

Relações do Consumo Energético nas Execuções de Tarefas em Computação em Nuvem Verde

Thiago Nelson Faria dos Reis¹, Mário Meireles Teixeira¹, Carlos de Salles Soares Neto¹

¹DCCMAPI/UFMA/UFPI / Universidade Federal do Maranhão e
Universidade Federal do Piauí

Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65080-805 e
Ministro Petrônio Portella, s/n - Ininga, Teresina - PI, 64049-550 – Brazil

thiago.nelson@discente.ufma.br, mario.meireles@ufma.br, carlos.salles@ufma.br

Abstract. *Cloud computing is already part of the daily lives of people and companies, as well as environmental concerns. The union of these two realities provides an opportunity for the emergence of Green Cloud Computing with new proposals, approaches and metrics in order to make datacenters more efficient, mainly in terms of energy, in order to reduce CO2 emissions and the environmental impact. Knowing the metrics that can be used to measure the energy cost and environmental impact of datacenters as well as the main categories and areas of action are fundamental bases in Green Computing. This article presents a study of the relationship between energy consumption and execution times, architecture and costs of a cloud environment. Through the use of simulators, it was possible to prove the improvement in energy efficiency above 60% and reduction in processing times by at least 29%, with the adoption of algorithms, of complex problems, in the scheduling of Virtual Machines.*

Resumo. *A computação em nuvem já faz parte do cotidiano das pessoas e empresas, bem como a preocupação com a questão ambiental. A união dessas duas realidades oportuniza o surgimento da Computação em Nuvem Verde com novas propostas, abordagens e métricas, no sentido de tornar os datacenters mais eficientes, principalmente em termos energéticos, de forma a reduzir a emissão de CO2 e o impacto ambiental. Conhecer as métricas que podem ser utilizadas para medir o custo energético e o impacto ambiental de um datacenter bem como as principais categorias e áreas de ação são pontos fundamentais na Computação Verde. Este artigo apresenta um estudo das relações entre o consumo energético com os tempos de execução, arquitetura e custos de ambiente em nuvem. Por meio da utilização de simuladores foi possível comprovar a melhoria da eficiência energética acima de 60% e redução nos tempos de processamento em no mínimo 29%, com a adoção de algoritmos, de problemas complexos, no escalonamento de Máquinas Virtuais.*

1. Introdução

Migrar para a computação em nuvem tem uma série de vantagens, tanto computacionais quanto em outros aspectos. É possível citar a redução de custos de energia e refrigeração para a empresa, mas essa redução não pode ser considerada como uma medida de preocupação ambiental, uma vez que somente se está transferindo esses custos e

impactos. Quem contrata serviços de computação em nuvem também é responsável direta ou indiretamente pelo impacto ambiental.

De acordo com [Khan and Khan 2016], cerca de 10% de toda energia consumida globalmente é para dispositivos eletrônicos e computacionais, sendo que 50% é diretamente para a computação (29 GW para datacenters, 25 GW para equipamentos de rede e 30 GW para computadores). Os outros 50% são divididos para TV's (44 GW) e para outros dispositivos (40 GW), conforme visualizado na Figura ?? . E segundo [Masdari and Zangakani 2020], 50% da energia consumida em um *datacenter* é utilizada para a dissipação do calor, ou seja, refrigeração.

Ou seja, ter um parque computacional mais eficiente e com menor impacto ambiental é de responsabilidade de todos. Quando se fala em computação e computação verde deve-se levar em consideração o que difere uma da outra. Em síntese, na computação verde tem-se o foco na redução do consumo de energia, no uso de recursos renováveis e uso mais eficiente dos recursos.

Para tanto, é necessário ter conhecimento de técnicas, *frameworks*, metodologias e classificações da Computação Verde, de forma a embasar a análise, desenvolvimento e implementações nessa área, pois existem várias abordagens, tanto a nível de software, hardware e virtualização de modo a otimizar o uso dos recursos e consequente diminuição da emissão de CO₂ e impacto no ambiente. [Gade 2018]

Segundo [Saha 2018], a escolha da infraestrutura em nuvem começa a mudar, pois os critérios deixam de ser somente computacionais e de custos, mas entra na equação a questão da eficiência energética do *datacenter* e o uso de recursos renováveis.

Computação verde não compreende somente a questão do uso de energia, mas também de água, da utilização de recursos renováveis e redução do desperdício computacional, ou seja, utilizar os recursos computacionais necessários somente.

Esta pesquisa apresenta, primeiramente, as métricas computacionais mais utilizadas relacionadas à eficiência energética que permitem avaliar a eficiência de um *datacenter*, bem como as principais abordagens utilizadas na redução do consumo de energia e garantia da qualidade da prestação dos serviços.

O objetivo é demonstrar que é possível reduzir o consumo energético sem perdas significativas de indicadores de qualidade de serviço, ou seja, mantendo os mesmos tempos de respostas e volumes de processamento, com a adoção de algoritmos mais eficientes de alocação de máquinas virtuais. Neste caso em particular entre os algoritmos de Round Robin e Ant Colony System (ACS), incluindo assim, esse algoritmo nas possíveis soluções a serem adotadas dentro dos diversos trabalhos relacionados.

As avaliações são realizadas utilizando vários cenários de configuração com mais de 600 simulações, totalizando cerca de 10.000 horas de processamento. Para finalizar, são apresentados os resultados encontrados e suas conclusões.

2. Trabalhos Relacionados

Devido a grande variedade de abordagens, tanto físicas quanto lógicas, e a possibilidade dos mais diversos usos propicia um área fértil de pesquisa na temática de computação em nuvem verde, gerando assim o desenvolvimento de métodos computacionais para o uso

eficiente dos recursos computacionais bem como a redução de custos, tanto no Provedor de Serviços quanto para o usuário.

Dentre as formas de se analisar e estimar o uso dos recursos, tem se destacado o uso simuladores de computação em nuvem, uma vez que, se torna impossível ter um ambiente complexo de nuvem para a realização de experimentos. Na sequência, serão apresentados alguns trabalhos que utilizam abordagens e simuladores com esta finalidade em ambientes em nuvem.

Em [Meyer et al. 2018, Makaratzis et al. 2018, Jena et al. 2020] realizam experimentos utilizando vários simuladores de nuvem e algoritmos como *First-Fit-Approach* e *Round Robin* e fazem análise dos comparativos dos resultados dos simuladores, comparando-os entre si.

Enquanto que [Yang et al. 2018, Wadhwa et al. 2019, Zong 2020, Chopra et al. 2021] utilizam o CloudSim como simulador e realizam os experimentos com algoritmos DPSO, DENS, RoundRobin e Green Scheduler e GA. A análise dos resultados tem por objetivo o comparativo entre os algoritmos, levando em consideração os tempos de execução e os consumos energéticos.

Este estudo tem por objetivo ampliar os algoritmos utilizados nesses modelos, no caso, incluindo o *Ant Colony System* (ACS) na gama dos algoritmos já avaliados. Para tanto, utilizou-se como base de comparação o *Round Robin* e o CloudSim, seguindo os outros trabalhos relacionados.

3. Principais Abordagens para Eficiência Energética

Existem diversas abordagens que podem ser utilizadas de forma a implementar ou otimizar a redução energética, aumentando assim os lucros e reduzindo o impacto ambiental. De forma semelhante, as abordagens também devem ser associadas entre si, garantindo assim um melhor benefício nas mais diversas categorias, podendo ser citadas [Radu 2017, Agrawal et al. , Khan and Khan 2016, Masdari and Zangakani 2020]:

O Gerenciamento mais eficiente de máquinas virtuais através de técnicas de Consolidação de VM nos servidores físicos, Redução das velocidades dos processadores das VM, Realocação de tarefas entre VM, Engenharia de software especializada e Alocação para *datacenter* com melhor eficiência energética.

Ainda é possível as abordagens dependentes do hardware por meio da Redução de dissipação do calor, Planejamento de energia das placas e processadores que permitem a transmissão separada de energia e Utilização de armazenamento mais eficiente.

Outras abordagens como a utilização de fontes renováveis e reutilização de recursos como de energia, como energia eólica, solar e de água, dentre outras.

Para este trabalho, será utilizada a abordagem relacionada ao gerenciamento das máquinas virtuais nos servidores físicos, através da consolidação de VM's e desligamento das não utilizadas, uma vez que, essas abordagens não necessitam de modificações de equipamentos físicos e nem investimento em infraestrutura, sendo possível seu uso na adoção de políticas que podem ser implementadas em qualquer ambiente em nuvem.

4. Materiais e Métodos

4.1. Métricas Computacionais

Entender como transformar a computação convencional em computação verde é um dos grandes desafios dessa década e, para que essa transformação seja realizada, é necessário entender e conhecer as métricas que podem ser utilizadas. Este tópico será tratado nesta seção.

Para se avaliar a eficácia da mudança para a computação em nuvem e, posteriormente, para a computação em nuvem verde, se faz necessário medir. E para tanto, conhecer o que pode e deve ser medido é de suma importância, tanto quanto identificar quais serviços devem mudar de arquitetura e quais devem permanecer.

Vale ressaltar que o modelo convencional não deve ser simplesmente replicado para a nova plataforma, já que existem particularidades completamente distintas. Nesse contexto também é de suma importância a otimização e parametrizações, de forma a obter o melhor desempenho, demonstrando assim, novamente, a importância das medições.

Os principais parâmetros para medição de consumo são[Gade 2018, Saha 2018]:

TDP: É a medição de energia necessária para refrigerar ou dissipar o calor do processador. Soma-se a energia máxima que um processador consome ao executar uma tarefa real.

PUE: Ele é usado para criar uma relação entre a energia consumida por uma aplicação em relação ao consumo total do *datacenter*. O melhor resultado do PUE (Energia total do *datacenter* / energia de uma aplicação ou equipamento) é o mais próximo de 1.0, demonstrando que não há desperdício de energia, como em refrigeração, iluminação ou overhead.

DCiE: É uma métrica inversa ao PUE, ambas sendo mais utilizadas para comparações entre *datacenters*. É a relação de $1 / \text{PUE}$, ou energia de uma aplicação ou equipamento / Energia total do *datacenter*.

Performance per Watt: É uma medida de eficácia de um processador ou equipamento. É a taxa de desempenho por watt de consumo.

GEC: É uma medida de energia verde, ou seja, é uma medida da quantidade de energia que é consumida pelo *datacenter* que tem origem em fontes renováveis, tendo como referência a relação energia renovável / energia total consumida.

CUE: Métrica muito importante, que diz respeito à emissão de gás carbônico gerado pelo *datacenter*. É uma relação entre a emissão de CO₂ e a quantidade de energia consumida. Diz respeito às fontes de energia utilizadas pelo *datacenter*.

Data Center Productivity: Métrica que relaciona o trabalho efetivamente realizado com o total de recursos utilizados para a realização dele. Semelhante ao DCP, mas leva em consideração tanto software quanto hardware.

Data Center Energy Productivity: Semelhante ao DCP, mas ao invés de utilizar os recursos, leva em consideração a energia utilizada para produzir a tarefa.

A partir do conhecimento das métricas existentes que podem ser utilizadas, é possível tanto medir o nível atual dos *datacenters* quanto, após intervenções, avaliar a

melhoria. Inclusive, por meio de simulações, analisar quais intervenções teriam um impacto mais significativo.

4.2. Ambiente de Simulação CloudSim Plus

Quando se trata de simulação de ambientes de computação em nuvem, tem-se um grande desafio, uma vez que são ambientes complexos, necessitam de uma grande quantidade de informações, além do tempo necessário de processamento para atingir parâmetros realistas.

Para tanto, de acordo com [Barbierato et al. 2019, Junior and Bruschi 2020, Silva Filho et al. 2017, CLOUDSIM 2016], para este trabalho foi utilizado o CloudSim Plus, que é um ambiente de simulação Java 8 que permite a modelagem e simulação de diferentes serviços de computação em nuvem, desde as camadas de infraestrutura como serviço (IaaS) até camadas de software como serviço (SaaS). Este ambiente possibilita a implementação de cenários de simulação para experimentação, avaliação e validação de algoritmos para diferentes objetivos.

4.3. Execução do CloudSim Plus

O CloudSim Plus monitora os tempos de execuções, o uso das CPU's, bem como a energia consumida nos hosts e nas VM's para cada cloudlet. Ainda é possível calcular o custo monetário, pay-per-use das máquinas virtuais.

Também estão sendo monitorados os tempos de execução da simulação e o tempo simulado do ambiente, bem como o uso da CPU, memória RAM e o *Max Heap* do ambiente.

Ao final da execução, após a análise dos dados coletados citados anteriormente, os resultados são avaliados levando em consideração dois algoritmos de alocação, o Round Robin (RR), já existente no CloudSim, e Ant Colony System (ACS), adaptado para ser executado nestes experimentos [Farahnakian et al. 2015]. No caso a primeira, algoritmo muito popular que faz a seleção da máquina virtual através de rodízio entre os Hosts, distribuindo de forma equilibrada as quantidades de máquinas. Enquanto a segunda, é uma meta-heurística que consiste em um aperfeiçoamento do Ant System, e possui um desempenho notadamente superior e aplicabilidade a problemas de tamanhos mais consideráveis, pois envolve uma parte determinística, ou exploratória, e uma parte probabilística, ou desbravadora [CLOUDSIM 2016, Mandal and Dehuri 2019].

4.4. Experimento

O objetivo deste experimento é validar a possibilidade da redução energética sem prejuízo da capacidade computacional do ambiente em nuvem. Para tanto, serão utilizados dois algoritmos de escalonamento de máquinas virtuais, o Round Robin (RR) e Ant Colony System (ACS), discutidos na seção 4.3. A Figura 1 representa os parâmetros utilizados nas simulações.

Os parâmetros definidos são as máquinas virtuais, que neste caso compreendem dois conjuntos de configurações:

- i. Cenário 1: 40 máquinas virtuais com 4 núcleos de processamento cada.
- ii. Cenário 2: 80 máquinas virtuais com 2 núcleos de processamento cada.



Figura 1. Parâmetros da Simulação

As demais configurações de memória, armazenamento, largura de banda, etc são mantidas idênticas nos dois cenários. Esses parâmetros são para analisar a premissa de que o melhor custo benefício está entre instanciar mais máquinas virtuais com menor quantidade de processadores ou menor quantidade de máquinas com mais processadores.

As aplicações que serão executadas, ou seja, os *cloudlets*, foram divididas em dois conjuntos de parâmetros:

- i. Quantidade de *cloudlets*: foram divididos em 5 grupos, a saber: 100, 200, 400, 600 ou 1000 *cloudlets*.
- ii. Tamanho dos *cloudlets*: foram divididos em 2 categorias, onde o tamanho é definido por quantidade de instruções a serem executadas: 1.000.000 e 5.000.000 de instruções.

Estes cenários foram definidos de forma a avaliar o comportamento em situações de baixa carga no ambiente e também de sobrecarga.

E por fim, as políticas de alocação, conforme citado, para a execução das simulações de forma a avaliar os tempos de respostas, consumo energético e custos das execuções. Vale lembrar que os valores monetários são expressos em dólares americanos e foram extraídos das bases e configurações da AWS americana, bem como os consumos energéticos dos processadores. Importante também frisar que nestes experimentos está sendo levado em consideração somente o consumo energético dos processadores, tando dos Hosts quando das VM's.

Foram capturados para cada execução os resultados de tempo de processamento das aplicações, custos e consumo energético dentre outra informações. O tempo total simulado de processamento foi de 643.284 mins (10.721 horas, equivalente a 446 dias) com cerca de 600 simulações executadas.

5. Análise dos Resultados

Os resultados de simulação capturados foram agrupados e analisados com o objetivo de avaliar os critérios discutidos nas seções anteriores. Os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 a seguir foram consolidados para apresentação deste artigo, onde são apresentadas as configurações utilizadas, os resultados obtidos para cada algoritmo e relação entre eles com o objetivo de visualizar o percentual de ganho.

Para tanto foram criados alguns cenários para discussão:

- i. Cenário 1: Tempos de execuções das aplicações
- ii. Cenário 2: Consumos energéticos das aplicações
- iii. Cenário 3: Custos de execução das aplicações
- iv. Cenário 4: Avaliação das métricas computacionais

Tabela 1. Resultados consolidados dos tempos de execução (s) e consumo energético das simulações (w)

| Configurações | Tempo Médio de Execução | | | Consumo Médio Energético | | |
|---------------------|-------------------------|--------|------------------|--------------------------|-------|------------------|
| | RoundRobin (RR) | ACS | Relação RR e ACS | RoundRobin (RR) | ACS | Relação RR e ACS |
| 40 VMs e 4 Núcleos | 696,47 | 490,17 | -29,62% | 36,75 | 13,69 | -62,76% |
| 80 VM's e 2 Núcleos | 81,07 | 45,60 | -43,75% | 16,50 | 4,96 | -69,96% |

Tabela 2. Resultados consolidados dos custos (US\$) dos ambientes nas simulações

| Configurações | Algoritmo de Alocação | | |
|---------------------|-----------------------|----------|------------------|
| | RoundRobin (RR) | ACS | Relação RR e ACS |
| 40 VMs e 4 Núcleos | 8.340,13 | 7.465,53 | -10,49% |
| 80 VM's e 2 Núcleos | 1.305,24 | 549,28 | -57,92% |

5.1. Cenário 1: Tempos de execuções das aplicações

Os principais trabalhos relacionados a desempenho computacional levam em consideração os tempos de execuções das aplicação para medir a eficácia de um determinado cenário. Levando em consideração a Tabela 1, verificou-se reduções do tempo de processamento de cerca de 29% e de 43%, de acordo com o modelo de configuração, na adoção do algoritmo ACS em relação ao de RR. Ou seja, a adoção de algoritmos para modelos mais complexos reduz o tempo de execução de forma significativa, consequentemente os custos também.

5.2. Cenário 2: Consumos energéticos das aplicações

Levando em consideração o cenário energético, tem-se a partir da análise consolidada da Tabela 1 uma redução superior a 60% no consumo energético para a mesma carga de trabalho, além da redução no tempo de execução das aplicações de no mínimo 29%, citado anteriormente no cenário 1. Consequentemente, a redução energética também é impactada pela redução do tempo de processamento, mas gerando reduções significativas de energia e resfriamento, diminuindo assim o impacto ambiental.

Analisando os dados energéticos por conjunto de *cloudlets*, conforme a Tabela 3, observa-se reduções significativas dos consumos, variando de 61% a 65% independentemente do tamanho das aplicações ou do modelo de distribuição das máquinas virtuais e na adoção dos algoritmos de escalonamento, de forma a corroborar com os dados apresentados de forma consolidada.

5.3. Cenário 3: Custos de execução das aplicações

O simulador faz o cálculo dos custos baseado nas configurações das máquinas virtuais, conforme parâmetros citados na seção 4.4, não levando em consideração o tipo de uso ou mesmo a sobrecarga de utilização da mesma. Sendo assim, para cenário mais simples, a redução média de custos foi superior a 10% e para cenário mais complexo, superou os 50% na alocação das máquinas virtuais.

Entretanto, se compararmos os dois modelos de arquitetura, o de 40 VMs e de 80 VMs, apesar de possuírem os mesmos recursos computacionais, o algoritmo ACS se

Tabela 3. Resultados detalhados por *cloudlets* dos consumos energéticos (w)

| Aplicações (<i>cloudlets</i>) | | Algoritmo | | |
|---------------------------------|-----------|-------------|-------|-----------|
| Qtd | Tamanho | Round Robin | ACS | Diferença |
| 100 | 1.000.000 | 25,63 | 9,24 | -63,95% |
| 100 | 5.000.000 | 25,63 | 8,82 | -65,59% |
| 200 | 1.000.000 | 36,75 | 14,26 | -61,21% |
| 200 | 5.000.000 | 36,75 | 13,44 | -63,43% |
| 400 | 1.000.000 | 37,50 | 13,43 | -64,19% |
| 400 | 5.000.000 | 37,50 | 13,93 | -62,86% |
| 600 | 1.000.000 | 37,25 | 13,94 | -62,58% |
| 600 | 5.000.000 | 37,25 | 13,67 | -63,31% |
| 1.000 | 1.000.000 | 37,50 | 14,18 | -62,18% |
| 1.000 | 5.000.000 | 37,50 | 13,81 | -63,17% |

comporta de forma mais eficaz uma vez que, o ambiente acaba se tornando mais complexo devido à quantidade de VM's e aplicações e consequentemente possibilidades de alocação.

5.4. Cenário 4: Avaliação das métricas computacionais

A partir dos dados extraídos nas simulações e aplicados nas métricas da seção 4.1 foi construída a Tabela 4 abaixo, onde com relação à PUE e DCiE, quanto mais próximo de 1 melhor o índice energético. Nesse caso se destaca o algoritmo ACS a medida que o ambiente se torna mais complexo.

É importante salientar que neste trabalho utilizou-se apenas algoritmos de alocação de máquinas virtuais, sendo possível ainda outras técnicas que podem ser utilizadas, como de escalonamento de tarefas e migração de máquinas virtuais. Também foi considerado somente o consumo energético dos equipamentos, não sendo levado em consideração o necessário para refrigeração do modelo.

Tabela 4. Cálculos das métricas computacionais por *cloudlet*

| Aplicações (<i>cloudlets</i>) | | PUE | | DCiE | |
|---------------------------------|-----------|-------------|------|-------------|---------|
| Qtd | Tamanho | Round Robin | ACS | Round Robin | ACS |
| 100 | 1.000.000 | 0,94 | 0,73 | 106,29% | 136,35% |
| 100 | 5.000.000 | 0,94 | 0,70 | 106,29% | 142,85% |
| 200 | 1.000.000 | 1,35 | 1,13 | 74,12% | 88,35% |
| 200 | 5.000.000 | 1,35 | 1,07 | 74,12% | 93,71% |
| 400 | 1.000.000 | 1,38 | 1,07 | 72,63% | 93,78% |
| 400 | 5.000.000 | 1,38 | 1,11 | 72,63% | 90,43% |
| 600 | 1.000.000 | 1,37 | 1,11 | 73,12% | 90,36% |
| 600 | 5.000.000 | 1,37 | 1,09 | 73,12% | 92,15% |
| 1.000 | 1.000.000 | 1,38 | 1,13 | 72,63% | 88,80% |
| 1.000 | 5.000.000 | 1,38 | 1,10 | 72,63% | 91,20% |

A partir dessas duas medidas é possível mensurar e comparar a eficiência energética não somente entre diversos algoritmos mas também entre *datacenters*.

6. Conclusão

A computação em nuvem verde está se tornando um tópico amplamente discutido na indústria e na academia. Cada dia mais as empresas estão migrando para esse modelo

devido ao aumento do armazenamento de dados e demandas computacionais, havendo por consequência o crescimento da infraestrutura dos provedores em nuvem. Esse crescimento possui um grande impacto econômico e socioambiental. Devido à demanda energética, de água ou emissão de CO₂. A partir desta demanda, cresce também a necessidade de *datacenters* energeticamente mais eficientes e com utilização de recursos renováveis.

Este estudo preliminar teve por objetivo a identificação das principais métricas utilizadas, bem como as possíveis áreas e categorias de transformação para a Computação em Nuvem Verde. Além disso, pretendeu-se avaliar a premissa de que é possível obter uma redução energética de consumo sem diminuição dos tempos de processamento.

Os resultados foram coletados utilizando o CloudSim Plus, um simulador desenvolvido para ambientes complexos em nuvem, que permite implementar diferentes estratégias de redução de energia ou melhorias em indicadores de qualidade de serviço.

A partir deste experimento é possível afirmar que com o uso de algoritmos mais eficientes de alocação ou de abordagens diferenciadas obtém-se reduções significativas no consumo energético, variando entre 62% e 69%, com impacto também na redução dos tempos de processamento, cerca de 29%, ou seja, melhorando o SLA. Além da redução indireta de custos relacionadas ao tempo de processamento e eficiência energética, identificou-se também a redução de custos diretos na alocação das máquinas virtuais, de no mínimo 10%.

A adoção desse modelo de alocação de máquinas virtuais possui um impacto positivo no custo operacional da infraestrutura, além da redução do tempo de execução, permitindo assim, aos pesquisadores e gerentes de *datacenters*, o melhor aproveitamento do seu parque tecnológico com menor custo, seja para nuvem pública ou privada.

Com estudos mais avançados dos simuladores e algoritmos, como trabalhos futuros será possível definir quais os melhores parâmetros de medição da eficiência computacional e energética de um *datacenter*, bem como medir a eficiência das diversas abordagens implementadas, contribuindo assim para a adoção da Computação em Nuvem Verde de forma mais eficiente.

Referências

- Agrawal, M. N., Saini, M. J. K., and Wankhede, P. Review on green cloud computing: A step towards saving global environment.
- Barbierato, E., Gribaudo, M., Iacono, M., and Jakóbbik, A. (2019). Exploiting cloudsims in a multiformalism modeling approach for cloud based systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 93:133–147.
- Chopra, J., Rangarajan, V., and Sen, R. (2021). Sustainable energy technologies and assessments.
- CLOUDSIM (2016). Full-featured and fully documented cloud simulation framework. Disponível em: <http://cloudsimplus.org/>. Acesso em: Junho 2021.
- Farahnakian, F., Ashraf, A., Pahikkala, T., Liljeberg, P., Plosila, J., Porres, I., and Tenhunen, H. (2015). Using ant colony system to consolidate vms for green cloud computing. *IEEE Transactions on Services Computing*, 8(2):187–198.

- Gade, A. (2018). Survey on energy efficient cloud: A novel approach towards green computing. *HELIX*.
- Jena, S. R., Shanmugam, R., Saini, K., and Kumar, S. (2020). Cloud computing tools: inside views and analysis. *Procedia Computer Science*, 173:382–391.
- Junior, T. J. T. and Bruschi, S. (2020). Epcsac-extensible platform for cloud scheduling algorithm comparison. In *Anais Estendidos do XXI Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pages 46–53. SBC.
- Khan, R. and Khan, S. U. (2016). Achieving energy saving through proxying applications on behalf of idle devices. *Procedia Computer Science*, 83:187–194.
- Makaratzis, A. T., Giannoutakis, K. M., and Tzovaras, D. (2018). Energy modeling in cloud simulation frameworks. *Future Generation Computer Systems*, 79:715–725.
- Mandal, A. K. and Dehuri, S. (2019). A survey on ant colony optimization for solving some of the selected np-hard problem. In *International Conference on Biologically Inspired Techniques in Many-Criteria Decision Making*, pages 85–100. Springer.
- Masdari, M. and Zangakani, M. (2020). Green cloud computing using proactive virtual machine placement: challenges and issues. *Journal of Grid Computing*, 18(4):727–759.
- Meyer, V., Krindges, R., Ferreto, T. C., De Rose, C. A., and Hessel, F. (2018). Simulators usage analysis to estimate power consumption in cloud computing environments. In *2018 Symposium on High Performance Computing Systems (WSCAD)*, pages 70–76. IEEE.
- Radu, L.-D. (2017). Green cloud computing: A literature survey. *Symmetry*, 9(12):295.
- Saha, B. (2018). Green computing: current research trends. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(3):467–469.
- Silva Filho, M. C., Oliveira, R. L., Monteiro, C. C., Inácio, P. R., and Freire, M. M. (2017). Cloudsim plus: A cloud computing simulation framework pursuing software engineering principles for improved modularity, extensibility and correctness. In *2017 IFIP/IEEE symposium on integrated network and service management (IM)*, pages 400–406. IEEE.
- Wadhwa, M., Goel, A., Choudhury, T., and Mishra, V. P. (2019). Green cloud computing-a greener approach to it. In *2019 international conference on computational intelligence and knowledge economy (ICCIKE)*, pages 760–764. IEEE.
- Yang, J., Xiao, W., Jiang, C., Hossain, M. S., Muhammad, G., and Amin, S. U. (2018). Ai-powered green cloud and data center. *IEEE Access*, 7:4195–4203.
- Zong, Z. (2020). An improvement of task scheduling algorithms for green cloud computing. In *2020 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, pages 654–657. IEEE.