

**COPPE50 UFRJ**  GTA / UFRJ

## Computação em Nuvem: Conceitos, Aplicações e Desafios

Miguel Elias Mitre Campista  
miguel@gta.ufrj.br

**COPPE50 UFRJ**  GTA / UFRJ

## COMPUTAÇÃO EM NUVEM É IMPORTANTE?

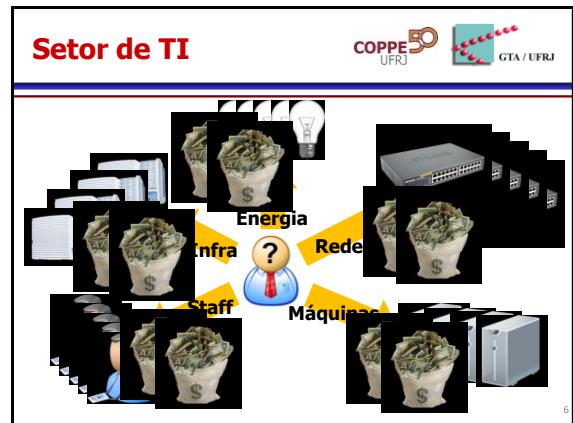
2



**COPPE50 UFRJ**  GTA / UFRJ

## QUAL A MOTIVAÇÃO DA COMPUTAÇÃO EM NUVEM?

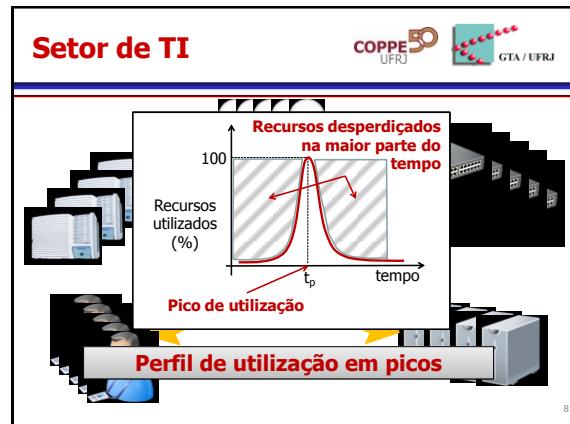
5



## Setor de TI

**CUSTOS OPERACIONAL (OPEX) E DE CAPITAL (CAPEX) SÃO ELEVADOS!**

7



## Setor de TI na Nuvem

**Setor de TI pode ser totalmente ou parcialmente delegado para a nuvem: Redução de custos!**

9

- ## Atrativos da Nuvem
- Para o cliente...
    - Redução de custos com infraestrutura em geral
    - Agilidade de operação
      - Recursos disponíveis sob demanda com elasticidade
    - Redução de custos com equipe técnica para manutenção e gerenciamento
    - Robustez da infraestrutura
    - Acesso remoto ubíquo através da Internet
    - Desempenho
      - Mais recursos computacionais são acessíveis
    - Concorrência entre provedores
- 10

## Atrativos da Nuvem

- ... para o provedor...
  - Recursos virtualizados compartilhados entre múltiplos clientes
    - Provisionamento estatístico dos recursos
  - Oportunidade de agregação de valor ao produto
    - Oferta de softwares relacionados aos usuários

11

- ## Contrapartida da Nuvem
- Para o cliente...
    - Acesso aos recursos deve ser feito através da Internet
      - Não existe nuvem sem Internet (exceto nuvens privadas)
    - Recursos computacionais limitados a perfis pré-estabelecidos
      - Hardware ou software especiais não necessariamente estão disponíveis na nuvem
    - Privacidade dos dados
  - ... para o provedor...
    - Cumprimento de requisitos pré-contratados
      - Garantias de disponibilidade e elasticidade
- 12

## Modelos de Serviço da Nuvem

- Nuvem oferece serviços baseados em abstrações de recursos computacionais de múltiplos níveis
  - Arquitetura baseada em serviço: **Everything-as-a-service (EaaS)**



Acesso via browser, por exemplo



13

## Modelos de Serviço da Nuvem

### **Software-as-a-Service (SaaS)**

- Usuários ganham acesso a softwares ou bases de dados na nuvem
  - Não precisam realizar instalações
  - Podem ser cobrados conforme o uso (assinatura mensal, anual, etc.)
- Provedores oferecem softwares ou base de dados
  - Gerenciam infraestrutura para a execução dos softwares
- Ex.: Office 365

14

## Modelos de Serviço da Nuvem

### **Platform-as-a-Service (PaaS)**

- Usuários ganham acesso a plataformas de desenvolvimento de aplicações
  - Não precisam realizar instalações do ambiente de desenvolvimento (S.O., ambiente de execução de uma determinada linguagem e bibliotecas de programação)
  - Podem ser dispensados das configurações do ambiente de desenvolvimento
- Provedores oferecem ambiente de desenvolvimento
  - Gerenciam infraestrutura para a execução do ambiente (semelhante ao SaaS)
- Ex.: Microsoft Azure

15

## Modelos de Serviço da Nuvem

### **Infrastructure-as-a-Service (IaaS)**

- Usuários ganham acesso a máquinas virtuais
  - Não precisam se envolver com recursos físicos, localização, escalabilidade, segurança e até backup
  - Instalam sistemas operacionais e todos os programas necessários e ainda podem ter acesso a redes entre as máquinas virtuais
- Provedores oferecem máquinas físicas ou virtuais
  - Gerenciam infraestrutura física (semelhante ao SaaS)
- Ex.: Amazon EC2

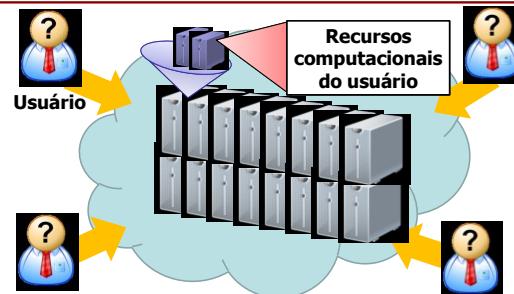
16

## Modelos de Serviço da Nuvem

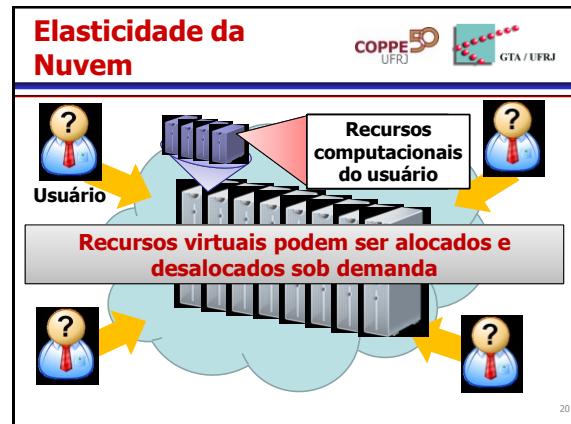
- Ainda existem outros modelos...
  - DaaS (*Desktop-as-a-Service*)
  - DBaaS (*DataBase-as-a-Service*)
  - DevaS (*Development-as-a-Service*)
  - TaaS (*Testing-as-a-Service*)
  - HaaS (*Hardware-as-a-Service*)
  - etc.

17

## Elasticidade da Nuvem



18



- ## Elasticidade da Nuvem
- COPPE50 UFRJ GTA / UFRJ
- Requer provisionamento de recursos sob demanda
    - Possivelmente usando virtualização
  - Requer escalonamento dos recursos
    - Escolha da infraestrutura física que abriga o serviço
- Infraestrutura organizada a partir de centros de dados (*datacenters*)...
- 21

## ORGANIZAÇÃO DOS CENTROS DE DADOS

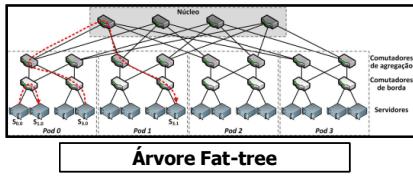
COPPE50 UFRJ GTA / UFRJ

22



## Rede dos Centros de Dados

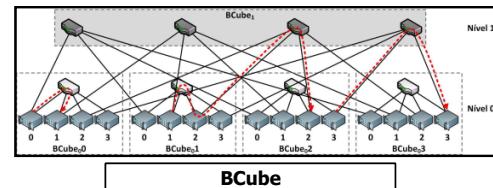
- Muitas topologias já foram propostas...



25

## Rede dos Centros de Dados

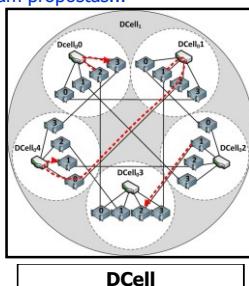
- Muitas topologias já foram propostas...



26

## Rede dos Centros de Dados

- Muitas topologias já foram propostas...



27

## Rede dos Centros de Dados

- Muitas topologias já foram propostas...

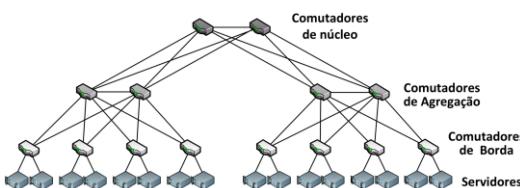
**Dentro dos centros de dados, as redes possuem topologia hierárquica**

**...  
Privilegia arquitetura modular e redução de infraestrutura de rede**

28

## Redes em Centro de Dados

- Three-layer: Topologia hierárquica convencional

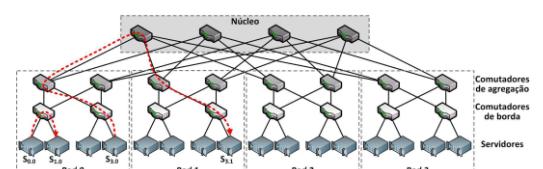


**Ex. topologia Three-layer com 2 portas de borda e 4 portas de agregação**

## Redes em Centro de Dados

- Fat-tree: Baseada na rede de Clos

– É sempre possível realizar a conexão entre dois terminais inativos, independente do número de conexões ativas



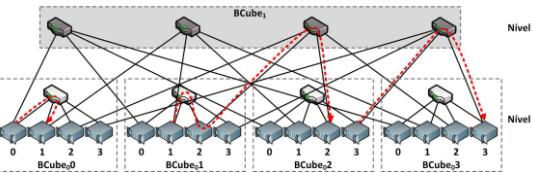
**Ex. comutadores de 4 portas**

29

## Redes em Centro de Dados

**COPPE UFRJ**  **GTA / UFRJ**

- BCube: Centro de dados modulares (Uso em contêineres)
  - Servidores são usados para a transferência de dados



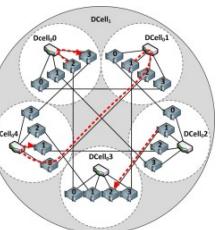
**Ex. comutadores de 4 portas e servidores com 2 interfaces de rede**

## Redes em Centro de Dados

**COPPE UFRJ**  **GTA / UFRJ**

- DCCell: Alta capacidade de transferência e tolerância a falhas
  - Servidores também participam do encaminhamento de dados

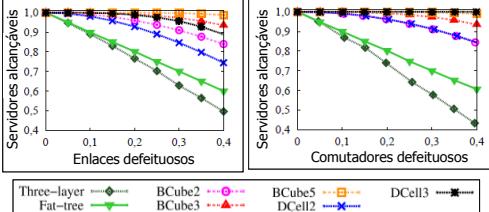
**Ex. comutadores de 4 portas e servidores com 2 interfaces de rede**



## Redes em Centro de Dados

**COPPE UFRJ**  **GTA / UFRJ**

- Resiliência



Faulty Links	Three-layer	Fat-tree	BCube2	BCube3	BCube5	DCCell3
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.1	0.95	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95
0.2	0.90	0.75	0.90	0.90	0.90	0.90
0.3	0.85	0.65	0.85	0.85	0.85	0.85
0.4	0.80	0.55	0.80	0.80	0.80	0.80

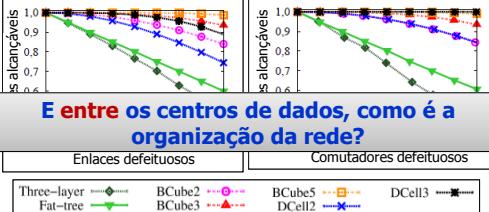
Faulty Switches	Three-layer	Fat-tree	BCube2	BCube3	BCube5	DCCell3
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.1	0.95	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95
0.2	0.90	0.75	0.90	0.90	0.90	0.90
0.3	0.85	0.65	0.85	0.85	0.85	0.85
0.4	0.80	0.55	0.80	0.80	0.80	0.80

33

## Redes em Centro de Dados

**COPPE UFRJ**  **GTA / UFRJ**

- Resiliência



**E entre os centros de dados, como é a organização da rede?**

Faulty Links	Three-layer	Fat-tree	BCube2	BCube3	BCube5	DCCell3
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.1	0.95	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95
0.2	0.90	0.75	0.90	0.90	0.90	0.90
0.3	0.85	0.65	0.85	0.85	0.85	0.85
0.4	0.80	0.55	0.80	0.80	0.80	0.80

Faulty Switches	Three-layer	Fat-tree	BCube2	BCube3	BCube5	DCCell3
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.1	0.95	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95
0.2	0.90	0.75	0.90	0.90	0.90	0.90
0.3	0.85	0.65	0.85	0.85	0.85	0.85
0.4	0.80	0.55	0.80	0.80	0.80	0.80

34

## ORGANIZAÇÃO ENTRE OS CENTROS DE DADOS

**COPPE UFRJ**  **GTA / UFRJ**

35

## Organização da Nuvem: Problema

**COPPE UFRJ**  **GTA / UFRJ**

- Topologia colocalizada
  - Centralização dos recursos pode gerar latência...



36

## Organização da Nuvem: Problema

- Topologia colocalizada
  - Centralização dos recursos pode gerar **vulnerabilidades...**



37

## Nuvens Geo-distribuídas

- Nuvem menos vulnerável e mais próxima dos usuários



38

## Nuvens Geo-distribuídas

- Nuvem menos vulnerável e mais próxima do usuário
  - **Nuvem voluntária:** Formada com recursos ociosos dos próprios participantes (inclusive recursos de máquinas próprias)



39

## Nuvens Geo-distribuídas

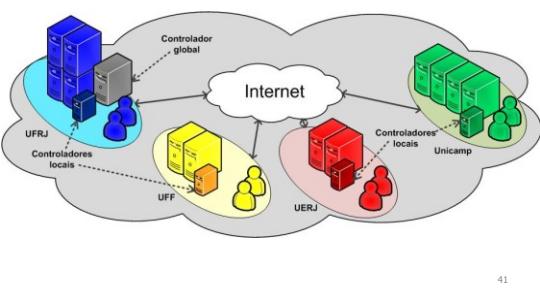
- Nuvem menos vulnerável e mais próxima dos usuários
  - **Nuvem colaborativas:** Formada com recursos dedicados (possivelmente ociosos) dos próprios participantes



40

## Nuvens Colaborativas Geo-distribuídas

COPPE  
UFRJ      GTA / UFRJ



41

## PROJETO PID

COPPE  
UFRJ      GTA / UFRJ

42

## Motivação

COPPE UFRJ GTA / UFRJ

- Disponibilidade dos recursos computacionais
  - Ociosos por longos períodos  
Mas...
  - Indisponíveis em momentos críticos

43

## Motivação

COPPE UFRJ GTA / UFRJ

- Disponibilidade dos recursos computacionais
  - Ociosos por longos períodos  
Mas...
  - Indisponíveis em momentos críticos

44

## PID: Objetivos

COPPE UFRJ GTA / UFRJ

- Promover o compartilhamento de recursos computacionais ociosos entre participantes
  - Através de uma nuvem colaborativa
  - Modelo de infraestrutura como serviço (IaaS)
- Aumentar a capacidade disponível por participante
  - Recursos computacionais locais + recursos remotos
- Reduzir custos de infraestrutura
  - Recursos são melhor aproveitados

45

## Virtualização

COPPE UFRJ GTA / UFRJ

- Base para um serviço IaaS
- Compartilhamento de um servidor físico por diferentes máquinas virtuais (VMs – Virtual Machines)
  - Usuário tem a ilusão de possuir uma máquina exclusiva
  - Implementada por um **hipervisor**

46

## IaaS no PID

COPPE UFRJ GTA / UFRJ

- Usuário recebe um conjunto de máquinas virtuais
  - Sistema operacional completo
    - Flexibilidade para executar suas aplicações

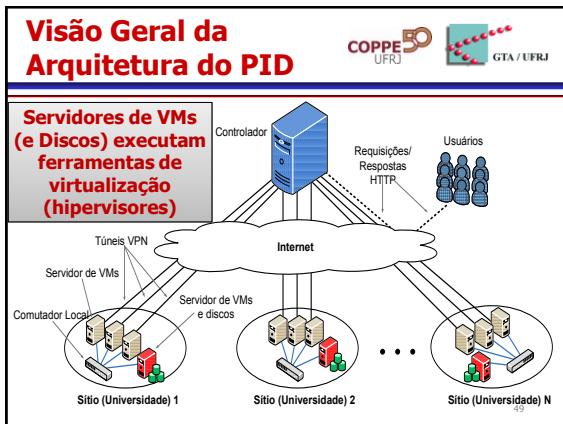
47

## Visão Geral da Arquitetura do PID

COPPE UFRJ GTA / UFRJ

**Elemento Controlador gerencia a infraestrutura**

48



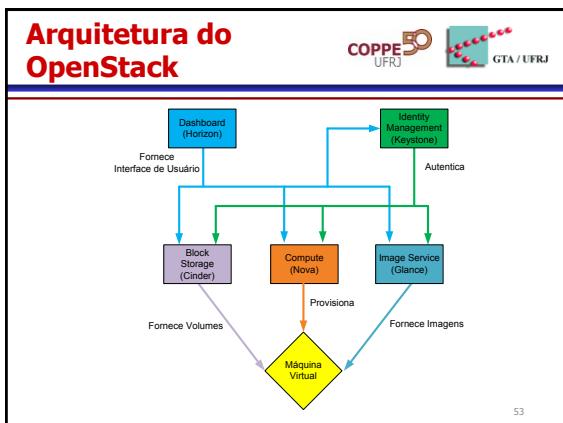
50



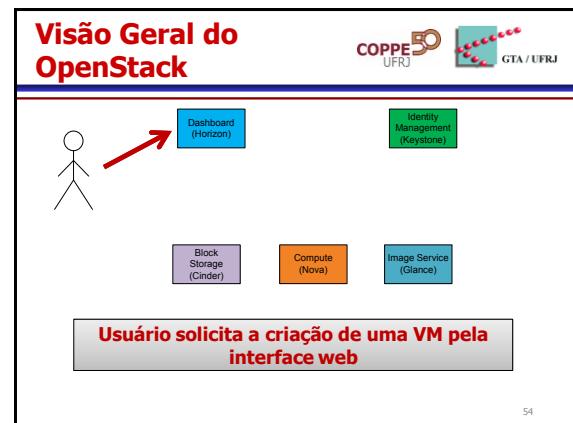
51



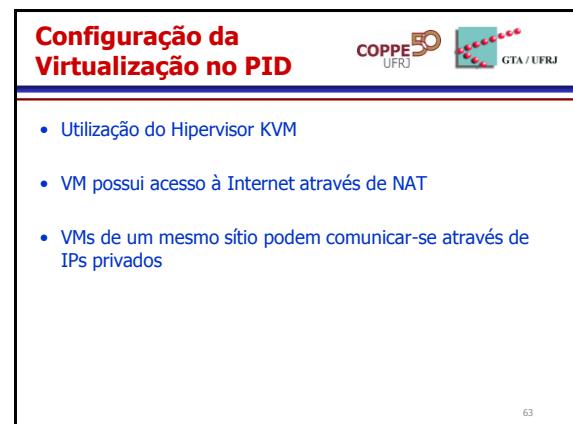
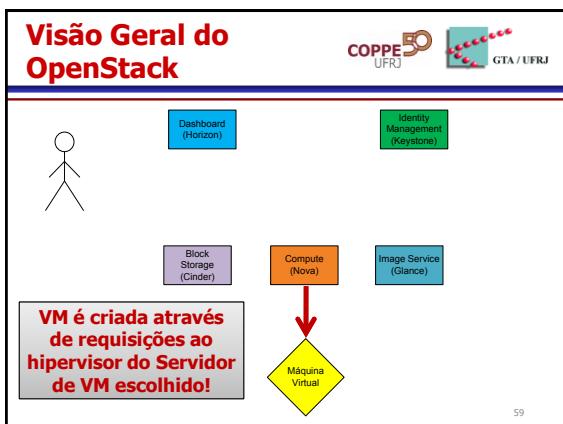
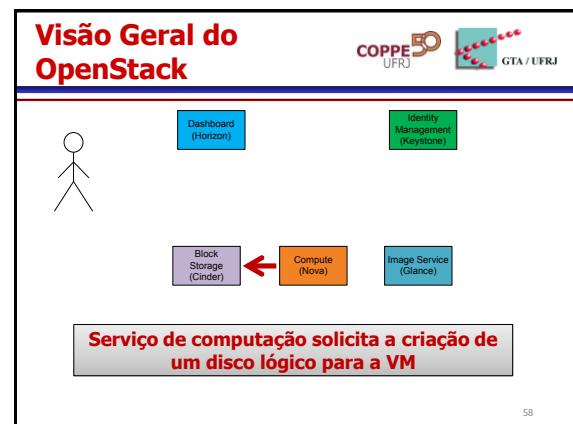
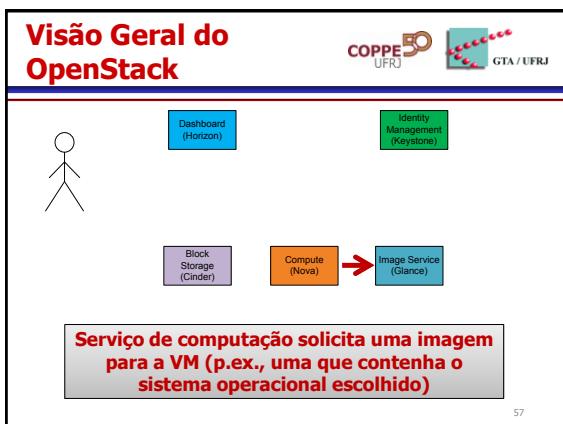
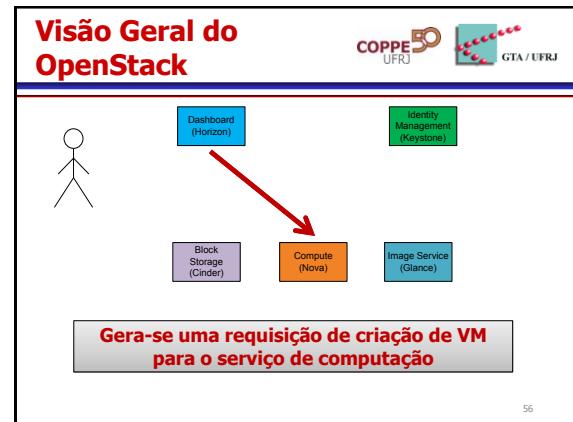
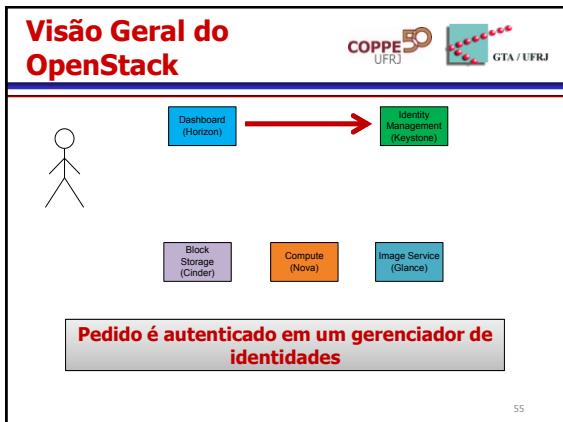
52



53



54



## Gerenciamento de Recursos Global



- Gerenciamento Global**

- Instanciação de máquinas virtuais**

- Decisão de em quais sítios e servidores instanciar
    - Escalonador de sítios

64

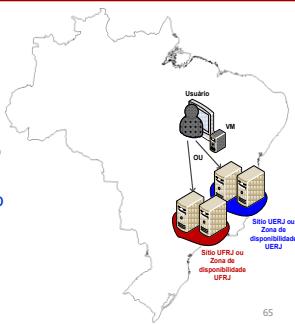
## Zona de Disponibilidade



- Separação lógica entre Servidores de VMs

- Contexto do PID

- Uma Zona de Disponibilidade por sítio
  - Usuário pode escolher o sítio de cada VM
    - Ex: melhora da tolerância a falhas



65

## Instanciação de Máquinas Virtuais



- Centralizado**

- Todas as VMs em um sítio específico
    - Atualmente UFRJ, UERJ ou UFF
  - Todas as VMs em um sítio escolhido pelo escalonador

- Distribuído**

- Esquema *round-robin* entre todos os sítios
    - Escalonador de Sítios obtém os sítios que suportam pelo menos uma máquina do tipo desejado

66

## Gerenciamento de Recursos Local



- Gerenciamento Local**

- Migração Local**

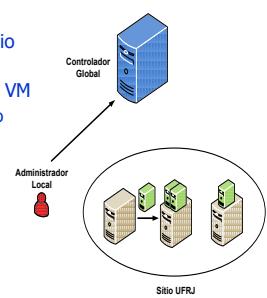
- Migração ao vivo entre servidores do mesmo sítio
    - Utilizado em período de manutenção de servidor

67

## Migração Local



- Solicitação realizada pelo administrador local de cada sítio



68

## FUNCIONAMENTO DA NUVEM DO PID



69

## Demonstração da Interface Gráfica



- Entrada no Sistema



70

## Interface do Administrador Global



- Administrador Global pode assumir todos os papéis

71

## Interface do Administrador Global



- Listagem de Servidores de VMs (hipervisores)

Name	Type	VCPUs (max)	VCPUs (used)	RAM (max)	RAM (used)	Storage (max)	Storage (used)	Instances
gfh-loc-vy02	GENU	12	1	31GB	31GB	488.8GB	0	1
gfh-loc-vy01	GENU	4	2	31GB	14GB	2.7TB	0	2
gfh-loc-vy01	GENU	12	1	31GB	31GB	488.8GB	0	1
gfh-loc-vy03	GENU	6	0	7GB	0	2.7TB	0	0

72

## Interface do Usuário Final



- Instanciação de VMs

73

## Interface do Usuário Final: Instanciação



**Launch Instance**

**Distribution Type**: Any Distribution

**Instance Name**: m1 nano

**Flavor**: m1 nano

**Instance Count**: 1

**Instance Boot Source**: Select source

**Project Limits**: 0 of 10 Used  
0 of 20 Used  
0 of 1,200 MB Used

**Details**, **Access & Security**, **Post Creation**

**Distribution Type**: Any Distribution

**Centralized**

**Site**: Any Site

74

## Interface do Usuário Final: Instanciação



### Exemplo de Criação Centralizada

**Launch Instance**

**Distribution Type**: Distributed

**Instance Name**: test\_1

**Flavor**: m1 nano

**Instance Count**: 1

**Instance Boot Source**: Boot from image (creates a new volume)

**Image Name**: cimage-0.3.1.vhd\_64-uec (24.1 MB)

**Device size (GB)**: 1

**Device Name**: vbd

75

# Interface do Administrador Local

- Visualização de Instâncias no sítio
- Migração Local

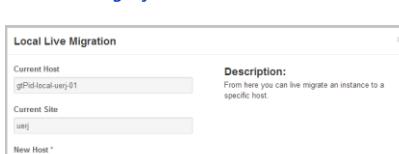
The screenshot shows the GTP-ID Local Admin interface. The main area displays a table of instances with columns: Project, Host, Name, Image Name, IP Address, Size, Status, Task, Power State, Uptime, and Actions. There are four entries listed:

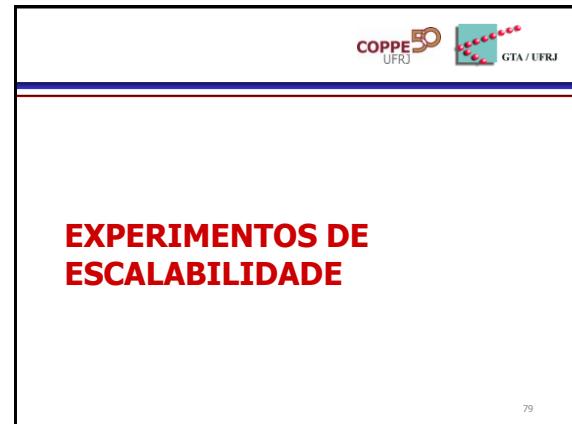
Project	Host	Name	Image Name	IP Address	Size	Status	Task	Power State	Uptime	Actions	
gtpid	gtpid-local-win-01	test_1	citizen	10.4.120.11	user	mt-nano (6GB RAM)   1 VCPU   0 Disk		Active	Running	1d 2h 40m 40s	<a href="#">Get Details</a>
gtpid	gtpid-local-win-01	test_2	intel	10.4.120.7	user	mt-nano (6GB RAM)   1 VCPU   0 Disk		Active	Running	2 hours 59 minutes	<a href="#">Get Details</a>
gtpid	gtpid-local-win-01	test_3	intel	10.4.120.8	user	mt-nano (6GB RAM)   1 VCPU   0 Disk		Active	Running	2 hours 59 minutes	<a href="#">Get Details</a>

Below the table, there are two panels: Overview Panel and Site Panel. The Overview Panel shows a summary of resources, and the Site Panel shows a menu with options like Overview, Site, and Help.

# Interface do Administrador Local

- Formulário de Migração Local





# EXPERIMENTOS DE ESCALABILIDADE

The diagram illustrates the Collaborative Cloud Architecture (Arquitetura Nuvem Colaborativa). At the top left, a blue banner contains the title "Arquitetura PID: Nuvem Colaborativa". To the right, the COPPE UFRJ logo is displayed, followed by a red ribbon graphic and the text "GTA / UFRJ".

**Controlador centraliza todas as tarefas de gerenciamento**

The central part of the diagram shows a "Controller" node connected via a blue oval line to an "Internet" cloud. The "Internet" cloud is connected to multiple "Site" nodes labeled Site 1, Site 2, and Site N. Each site node contains a "Local Switch", a "VM Server", and a "VM and Disk Server". A "VPN tunnels" connection links the Controller to the Local Switches at each site. Dotted lines represent "HTTP Requests/Responses" between the Controller and "Users" (represented by blue icons) on the right.

The diagram illustrates the Collaborative Cloud Architecture (Arquitetura Nuvem Colaborativa) with the following components and connections:

- Servidor de VM: Hosts e VMs de usuários**: A blue box labeled "Controller" is connected to multiple "VM Server" boxes (each with three smaller server icons) located at "Site 1", "Site 2", and "Site N".
- Servidor de VM e Disco: Além das VMs dos usuários, ainda hospeda os discos virtuais**: The "Controller" box is also connected to a "VM and Disk Server" box at Site 2.
- Internet**: A central light-blue cloud representing the Internet, which connects to all "VM Server" and "VM and Disk Server" boxes.
- Users**: Represented by four blue human icons, who are connected to the "Controller" box via dashed lines labeled "HTTP Requests/Responses".
- Local Switches**: Located between the "VM Server" and "VM and Disk Server" boxes at each site.
- VMs**: Indicated by small green and red icons within the "VM Server" and "VM and Disk Server" boxes.

## Problema do Controlador Central

**Tarefas de gerenciamento requer troca de mensagens entre Servidores de VM e o Controlador**

Controller  
Internet  
Users  
HTTP Requests/Responses  
VPN tunnels  
VM Server  
Local Switch  
Site 1  
Site 2  
Site N

## Problema do Controlador Central

**Enlaces de longa distância entre Controlador e sítios!**

**Menor largura de banda!** **Maior latência!**

Controller  
Internet  
Users  
HTTP Requests/Responses  
Site 1  
Site 2  
Site N

## Objetivo dos Experimentos

- Em linhas gerais...
  - Avaliar a escalabilidade e disponibilidade da infraestrutura
    - Limitações da WAN
- Alvo mais específico...
  - Analisar o impacto da **troca de mensagens entre os Servidores de VMs e o Controlador na rede**
    - Estratégias de comunicação do orquestrador OpenStack

## Plataforma de Experimentação

Controller  
Internet  
Users  
HTTP requests/r esponses  
VPN tunnel  
VM and Disk Server  
Server r1  
Server r2  
Server r3  
Server r4

**Métrica de interesse: Tráfego de controle entre o Controlador e os Servidores de VM e Disco!**

## Controle entre VM e Servidor de Disco

- A cada 10s: Atualização do estado do serviço
- A cada 60s: Atualização do estado da VM

Time (s)	MySQL (kbs)	RabbitMQ (kbs)
0	~40	~35
10	~40	~35
20	~40	~35
30	~40	~35
40	~40	~35
50	~40	~35
15	~100	~35
25	~100	~35

## Impacto do # de VMs e Servidores de Disco

- Servidores sem VMs instanciadas (medidas em 60s)

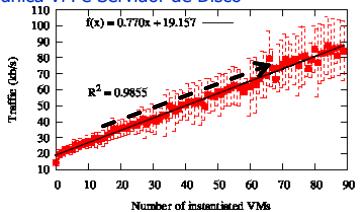
Traffic (kbs)  
Number of VM and Disk Servers  
 $f(x) = 15.036x + 0.096$   
 $R^2 = 0.9996$

**Comportamento linear: Aprox. 15 kb/s a cada novo servidor  
100 servidores → 1,5 Mb/s**

## Impacto do # de VMs por Servidor

COPPE50 UFRJ GTA / UFRJ

- Uma única VM e Servidor de Disco



Comportamento linear: Aprox. 0,77 kb/s por VM

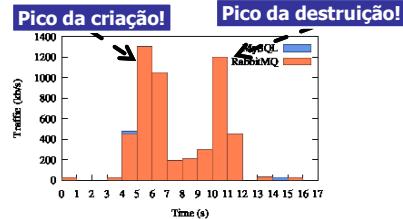
100 servidores c/ 15 VMs cada  $\rightarrow 1,5+1,2 = 2,7$  Mb/s

## Impacto da Criação e Destrução de VMs

COPPE50 UFRJ GTA / UFRJ

- Criação seguida de uma destruição da VM

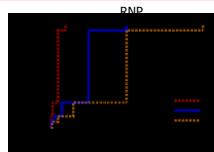
– Criação: 1,3 Mb/s – Destrução: 1,2 Mb/s



89

## Impacto do Controle em WANs Reais

COPPE50 UFRJ GTA / UFRJ



Localização do Controlador é importante já que seu enlace de acesso pode se tornar um gargalo

Assumindo que 0,1%, 0,5%, ou 1,0% da capacidade do enlace é reservada para tráfego de controle, a escolha da posição do Controlador é importante!

## Conclusões dos Experimentos

COPPE50 UFRJ GTA / UFRJ

- Apesar de suportado pelas redes WAN atuais...
  - Tráfego de controle não pode ser negligenciado
- Tráfego de controle base é proporcional a:
  - Número de servidores e número de VMs por servidor
  - Taxa de criação e destruição de VMs
- Logo, o projeto de uma nuvem deve considerar
  - Sobrecarga no enlace de acesso do Controlador
  - Casos de uso de utilização do sistema
    - P.ex., o # de VMs criadas/destruídas simultaneamente

91

## NOVOS DESAFIOS EM NUVEM

92

## Nuvens Móveis

COPPE50 UFRJ GTA / UFRJ



93

## Nuvens Móveis

**Porém, ao incluir os usuários móveis, o desafio pode ser ainda maior dada a diversidade de dispositivos e condições de acesso...**

94

## Nuvens Móveis

- Mudança da motivação para uso da nuvem
  - Redução de custos → Compensação das restrições computacionais dos dispositivos móveis
- Problemas de escala
  - Número de usuários pode aumentar exponencialmente
- Meio de transmissão sem-fio
  - Limitações de banda passante
- Mobilidades dos usuários
  - Dificuldade para o planejamento da nuvem

## Nuvens Móveis

- Mudança da motivação para uso da nuvem
  - Redução de custos → Compensação das restrições computacionais dos dispositivos móveis
- Problemas de escala
  - Limitações de banda passante
- Muito trabalho ainda pode ser desempenhado nessa área!
  - Comunicação sem-fio
  - Limitações de banda passante
- Mobilidades dos usuários
  - Dificuldade para o planejamento da nuvem

## Conclusões

- Computação em nuvem é essencial hoje em dia
- Projeto PID propõe uma arquitetura colaborativa acadêmica
- Muito trabalho ainda pode ser feito na área
  - Sobretudo considerando o acesso móvel dos usuários

97

**OBRIGADO!**

98