

# Tomada de Decisão Multicritério em Nuvens Privadas para Aplicações, Considerando o Requisito de Desempenho

Paulo Roberto de Lima<sup>1</sup>, Erica Teixeira Gomes de Sousa<sup>2</sup>, Robson Wagner Albuquerque de Medeiros<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Informática - CIN – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Av. Jornalista Aníbal Fernandes, s/n – Cidade Universitária. Recife-PE – Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Computação – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)  
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife - PE

<sup>3</sup> Departamento de Computação – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)  
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife - PE

paulo.prl.lima@gmail.com, erica.sousa@ufrpe.br,  
robson.medeiros@gmail.com

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma metodologia estruturada para a tomada de decisão em nuvens privadas, integrando Planejamento de Experimentos (DOE) e o Processo de Análise Hierárquica (AHP). A abordagem substitui escolhas subjetivas por uma análise quantitativa focada no desempenho das plataformas. Validada por um estudo de caso entre OpenStack e CloudStack, a pesquisa revelou que o CloudStack manteve latência estável com valores médios de 11,9 ms, enquanto o OpenStack apresentou degradação de até 29.359% no tempo de resposta em configurações de recursos limitados. Os resultados, sintetizados pelo AHP, conferiram um escore global de 82,6% ao CloudStack, confirmando a eficiência da plataforma para os requisitos de desempenho avaliados.*

## 1. Introdução

A computação em nuvem consolidou-se como um paradigma essencial para o fornecimento de serviços de tecnologia da informação, oferecendo escalabilidade, flexibilidade e eficiência operacional. No contexto corporativo, a adoção de nuvens privadas tem se destacado por oferecer controle sobre a infraestrutura, atendendo a requisitos rigorosos de segurança e soberania de dados [Mell e Gupta 2011]. Entretanto, a seleção de uma Plataforma de Gerenciamento de Nuvem (*Cloud Management Platform* – CMP) adequada representa um desafio estratégico, uma vez que as organizações precisam avaliar o desempenho técnico [Gupta e Sehrawat 2020]. A diversidade de soluções de código aberto, como OpenStack e CloudStack, introduz complexidade ao processo de decisão devido às diferentes arquiteturas e demandas de recursos. Frequentemente, a escolha de uma plataforma é baseada em percepções subjetivas ou popularidade, sem uma análise quantitativa que considere o comportamento da aplicação sob carga de trabalho [Singh e Kaur 2021]. Como ressaltam [Sharma e Sehrawat 2020], a falta de uma metodologia estruturada pode levar a investimentos ineficientes e degradação da qualidade de serviço (QoS). Diante deste cenário, este trabalho apresenta uma metodologia estruturada para apoiar a tomada de decisão na escolha de plataformas de nuvem privada. A pesquisa integra técnicas de Planejamento de Experimentos (*Design of Experiments*

– DOE) para avaliação de desempenho, fundamentada nos princípios de [Li et al. 2013] e [Ali 2021] para a análise estatística de serviços em nuvem. A síntese multicritério é realizada através do Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), como defende [Saaty 2008] para a resolução de decisões complexas em infraestrutura. O objetivo é fornecer um processo replicável que permita identificar a solução que melhor atenda aos requisitos de desempenho, validado por um estudo de caso comparativo entre as plataformas OpenStack e CloudStack.

## 2. Trabalhos Relacionados

A literatura apresenta métodos de Tomada de Decisão Multicritério (MCDM) como ideais para gerenciar critérios conflitantes na avaliação de nuvens computacionais. Para reduzir subjetividades, [Huamaní 2014] propôs um modelo via AHP, destacando o critério “Rendimento” junto a métricas de escalabilidade e acessibilidade. Em ambientes híbridos e móveis, a escolha da infraestrutura é vital. O trabalho de [Kurup e Guruprasad 2022] avaliou a seleção de infraestruturas utilizando AHP para ponderar parâmetros de QoS, aplicando TOPSIS e MOORA para garantir a robustez das conclusões. O artigo [Mishra et al. 2020] focou na otimização fog-cloud, demonstrando que incluir a carga de rede no AHP resulta em alocações eficientes. Quanto aos métodos de decisão, o AHP sintetiza métricas heterogêneas. Os autores do trabalho [O. Gómez et al. 2022] avaliaram arquiteturas de microsserviços, concluindo que integrar desempenho de rede e recursos computacionais é vital para a precisão da infraestrutura. Novas metodologias buscam eficiência em larga escala. O trabalho [Mostafa 2024] introduziu o *Group Best-Only Method* (GBOM) para tornar decisões em grupo ágeis e confiáveis, avaliando provedores sob critérios de desempenho. Já o artigo [Petrov 2021] propôs estruturar o AHP “em blocos”, agrupando critérios em categorias lógicas para reduzir a complexidade de comparações paritárias e otimizar o processo.

Diferentemente dos estudos citados, este trabalho apresenta uma metodologia para a tomada de decisão quanto à seleção de ambientes de nuvem privada, considerando o requisito de desempenho e provendo evidências quantitativas por meio de experimentação controlada.

## 3. Estudo de Caso

O objetivo do estudo é apresentar uma análise comparativa das plataformas de nuvem OpenStack e CloudStack, considerando as métricas de desempenho. Os resultados das métricas de tempo de execução das VMs, utilização de processador, utilização de memória, tempo de resposta, latência e throughput são adotados para a tomada de decisão na seleção dessas plataformas com base na metodologia proposta.

### 3.1. Planejamento e Preparação do Experimento

Nessa atividade, o estudo implementou e configurou ambientes de nuvem privada com as plataformas OpenStack e CloudStack em hardwares idênticos. Foram utilizados dois computadores bare-metal, um roteador, um switch e um nobreak. Os servidores físicos seguiram as seguintes características: processador Intel Core I7, 16GB de Memória RAM, Disco de 240GB e Sistema Operacional Ubuntu 24.04.2 LTS. A carga de trabalho foi representada por um microsserviço desenvolvido para esta pesquisa, implantado

em máquinas virtuais (VMs) idênticas em ambos os ambientes. O endpoint recebia e processava as requisições geradas pela ferramenta de teste, com operações de escrita e de leitura para gerar um cenário de estresse padrão. Os testes seguiram o Planejamento de Experimentos (DOE) por meio de um Fatorial Completo  $3^2$  [Ali 2021], variando sistematicamente dois fatores independentes:

- Oferta de Serviço: Capacidade computacional alocada às VMs em três níveis: Small (2 Cores; 4GB RAM; 60GB HD), Medium (4 Cores; 6GB RAM; 60GB HD) e Large (8 Cores; 8GB RAM; 60GB HD).
- Intensidade de Carga: Volume de concorrência com 500, 700 e 900 requisições simultâneas.

A combinação desses fatores gerou nove cenários de teste distintos para cada plataforma. Para cada cenário, houve a execução de 30 réplicas, resultando em 270 baterias de teste em cada ambiente, totalizando 540 testes.

### 3.2. Execução e Medição de Desempenho

A análise de desempenho envolveu a medição e a coleta das métricas para cada cenário planejado. Para isso, foram utilizadas duas ferramentas de forma simultânea: o Apache JMeter, para geração de carga e o sistema Zabbix integrado ao Grafana [O. Gómez et al. 2022], para coletar as métricas de utilização de recursos diretamente do servidor. No cliente, o JMeter injetou as conexões simultâneas predefinidas nos endpoints do microsserviço, registrando os tempos de processamento. Durante os testes, foram coletadas as métricas de Qualidade de Serviço (QoS): Tempo de Resposta (s), Latência (s) e Throughput (vazão). Do lado do servidor, o Zabbix monitorou a Utilização de Memória (%) e do Processador (%) do hospedeiro (host). A coleta extraiu o overhead gerado pelos componentes de gerência do OpenStack e CloudStack [Patel e Patel 2016, Chaudhry 2015]. Para garantir a robustez dos indicadores e minimizar as variações normais de execução em ambientes virtualizados, os dados brutos obtidos pelas múltiplas réplicas foram tratados estatisticamente por meio do cálculo de médias aritméticas e desvios-padrão. Com base nos experimentos realizados, a Tabela 1 sintetiza a diferença percentual de desempenho e consumo de recursos do OpenStack em relação ao CloudStack.

**Tabela 1. Diferença Percentual de Performance (Referência: CloudStack)**

Métrica	Oferta: Large	Oferta: Medium	Oferta: Small
Utilização de Memória	+107,00%	+55,54%	+8,94%
Utilização de Processador	+1682,00%	+1456,00%	+1231,00%
Tempo de Resposta	+1261,00%	+1424,00%	+29359,00%
Latência	+1201,00%	+1596,00%	+28480,00%
Throughput (Vazão)	+0,07%	-9,02%	-7,88%

A análise conjunta dos dados apresentados na Tabela 1 apresenta as diferenças de desempenho entre as duas plataformas, especialmente sob condições de estresse:

**Overhead de Recursos (Processador e Memória):** O OpenStack demonstrou um consumo de recursos computacionais drasticamente superior. No perfil LARGE, a utilização do processador chega a ser 1.682% maior que a do CloudStack. Esse

comportamento indica que a arquitetura modular do OpenStack impõe um custo operacional elevado (overhead) para a gerência [Patel e Patel 2016], consumindo ciclos de CPU que poderiam ser destinados às instâncias de usuário [Chaudhry 2015].

**Qualidade de Serviço (QoS) e Escalabilidade:** As métricas de Tempo de Resposta e Latência apresentam uma degradação de quase 30.000% (29.359% no tempo de resposta) na oferta SMALL no OpenStack. Isso sugere que, em configurações de hardware mais limitadas ou com menor reserva de recursos, a plataforma se torna instável ou ineficiente para processar requisições em tempo hábil.

**Eficiência de Vazão (Throughput):** O CloudStack supera o OpenStack em vazão nas ofertas de serviço MEDIUM (-9,02%) e SMALL (-7,88%), entregando maior densidade de processamento com menor custo de infraestrutura.

### 3.3. Tomada de Decisão Multicritério (AHP)

A etapa final aplicou o Processo de Análise Hierárquica (AHP) para integrar as dimensões técnicas, determinando qual plataforma apresentou a solução mais adequada [Saaty 1990]. O problema foi decomposto no objetivo central, critérios de avaliação (Utilização de CPU, Memória, Latência, Tempo de Resposta e Throughput) e alternativas (OpenStack e CloudStack).

Utilizando a Escala Fundamental de Saaty [Saaty 2008], realizaram-se as comparações paritárias entre os critérios para gerar o vetor de prioridades. A coerência lógica foi atestada com Razão de Consistência (CR) = 0,04, respeitando o limite da literatura ( $CR \leq 0,10$ ). Os dados brutos foram normalizados de forma inversamente proporcional (menor consumo = maior pontuação) e multiplicados pelos pesos. O CloudStack obteve o escore global de 82,6%, superando o OpenStack (17,4%), como detalha a Tabela 2

**Tabela 2. Síntese Final para a Escolha da Plataforma**

Critério	Peso	Pontuação OpenStack	Pontuação CloudStack
CPU (%)	30%	0.064	0.936
MEM (%)	30%	0.404	0.596
LAT	20%	0.008	0.992
TMR	13%	0.008	0.992
THR	7%	0.476	0.524
SOMA (Resultado Final)	100%	17,4%	82,6%

## 4. Conclusões

Os resultados das métricas de desempenho mostram que o CloudStack manteve a latência e o tempo de resposta invariavelmente baixos, enquanto o OpenStack apresentou severa degradação em configurações limitadas. O OpenStack consumiu até 1.682% a mais de CPU e 107% a mais de memória RAM para a mesma carga, reflexo de sua modularidade. A aplicação do AHP atribuiu preferência de 82,6% ao CloudStack, mostrando que para cenários que priorizam a eficiência de desempenho, ele se apresenta como a melhor alternativa.

Uma contribuição central é que esta estrutura metodológica é replicável, permitindo a realização de estudos com outras aplicações e plataformas de nuvem privada sob condições controladas.

**Ameaças à Validade e Limitações:** Apesar das contribuições apresentadas, o estudo possui limitações. O ambiente experimental foi restrito a dois servidores físicos, restringindo a generalização dos resultados para infraestruturas reais de produção ou de alto desempenho (HPC) em larga escala. Além disso, a carga de trabalho limitou-se a um microsserviço transacional; aplicações com perfis distintos (cargas vinculadas à CPU, à memória, ou aplicações científicas/paralelas) poderiam apresentar comportamentos diferentes. Outras ameaças incluem possíveis interferências da camada de virtualização e impactos relacionados à configuração específica das plataformas avaliadas. Metodologicamente, embora tenham sido utilizadas múltiplas réplicas consolidadas por médias e desvios-padrão para minimizar variações, a ausência de testes estatísticos formais mais aprofundados, como intervalos de confiança e análises de variância (ANOVA), representa uma limitação.

Com base nas conclusões e limitações identificadas no estudo, as seguintes direções para pesquisas futuras são propostas: realizar a análise comparativa em um cluster de múltiplos nós com hardware de classe empresarial, avaliando aspectos como alta disponibilidade e balanceamento de carga, além de expandir a discussão para arquiteturas nativas em nuvem e orquestração de contêineres. Propõe-se aprofundar as análises estatísticas, executar novos testes com aplicações de perfis distintos, manter as plataformas em operação contínua por períodos extensos para simular condições de uso prolongado e incorporar dimensões qualitativas na análise AHP, como facilidade de implantação e suporte da comunidade.

## **5. Declaração sobre uso de Inteligência Artificial**

Os autores declaram que não utilizaram ferramentas de Inteligência Artificial Generativa na escrita e revisão do conteúdo deste artigo.

## **Referências**

- Ali, S. (2021). A systematic review of performance evaluation of cloud computing systems using design of experiments. *Journal of Systems and Software*, 173.
- Chaudhry, J. (2015). Performance evaluation of OpenStack Neutron with Open vSwitch. In *2015 IEEE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUD NETWORKING (CLOUDNET)*, volume 258, p. – 253, Niagara Falls, ON, Canada. IEEE.
- Gupta, M. e Sehrawat, R. (2020). Investigating the determinants influencing the adoption decision of cloud computing in the healthcare sector: An integrated ISM-AHP-TOPSIS approach. *Technology in Society*, 61.
- Huamaní, G. T. (2014). Modelo AHP para seleccionar proveedores de Cloud Computing. p. 100 – 106.
- Kurup, S. e Guruprasad, H. S. (2022). Hybrid multi criteria decision methods for optimal cloud selection in mobile cloud computing. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, p. 404 – 412.

- Li, Z., O'Brien, L., Zhang, H., e Ranjan, R. (2013). Applying Design of Experiments (DOE) to performance evaluation of commercial cloud services. *International Journal of Grid and High Performance Computing*, v. 5:p. 75 – 93.
- Mell, P. e Gupta, M. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology (NIST). Special Publication.
- Mishra, S., Chhabra, A., e Madan, D. (2020). Multi-criteria decision making for resource distribution in fog-cloud computing environment. *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, v. 23(n. 2):p. 385 – 393.
- Mostafa, A. M. (2024). A Group Multi-Criteria Decision-Making Approach Based on the Best-Only Method for Cloud Service Selection. *IEE*.
- O. Gómez, G. Pérez, e Rojas, E. (2022). Performance evaluation of microservices architectures through load testing. *Journal of Systems and Software*, 188.
- Patel, P. B. e Patel, A. M. (2016). A survey on OpenStack and its components. In *INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION AND SIGNAL PROCESSING (ICCSP)*, p. 1386 – 1390, Melmaruvathur, India. IEEE.
- Petrov, I. (2021). Combined criteria weighting in MCDM: AHP in blocks with traditional Entropy and novel Hierarchy in TOPSIS evaluation of Cloud Services.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48:p. 9 – 26.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1:p. 83 – 98.
- Sharma, M. e Sehrawat, R. (2020). Investigating the determinants influencing the adoption decision of cloud computing in the healthcare sector: An integrated ISM-AHP-TOPSIS approach. *Technology in Society*, v. 61.
- Singh, P. e Kaur, A. (2021). A comparative analysis of OpenStack and CloudStack cloud management platforms. In *5th International conference on computing methodologies and communication (ICCMC)*, p. 1297 – 1303, Erode, India. IEEE.