

O Impacto da Computação em Nuvem na Eficiência Energética e na Redução de Custos Operacionais

Larissa S. N.¹, Luis Guilherme S. F.¹, Maria Isabelli B. R.¹
Wanderson de V. R. S.¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFPI)
Av. Rio dos Matos, s/n – Germano, 64260-000 – Piripiri – PI – Brasil

{larissasouza.nascimento01, lsfont.ifpi, isabellybrt77}@gmail.com,

wanderson.vasconcelos@ifpi.edu.br

Abstract. *Energy efficiency and operational cost reduction are increasingly relevant topics in the corporate environment. This article aims to present the results of a literature review on the impact of Cloud Computing in these areas, analyzing how this technology has transformed business practices.*

Resumo. *A eficiência energética e a redução de custos operacionais são temas cada vez mais relevantes no ambiente corporativo. Este artigo tem como objetivo apresentar o resultado de uma revisão da literatura referente ao impacto da Computação em Nuvem nessas áreas, analisando como essa tecnologia tem transformado as práticas empresariais.*

1. Introdução

Atualmente, é muito comum abordar temas como o consumo de energia e seu impacto no meio ambiente, além da necessidade de reduzir custos para as empresas. Antes do advento da Computação em Nuvem (*Cloud Computing*), as empresas dependiam dos *mainframes*, grandes computadores centralizados projetados para processar grandes volumes de dados com alta disponibilidade e confiabilidade. Esses sistemas, embora extremamente poderosos para a época, apresentavam desafios significativos. Os *mainframes* ocupavam vastos espaços físicos e exigiam infraestrutura especializada, como sistemas de refrigeração intensiva, devido ao calor gerado pelo processamento. Além disso, o consumo de energia desses computadores era elevado, o que impactava diretamente os custos operacionais das empresas. Esses fatores tornavam a manutenção e operação dos *mainframes* não apenas caras, mas também menos eficientes do ponto de vista energético [Long et al. 2022].

Com o avanço da tecnologia, para resolver essas lacunas, surge a Computação em Nuvem, introduzida nos anos 1950, oferecendo uma alternativa mais eficiente e econômica. Com a *Cloud Computing*, não é necessário que os usuários realizem a instalação, configuração ou atualização de *softwares*. A maior parte dos serviços e infraestruturas oferecidos por empresas especializadas nesse modelo são ambientes redundantes e resilientes. Assim, os clientes têm acesso a serviços sob demanda, como aplicações prontas ou máquinas virtuais personalizadas, pagando conforme o uso (*Pay per Use*), que pode ser medido pelo tempo de utilização, pela quantidade de dados consumidos ou pela capacidade de processamento.

Com esse tipo de serviço, as empresas conseguem reduzir significativamente seus custos, eliminando a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura interna, já que todo o ambiente é mantido e responsabilizado pela empresa contratada. Isso também reduz despesas com manutenção, otimiza o uso dos recursos das máquinas e garante segurança, com serviços disponíveis 24 horas por dia e suporte especializado ao cliente.

Hodiernamente, nos estudos atuais, está sendo muito citado a Computação em Nuvem Verde que vai além das vantagens tradicionais da nuvem. Essa abordagem busca otimizar o consumo de energia, utilizando fontes renováveis, reduzindo assim as emissões de CO₂ associadas à computação em nuvem, enquanto ainda fornece a funcionalidade e o desempenho necessários. Ao migrar para soluções de nuvem verde, as empresas não apenas beneficiam-se da flexibilidade e economia da computação em nuvem, mas também contribuem para a sustentabilidade global, alinhando suas operações com as metas de responsabilidade ambiental.

A motivação deste trabalho é analisar o impacto da computação em nuvem na eficiência energética e na redução de custos operacionais, destacando suas vantagens e desafios em comparação com infraestruturas tradicionais. Este trabalho está organizado da seguinte maneira: A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3, dividida em quatro tópicos, descreve algumas ferramentas e estratégias utilizadas para a eficiência energética e redução de custos operacionais. A Seção 4, dividida em três tópicos, apresenta o método utilizado e as etapas da revisão da literatura. A Seção 5 descreve os resultados obtidos após a análise e as considerações finais, limitações e trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

Neste tópico, exploramos pesquisas relevantes que analisam o impacto da computação em nuvem em termos de custos e eficiência energética. As investigações discutidas fornecem uma visão aprofundada das vantagens da computação em nuvem, desde a redução de custos até melhorias na eficiência energética, e ajudam a contextualizar como as técnicas e estratégias atuais podem influenciar o desempenho operacional e ambiental das empresas.

[Verderami and Rosa 2013] aborda como a computação em nuvem oferece uma solução eficiente para pequenas e médias empresas (PMEs) que enfrentam alta competitividade no mercado. A computação em nuvem permite que essas empresas reduzam custos operacionais ao substituir a necessidade de infraestrutura física por serviços virtuais, pagando apenas pelo uso efetivo dos recursos. O estudo destaca que, ao adotar a nuvem, as PMEs se beneficiam da flexibilidade e escalabilidade dos serviços, eliminando despesas com manutenção, atualização e segurança de *hardware*, além de obter acesso a tecnologias avançadas de forma acessível.

Por sua vez, o trabalho de [dos Reis et al. 2023] discute a importância da computação em nuvem verde, destacando como a adoção de técnicas eficientes de gerenciamento de recursos, como a consolidação de máquinas virtuais e o uso de algoritmos como *Round Robin* e Otimização por Enxame de Partículas (PSO), pode melhorar significativamente a eficiência energética em data centers sem comprometer o desempenho dos sistemas. O estudo utiliza o simulador *CloudSim Plus* para avaliar cenários de simulação, demonstrando reduções substanciais no consumo de energia, emissões de CO₂ e custos operacionais, sem afetar negativamente os tempos de processamento.

[Lis et al. 2020] explora o aumento do consumo de energia devido ao crescimento

dinâmico do uso de sistemas de computação em nuvem, enfatizando a importância da eficiência energética nesse contexto. A pesquisa realiza um mapeamento bibliométrico das publicações científicas sobre o tema, identificando as nações, instituições e pesquisadores mais produtivos, além de destacar tópicos emergentes e relevantes no campo. A metodologia utilizada combina perfis bibliométricos, mapeamento científico e revisões sistemáticas da literatura, com dados extraídos da base Scopus e visualizados pelo software *VOSviewer*.

O estudo de [Deiab et al. 2019] explora as técnicas e abordagens voltadas para a eficiência energética na computação em nuvem, ressaltando o desafio de equilibrar o desempenho dos *data centers* com a redução do consumo de energia. A pesquisa aborda como o uso de técnicas como migração de máquinas virtuais (VM), consolidação e orquestração de recursos contribuem para a otimização do consumo de energia sem prejudicar a qualidade dos serviços oferecidos. O artigo destaca a importância da eficiência energética nos *data centers*, que são o núcleo da computação em nuvem, sendo essenciais para suportar o armazenamento de informações empresariais e a execução de aplicações.

É importante destacar que, nos trabalhos citados nesta seção, é notável o foco em como a computação em nuvem pode impactar tanto a eficiência operacional quanto a sustentabilidade ambiental. Ambos os estudos contribuem para um entendimento mais profundo sobre como a computação em nuvem pode ser uma solução eficaz para desafios operacionais e ambientais, reforçando a importância de selecionar as ferramentas e estratégias apropriadas. Esses trabalhos fornecem uma base sólida para a exploração de práticas sustentáveis e eficientes na computação em nuvem, alinhando-se com o objetivo de identificar abordagens que podem otimizar recursos e reduzir impactos negativos, o que é essencial para o desenvolvimento contínuo da área.

3. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo seguiu uma abordagem sistemática e rigorosa, visando explorar o impacto da computação em nuvem na eficiência energética e na redução de custos operacionais em comparação com infraestruturas tradicionais. A pesquisa foi dividida em quatro etapas principais: (1) planejamento da revisão da literatura, (2) coleta e análise dos dados, (3) síntese dos resultados, e (4) limitações e considerações éticas.

3.1. Planejamento da Revisão da Literatura

O primeiro passo foi definir o escopo da revisão, focando em artigos e estudos publicados nos últimos 10 anos (2013-2023) que abordam a relação entre computação em nuvem, eficiência energética, e redução de custos operacionais. Foram selecionadas bases de dados acadêmicas amplamente reconhecidas, como Periódicos CAPES, Scopus e Google Acadêmico, para garantir a abrangência e qualidade dos estudos incluídos. Além disso, foram definidos critérios de inclusão e exclusão para filtrar os estudos mais relevantes. Os critérios de inclusão consideraram estudos que abordam diretamente os benefícios e desafios da computação em nuvem em termos de eficiência energética e custos, enquanto os critérios de exclusão removem artigos não revisados por pares, publicações duplicadas, e estudos que não apresentavam dados empíricos ou simulações robustas.

3.2. Coleta e Análise dos Dados

A coleta de dados foi realizada em três fases: identificação, triagem e elegibilidade dos estudos. Na fase de identificação, foi utilizada uma combinação de palavras-chave relacionadas à computação em nuvem, eficiência energética, e custos operacionais. A construção da string de busca foi cuidadosamente planejada utilizando operadores lógicos (*AND*, *OR*) para garantir que a pesquisa abrangesse todos os aspectos relevantes do tema. As palavras-chave incluíram termos como "*Cloud Computing*", "*Energy Efficiency*", "*Green Technology*", e "*Data Center*". A string de busca final, "*Cloud Computing*"*AND* "*Energy Efficiency*", foi aplicada a cada base de dados, resultando em um conjunto inicial de estudos.

Na fase de triagem, os estudos identificados passaram por uma leitura dos títulos e resumos para garantir sua relevância ao tema proposto. Os artigos selecionados nesta fase foram, então, avaliados em profundidade, com foco em sua metodologia, amostragem, e relevância dos resultados para o objetivo do estudo.

Durante a fase de elegibilidade, os artigos que passaram pela triagem foram analisados com mais cuidado. Essa análise considerou a qualidade dos métodos usados nos estudos, se as conclusões eram bem fundamentadas e se os resultados poderiam ser reproduzidos em outras situações. Foram priorizados os estudos que utilizaram grandes volumes de dados ou revisões aprofundadas de outros trabalhos.

3.3. Síntese dos Resultados

Os dados extraídos dos estudos selecionados foram organizados em uma lista, destacando as principais contribuições de cada trabalho em relação ao impacto da computação em nuvem na eficiência energética e na redução de custos operacionais. A síntese foi estruturada para identificar padrões recorrentes, lacunas na literatura e áreas de consenso e divergência entre os estudos analisados. Além disso, foi realizada uma análise crítica comparativa entre os resultados encontrados na literatura e as práticas atuais adotadas em data centers que utilizam computação em nuvem. Essa comparação permitiu avaliar a aplicabilidade das soluções propostas e identificar oportunidades para futuras pesquisas e inovações tecnológicas.

3.4. Limitações e Considerações Éticas

É importante notar que, embora a revisão tenha sido realizada com rigor metodológico, algumas limitações podem ter impactado os resultados, como o viés de publicação e a limitação aos artigos disponíveis nas bases de dados selecionadas. As considerações éticas também foram respeitadas, assegurando que todas as fontes utilizadas foram devidamente citadas e que o estudo contribui de maneira ética e responsável para o campo da pesquisa.

4. Resultados e Discussões

Nesta seção, os dados são analisados com o objetivo de avaliar o impacto da computação em nuvem na eficiência energética e nos custos operacionais, buscando compreender se sua adoção promove mudanças significativas nesses aspectos. Como resultado crucial, temos que a computação em nuvem pode auxiliar na redução dos custos operacionais e energéticos de uma empresa.

A mudança de uma infraestrutura física para um ambiente virtual proporcionou não apenas mais flexibilidade e escalabilidade, mas também uma grande diminuição de emissão de carbono e uma grande ascensão da Computação em Nuvem Verde nas empresas. Esta análise confirmou que a utilização da computação em nuvem pode gerar melhorias tanto em termos de eficiência operacional quanto de sustentabilidade ambiental. Entretanto, ainda existem desafios para serem superados, já que a conscientização sobre energia e eficiência energética ainda precisa ser visivelmente mais amplamente mencionada e discutida e levadas para futuros trabalhos e práticas empresariais.

4.1. Eficiência Energética e Impacto Ambiental

De acordo com o estudo de [Reis et al. 2023], houve uma melhoria mínima de 49% na eficiência energética com a adoção de soluções em nuvem, sem alterações significativas nos custos diretos. Além disso, a migração para a nuvem resultou em uma redução de 50% nas emissões de CO₂, o que representa um impacto ambiental positivo significativo. Em outro estudo do mesmo autor, foi observada uma redução de 7% nos custos diretos, com melhorias energéticas semelhantes e sem comprometer o desempenho dos sistemas, uma vez que os tempos de processamento permaneceram inalterados.

4.2. Comparação de Custos Operacionais

[Reis et al. 2023] conduziram um estudo de caso que comparou os custos operacionais entre uma infraestrutura local de dados, baseada em mainframes, e uma solução de armazenamento em nuvem. A análise envolveu uma pequena empresa do setor de comércio que optou por implementar um serviço de e-mails para 50 funcionários. Os custos da infraestrutura local incluíram a aquisição de um servidor físico robusto, contratação de mão de obra especializada e a compra de equipamentos complementares, como um no-break. O investimento inicial totalizou R\$42.892,00, sem considerar os custos recorrentes com energia elétrica e manutenção, que aumentariam significativamente as despesas operacionais ao longo do tempo.

Em contraste, a alternativa de computação em nuvem, utilizando o serviço *Amazon WorkMail* da AWS, demonstrou ser uma solução mais eficiente em termos financeiros. Com um modelo de pagamento por uso de aproximadamente R\$ 4,00 USD por usuário, o custo anual foi consideravelmente menor. Ao comparar os gastos totais do primeiro ano, a empresa conseguiu economizar cerca de dois terços do valor em relação à infraestrutura local [Gupta et al. 2021].

Além da economia direta, a solução em nuvem também eliminou a necessidade de investimentos iniciais elevados e despesas com manutenção, além de fornecer flexibilidade para ajustar o número de usuários conforme a necessidade, algo que a infraestrutura física não oferecia com a mesma eficiência. Essa comparação evidencia que, além da redução de custos, a computação em nuvem proporciona maior previsibilidade e escalabilidade, aspectos cruciais para pequenas e médias empresas que buscam otimizar recursos.

4.3. Sustentabilidade e Economia a Longo Prazo

A análise dos dados coletados indicou que, ao adotar a computação em nuvem, as empresas podem não apenas reduzir seus custos operacionais, mas também beneficiar-se de

uma estrutura sustentável, com menor impacto ambiental. Mesmo com o aumento do número de funcionários, a solução em nuvem manteve sua competitividade financeira, consolidando-se como a opção de melhor custo-benefício. A escalabilidade do modelo em nuvem garantiu que, à medida que as necessidades da empresa crescam, os custos adicionais eram proporcionais ao aumento do uso, enquanto a manutenção e os custos de infraestrutura permaneceram reduzidos.

5. Conclusão

Este estudo analisou o impacto da computação em nuvem na eficiência energética e na redução de custos operacionais, destacando suas vantagens em relação a infraestruturas tradicionais. Os resultados indicam que a adoção da computação em nuvem pode proporcionar economias significativas para as empresas e uma maior eficiência energética, especialmente quando estratégias como a Computação em Nuvem Verde são aplicadas.

No entanto, ainda existem áreas que necessitam de mais pesquisas. Trabalhos futuros podem explorar a eficácia de novas tecnologias emergentes que complementem a computação em nuvem, como a inteligência artificial e a internet das coisas, no contexto da eficiência energética. Além disso, estudos podem ser conduzidos para avaliar o impacto ambiental da computação em nuvem em diferentes setores da indústria, assim como a viabilidade econômica para pequenas e médias empresas em regiões com diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico. Por fim, há espaço para explorar estratégias que maximizem a sustentabilidade da nuvem, como o uso de fontes de energia renovável em data centers, e para desenvolver modelos que quantifiquem mais precisamente as reduções de custos e os ganhos energéticos.

Referências

- Deiab, M., El-Menshawy, D., El-Abd, S., Mostafa, A., and Abou El-Seoud, M. S. (2019). Energy efficiency in cloud computing. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 9(1):98–102.
- dos Reis, T. N. F., Teixeira, M. M., Soares Neto, C. d. S., and dos Reis, A. M. S. (2023). Algoritmo dvfs como alternativa para redução de energia na computação em nuvem verde com big data. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, 21(11):23302–23320.
- Gupta, B., Mittal, P., and Mufti, T. (2021). A review on amazon web service (aws), microsoft azure & google cloud platform (gcp) services. EAI.
- Lis, A., Sudolska, A., Pietryka, I., and Kozakiewicz, A. (2020). Cloud computing and energy efficiency: Mapping the thematic structure of research. *Energies*, 13(16).
- Long, S., Li, Y., Huang, J., Li, Z., and Li, Y. (2022). A review of energy efficiency evaluation technologies in cloud data centers. *Energy and Buildings*, 260:111848.
- Reis, T. N. F. d., Teixeira, M. M., and Soares Neto, C. d. S. (2023). A power reduction approach to green cloud computing. *Research, Society and Development*, 12(7):e1812742407.
- Verderami, B. M. and Rosa, R. (2013). Avaliando o uso da computação em nuvem na América Latina para pequenas e médias empresas brasileiras. *Revista Computação Aplicada - UNG-Ser*, 2(1):05–14.