

# Computação Móvel e Ubíqua

Instituto de Informática - UFG

Prof. Fábio M. Costa — 2023/1



to be best in all  
point of view.  
**Ubiquitous** [ju-  
everywhere at the  
existing or being  
the same time; or  
is thoug

# Conceitos fundamentais

Computação em Nuvem e na Névoa

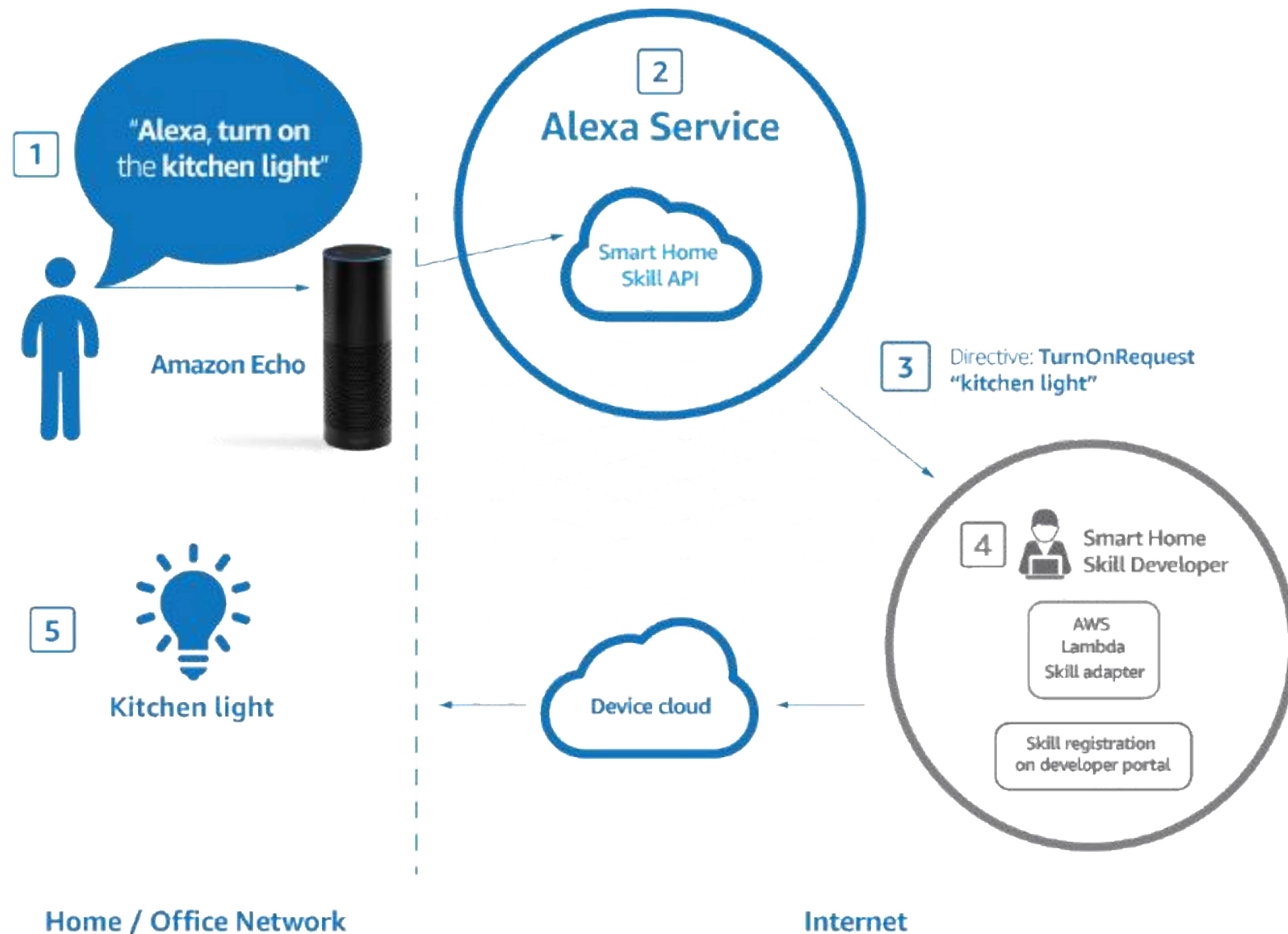
# Roteiro

- Computação em nuvem
- Computação na névoa
- Computação na borda
- *Mobile cloud computing*
- O contínuo “*IoT — cloud*”



# Cenário: Computação Ubíqua / Nuvem

Arquitetura típica de sistemas baseados em assistentes virtuais



# Computação em Nuvem

## Definição do NIST

Um modelo para habilitar o acesso via rede, ubíquo, conveniente e sob demanda a um pool de recursos computacionais configuráveis (redes, servidores, armazenamento, aplicações, serviços) que podem ser provisionados e liberados rapidamente com um mínimo de esforço de gerenciamento ou interação com o provedor.

# Computação em Nuvem

## Definição do NIST

Um modelo para habilitar o **acesso via rede**, **ubíquo**, conveniente e **sob demanda** a um **pool de recursos computacionais configuráveis** (redes, servidores, armazenamento, aplicações, serviços) que podem ser **aprovisionados e liberados rapidamente** com um **mínimo de esforço de gerenciamento ou interação com o provedor**.

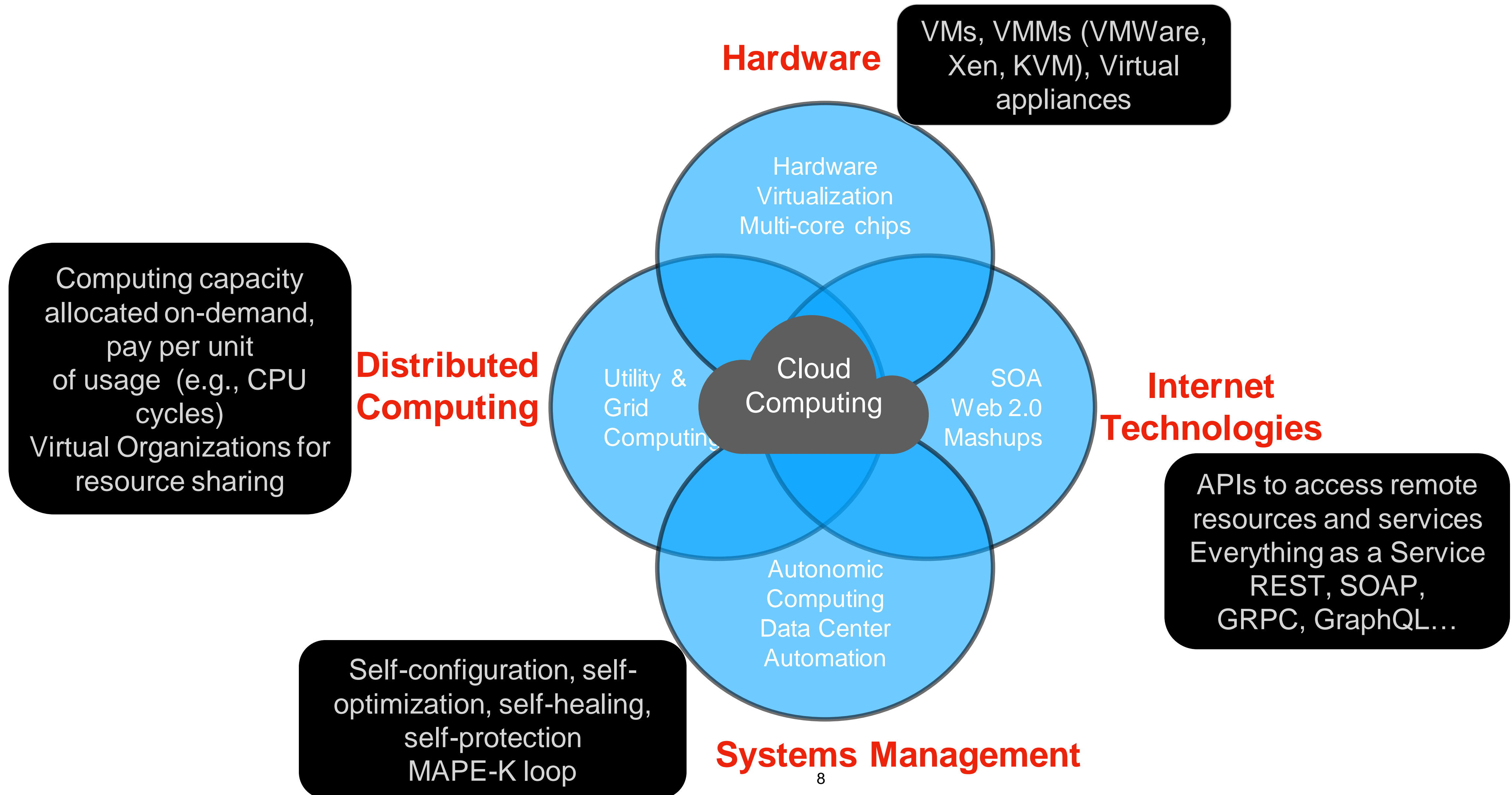
# Computação em Nuvem

## Cinco características essenciais

- **Self-service e sob demanda:** provisionamento de recursos pelo consumidor, sem interação humana com o provedor
- **Acesso de banda larga:** cliente acessa serviços remotos via rede
- **Pooling de recursos:** reservatório de recursos no provedor para atender a múltiplos consumidores, em regime de *multitenancy*, com alocação dinâmica e transparência de localização
- **Elasticidade rápida:** aumenta ou diminui dinamicamente a quantidade de recursos provisionados, à medida que a demanda (ex.: carga de trabalho) aumenta ou diminui — ilusão de recursos ilimitados, “escalamento” automático
- **Serviço medido:** controle, otimização, monitoramento e tarifação automáticos do uso de recursos — medição de uso apropriada para cada tipo de recurso (armazenamento, processamento, largura de banda, número de usuários)

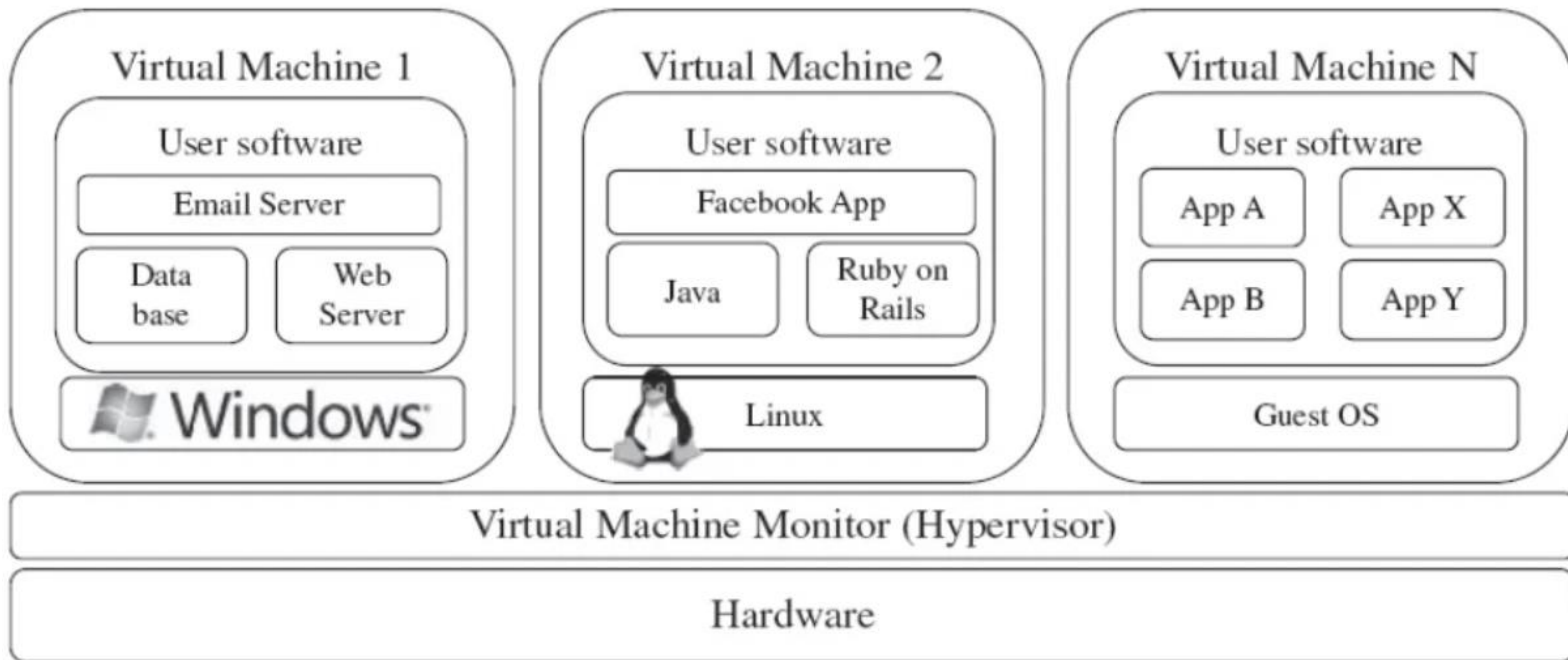


# Computação em nuvem: convergência tecnológica





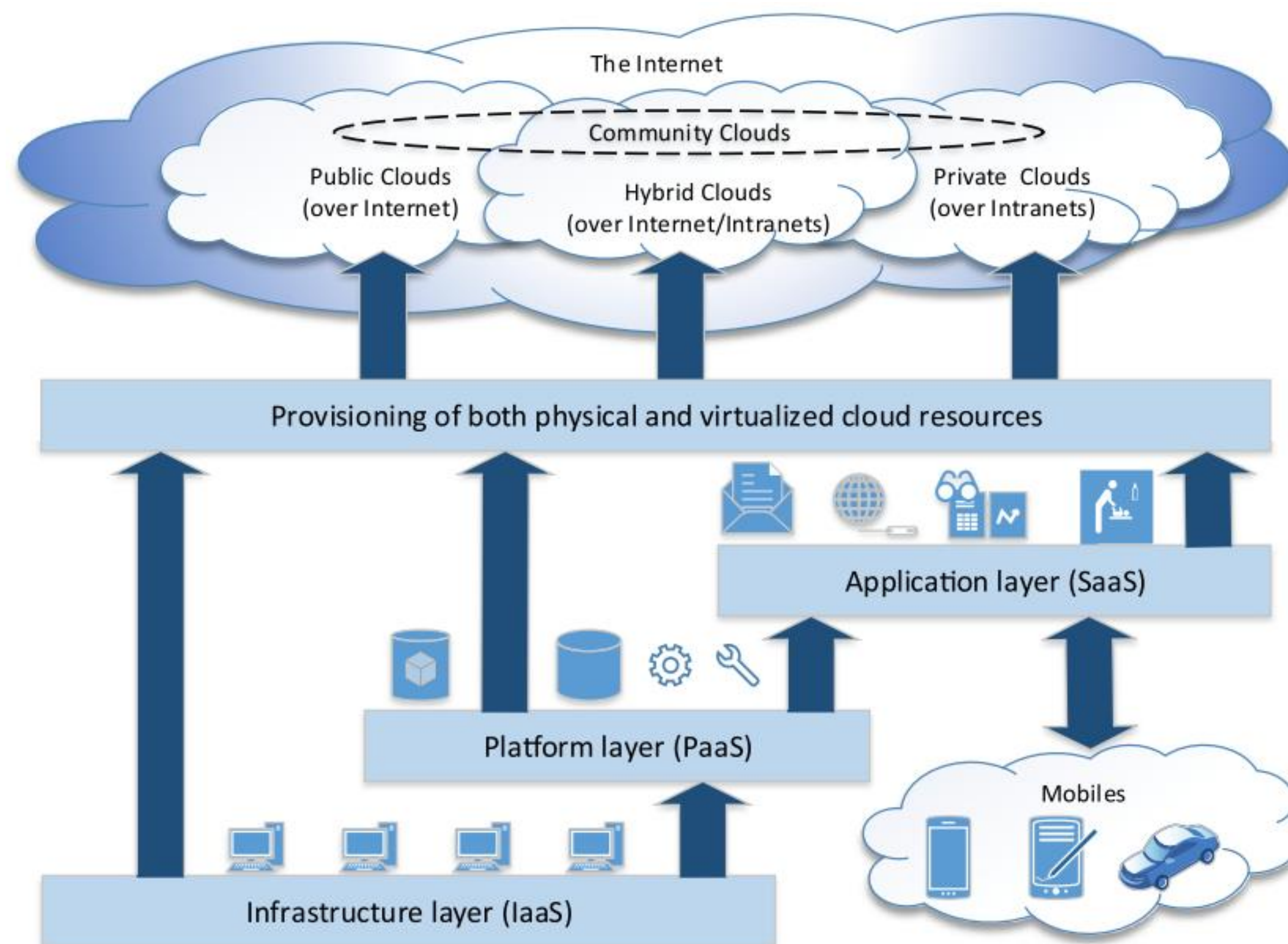
# Virtualização



# Computação em nuvem




## Classificação (quanto ao nível de abstração)

- **SaaS:** aplicações do usuário rodam na infra de nuvem e são acessadas por meio de “thin clients” (ex.: navegador); usuário controla apenas as configurações das aplicações
- **PaaS:** provê ambiente de execução (linguagens, bibliotecas, ferramentas, software de sistema) na nuvem para a implantação de aplicações pelo usuário; usuário controla as aplicações instaladas e configurações do ambiente de execução
- **IaaS:** provê capacidade de processamento, armazenamento, rede e permite que o usuário instale qualquer software (SO e acima)



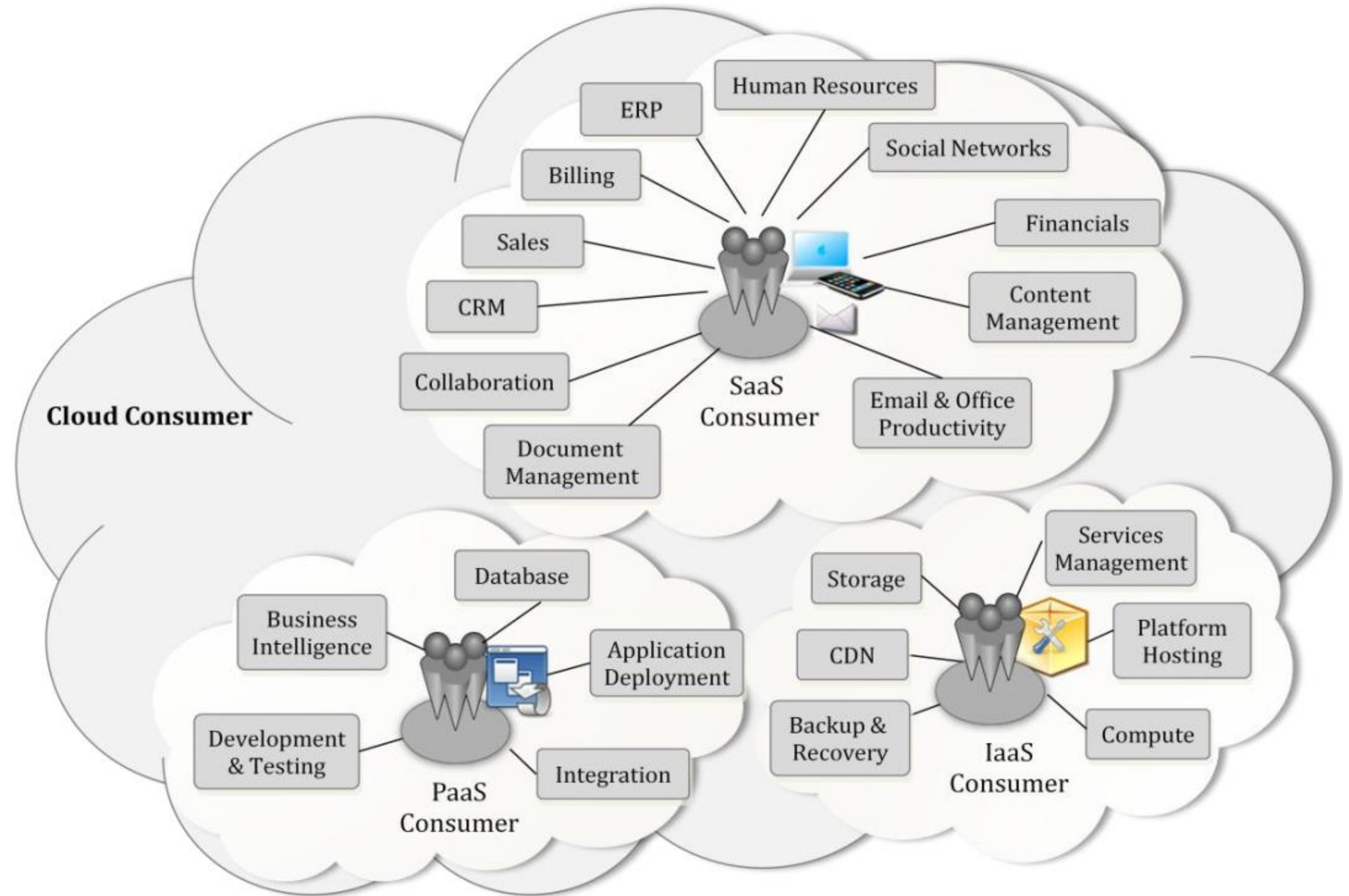


# SaaS, PaaS, IaaS

Service Class	Main Access & Management Tool	Service content
 SaaS	Web Browser	<b>Cloud Applications</b> Social networks, Office suites, CRM, Video processing
 PaaS	Cloud Development Environment	<b>Cloud Platform</b> Programming languages, Frameworks, Mashups editors, Structured data
 IaaS	Virtual Infrastructure Manager	<b>Cloud Infrastructure</b> Compute Servers, Data Storage, Firewall, Load Balancer

# SaaS, PaaS, IaaS

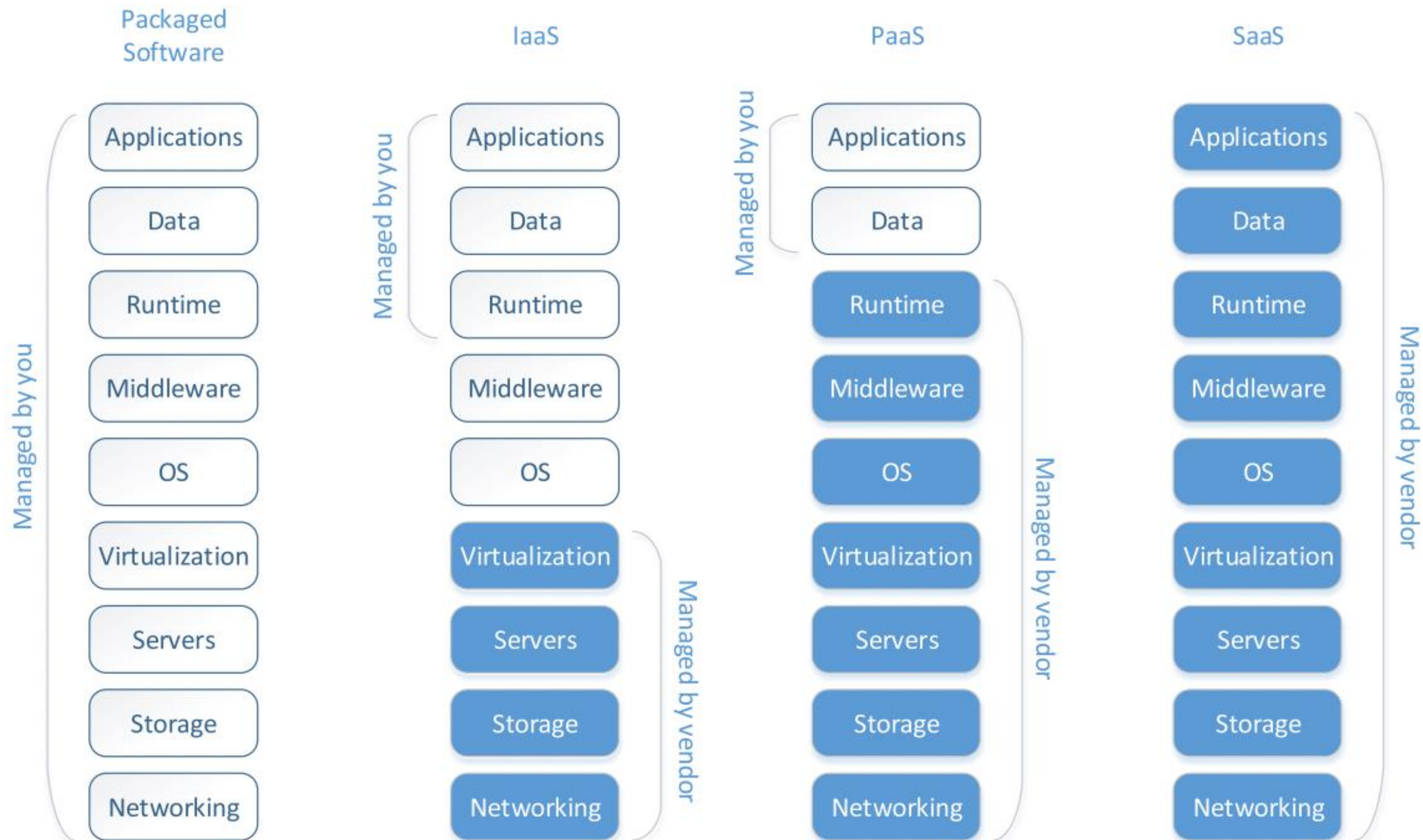
## Exemplos





# SaaS, PaaS, IaaS

Quem controla o que

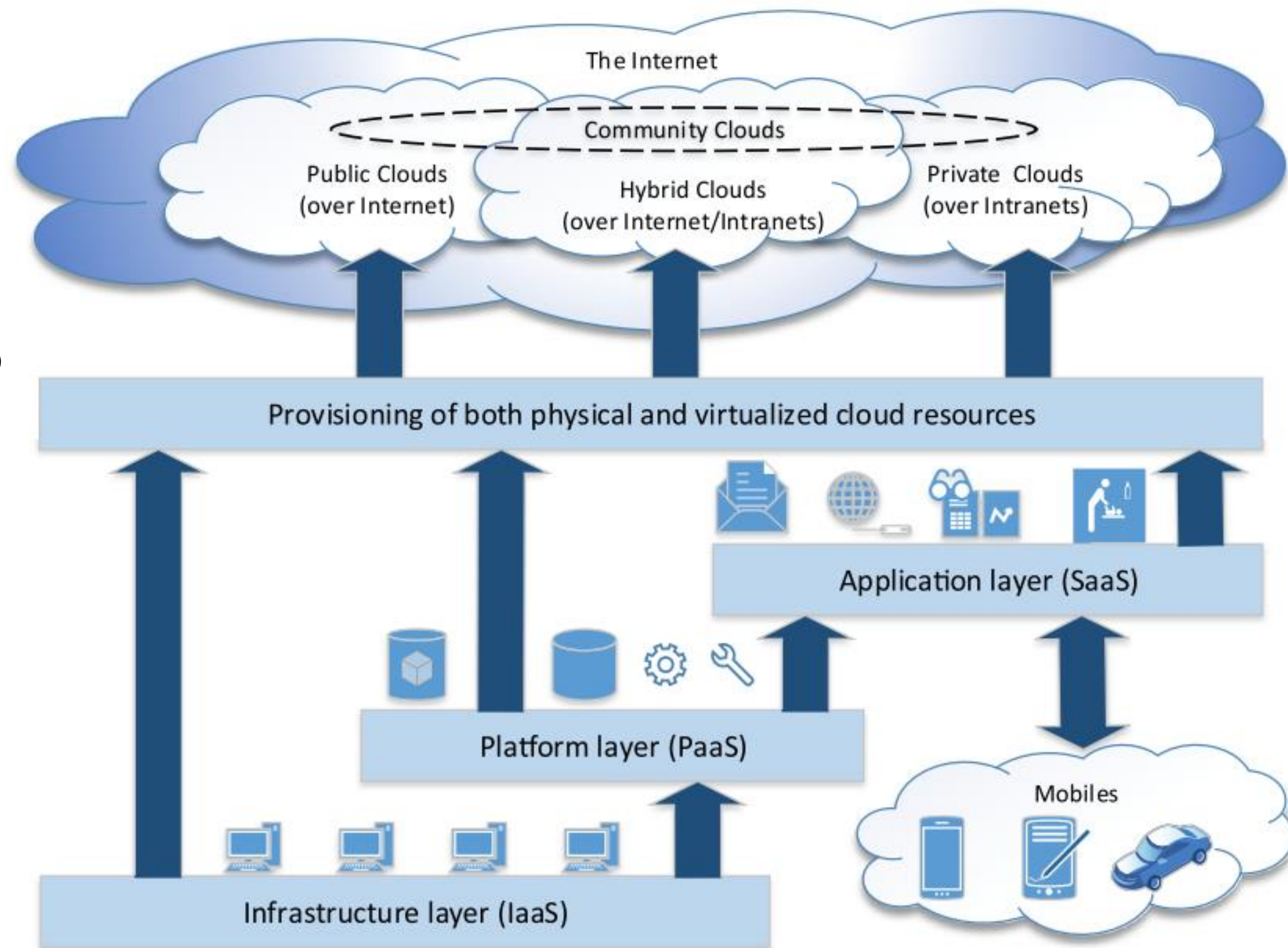




# Computação em nuvem

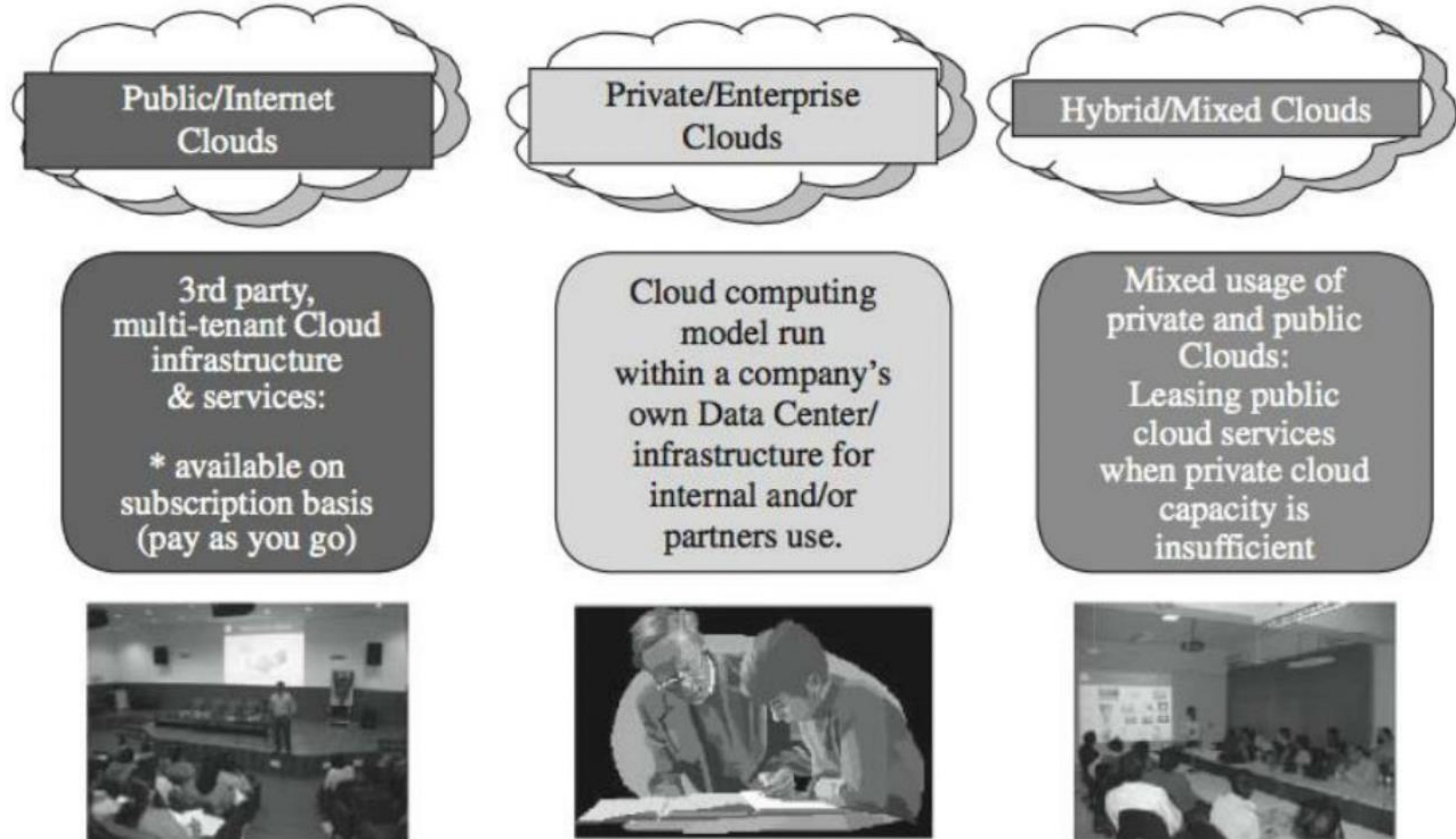
## Classificação (quanto ao uso)

- **Nuvem privativa:** infra para uso exclusivo dentro de uma organização; mantida pela própria empresa ou por terceiros
- **Nuvem pública:** provida por uma organização (pública ou privada) para uso do público em geral; mantida pelo provedor de nuvem
- **Nuvem híbrida:** duas ou mais infras de nuvem (privadas ou públicas) que podem ser usadas ao mesmo tempo para implantar as aplicações de um consumidor (ex.: para *cloud bursting*)
- **Nuvem comunitária:** conjunto de recursos pertencentes a nuvens de diferentes organizações, reunidos para uso por uma comunidade com fins comuns



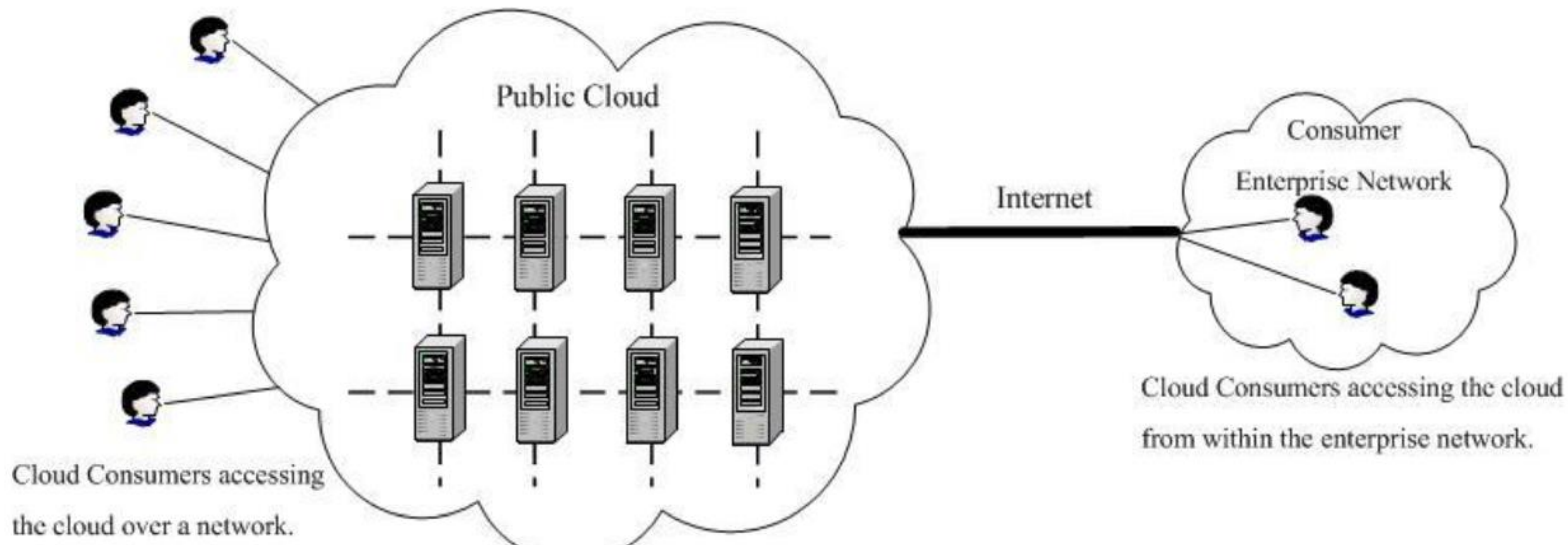


# Nuvens públicas, privadas e híbridas





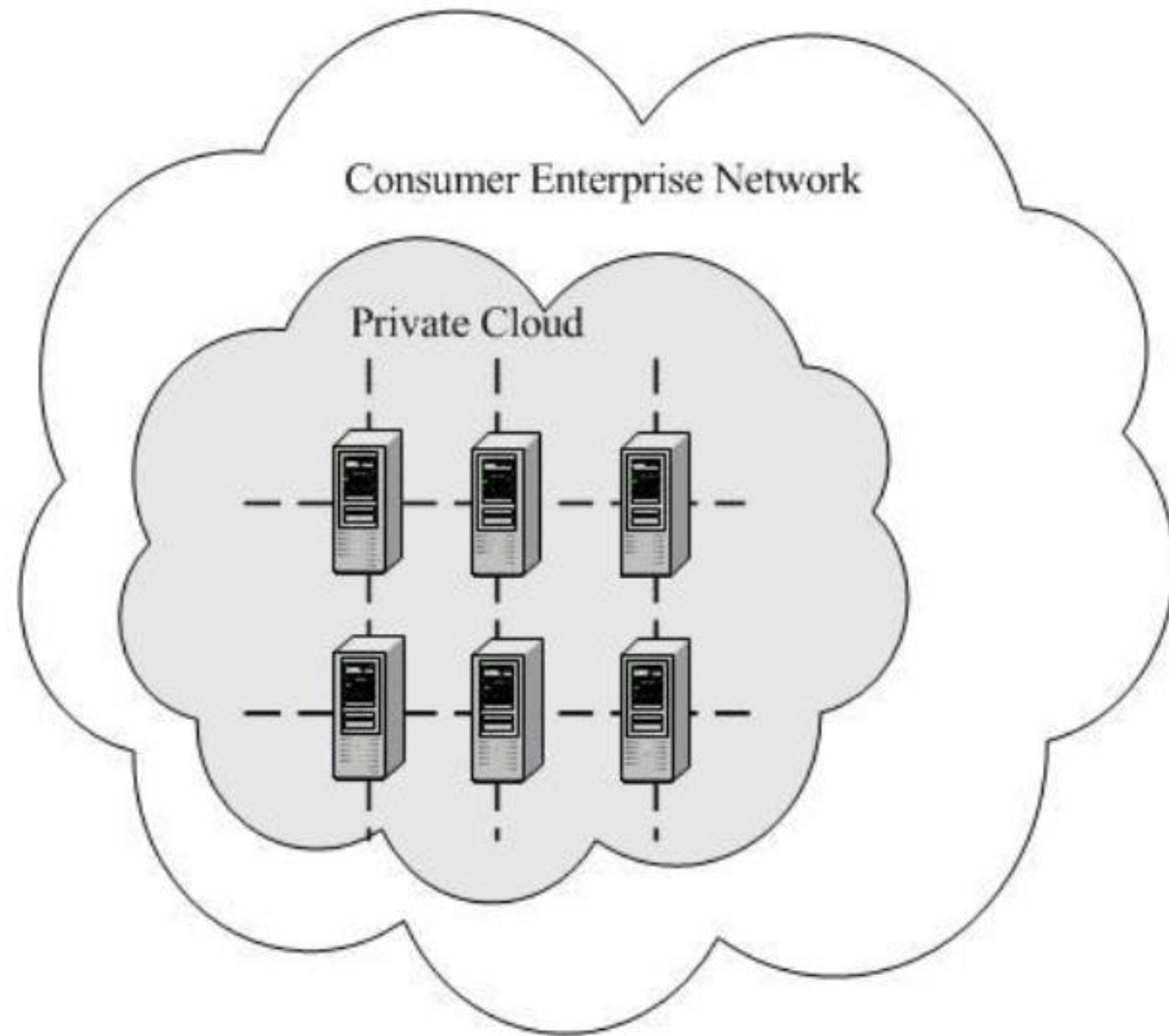
# Nuvem pública



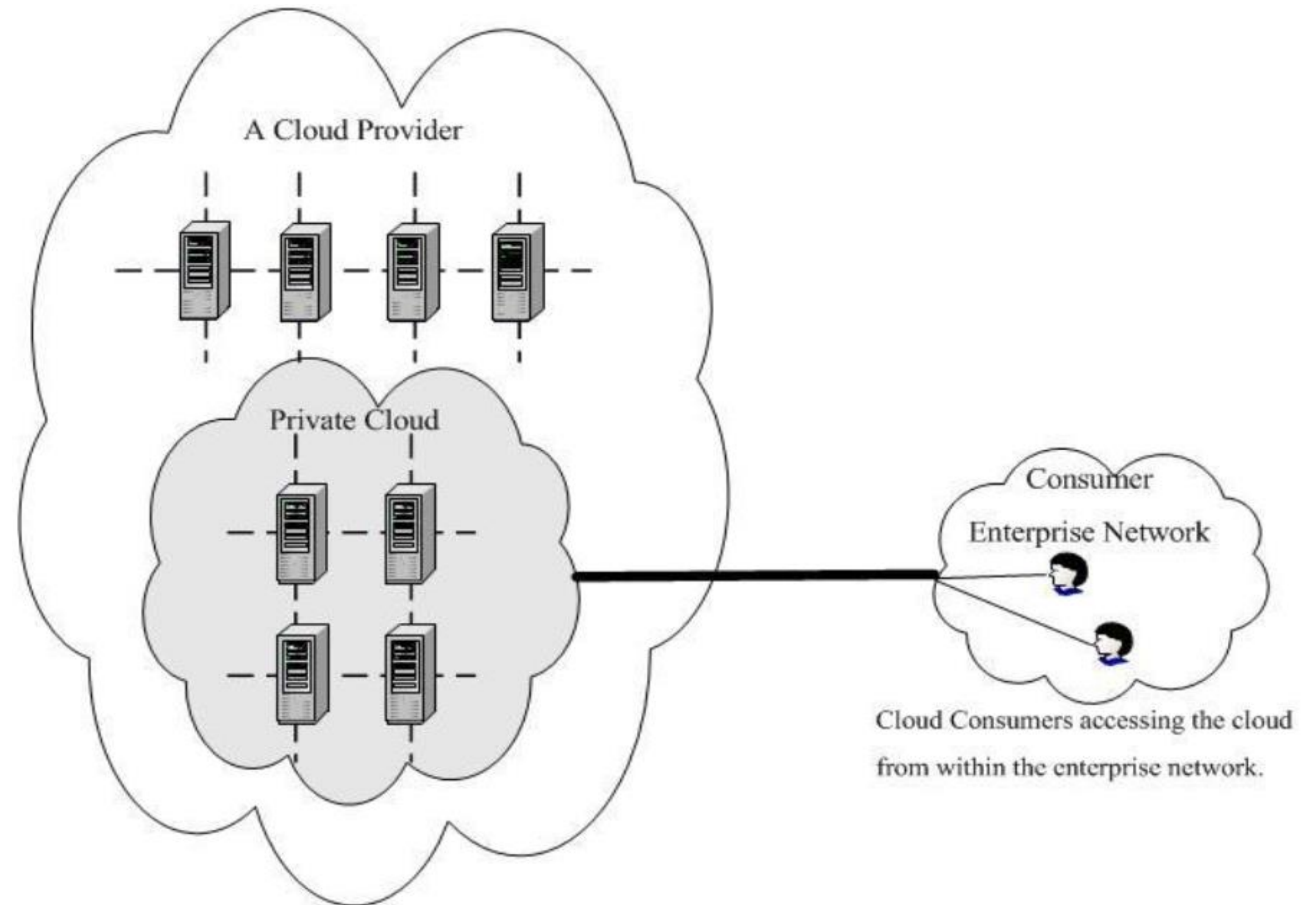


# Nuvem privada

## On-site

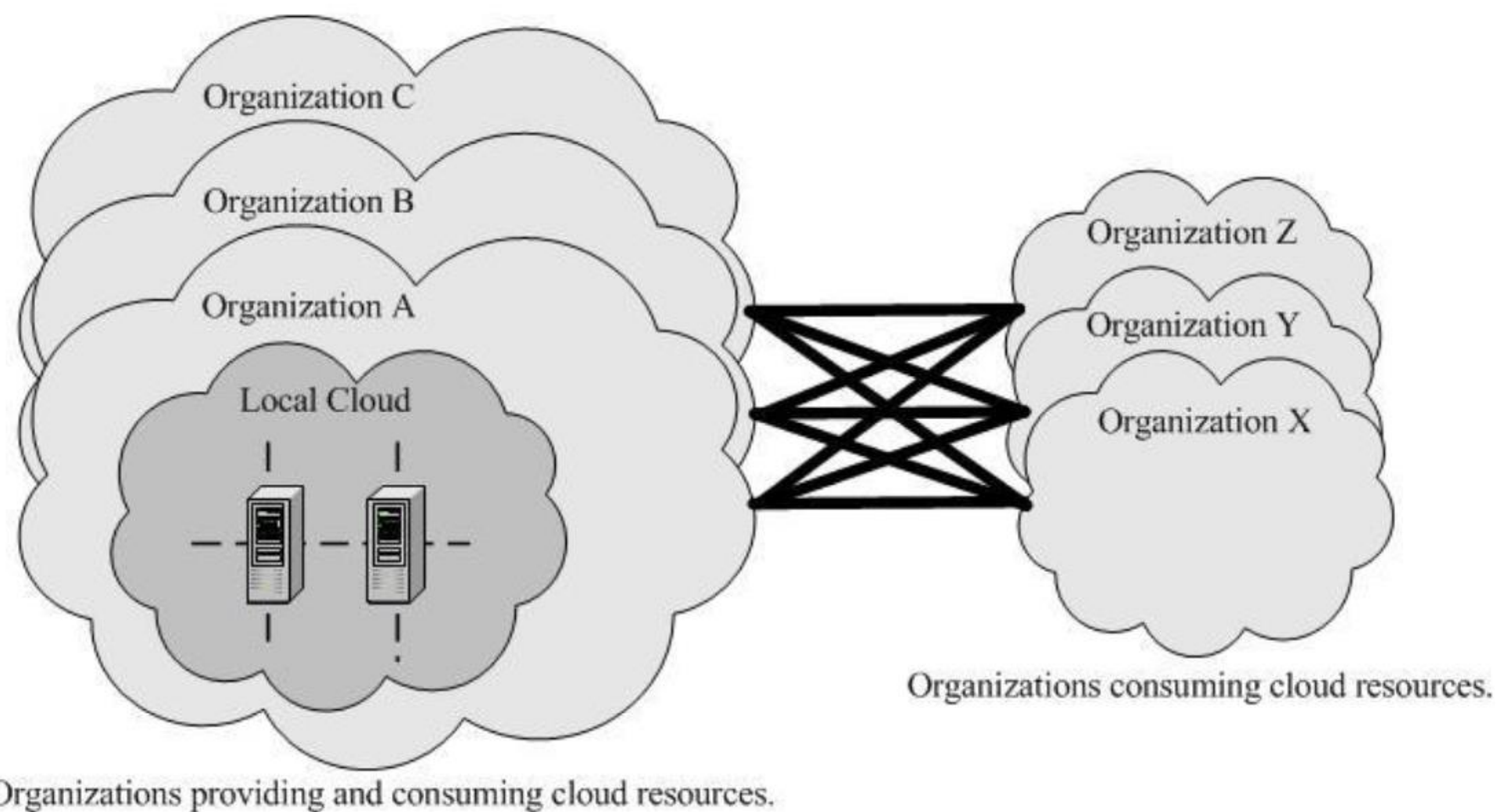


## Out-sourced

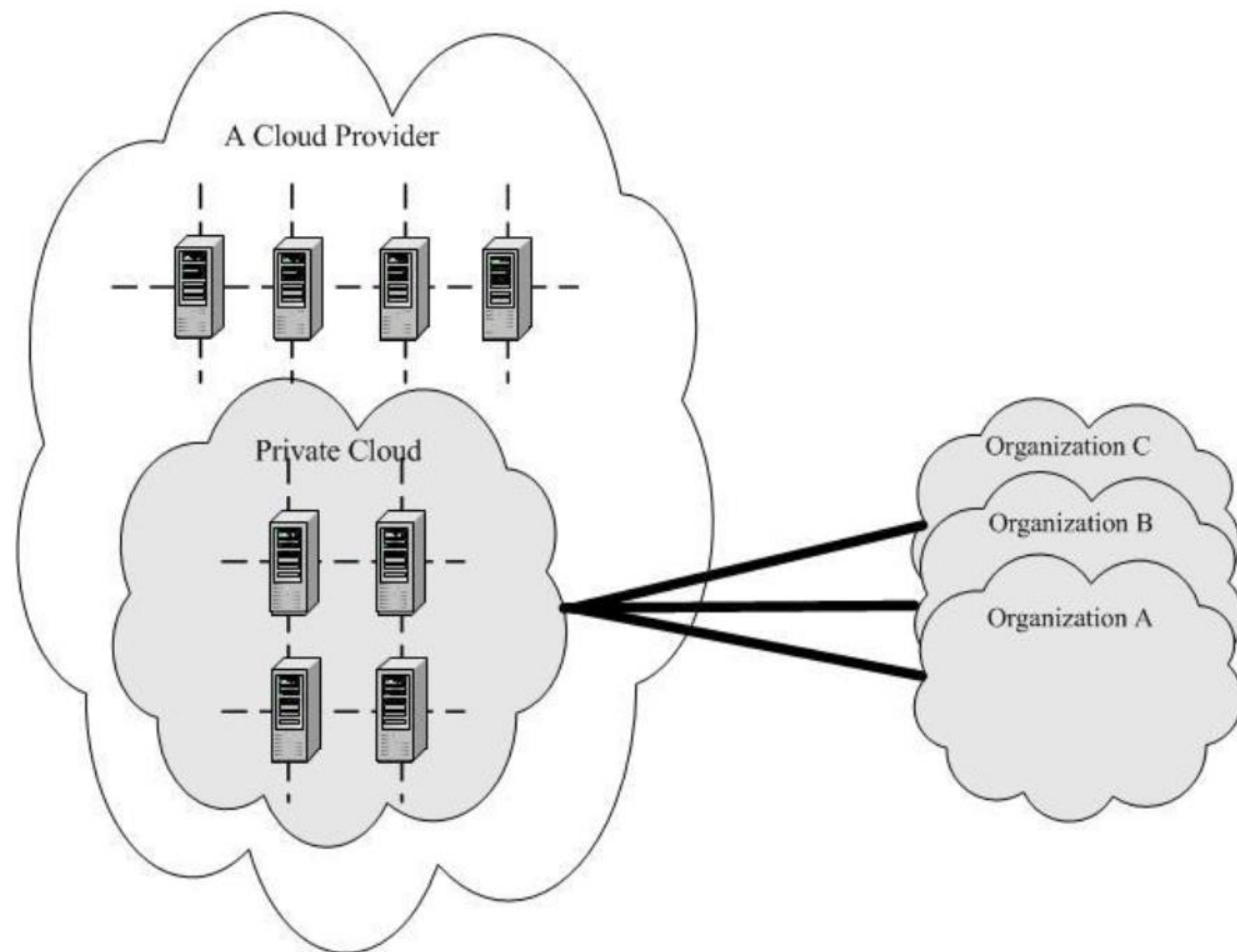


# Nuvem comunitária

## On-site

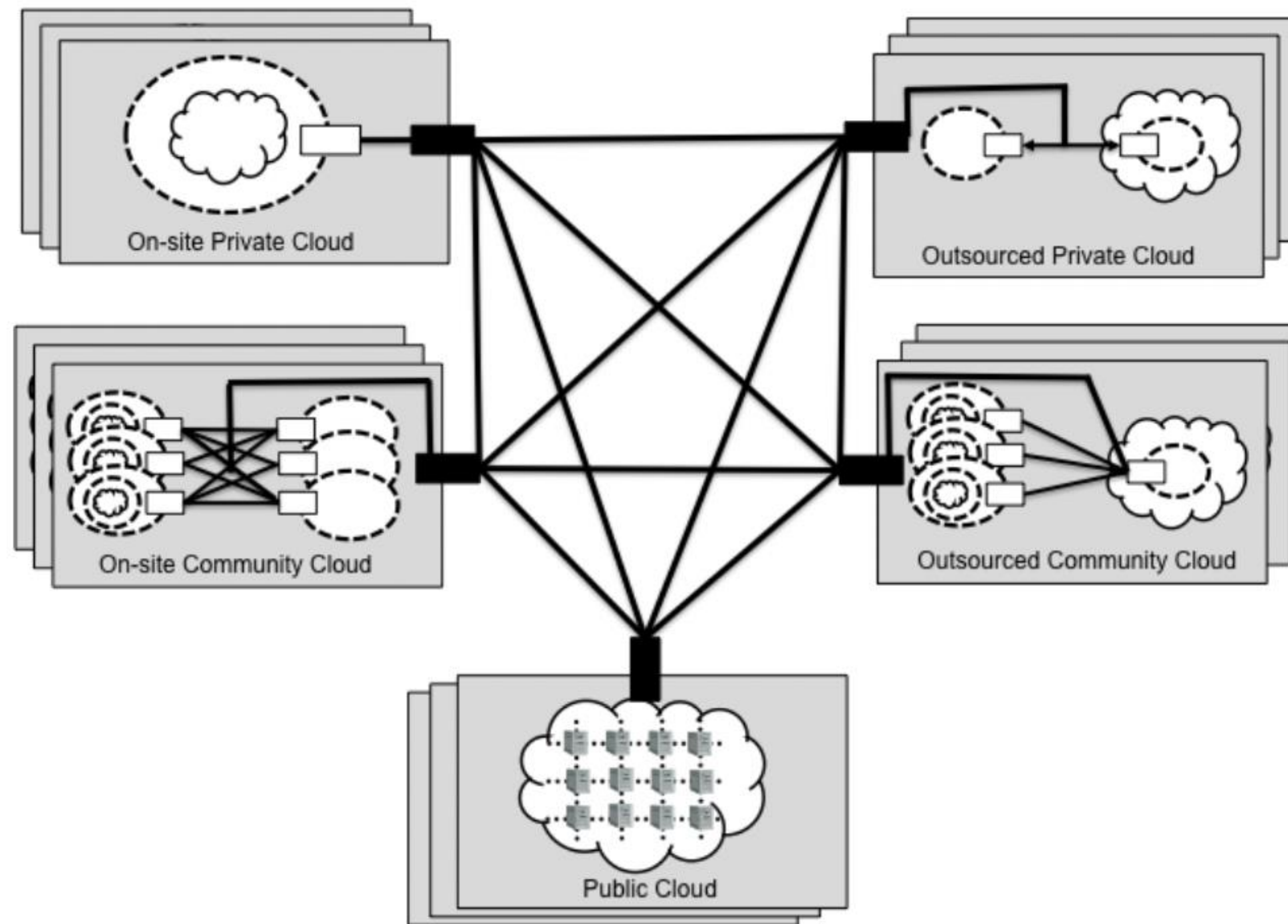


## Out-sourced





# Nuvem híbrida



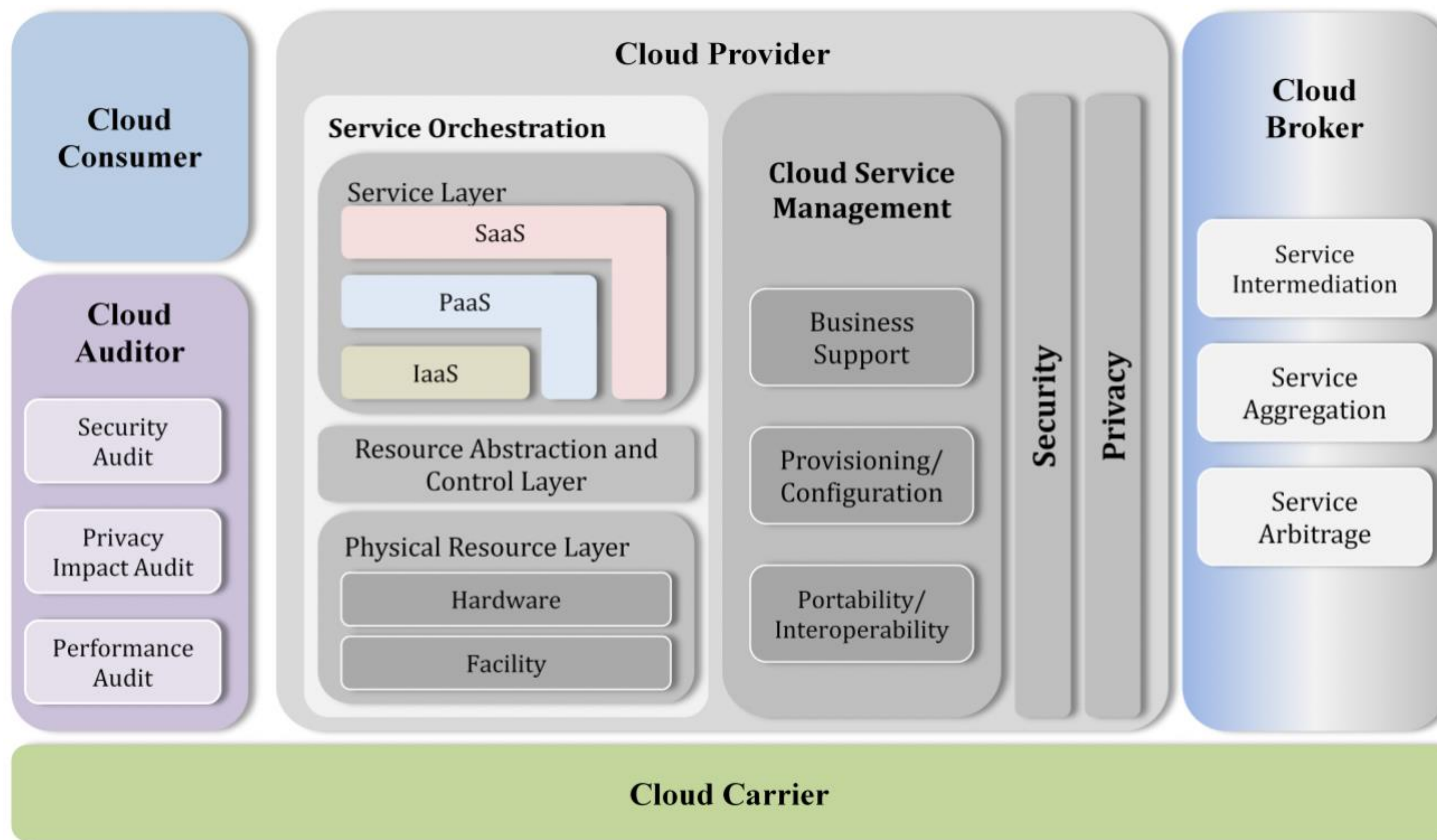
# Características desejáveis

- **Self-service:** clientes podem requisitar, customizar, pagar e usar os serviços sem a intervenção de um operador humano
- **Medição e tarifação por uso:** armazenamento, processamento e largura de banda — cliente aloca e desaloca recursos sob demanda, pagando por hora de uso
- **Elasticidade:** mais recursos podem ser alocados dinamicamente se a demanda aumentar (ou desalocados se demanda diminuir) — ilusão de recursos ilimitados
- **Customização:** cliente pode configurar os recursos alocados — principalmente no nível IaaS

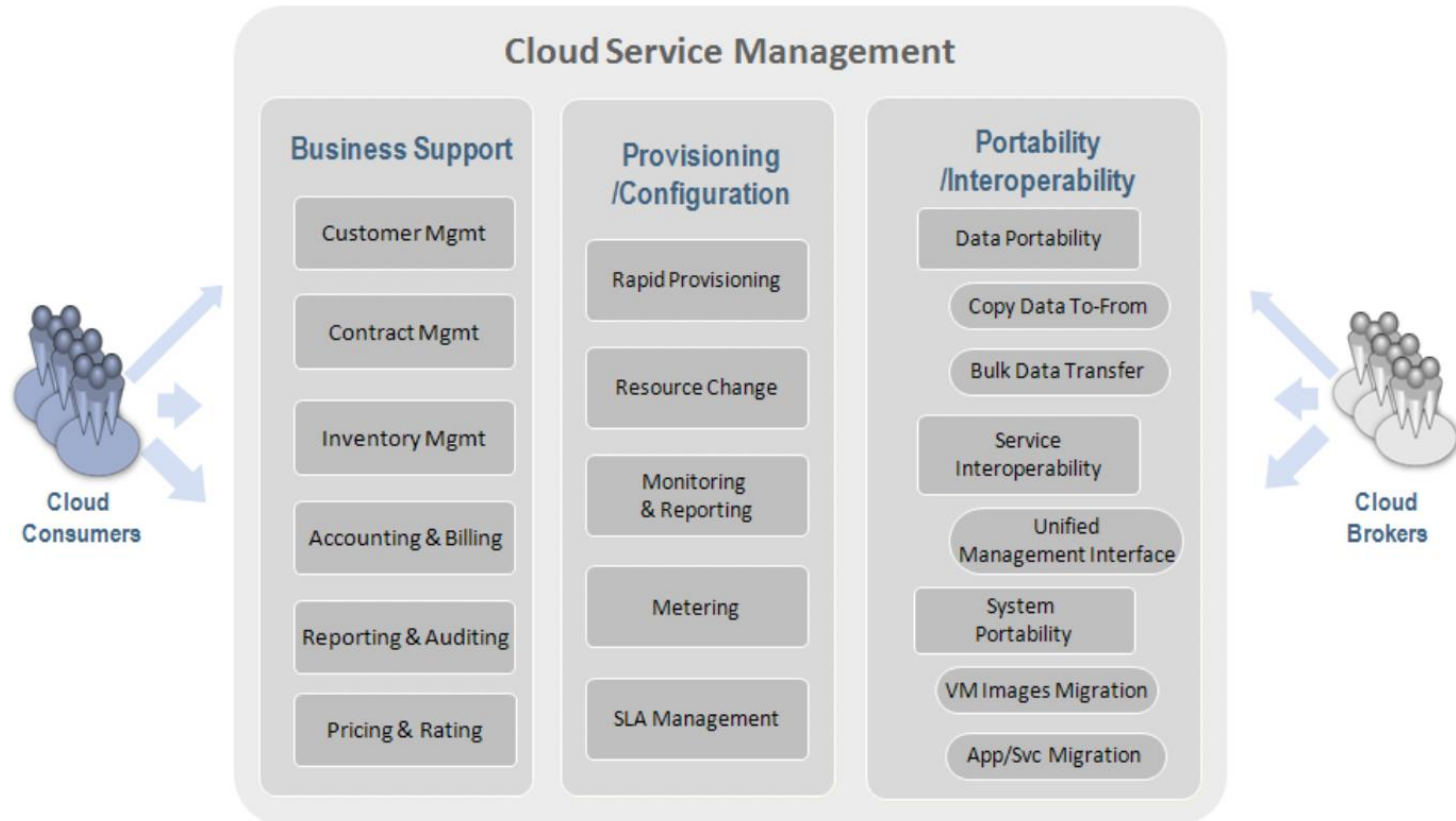


# Modelo de referência para computação em nuvem

(NIST 2011)



# Provedor de nuvem — gerenciamento de serviços de nuvem



# **Computação em Nuvem Móvel** ***(Mobile Cloud Computing)***



# Computação em nuvem móvel

## De forma geral

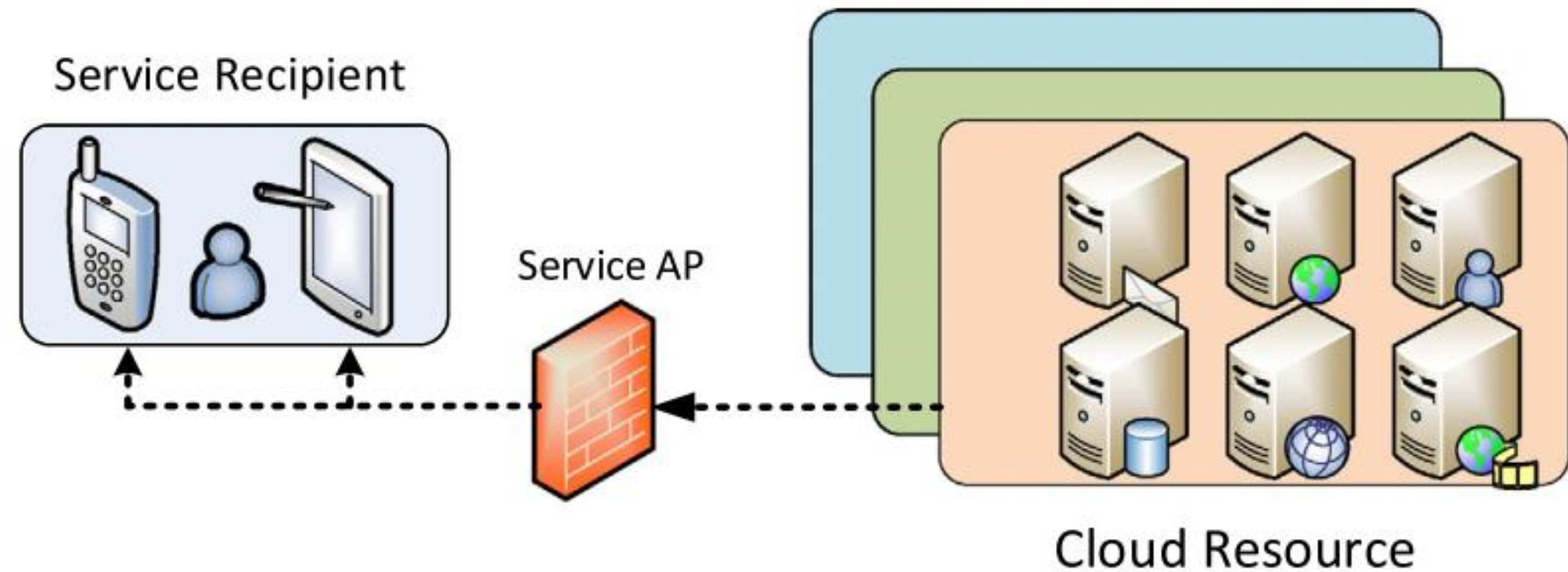
- **Minimamente:** Uso de dispositivos móveis (e apps) apoiados por serviços hospedados na nuvem
- **Mas também:**
  - Uso de recursos dos dispositivos móveis como parte dos serviços
    - Ex.: sensores, interação do usuário, dados etc. — **como entrada** para os serviços de nuvem
  - **De forma geral:** integração entre dispositivos móveis e recursos na nuvem para a provisão de serviços



# Computação em nuvem móvel

## Mobile as a Service Consumer

- Dispositivos móveis transferem (*outsourcing, offloading*) funções de processamento e armazenamento para a nuvem
- Melhoria de desempenho
- Aumento de capacidades/funcionalidades
- Provisão de serviços: *One-way* da nuvem para os dispositivos móveis

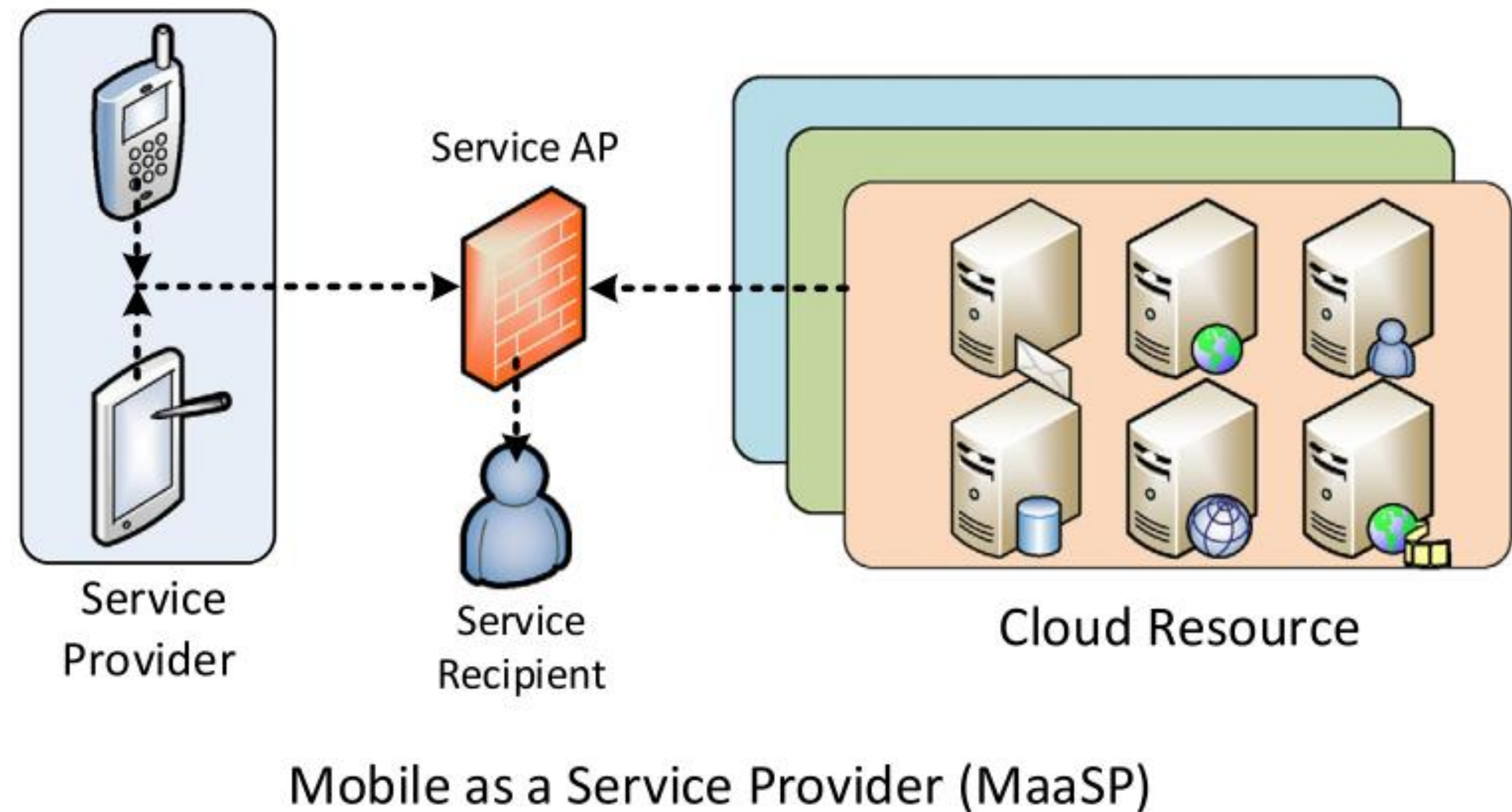


Mobile as a Service Consumer (MaaS)

# Computação em nuvem móvel

## Mobile as a Service Provider

- Dispositivo móvel atua (também) como provedor de serviços
- Principalmente para provisão de dados de sensores para outros serviços ou aplicações na nuvem ou para outros dispositivos móveis
- Ex.: *location as a service, mobile crowdsensing, mobile health*
- Prover capacidade de processamento para outros dispositivos menores próximos

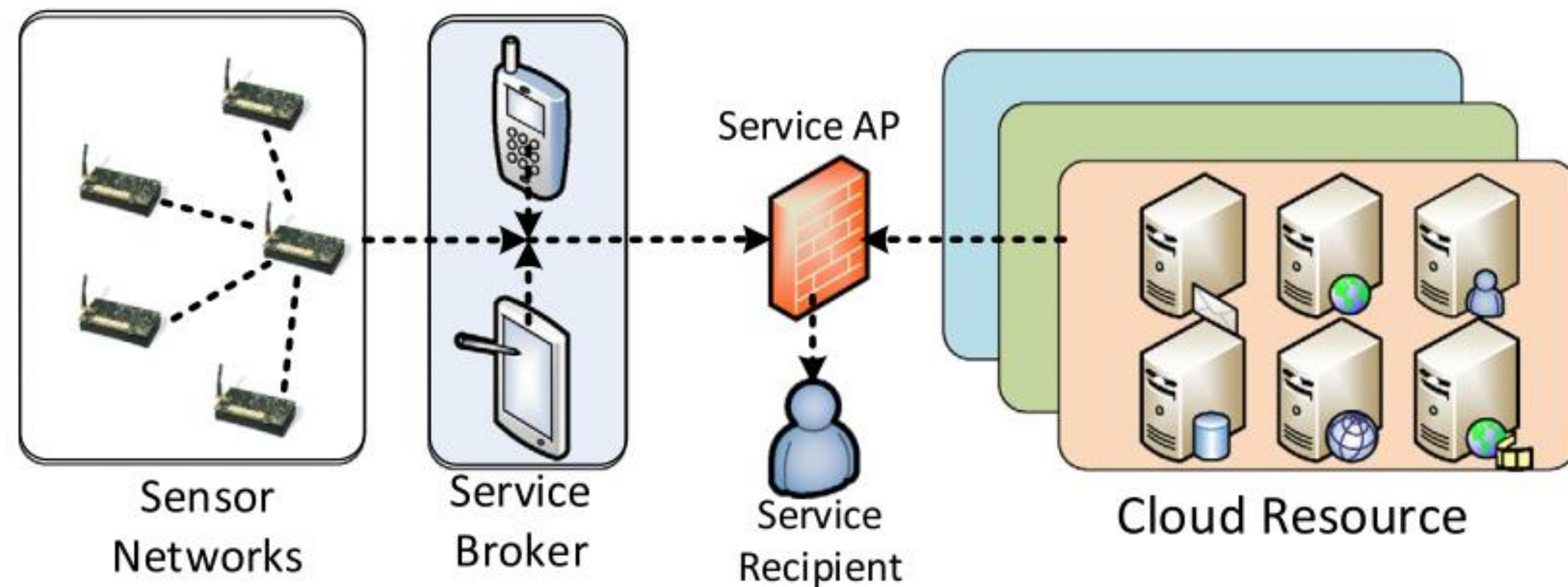




# Computação em nuvem móvel

## Mobile as a Service Broker

- Dispositivo móvel provê acesso à rede (*gateway*) e serviço de encaminhamento de dados para outros dispositivos móveis e nós de sensoriamento
- Ex.: Filtros de segurança, privacidade, agregação de dados etc. para os sensores
- Ex.: Web caching para outros dispositivos próximos
- Além de consumir e/ou prover serviços na nuvem



Mobile as a Service Broker (MaaS)



# Computação em nuvem móvel

## Computation offloading

- Aumentar a capacidade computacional de dispositivos móveis por meio do **offloading** (descarga) de funções dos dispositivos para a nuvem
  - Tradeoffs
    - latência, transmissão de dados, segurança, privacidade
- versus**
- capacidade computacional, elasticidade, consumo de energia
  - Considerar: Nuvem distante vs Nuvem próxima (névoa)

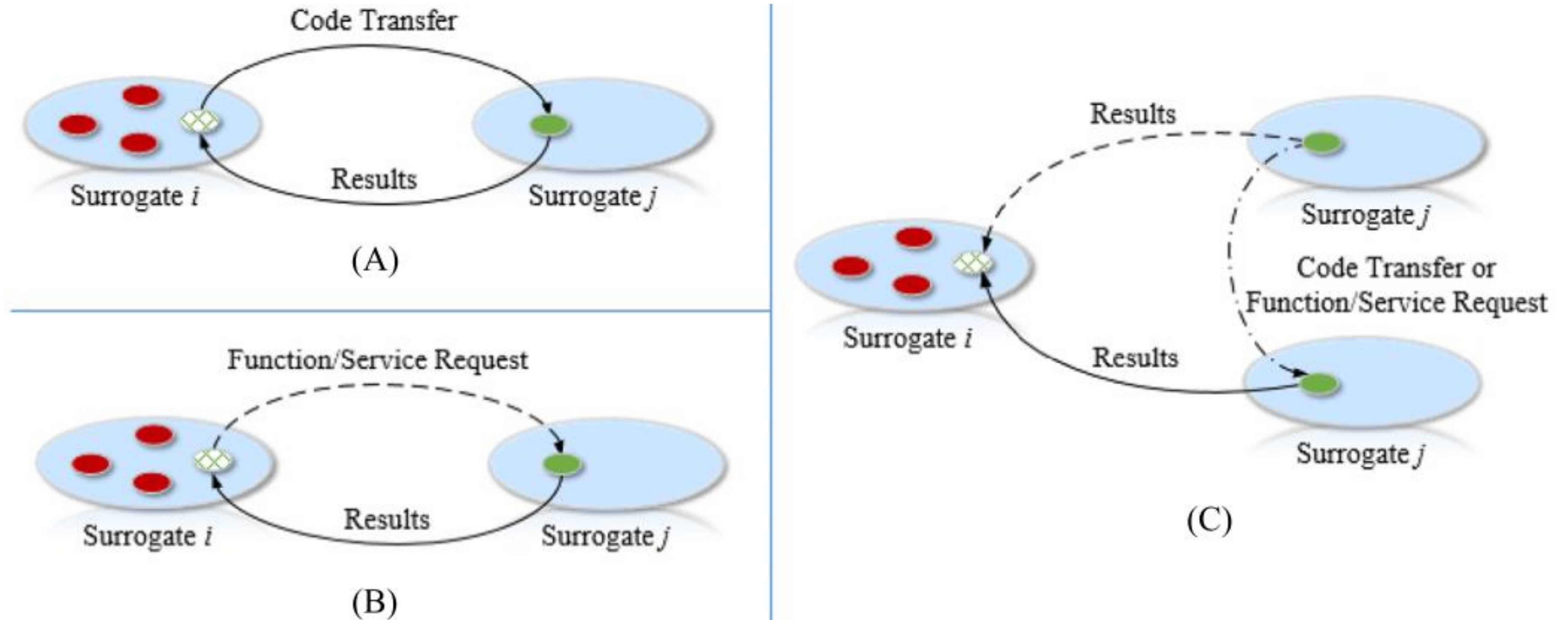
Ex.: Captura uma imagem com a câmera do celular e a analisa para identificar objetos, pessoas

- Outros exemplos?

# Offloading, composição e migração

- **Offloading:** transferência do código de uma função — de um dispositivo móvel para um substituto (*surrogate*), geralmente hospedado na nuvem
- **Composição:** uma função ou componente necessário em um dispositivo móvel existe originalmente na nuvem e é chamada por outros componentes existentes no dispositivo — caso especial de *offloading*, sem transferência de código
- **Migração:** a função remota a ser executada é transferida de um substituto para outro (ambos na nuvem)

# Offloading, composição e migração





# Particionamento das aplicações para *offloading*

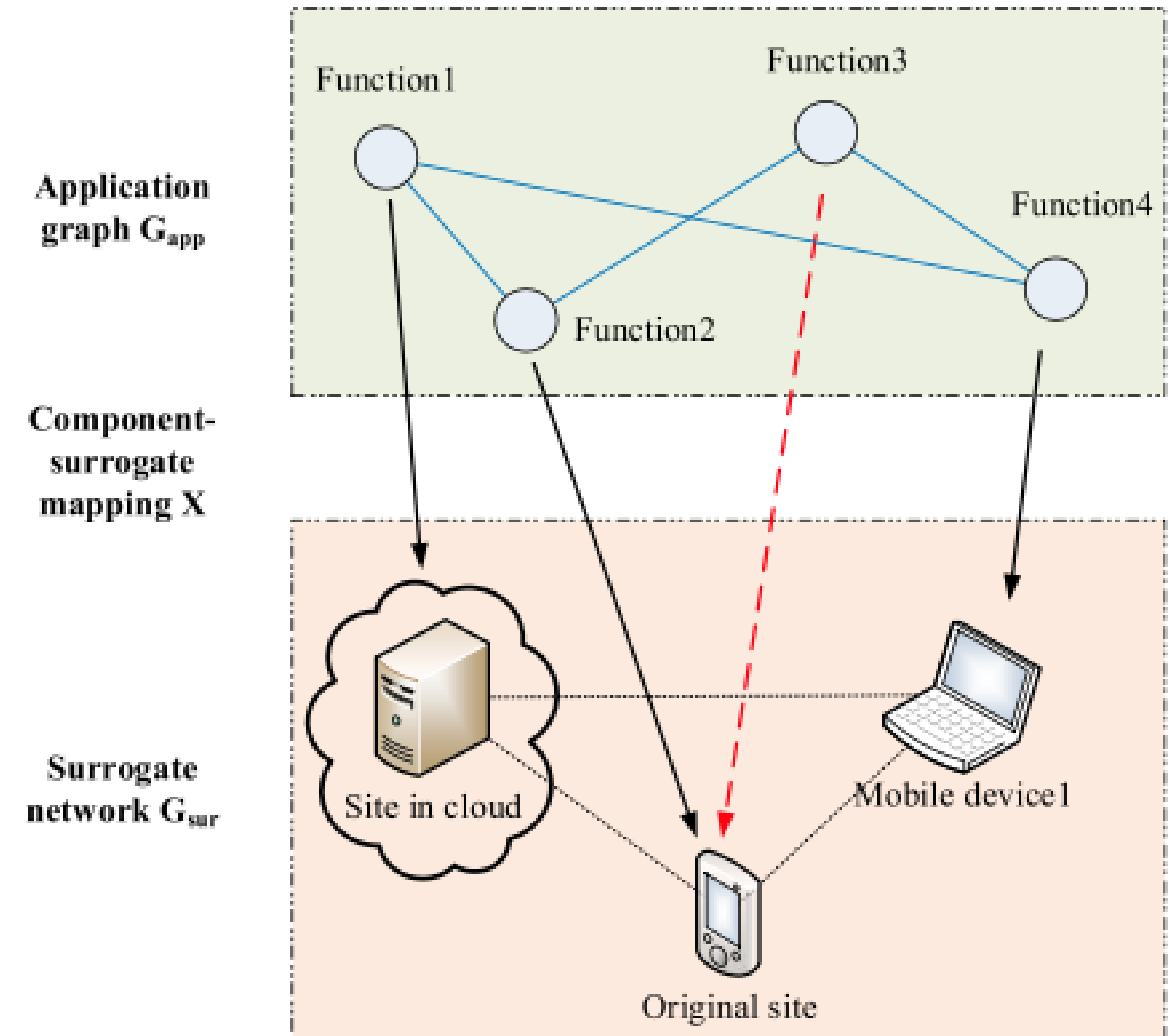
- Considerando:
  - **perfil do dispositivo:** capacidade do dispositivo vs de VMs na nuvem
  - **perfil da aplicação:** DAG — grafo de componentes e suas dependências, custo computacional das tarefas, transferência de dados
  - **perfil do ambiente:** conexão entre dispositivo móvel e nuvem (largura de banda, atraso, confiabilidade)
- **Problema de otimização:** *offloading* de **quais componentes** para aumentar o desempenho e/ou reduzir o consumo de energia (sujeito a restrições de segurança, privacidade...)

# Pressupostos e objetivos

- ❑ **Ambiente de execução das aplicações:** Dispositivos móveis e recursos na nuvem
  - Uma única aplicação móvel pode ter componentes em execução no dispositivo móvel, assim como componentes em execução na nuvem
- ❑ A decisão sobre **onde alocar cada componente** depende:
  - Da função que o componente desempenha na aplicação
  - De objetivos de redução do tempo de execução e/ou do consumo de energia
  - Da capacidade computacional disponível (apenas no caso da fog)
- ❑ Execução remota se justifica pela disponibilidade de recursos com maior capacidade na nuvem – redução do tempo de execução e do consumo de energia no dispositivo móvel
- ❑ Mas a necessidade de **comunicação remota** pesa contra

# Pressupostos e objetivos

- Componentes que podem ser migrados são o *alvo do offloading*
- Dispositivos ou máquinas que podem hospedar componentes: *surrogates*
- Modelado com um problema de particionamento:
  - Componentes que permanecerão no dispositivo móvel
  - Componentes que serão alocados na nuvem (ou em outros dispositivos próximos)





# Pressupostos e objetivos

- **Modelo da aplicação:**

- **Grafo  $G_{app} = (X, A)$** , onde:  $X$  – conjunto de componentes;  $A$  – dependências entre componentes
- **Grafo  $G_{sur} = (Y, B)$** , onde:  $Y$  – conjunto de nós/sites;  $B$  – conexão entre sites

- **Problema de offloading:**

- Encontrar um mapeamento do grafo de aplicação ( $G_{app}$ ) para o grafo da rede ( $G_{sur}$ )
- Cada componente é carregado em apenas um site (site original ou *surrogate*)
- Alguns componentes podem ter localização fixa (ex.: componentes da UI)

# Objetivo: Tempo de execução

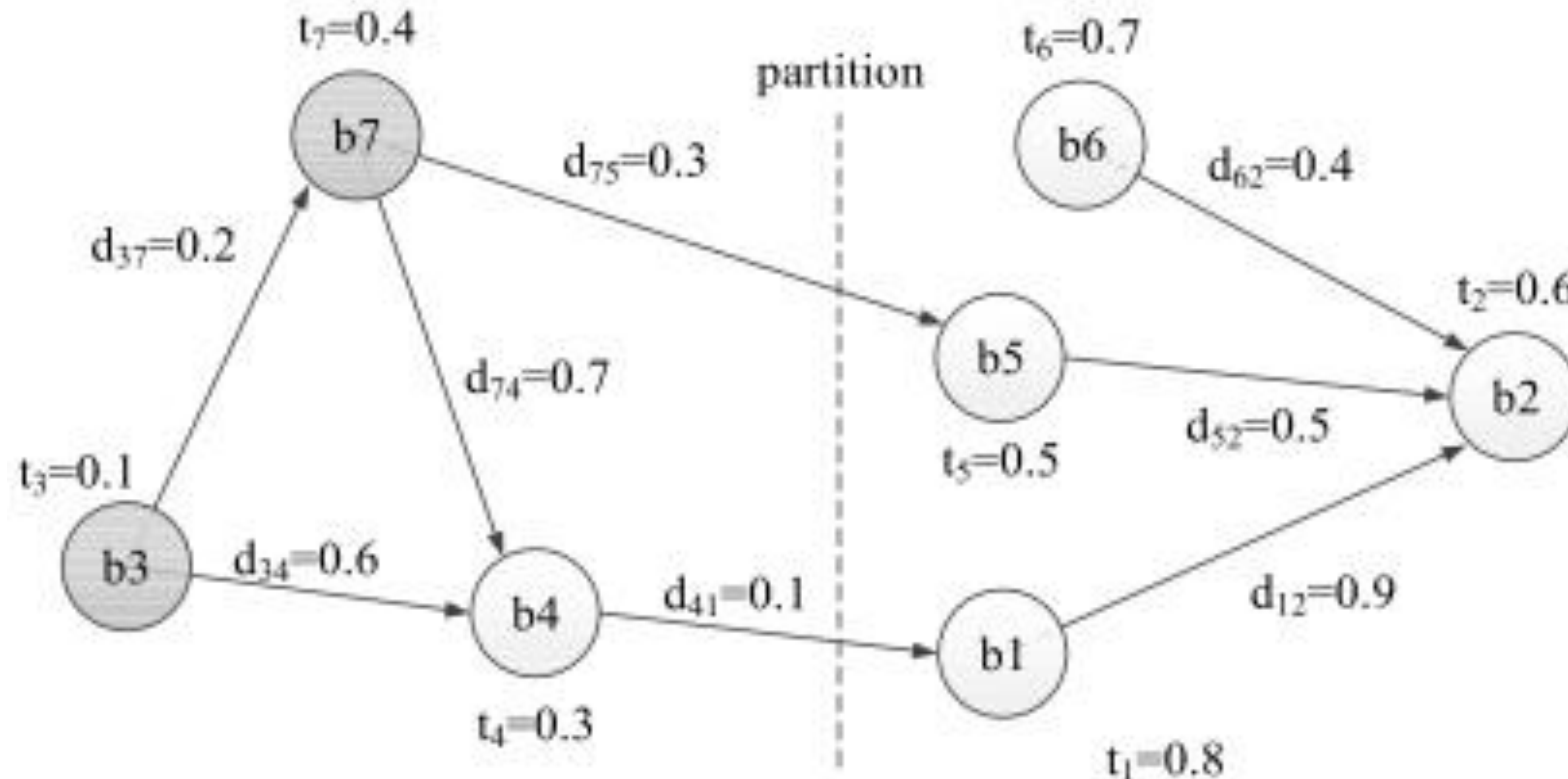
- Cada componente tem uma carga (reqs/s) e um custo computacional (núm de operações por requisição)
  - Cada aresta do grafo da aplicação indica a quantidade de comunicação entre os componentes
- (a) Migrar o componente para a nuvem reduz o tempo de execução
- (b) A latência de rede e o tempo de transmissão podem aumentar o tempo total de resposta – proporcionalmente à quantidade de comunicação com o componente
- . *Offloading* só faz sentido se o efeito (a) for maior que o (b)



# Objetivo: Consumo de energia

- Módulos que mais consomem energia em dispositivos móveis:
  - CPU, rádio (Wi-Fi e celular), display, áudio, GPS, motor de vibração etc.
- **Apenas CPU e rádio são afetados pelo *offloading***
  - Ambos possuem um consumo base (quando ociosos) e um consumo em atividade
  - **CPU:** *offloading* reduz o consumo ativo (a) e aumenta o consumo ocioso (b)
  - **Rádio:** *offloading* aumenta o consumo ativo (c) e reduz o consumo ocioso (d)
- Portanto, só faz sentido quando a redução é maior que o aumento
- **Importante:** Sempre considerando todos os componentes da aplicação

# Exemplo de particionamento



- Pesos nos vértices representam o tempo de execução de cada componente
- Pesos nas arestas representam a quantidade de dados trafegados entre os componentes
- Componentes na cor cinza escuro: localização fixa



# Impacto da indisponibilidade de rede

- ❑ A rede oscila entre conexões e desconexões – característico de dispositivos móveis
- ❑ Quando a rede não está disponível, o dispositivo móvel não tem como comunicar com a nuvem (para fazer *offloading* ou receber os resultados)
- ❑ **Prolonga o tempo total de execução**
  - não adianta reduzir bastante o tempo de processamento de uma função se a aplicação não puder receber o resultado imediatamente.
- ❑ Aumenta o consumo ocioso de energia da CPU – mais tempo aguardando
- ❑ Aumenta o consumo de energia do módulo de rádio – *scanning* de rede

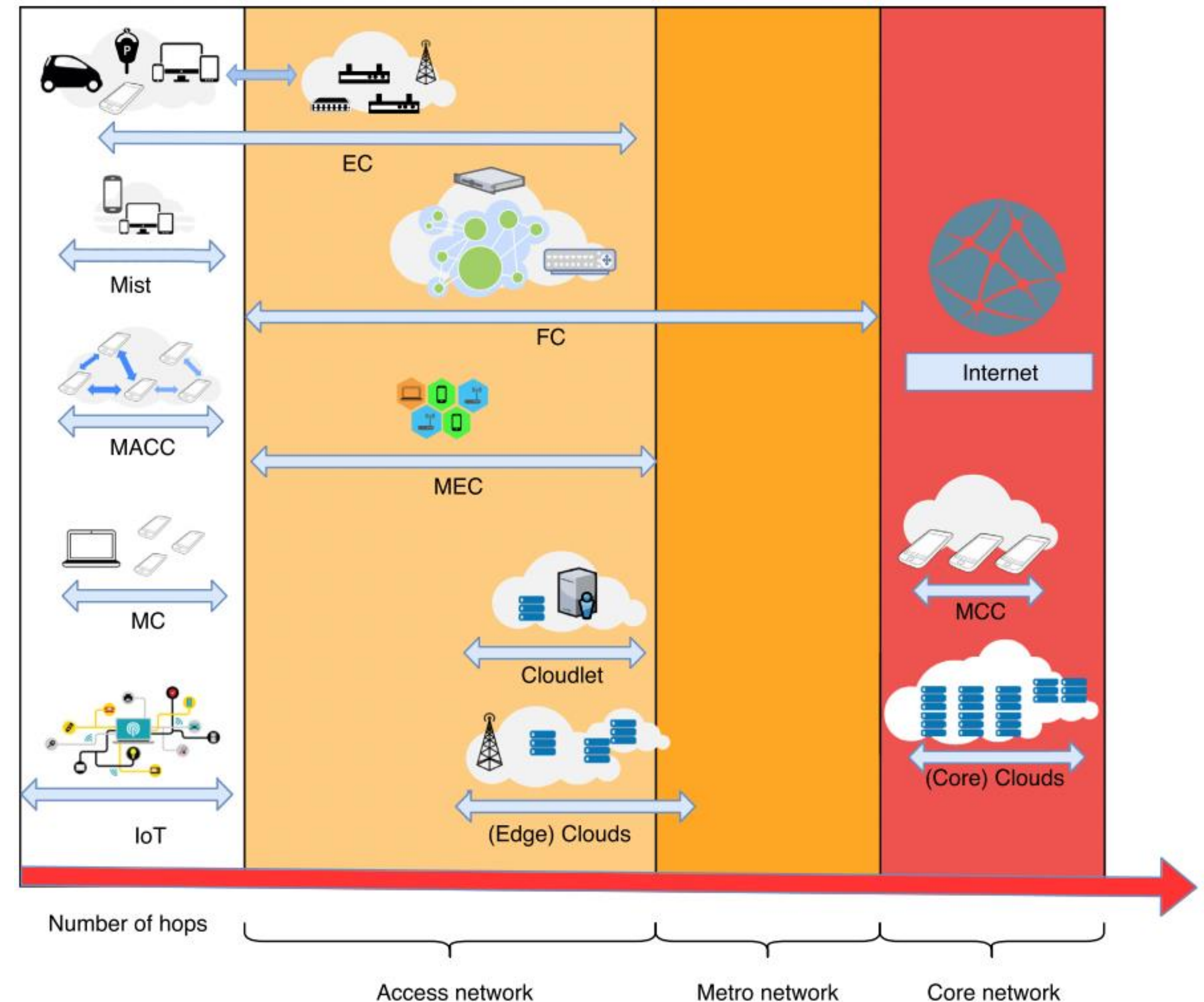
# Computação em nuvem móvel e IoT

## Virtualização de dispositivos e gêmeos digitais

- Dispositivos IoT produzem **grandes quantidades de dados**: armazenados e processados na nuvem
  - Permite espelhar os dispositivos IoT na nuvem
- **Dispositivos IoT virtuais**: mapeiam para dispositivos ou grupos de dispositivos físicos
  - Permite monitorar e controlar os dispositivos por meio de serviços hospedados na nuvem
- **Extensão desta ideia: Gêmeos Digitais** — quando se constrói uma representação digital de entidades físicas a partir de dados coletados de sensores

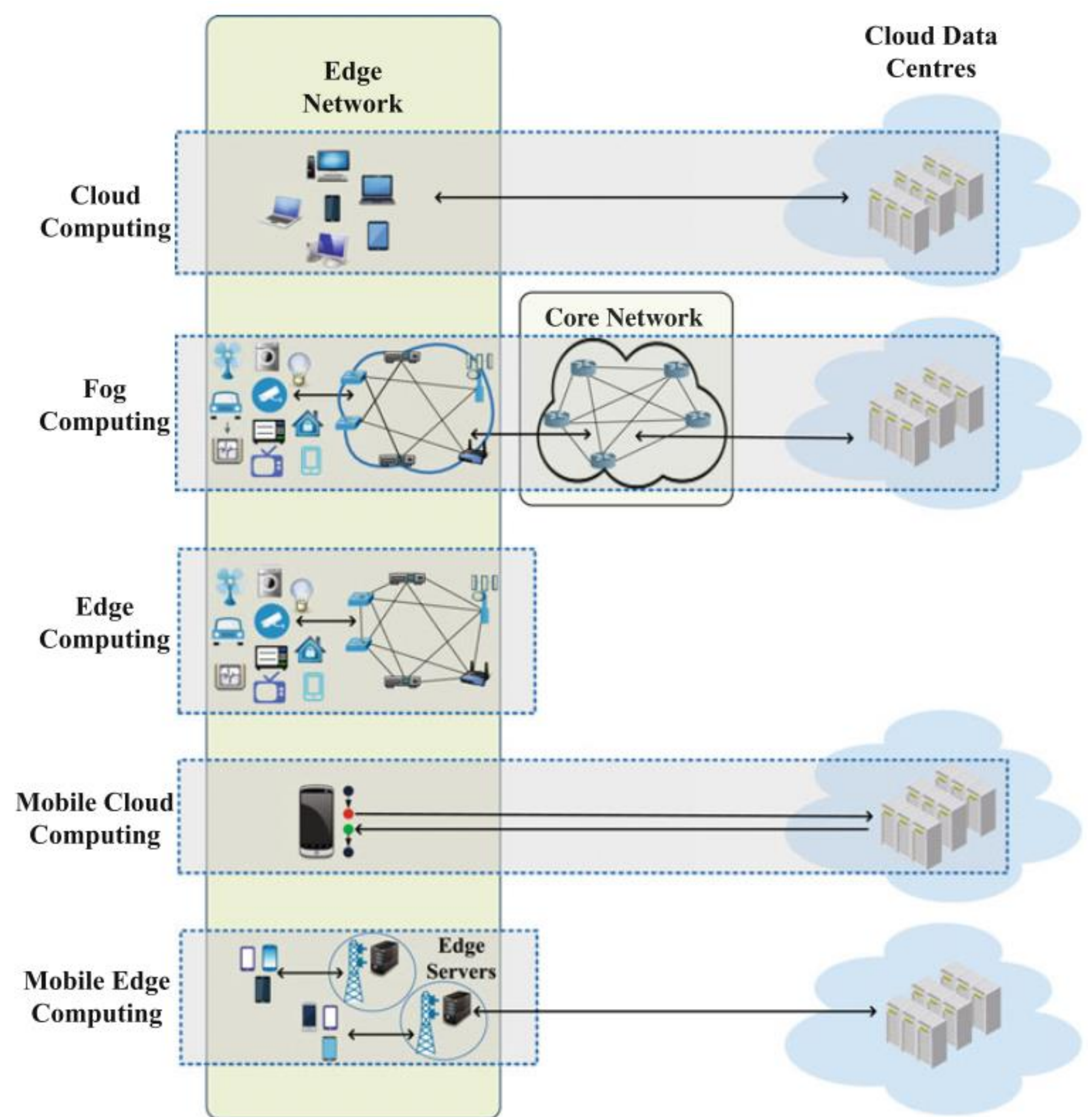
# Edge, Fog, Cloud, Mist...

- EC — edge computing
- FC — fog computing
- Mist computing: extreme edge
- MEC — mobile edge computing
- MACC — mobile ad-hoc cloud computing
- MC — mobile computing
- MCC — mobile cloud computing
- *Cloudlet* — pequena nuvem nas proximidades do usuário





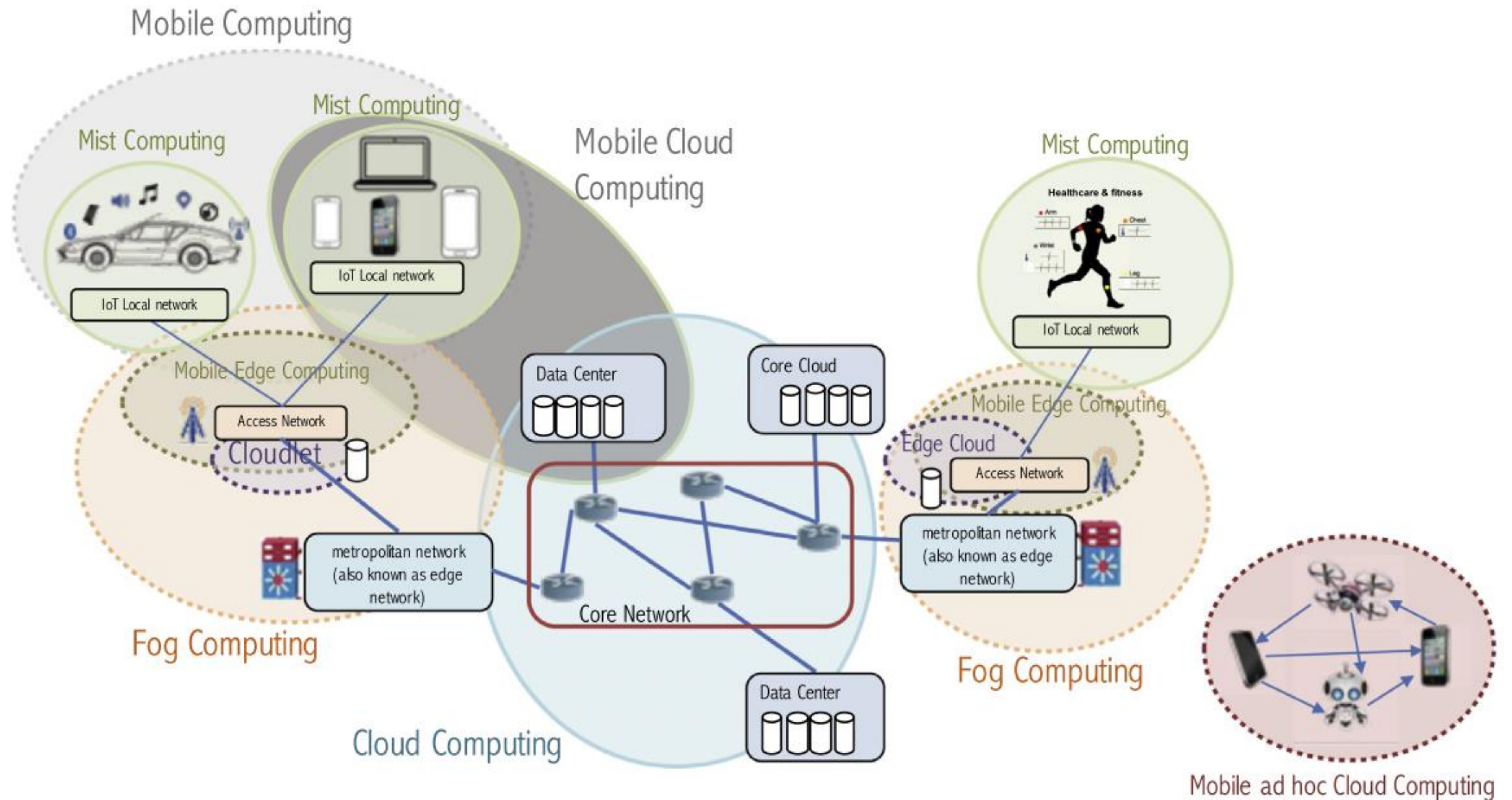
# Edge, Fog, Cloud





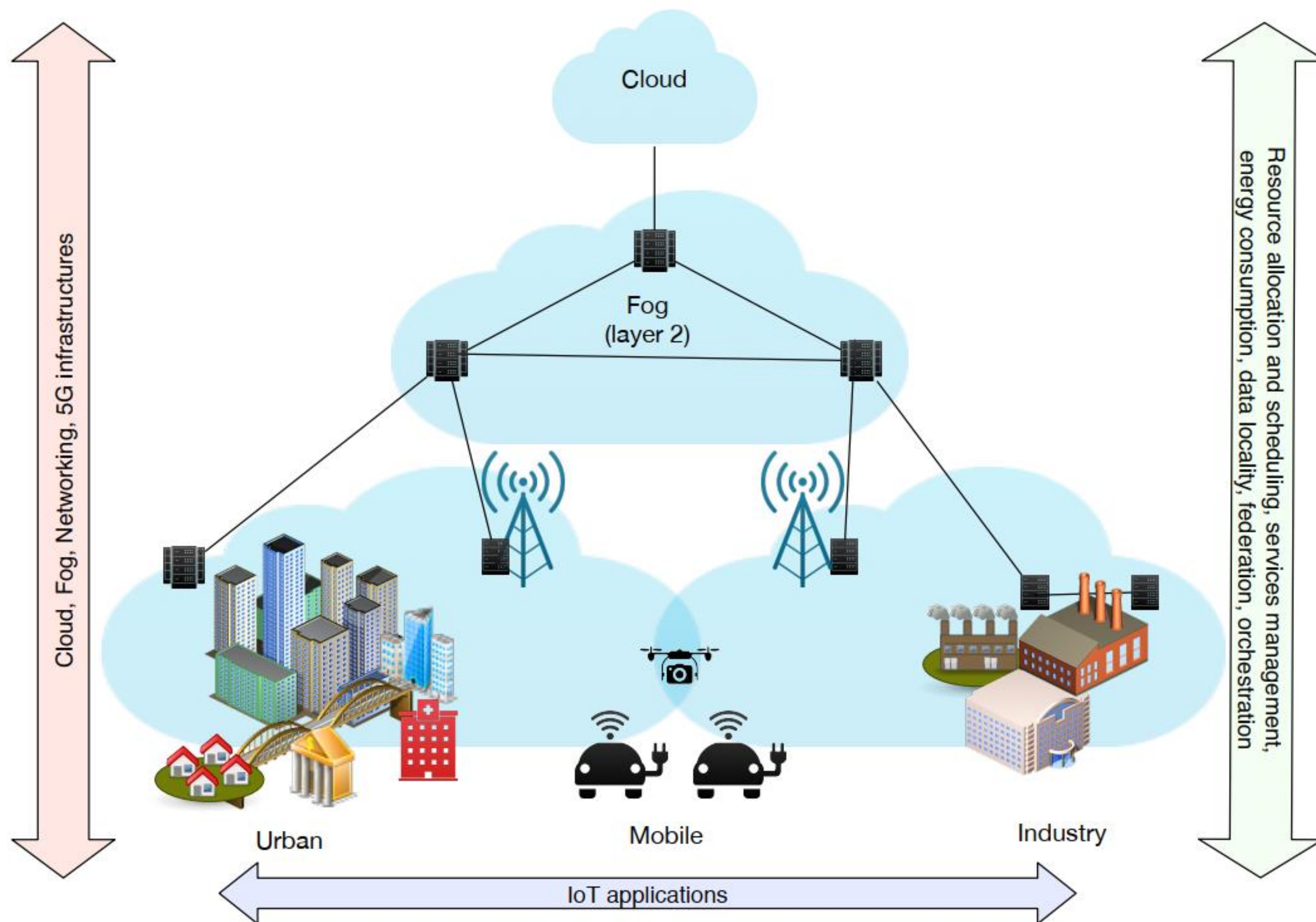
# Edge, Fog, Cloud, Mist...

Em uma perspectiva de redes



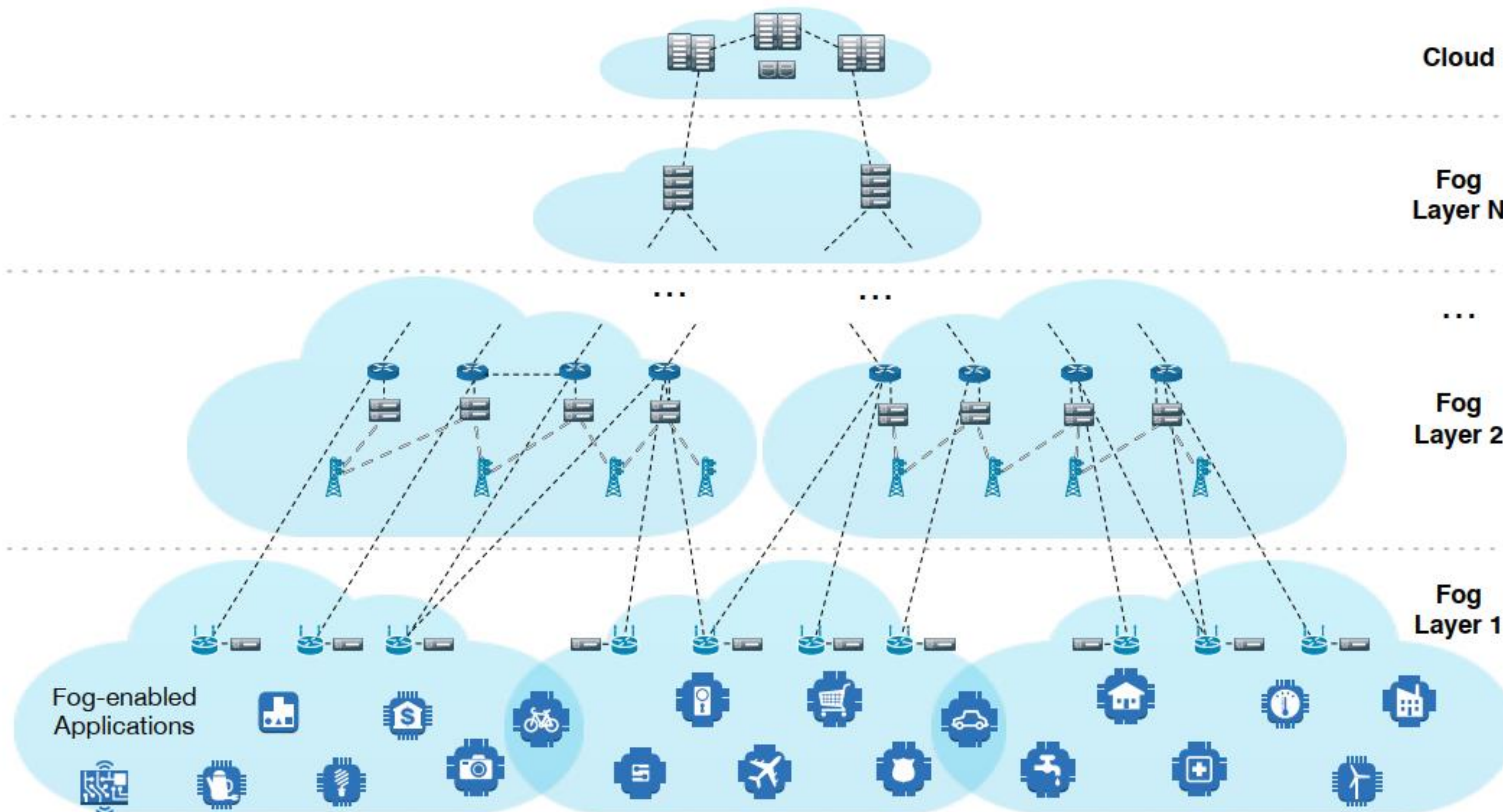


# O contínuo IoT, Fog, Cloud





# Fog: infraestructura hierárquica



# Projeto

## Ideias

- Construir um “*digital twin*” de um ambiente físico
- Construir uma aplicação ubíqua — continuidade transparente entre dispositivos
- Controle autônomo de dispositivos do ambiente com base em sensores e regras
- Aplicação móvel que se adapta à localização do usuário
- Localização *indoors* como contexto para uma aplicação adaptativa
- Aplicação móvel adaptativa baseada em contexto
- Virtualização de dispositivos IoT na nuvem, fog
- *Offloading* de funções de uma aplicação móvel