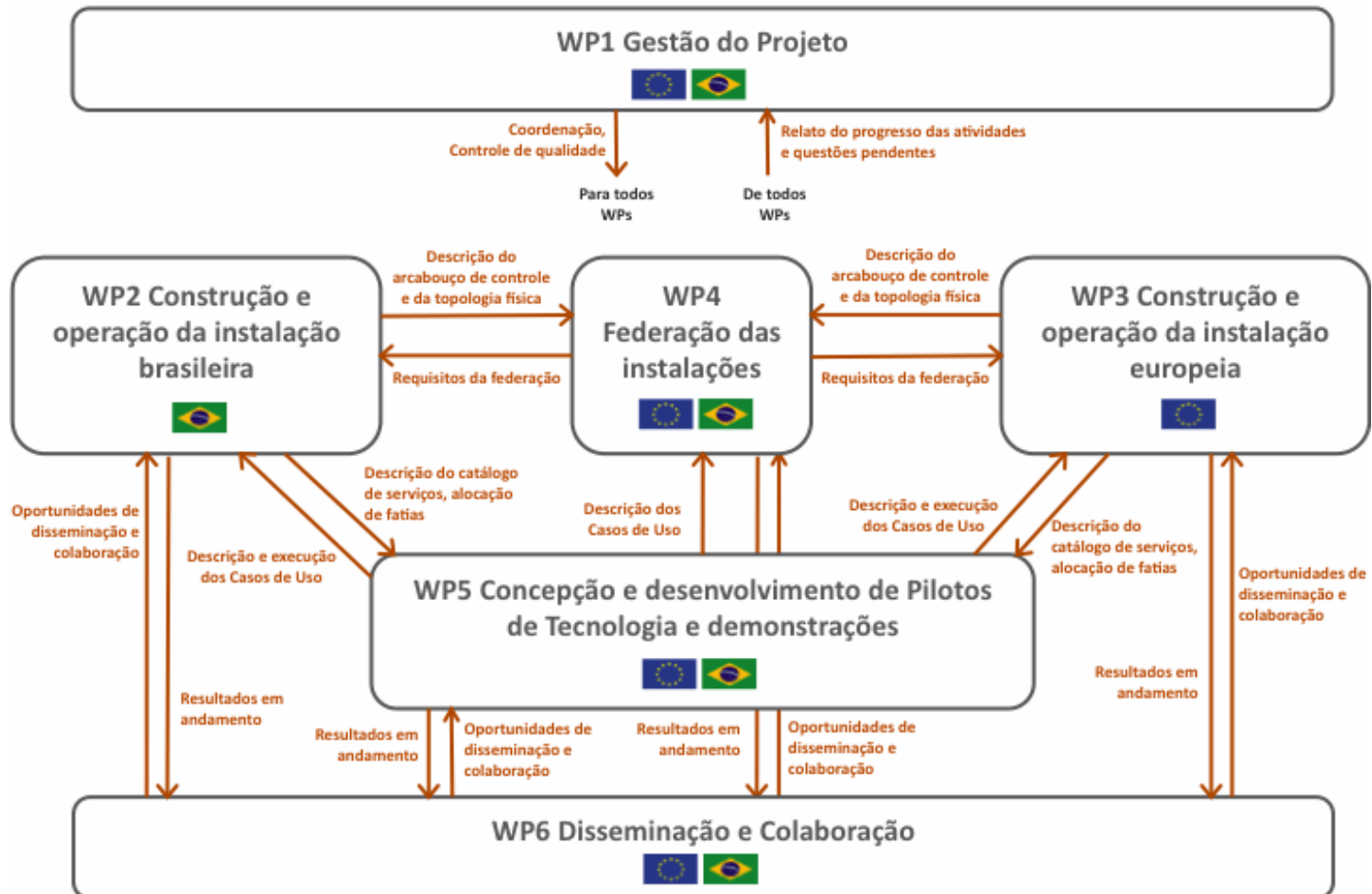


- **Resumo da Proposta:**
  - Desenvolvimento e operação de uma nova instalação experimental no Brasil
  - Desenvolvimento e operação de uma instalação experimental na Europa a partir de melhorias e da federação de duas infraestruturas experimentais existentes: OFELIA e OneLab.
  - Federação das instalações experimentais brasileiras e europeias
  - Concepção e Implementação de aplicações piloto de utilidade pública

# Atividades



69





- Responsável pelo desenvolvimento da monitoração da rede experimental brasileira e
- Federação com as congêneres europeias.
  
- Envolvidos:
  - Professores e alunos de pós-graduação da UNIFACS, UFBA e UFPE, e
  - Alunos de graduação.

71

# Propostas de Novas Arquiteturas

# Arquiteturas Puristas

72

- Redes Ativas
- Arquitetura Baseada em Papeis (RBA)
- Arquitetura Orientada a Dados (DONA)
- Redes Virtuais Espontâneas (SpoVNet)



# Arquiteturas Pluralistas

73

- Plutarch
- Redes Autônômicas (ANA)
- *Concurrent Architectures are Better than One (CABO)*
- Horizon

# Arquiteturas que resolvem problemas específicos

74

- Infraestrutura de Indireção para a Internet (I3)
- *Loc/ID split: LISP – Locator/Identifier Separation Protocol*
- Arquitetura de Nomeação em Camadas
- Endereços Roteáveis e Alcançáveis (GDA/GRA)
- *New Internet Routing Architecture (NIRA)*
- *Cache-aNd-Forward (CNF)*
- *Routing on Flat Labels (ROFL)*
- *eXplicit Control Protocol (XCP)*
- Plano de Conhecimento
- Suporte a QoS através de Redes Sobrepostas (OverQoS)

75

# A Disciplina

# Organização da Disciplina

76

- Introdução/Motivação
- Revisão da Arquitetura Atual
- Propostas para a Internet do Futuro
- Redes Definidas por Software
- Redes Experimentais
- Seminários dos Alunos

# Internet do Futuro

[suruagy@cin.ufpe.br](mailto:suruagy@cin.ufpe.br)

<http://www.cin.ufpe.br/~suruagy/cursos/FI/>