



INTRODUÇÃO À COMPUTAÇÃO NA NUVEM

José Simão jsimao@cc.isel.ipl.pt ; jose.simao@isel.pt

Luís Assunção lass@isel.ipl.pt ; luís.assuncao@isel.pt

Fernanda Passos fpassos@isel.ipl.pt ; fernanda.passos@isel.pt

Agenda

- Definição de “Computação na nuvem”
 - Enquadramento histórico e tecnológico, a 5ª utilidade, centros de dados à escala global
- Cenários de uso, *Cloudnomics*: CAPEX vs. OPEX
- Potencialidades e desafios
- Nuvens públicas e oferta de serviços
 - Amazon EC2, Microsoft Azure, Google Cloud Platform
 - Demonstração de uso de serviços
- As “novas” *buzzwords*, depois da *Cloud*

Qual a definição de “Computação na Nuvem”?

- Definição académica

- Vaquero et al. [VMC+08] estudou mais de 20 definições para extrair uma definição consensual
 - Definições comuns incluem termos: «**escalabilidade**, modelos *pay-per-use*, e **virtualização**»
- Investigadores da *University of California at Berkeley* também apresentaram a sua visão [AFG+09]
 - «*Cloud Computing refers to both the **applications delivered as services** over the Internet and the **hardware and systems software in the datacenters** that provide those services.*»

[VMC+08] A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition, <http://ccr.sigcomm.org/online/files/p50-v39n11-vaqueroA.pdf>, visited 06-03-2022

[AFG+09] Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing, <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-28.pdf>, visited 06-03-2022

Qual a definição de “Computação na Nuvem”?

- Definição Institucional

- A Comissão Europeia [EU12] define *Cloud Computing* como «*the storing, processing and use of data on remotely located computers accessed over the internet.*»

Computação e armazenamento distribuídos

- Inclui várias camadas: hardware, *middleware*, plataformas;
- Uso de hardware de forma otimizada usando redes de computadores;

Virtualização

- Facilidade de mudança de requisitos de *hardware*;

Economia

- Possibilidade de pagar conforme a utilização (*pay-per-use*)

[EU12] Unleashing the Potential of Cloud Computing in Europe, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0529:FIN:EN:PDF>
visited 06-03-2022

USA: Cloud Computing (2011)

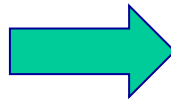


National Institute of Standards and Technology
Information Technology Laboratory

*“A model for enabling convenient, **on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources** (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be **rapidly provisioned** and released **with minimal management effort** or service provider interaction.”*

Cloud Computing: Uma nova utility

- Comum a todas as definições está a noção subjacente de *Utility Computing*
 - **Cloud Computing** – a 5ª utilidade (depois da eletricidade, água, gás e telefone) [BYV+09]

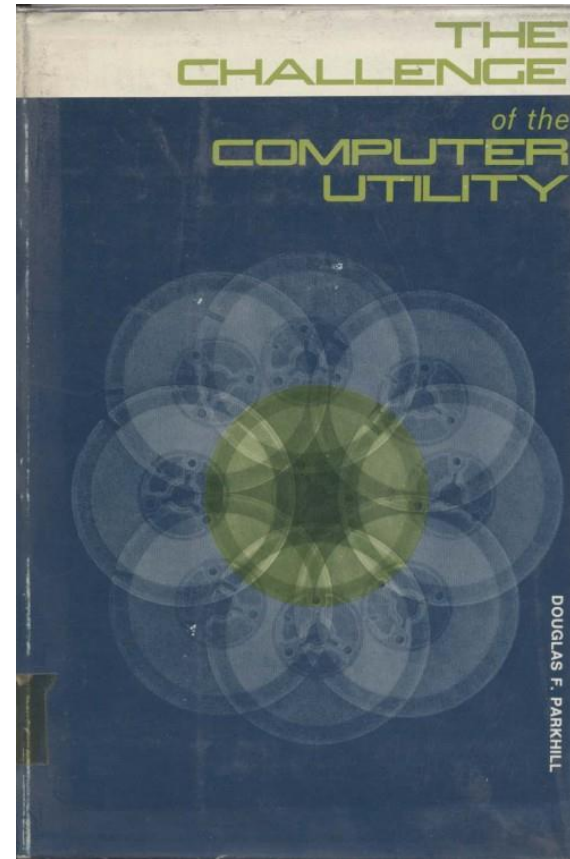


- Tal como outras utilidades, a computação está agora amplamente disponível, medida e paga por utilização
 - Existem vários “ambientes” de execução (máquinas virtuais, contentores, web app, *serverless*) e bases de dados

[BYV+09] Cloud Computing and Emerging IT Platforms: Vision, Hype, and Reality for Delivering Computing as the 5th Utility , Rajkumar Buyya, Chee Shin Yeo, Srikumar Venugopal, James Broberg, and Ivona Brandic, Future Generation Computer Systems, Volume 25, Issue 6, June 2009, Pages 599-616

Utility Computing... de 1966

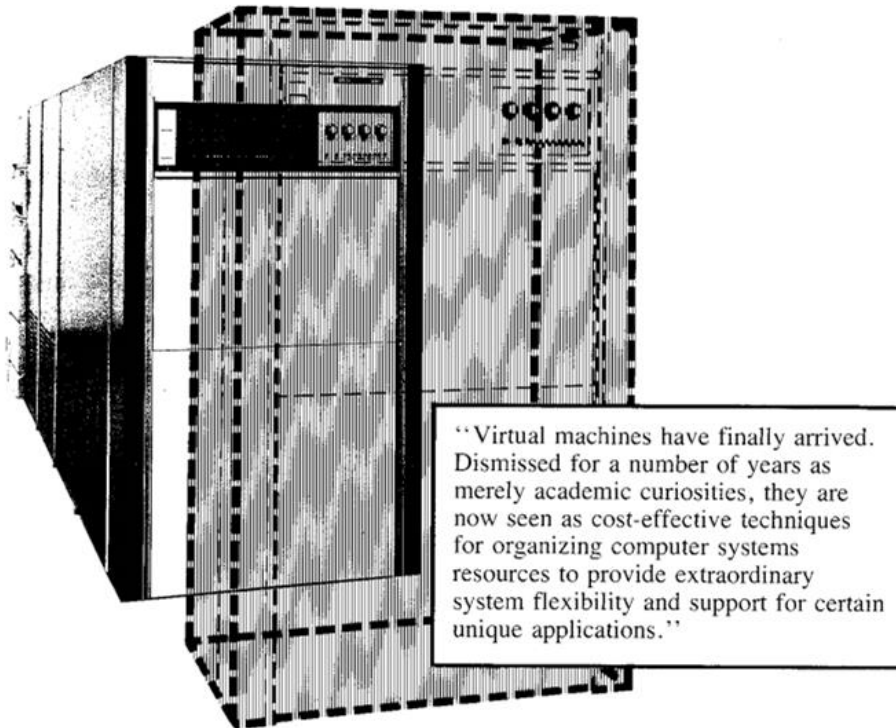
- «A computer utility is basically a mechanism for permitting a number of **remotely located customers** to utilize the facilities of **large central computer complex**, with much the same ease and flexibility as **if the complex was located in their own premises**»



Douglas F. Parkhill,
Challenge of the computer utility.
Addison-Wesley Publishing Company (1966)

Máquinas virtuais... em 1974

IEEE Computer (Volume: 7, Issue: 6, June 1974)



Survey of Virtual Machine Research

Robert P. Goldberg

Honeywell Information Systems
and Harvard University



«IBM System/370 Models 155 and 165, announced **today**, are designed for the emerging data processing **needs of the Seventies** -- large data bases, remote computing and high-throughput multiprogramming.»

in *IBM Data Processing Division*
press technical fact sheet distributed
June 30, 1970

Então, porquê só agora?



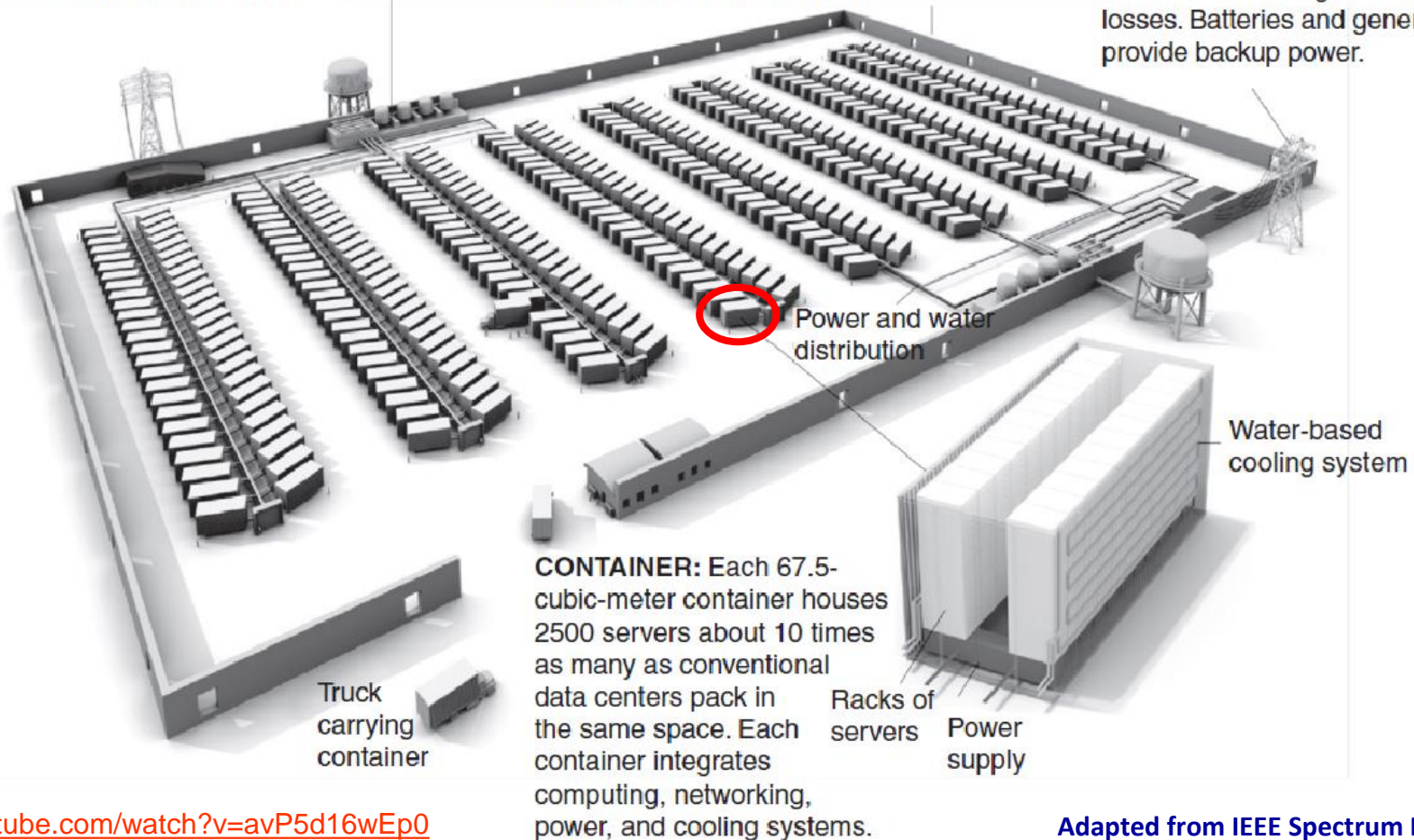
- Nos anos 60 estávamos a tentar chegar à Lua...
 - (**Procura**) Onde estavam os milhões de dispositivos móveis, o comércio eletrónico?
 - (**Oferta**) O hardware e as redes de comunicação não eram suficientes para uma grande escala
- Hoje em dia temos:
 - Economia de escala
 - Centros de dados muito grandes com ganhos de eficiência energética de 5x a 7x, quando comparados com *clusters* privados
 - Amplo suporte de hardware para virtualização
 - Suporte ao nível de estruturas de CPU e memória para uma virtualização mais eficiente; diversas ferramentas
 - Investigação de técnicas para gestão de recursos partilhados

Visão geral de um centro de dados moderno

COOLING: High-efficiency water-based cooling systems—less energy-intensive than traditional chillers—circulate cold water through the containers to remove heat, eliminating the need for air-conditioned rooms.

STRUCTURE: A 24 000-square-meter facility houses 400 containers. Delivered by trucks, the containers attach to a spine infrastructure that feeds network connectivity, power, and water. The data center has no conventional raised floors.

POWER: Two power substations feed a total of 300 megawatts to the data center, with 200 MW used for computing equipment and 100 MW for cooling and electrical losses. Batteries and generators provide backup power.

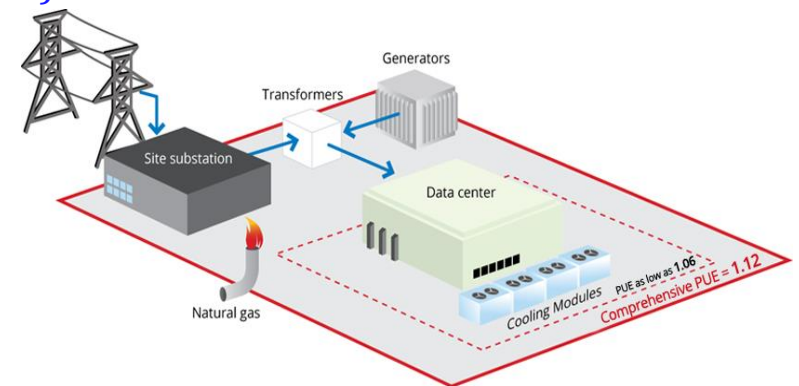


<https://www.youtube.com/watch?v=avP5d16wEp0>

Adapted from IEEE Spectrum Magazine

Energia – variável com impacto

- Cada fornecedor de computação na nuvem define o seu modelo económico
 - Existe diversidade nos elementos de computação: VMs, contentores, funções *serverless*, armazenamento, rede
 - Diferentes métricas: horas/minutos/segundos de utilização, número de nós, pedidos por intervalo, memória por pedido, Gbytes *in* e *out*
- A energia é um custo relevante para o fornecedor (e para o meio ambiente...)
 - $Power\ Usage\ Efficiency = \frac{Total\ Facility\ Energy}{IT\ Equipment\ Energy}$;
 - Em 2020, a Google afirmava que em média conseguia um PUE de 1.12 (por cada 1 watt gasto em IT gasta +0.12 watts em arrefecimento)
 - O consumo de energia dos centros de dados nos Estados Unidos, representa 1.2% do consumo total, e está a subir [RM11]



[RM11] “The Cloud at Your Service: The when, how, and why of enterprise Cloud Computing”, J. Rosenberg, A. Mateos, 2011

<https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/>

Projeto “Natick”

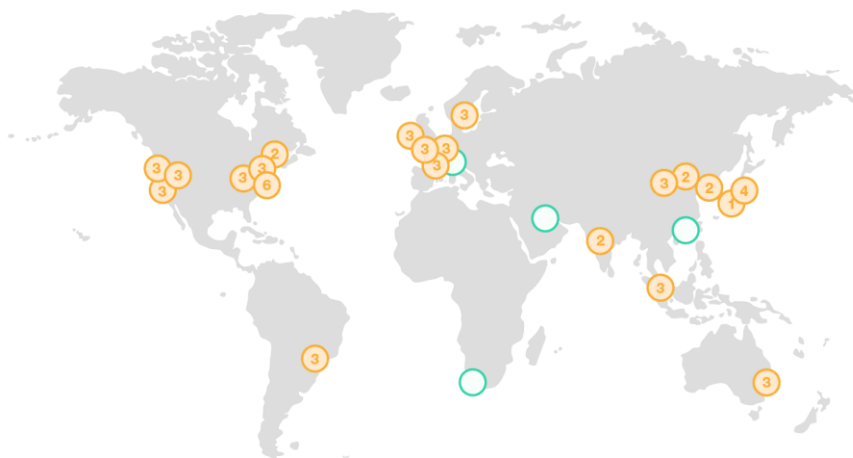
*“The vision of operating containerized datacenters offshore near major population centers anticipates a highly interactive future requiring data resources **located close to users**.*

*Deepwater deployment offers ready access to **cooling** and a controlled environment, and has the potential to be powered by **co-located renewable power sources**.”*



Regiões e número de zonas

- Os fornecedores de Cloud têm *datacenters* distribuídos por várias partes do mundo
 - Cada região tem um número de zonas associadas
 - Existem recursos que são específicos de uma zona, de uma região ou multi-região



Amazon AWS



Google GCP

Modelos/Tipos de Cloud

Private cloud – Exclusiva a uma organização, eventualmente com múltiplas unidades de negócio;

Community cloud – Exclusiva a uma comunidade de consumidores que partilham os mesmos objetivos;

Public cloud - Pertence a um fornecedor (envolvendo múltiplos centros de processamento, em vários países). Os consumidores usam a Cloud segundo modelos de *pay-per-use*, com diferentes níveis de serviço (SLA - *Service Level Agreement*);

Hybrid cloud - Composição de infraestruturas de Cloud distintas (*private*, *community*, ou *public*) que interoperam através de modelos e tecnologias, que facilitam a portabilidade de aplicações ou dados.

Cloud Computing Stack

Service Class	Access & Tools	Service contents
SaaS Software as a Service	Web Browser	Cloud Applications: <i>Social Networks, Email, Office suites (Google docs), ERP, CRM, IAM (Identity and Access Management), Video processing, ...</i>
PaaS Platform as a Service	Development Environments	Cloud Platform: Programming languages, frameworks, <i>Mashups</i> editors, Web APIs, Data Storage models (Relational, NoSQL), <i>Data Analytics</i> , ...
IaaS Infrastructure as a Service	Virtualization Manager	Cloud Infrastructure: Computer servers, Data Storage, Firewall, Load Balancer, IP Addressing, VPN,

Cloudnomics - Conhecer bem os custos

- Custos totais (*TCO - Total Cost of Ownership*):
 - Custos de capital/investimento (*CAPEX - Capital Expenditure*);
 - São despesas que criam benefícios futuros. Quando uma empresa gasta dinheiro para comprar ativos fixos, incorre em uma despesa de capital. Normalmente, o CAPEX requer um grande investimento inicial a ser amortizado à medida que o seu valor diminui ao longo do tempo. [RM11]
 - Custos operacionais (*OPEX - Operational Expenditure*):
 - O OPEX é um custo contínuo para a execução de um produto, empresa ou sistema. É uma despesa diário que pode muito mais facilmente ser aumentada ou diminuída conforme as necessidades do negócio. [RM11]
- Como antecipar ou prever os custos mensais/anuais de soluções de IT
 - Licenciamento de software;
 - Contratos manutenção de hardware e software;
 - Custos investimento em novo hardware (ciclos 2/3/4 anos);
 - Custo de recursos humanos (serviços) em ações de manutenção;
 - Custos energéticos (eletricidade, ar condicionado);

[RM11] The Cloud at Your Service: The when, how, and why of enterprise Cloud Computing”, J. Rosenberg, A. Mateos, 2011

Cloudnomics

- De custos de instalação para custos de operação (*CAPEX* vs. *OPEX*)
 - O investimento de capital inicial (*CAPEX*) pode ser significativo
 - Custo de operação (*OPEX*) são dinâmicos, e variam consoante a evolução do negócio: e.g. mais tráfego dita maior alocação de recursos
 - Não é necessário comprar e instalar servidores, sistemas operativos, licenças,
 - Estes ganhos de eficiência podem ser uma vantagem competitiva
- As tabelas de preços dos fornecedores nem sempre são claras e podem variar ao longo do tempo.

Caso de uso (i)

on-premises

2x Xeon
16 cores
128 GB RAM
300 Gb SSD
Network
7900€
36 months
= 220€/month

Virtual Machine

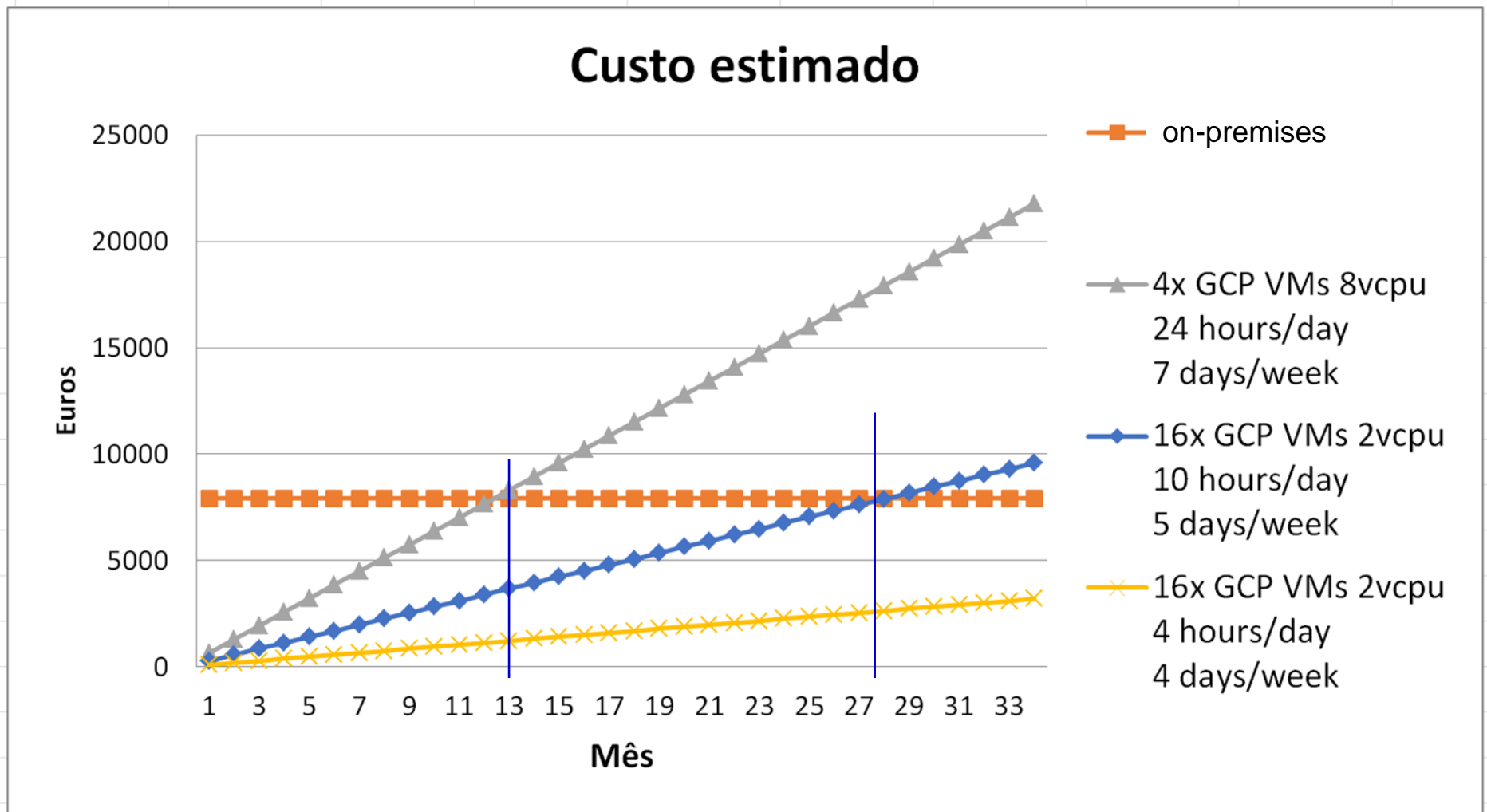
8 vCPU	2vCPU	
30 Gb RAM	8 Gb RAM	
300 Gb SSD	50 Gb SSD	
24 hours day	10 hours day	4 hours day
7 days	5 days	4 days
4 VMs	16 VMs	16 VMs
640€ Per month	282€ Per month	94€ Per month

Não inclui:

- Energia
- Arrefecimento
- Pessoal de manutenção
- Edifício

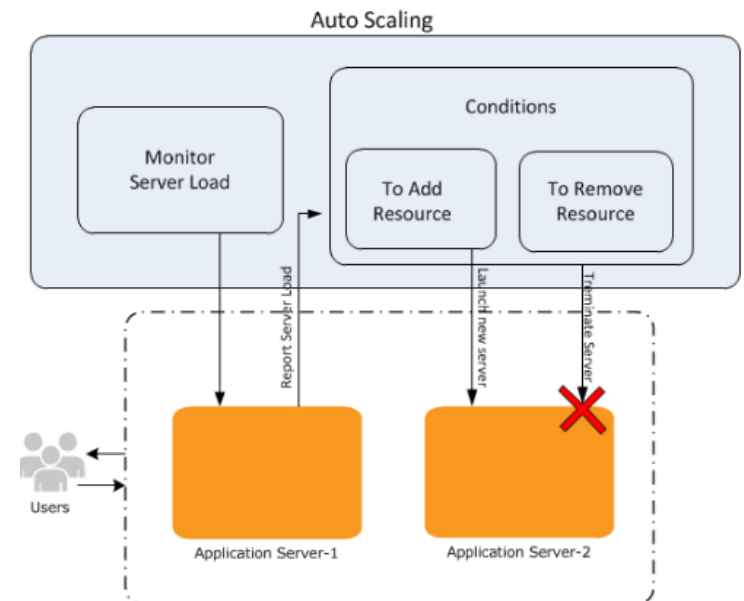
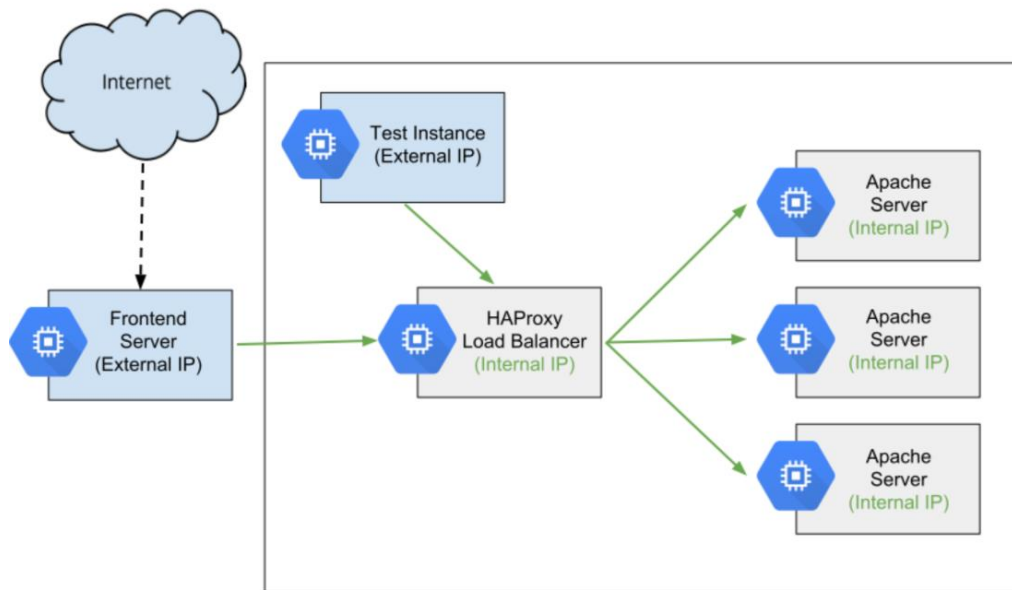
Valores com base na calculadora de preços do GCP
<https://cloud.google.com/products/calculator/>

Caso de uso (ii)



Elasticidade (*Auto Scaling*)

- Capacidade de ter escalabilidade (*scale up and scale down*) automaticamente;
- Algoritmos para controlar e alocar recursos com as cargas associadas (*workloads*);
- Requer a capacidade de distribuir computações e dados por múltiplos nós;
- A coordenação dos nós é um ponto crítico, onde se pretende orquestrar múltiplas atividades executadas em múltiplos nós;



Potencialidades e Oportunidades

- *Cloud Computing* é a maior mudança de paradigma desde o aparecimento do computador pessoal e da Internet:
 - *Pay-per-use (utility prices)*
 - Recursos computacionais virtuais infinitos - Elasticidade
 - Interfaces *self-service*;
 - Evita a aquisição/instalação/manutenção de centros de processamento de dados (empresas/organizações *start-up*)

O caso *Instagram*: de zero a mil milhões

- **Outubro 2010:** Kevin Systrom e Mike Krieger, criam uma aplicação de partilha de fotos:
 - **1º dia:** 25.000 utilizadores;
 - **3 meses depois:** 1 milhão de utilizadores (só para iphone);
 - **Abril de 2012:** 100 milhões de utilizadores (com Android), adquirida pelo Facebook por mil milhões de dólares;
 - **Dezembro de 2014:** 300 milhões de utilizadores.

Seria possível dois jovens construírem um centro de processamento com esta capacidade e num tempo tão curto?

➤ Alojamento na Cloud da Amazon tirando partido da elasticidade

Desafios na Cloud

- É um serviço de computação acessível por rede mas não resolve todos os problemas
 - A transferência de grandes quantidades de dados implica ter em conta a diferença entre:
 - **Bandwidth** - Quantidade de dados que podemos transferir por unidade de tempo;
 - **Latency** - Tempo para transferir dados de um ponto para outro.

Transferir 1TB a 1Mbps demora ~102 dias
Transferir 1TB a 1Gbps demora ~2,3 horas

- *Vendor lock-in*
 - É a “5ª utilidade” mas a interoperabilidade entre fornecedores é difícil ou inexistente (apesar de algumas ferramentas poderem minimizar este ponto)
- Sistemas legados que requerem configurações específicas de hardware
- Aplicações críticas para a organização, com requisitos de “tempo real”
- Problemas de segurança/privacidade dos dados
 - e.g. Registos de saúde?
 - Garantia de conformidade com o papel de processador de dados do RGPD?

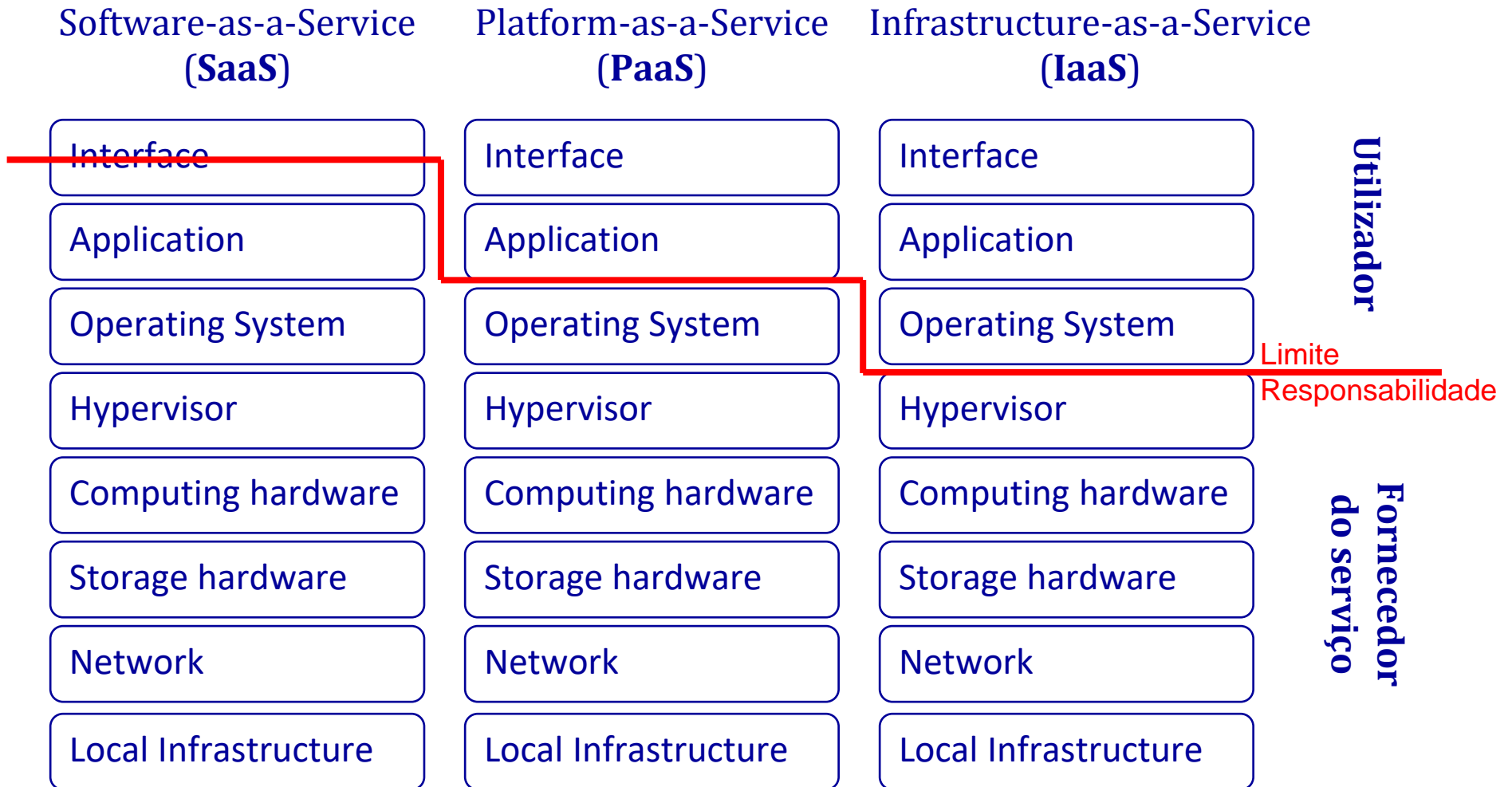
Desafios na Cloud: posição americana

Clarifying Lawful Overseas Use of Data (CLOUD) Act

- Emenda ao *Stored Communications Act* (SCA), que já permitia a autoridades federais solicitar dados armazenados em solo dos EUA
- Pelo *CLOUD Act* as autoridades dos EUA têm a possibilidade de solicitar também dados armazenados fora dos EUA por empresas americanas (ex, Google, Amazon, Microsoft ...)

<https://legalict.com/2018/11/08/the-cloud-act-and-its-consequences/> visited 1-03-2023

Partilha de responsabilidades



* Figura adaptada de «Cloud Computing – Theory and Practice, 2nd Edition, Dan Marinescu, Morgan Kaufmann, 2017»

BigData na Cloud

- As organizações geram enormes volumes de dados não estruturados oriundos de múltiplas fontes (email, redes sociais, etc.);
- Esses dados podem conter sinais importantes para o negócio, por exemplo sobre os clientes da organização;
- A análise destes dados é feita recorrendo a técnicas de *Data Mining* para extrair informação ou padrões implícitos, não triviais e desconhecidos;
- Tais técnicas requerem grande capacidade de recursos computacionais, de armazenamento, de processamento e de aplicações de aprendizagem automática, só ao alcance de algumas organizações;

Hoje os fornecedores de Cloud oferecem múltiplas e potentes soluções (*SaaS*) que permitem a qualquer organização realizar análise de dados quase em tempo real num contexto *BigData*

Ameaças ?

- Privacidade dos cidadãos;
- Cyber Crime;
- Cyber Terrorismo;
- ...

A Cloud também falha

- Em 29 de junho de 2012 uma tempestade na região Este dos Estados Unidos, afetou vários *datacenters* da *Virginia* e empresas como o *Instagram*
 - <https://mashable.com/2012/06/30/aws-instagram/>
 - Falha demorou a ser resolvida; Geradores de *backup* não arrancaram
 - O processo de balanceamento entre *datacenters* também teve problemas e as VMs demoraram a voltar a funcionar
- *Google Cloud Status Dashboard*
 - <https://status.cloud.google.com>
 - <https://status.cloud.google.com/incident/compute>

Resumo dos desafios e dificuldades

- Evitar situações de “*Vendor lock-in*”;
 - Incerteza sobre o controlo físico de Hardware, Software e Dados;
 - Incerteza sobre o suporte para auditar ou investigar falhas;
 - Incerteza sobre leis aplicáveis;
 - Dificuldade de definir SLAs adequados;
 - Ausência de standards e de interoperabilidade entre fornecedores;
 - Adaptar/migrar aplicações para Clouds públicas pode ser complexo;
 - *Multi-tenant* versus *multi-instance*, isto é, uma única instância do serviço, serve múltiplas organizações *versus* instâncias do serviço separadas para cada organização;
- ✓ Para chegar à Cloud é necessário ter comunicações adequadas
- “*A dead Internet connection means no work*”

Análise SWOT

INTERNO	
POSITIVO	NEGATIVO
STRENGTHS (forças)	WEAKNESS (fraquezas)
<ol style="list-style-type: none"> 1 Custo eficaz 2 Flexibilidade e inovação 3 Modelos de consumo e custos simples 4 Rapidez de fornecimento de sistemas e aplicações 5 Infraestrutura segura 6 Instalações de acordo com normas 7 Resiliência e recuperação de falhas 8 Redução de custos de manutenção 9 Níveis de acessibilidade convenientes 10 Controlo de recursos adequado 11 Independência de tempo e localização 12 Poupança de energia 13 Proteção do ambiente 14 Utilização amigável 15 Expansibilidade (Elasticidade) 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Requisitos de formação/aprendizagem 2 Novo desenvolvimento das aplicações 3 Aumento da dependência de terceiros 4 Ligação à internet com alta largura de banda 5 Dificuldade de integrar software local 6 <i>Bottlenecks</i> na transferência de dados 7 Perda de controlo físico dos dados 8 Perda de controlo e garantia sobre QoS 9 Dificuldade na garantia de localização dos fornecedores
OPPORTUNITIES (potencialidades)	THREATS (ameaças)
<ol style="list-style-type: none"> 1 Pagar o que se usa (<i>pay-per-use</i>) 2 Acessível a pequenas empresas sem grandes investimentos 3 Facilidade de expansão do negócio 4 Melhoria no posicionamento no mercado 5 Adaptação a necessidades futuras 6 Processos de negócio normalizados 7 Rapidez na solução de problemas 8 Ambientes de trabalho modernos 9 Soluções de acordo com as últimas tecnologias 	<ol style="list-style-type: none"> 1 Segurança dos dados 2 Falta de regulação (nacional e internacional) 3 Dificuldade de migração para outro fornecedor (<i>vendor lock-in</i>) 4 Custos escondidos (backup, recuperação e resolução de problemas) 5 Compatibilidade reduzida 6 Resistência dos envolvidos à mudança
EXTERNO	

Oferta de Serviços na Cloud

- Pela sua importância existem serviços cuja oferta é comum a todos os fornecedores, independentemente dos nomes comerciais que os designam:
 - Armazenamento massivo de dados: *Amazon S3; Azure storage; Google Cloud Storage; ...*
 - Criação de VMs com múltiplas capacidades de processamento, de memória RAM e de storage: *Amazon EC2; Azure VM; Google Compute Engine; ...*
 - Armazenamento de dados NoSQL (Key, Value): *Amazon DynamoDB; Azure CosmosDB e DocumentDB; Google Bigtable; Firestore; ...*
 - Mensagens: *Amazon Simple Notification Service; Azure Queues; Google Pub/Sub; ...*
 - Data analytics (BigData; Data Mining; Business Intelligence, MapReduce, ...): *Amazon Elastic MapReduce (EMR); Azure HDInsight; Google MapReduce; DataFlow; TensorFlow; ...*

Exemplos de ofertas públicas de *Cloud*



Google Cloud Platform

SOFTLAYER®
an IBM Company



DigitalOcean

vmware
VMware vCloud® Air™



Microsoft Azure

Amazon Web Services (AWS)

<https://aws.amazon.com/products/>



Analytics



Application Integration



AR & VR



AWS Cost Management



Blockchain



Business Applications



Compute



Customer Engagement



Database



Developer Tools



End User Computing



Game Tech



Internet of Things



Machine Learning



Management & Governance



Media Services



Migration & Transfer



Mobile



Networking & Content
Delivery



Quantum Technologies



Robotics



Satellite



Security, Identity &
Compliance



Storage

Microsoft Azure

Virtual Machines



Provision Windows and Linux virtual machines in minutes

App Service



Create web and mobile apps for any platform and any device

SQL Database



Managed relational SQL Database-as-a-service

<https://azure.microsoft.com/en-gb/services/>

Storage



Durable, highly available and massively scalable cloud storage

Cloud Services



Create highly available, infinitely scalable cloud applications and APIs

DocumentDB



Managed NoSQL document database-as-a-service

Azure Active Directory



Synchronise on-premises directories and enable single sign-on

Backup



Simple and reliable server backup to the cloud

HDInsight



Provision cloud Hadoop, Spark, R Server, HBase and Storm clusters

Apache Spark for Azure HDInsight



Apache Spark in the cloud for mission-critical deployments

Apache Storm for HDInsight



Real-time stream processing made easy for big data

R Server for HDInsight



Predictive modelling, machine learning and statistical analysis for b...

Google Cloud Platform (GCP)

Compute



Compute Engine



App Engine



Container Engine



Container Registry



Cloud Functions

Identity & Security



Cloud IAM



Cloud Resource Manager



Cloud Security Scanner



Cloud Platform Security

Networking



Cloud Virtual Network



Cloud Load Balancing



Cloud CDN



Cloud Interconnect



Cloud DNS

Big Data



BigQuery



Cloud Dataflow



Cloud Dataproc



Cloud Datalab



Cloud Pub/Sub



Genomics

Storage and Databases



Cloud Storage



Cloud Bigtable



Cloud Datastore



Cloud SQL



Persistent Disk

Machine Learning



Cloud Machine Learning



Vision API



Speech API



Natural Language API



Translation API



Jobs API

Management Tools



Monitoring



Cloud APIs



Cloud Console

...

Developer Tools



Cloud SDK



Cloud Tools for Android Studio



Cloud Tools for PowerShell



Cloud Tools for Visual Studio



Google Plug-in for Eclipse

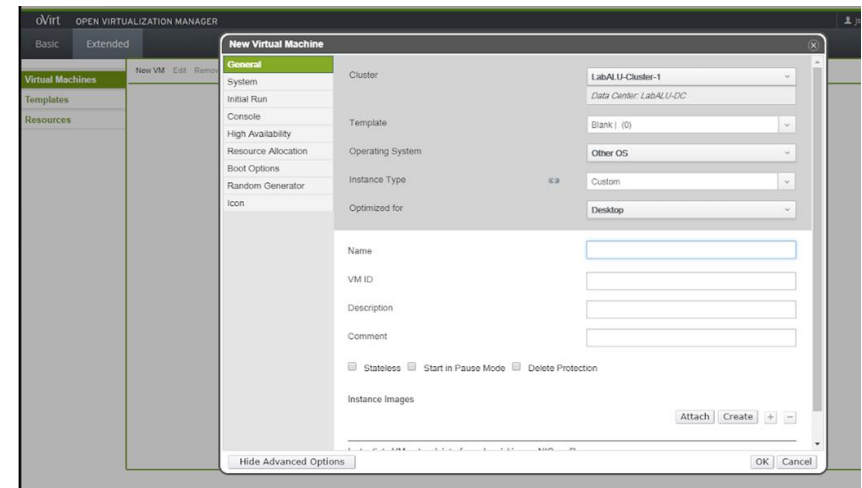
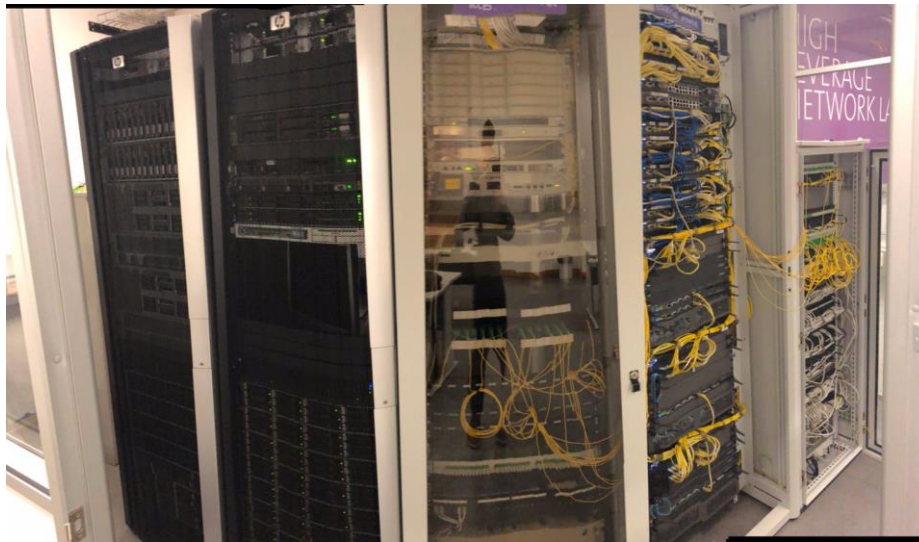
...

Google Cloud Platform

- Computação
 - Virtual Machines (incluindo máquinas preemptíveis)
 - Managed Containers (Kubernetes, a cluster of containers)
 - Cloud functions
- Armazenamento
 - Discos persistentes
 - Cloud Storage, 4 tipos de armazenamento (multi-regional, regional, nearline, coldline)
 - Bases de Dados relacionais e NoSQL (Firestore)
- *Message Queueing - Publish/Subscribe (Pub/Sub)*
- Machine Learning and Big Data
 - Speech API, Vision API, ...
 - Big Query, ...

Clouds privadas

- A segurança, disponibilidade, comunidade de utilizadores e economia de escala, podem tornar a opção *on-premise* a melhor solução
- Exemplos: Eucalyptus, OpenNebula, OVirt
- ISEL / ADEET usa *OVirt* no seu centro de dados privado
 - OVirt usa o *hypervisor* Kernel-based Virtual Machine (KVM)



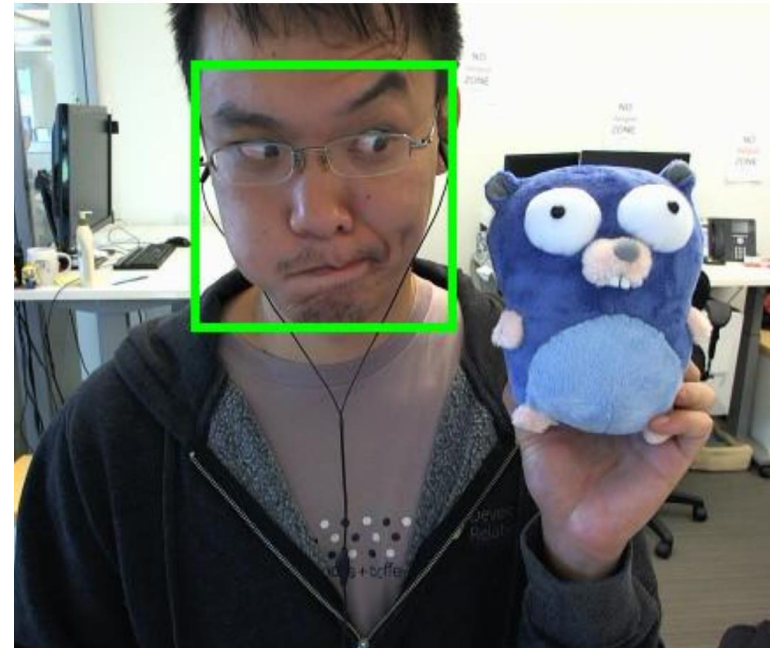
Demonstração 1

The screenshot shows the Google Cloud Platform console. The top navigation bar includes the Google Cloud logo, a dropdown menu for the project 'CN-2022-23', a search bar, and a red circle highlighting the 'Cloud Shell' icon. Below the navigation bar are tabs for 'DASHBOARD', 'ACTIVITY', and 'RECOMMENDATIONS'. The main content area is divided into three columns: 'Project info' (showing project name, number, and ID), 'API APIs' (showing a graph of requests per second), and 'Google Cloud Platform status' (showing Cloud Filestore status). At the bottom, a 'Terminal' window is open, displaying the command '\$ gcloud compute instances list'.

- A console web do GCP reúne o acesso a todos os serviços
 - *Cloud shell*: máquina virtual que corre num *datacenter* da Google, associada à conta do utilizador e com acesso aos diversos serviços

Demonstração 2

- Exemplo de acesso programático à API de reconhecimentos de imagem (faces de pessoas e labels)



Labels for image data\cat.jpg:

Cat (score: 0.996)

Small to medium-sized cats (score: 0.976)

Felidae (score: 0.963)

As “novas” *buzzwords*, depois da *Cloud*

- A computação distribuída de maior escala começou com terminais a aceder a centros de dados remotos
 - Quando os computadores pessoais se tornaram mais capazes, a computação ficou concentrada no computador local
- As aplicações web moveram a computação de novo para um ponto central
 - Mas de novo para o browser, (e.g. *single-page application*) e para os dispositivos móveis
- A Grid reinventou o centro de dados remoto e a Cloud tornou-o num serviço acessível a todos, com um modelo de custos
- Vemos mais uma vez um movimento de aproximar a computação dos utilizadores e das fontes de informação
 - IoT, Fog, Edge -- the *cloud continuum*

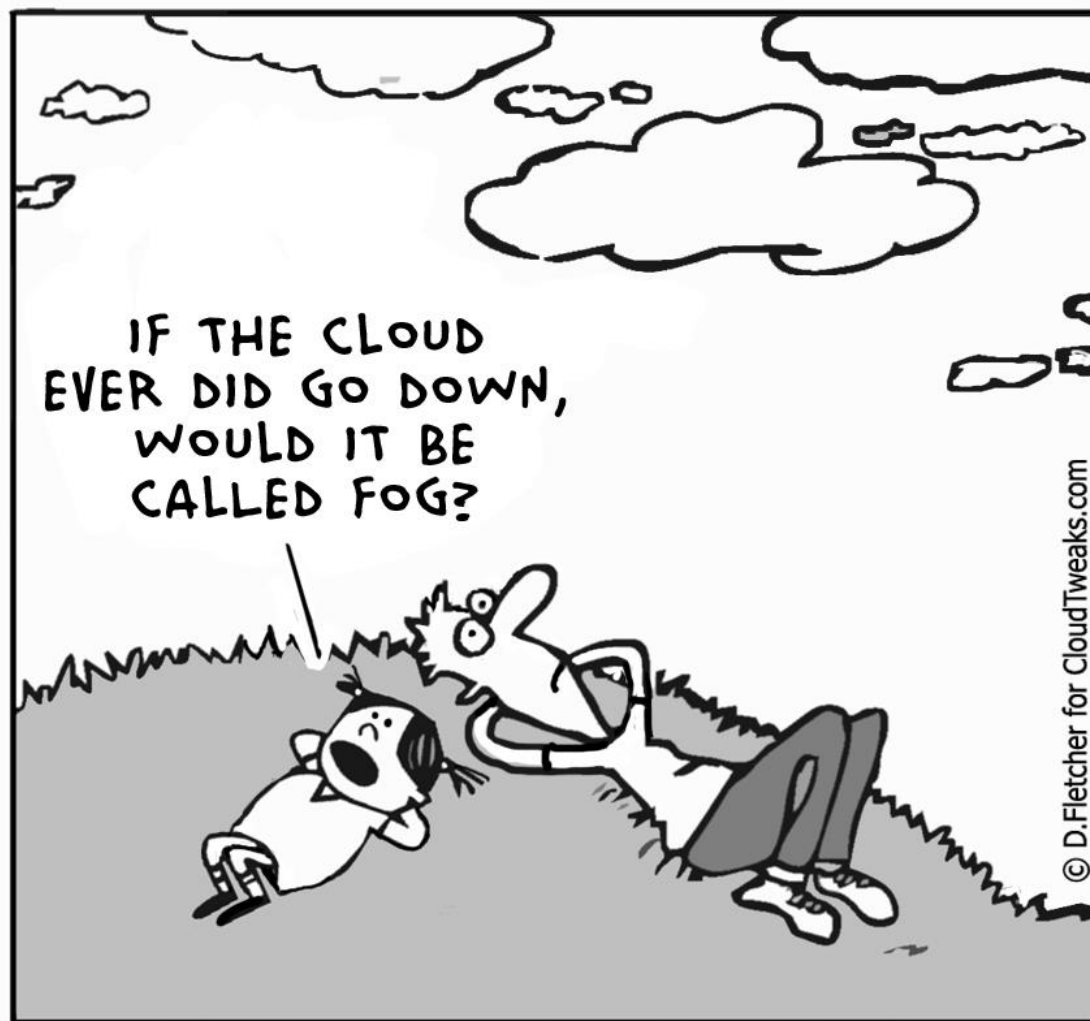


Figure 1. Connecting More and Different Kinds of Things Directly to the Cloud Is Impractical



**Cisco Whitepaper,
"Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are"**

Interação entre *Fog* e *Cloud*

- Fog nodes
 - Recebem dados de dispositivos IoT usando múltiplos protocolos de tempo real (por exemplo *Sigfox*, *NFC*, *Zigbee*, *Bluetooth*, etc.) e protocolos M2M (*Machine-to-Machine*) por exemplo MQTT*;
 - Armazenam dados transitórios (1 a 2 horas);
 - Executam aplicações de controlo ou análise de dados de pequena dimensão com tempos de resposta da ordem dos milissegundos;
 - Enviam resumos de dados para infraestruturas Cloud.
- Plataforma Cloud
 - Recebe e agrega os sumários de dados recebidos dos Fog nodes;
 - Realiza análise dos dados oriundos dos dispositivos IoT conjuntamente com outros dados relativos ao negócio;
 - Envia dados e diretivas para os Fog nodes baseados no negócio

*MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport*