

## Data Center e Eficiência Energética

## Data Center and Energy Efficiency

DOI: 10.34140/bjbv5n2-002

Recebimento dos originais: 05/01/2023

Aceitação para publicação: 31/03/2023

### **José Luiz Romero de Brito**

Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP)

Mestre em Administração pelo Programa Cidades Inteligentes e Sustentáveis (CIS) da Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - IEE/USP

E-mail: romero.brito@usp.br

### **Patrícia Helena Iara dos Santos Matai**

Doutora em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo - USP

Livre-docente pela Universidade de São Paulo - USP

Professora Pesquisadora da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP) e do Programa de Pós-graduação do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP)

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - IEE/USP

E-mail: pmtai@usp.br

### **Mario Roberto dos Santos**

Doutor em Administração pelo Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Nove de Julho - UNINOVE

Universidade Nove de Julho - UNINOVE

E-mail: mario.rsantos@terra.com.br

### **RESUMO**

O rápido desenvolvimento da *internet* exige que as infraestruturas de *data centers* sejam desenvolvidas em grande escala com maior capacidade de energia e também alcancem formas para a redução no consumo dessa energia e também nas emissões de carbono. O objetivo da pesquisa foi verificar na literatura como os pesquisadores estão avaliando a eficiência energética em *data centers* e quais são as soluções para a melhoria dessa eficiência. Para tanto foi realizada uma pesquisa da base de dados *ScienceDirect* utilizando as palavras “*energy efficiency and data center*” sendo encontrados 75 artigos. Os principais resultados dos artigos foram: redução do uso do ventilador do servidor; uso dos sistemas de refrigeração e ventilação; barramentos CC supercondutores de alta temperatura; algoritmo para minimizar o alto consumo de energia; algoritmo dinâmico de agendamento de tarefas online; modelo de consumo de energia dinâmico acoplado incluindo dispositivos de TI e de refrigeração; melhorar a distribuição do fluxo de ar; sistema combinado de resfriamento, aquecimento e energia; sistema de resfriamento de tubo de calor integrado; uso de energias renováveis; desligando e ligando portas da rede.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, *Data center*, Consumo de energia, Tecnologia da informação.

## ABSTRACT

The rapid development of the internet requires data center infrastructures to be developed on a large scale with greater energy capacity and also reach ways to reduce energy consumption and carbon emissions. The aim of research was to verify in the literature how researchers are evaluating energy efficiency in data centers and what are the solutions to improve this efficiency. For that, a search of the ScienceDirect database was carried out using the words “energy efficiency and data center” and 75 articles were found. The main results of the articles: reduced server fan usage; use of refrigeration and ventilation systems; high temperature superconducting DC buses; algorithm to minimize high power consumption; dynamic algorithm online task scheduling; dynamic coupled power consumption model including IT and cooling devices; improve airflow distribution; combined cooling, heating and power system; integrated heat pipe cooling system; use of renewable energies; turning off and on network ports.

**Keywords:** Energy efficiency, Data center, Energy consumption, Information technology.

## 1 INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento da *internet* exige que as infraestruturas de *data centers* sejam desenvolvidas em grande escala com maior capacidade de energia e também alcancem formas para a redução no consumo dessa energia e também nas emissões de carbono (SHAO et al., 2022), pois os *data centers* emitem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aproximadamente equivalente ao setor aéreo (REDDY et al., 2022).

Segundo o Synergy Research Group (2021) o número de grandes *data centers* alcançou 700 no final do terceiro trimestre de 2021 e as previsões mostram um crescimento rápido e contínuo. São previstos 314 novos *data centers* e a base instalada ultrapassará a marca de 1.000 em três anos e continuará crescendo rapidamente (SYNERGY, 2022). Portanto é de grande importância reduzir o consumo de energia, o custo de capital e as emissões de carbono, garantindo a operação segura e confiável do *data center* (SHAO et al., 2022).

Não há um consenso sobre o consumo de energia em *data centers*, por exemplo Masanet et al. (2020) citaram que, dado que os *data centers* são empresas de uso intensivo de energia, estimadas em cerca de 1% do uso mundial de eletricidade, causando implicações claras para a demanda global de energia. Mencionaram também que várias análises frequentemente citadas, afirmaram que a energia usada pelos *data centers* do mundo dobrou na última década e que triplicará ou até quadruplicará na próxima década. Uma outra perspectiva, segundo Peng et al. (2022), é que os *data centers* correm o risco de dobrar o consumo de energia a cada cinco anos. Conforme Li et al. (2022), durante a última década, o consumo de energia dos *data centers* foi responsável por 2,4% do consumo total de eletricidade em todo o mundo e estimaram que o consumo esteja aumentando entre 15% e 20% ao ano. Já, na visão de Liu et al. (2020) os *data centers* se tornarão os maiores usuários mundiais de consumo de energia, com a proporção subindo de 3% em 2017 para 4,5% em 2025.

Apesar de não haver concordância, todas as previsões apresentadas mostraram crescimento do consumo de energia nesse segmento. Com o consumo de energia *dos data centers* em expansão em

conjunto com a rápida ascensão da economia digital, esse problema têm atraído grande atenção da sociedade no sentido de realizar a conservação de energia e a redução das emissões (LONG et al., 2022). Além dessas crescentes preocupações com impactos ambientais, as preocupações com os custos de eletricidade também estão aumentando (TIAN et al., 2021). Melhorar a eficiência energética dos *data centers* tornou-se um importante tópico de investigação e os pesquisadores estão trabalhando para desenvolver metodologias e métricas práticas de avaliação da eficiência energética para atingir esse objetivo (LONG et al., 2022). Portanto, é um foco importante para os pesquisadores acadêmicos e para as indústrias otimizar o consumo de energia em *data centers* (REDDY et al., 2022).

Nesse contexto, da avaliação da eficiência energética ser um importante tópico de pesquisa e de desenvolvimento de metodologias e métricas (LONG et al., 2022) e um foco importante para os pesquisadores acadêmicos e para as indústrias otimizar o consumo de energia (REDDY et al., 2022), estabeleceu-se a seguinte questão de pesquisa: quais são as soluções apresentadas pelos pesquisadores para a melhoria da eficiência energética em *data centers*? Para atender esse objetivo, foi verificado na literatura acadêmica os artigos publicados sobre eficiência energética.

Dessa forma espera-se contribuir com a teoria e com a prática, apresentando pesquisas recentes sobre o tema e quais as medidas práticas sugeridas pelos pesquisadores aliando teoria e prática na busca da melhoria da eficiência energética em *data centers*.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, a seção dois apresentará a fundamentação teórica; a seção três, o método de pesquisa empregado; a seção quatro, os resultados e as discussões e a seção cinco, as conclusões.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um *data center* é o local onde as informações são processadas, armazenadas, transmitidas, trocadas e gerenciadas. É uma combinação de *sites*, ferramentas e processos que centralizam, integram, compartilham e analisam sistemas de negócios e recursos de dados e é o centro da infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) (SHAO et al., 2022).

Com o rápido progresso das tecnologias baseadas na internet, como *cloud computing*, *big data*, *internet* das coisas (IOT), inteligência artificial entre outras, as indústrias globais, governos, organizações e instituições estão cada vez mais confiando na operação ininterrupta de *data centers* para realizar com sucesso seus objetivos do dia-a-dia (CHEN et al., 2022). Com o avanço dessas tecnologias, o tráfego em *data centers* está crescendo rapidamente e previu-se que o tráfego global aumentaria de 6 zettabytes (ZB) em 2016 e atingiria 19,5 ZB no ano de 2021 (MATERWALA; ISMAIL, 2022).

Os *data centers* contêm grandes quantidades de equipamentos de TI, como computadores, *storages*, *racks*, elementos de rede, além de dispositivos suplementares, como monitores e estações de trabalho (CHEN et al., 2022). O consumo de energia do *data center* pode ser decomposto em sistema de

equipamentos de TI (50%, incluindo servidores, equipamentos de armazenamento e equipamentos de rede), sistemas de ar condicionado e refrigeração (37%, sendo sistema de refrigeração a ar em torno de 25% e sistema de alimentação e retorno de ar cerca de 12%), sistema de distribuição (10%) e sistema de iluminação auxiliar (3%) (LIU et al., 2020). Por exemplo *cloud computing*, um sistema que fornece serviços multicamadas (infraestrutura, plataforma e *software*) aos usuários por meio da *internet*, sem gerenciamento ativo direto pelos usuários (GUO et al., 2022), consome mais energia do que a maioria dos países e seria considerado o quinto maior país em termos de consumo de energia (ARSHAD et al., 2022).

Nesse contexto, o impacto ambiental dos *data centers* está se tornando uma preocupação na Europa e no mundo, impactos provocados, por exemplo pela energia incorporada associada a fabricação de servidores; consumo de energia durante a operação; descarte inadequado no fim da vida útil (BASHROUSH et al., 2022). O setor de centros de dados Europeus fez avanços em direção ao aumento da sustentabilidade de várias maneiras. Como exemplo, os acordos sobre as melhores práticas abrangendo compromissos com a eficiência energética, energia 100% livre de carbono, conservação da água, reutilização e reparo de servidores e reciclagem de calor (RTEIL et al., 2022).

Outra aplicação que demanda grande quantidade de energia da operação em *data center* é o metaverso, que Dwivedi et al. (2022) conceituaram como o recurso tecnológico, que possibilita estender o mundo físico usando tecnologias de realidade aumentada e virtual, permitindo que os usuários interajam em ambientes reais e simulados usando avatares e hologramas.

Existem diferentes pensamentos sobre a contribuição do metaverso para a sustentabilidade, levando-se em consideração de que a sustentabilidade é uma prioridade que está na agenda global, nos âmbitos pessoais, corporativos e governamentais. Por um lado, afirma-se que a aversão ao encontro físico, minimizará a pegada de carbono, reduzindo as viagens de avião, trem e automóveis para reuniões e passeios turísticos. Também aumentaria a produtividade do trabalho, eliminando viagens e outros consumos de recursos relacionados. Outra perspectiva é que o metaverso, juntamente com o aumento do uso de *token* não fungível (NFTs) e o crescimento da base de usuários, envolverá alto poder computacional e alta velocidade de banda larga. Isso aumentará o consumo de energia, principalmente de fontes não renováveis (DWIVEDI et al., 2022).

A eficiência energética deve ser seriamente considerada para esses dispositivos que suportam inúmeras demandas de fluxo de rede em tempo real (WANG et al., 2022). As métricas de avaliação de eficiência energética são consideradas um método eficaz para avaliar a eficiência energética de *data centers* e têm sido amplamente utilizadas por muitos anos (SHAO et al., 2022).

A métrica *Power Usage Effectiveness* (PUE) foi introduzida em 2006 por Malone e Belady (2006). The Green Grid, uma organização sem fins lucrativos de profissionais de TI, que fornece recomendações sobre práticas, métricas e tecnologias projetadas para melhorar a eficiência geral de *data centers*, recomendou o uso da métrica (The Green Grid, 2007). Essa medida tornou-se a métrica mais comumente

usada para relatar a eficiência energética de *data centers* (BRADY et al., 2013).

O índice de eficiência no uso de energia ou PUE é a relação entre o consumo geral de energia do *data center* e o consumo dos equipamentos de TI (MALONE; BELADY, 2006), conforme mostrado na Equação 1. Quanto mais próximo o PUE estiver de 1, maior será a eficiência do *data center* (CHOI et al., 2022):

$$\text{PUE} = (\text{Energia total consumida pelo } \textit{data center}) / (\text{Consumo de energia dos equipamentos de TI})$$
  
(Equação 1)

Para atingir um PUE baixo, a economia de energia no sistema de refrigeração é essencial. Para reduzir a energia do sistema de resfriamento, várias tecnologias de última geração estão sendo aplicadas a *data centers* recém-construídos. No entanto, aumentar a eficiência energética dos *data centers* existentes é difícil porque as características do *data center* são difíceis de remodelar (CHOI et al., 2022).

### 3 MÉTODO

Pesquisa descritiva, por meio de abordagem qualitativa e utilizando análise de conteúdo (BARDIN, 2009). A revisão de literatura é uma característica de uma pesquisa acadêmica (WEBSTER; WATSON, 2002) e é um recurso importante de qualquer projeto de pesquisa (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

Foram realizadas pesquisas na base de dados *ScienceDirect* utilizando-se as palavras “*energy efficiency and data center*” referentes ao período 2012-2022. Essa base foi escolhida por ter periódicos relevantes, classificados no extrato Qualis A1 (2013-2016) da Plataforma Sucupira da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, 2022), alto fator de impacto, como, por exemplo *Applied Energy* (11.446), *Energy* (8.857), *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (16.799) entre outros, e, também, por facilidade de acesso. A pesquisa foi realizada em agosto de 2022.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados na pesquisa da base *ScienceDirect* 75 artigos referentes às palavras “*energy efficiency and data center*” no período 2012-2022. O ano de 2022, até a data pesquisada, apresentou a quantidade de 32 artigos, isto é, 42,7% dos artigos publicados e no ano de 2021 foram publicados 13 artigos (17,3%), o que mostra o aumento dos interesses acadêmicos sobre o tema dentro da base pesquisada.

Serão apresentados a seguir alguns dos principais resultados dos artigos mais recentes referentes aos modelos e formas propostas para a redução do consumo de energia em *data centers*.

Várias estratégias foram propostas para reduzir o consumo de energia dos sistemas de refrigeração de *data centers* e geralmente podem ser divididas em abordagens de *hardware* ou *software*. Essas estratégias sugerem arranjo eficiente de equipamentos de TI e sistemas de refrigeração, uso de sistemas

de contenção, introdução de equipamentos de TI e sistemas de refrigeração de alta eficiência, melhoria da sistemas de distribuição de fluxo de ar e utilização do ar externo usando o modo econômico (CHOI et al., 2022). Ma e Ding (2022) também citaram que os dispositivos de refrigeração e de TI são os principais dispositivos de consumo de energia do *data center*. Os autores propuseram um método para avaliação do consumo de energia de *data center* de computação em nuvem baseado no mecanismo de aprendizado por reforço e utilizaram o *Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm* para otimizar o modelo.

Outra estratégia é o uso de fontes de energia renováveis e o aproveitamento dessas fontes localmente, como, por exemplo energia solar e eólica, pois oferecem amplas oportunidades no desenvolvimento de *data centers* ecologicamente corretos e energeticamente eficientes (PENG et al., 2022). Note-se que a energia solar fotovoltaica tornou-se uma das formas mais empregada de geração de eletricidade renovável no mundo (SANTOS; BRITO; SHIBAO, 2022). Dessa forma, para fins de conservação de energia e redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), os *data centers* podem usar energia renovável para substituir a energia baseada em combustível fóssil. Como a maioria das fontes de energia renovável, são intermitentes, instáveis e imprevisíveis, usar a energia renovável para alimentar *data centers* é particularmente desafiador. Para corrigir esses problemas, diferentes tipos de tecnologias de armazenamento de energia serão necessários para manter a estabilidade do fornecimento de energia (CHEN et al., 2022).

Por outro lado Mahbod et al. (2022) citaram que o principal contribuinte para a economia de energia em um *data center* é a redução do uso do ventilador do servidor e não a redução do consumo de energia de resfriamento. Para reduzir o consumo de energia de resfriamento, recomenda-se que os *data centers* aumentem os pontos de ajuste de temperatura de entrada do servidor. No entanto, em climas tropicais, os operadores de *data centers* têm a necessidade de operarem em temperaturas mais baixas (MAHBOD et al., 2022).

Para Wang et al. (2022) a conservação de energia da rede pode ser alcançada otimizando o roteamento e o agendamento de fluxo com reconhecimento de energia, visando desligar o maior número possível de dispositivos de rede ociosos e com pouca carga.

Os *data centers* existentes precisam ser adaptados para reduzir o custo do consumo de energia dos sistemas de refrigeração e ventilação para poder atingir zero emissões líquidas. A distribuição térmica em *data centers* demonstraram que a eficiência do resfriamento é principalmente associado com a distribuição do fluxo de ar e a estrutura térmica resultante (KUZAY et al., 2022). Essa afirmação é corroborada por Jin, Bai e Yang (2019) que citaram que o fluxo do ar é crucial para *data centers* refrigerados a ar, pois o caminho do fluxo e a distribuição influencia o ambiente térmico e a eficiência energética de *data centers* de piso elevado.

An e Ma (2022) sugeriram que a modelagem do consumo de energia do *data center* é a base para realizar o gerenciamento eficiente de energia e participar da integração de sistemas de energia. No entanto,

os métodos de modelagem estática existentes são difíceis de analisar o problema do consumo de energia em tempo real e as características de transferência de calor do *data center*. Para resolver esses problemas, recomendaram utilizar um modelo de consumo de energia acoplado dinâmico incluindo os dispositivos de TI e os dispositivos de refrigeração.

Para superar os desafios dos impactos ambientais, custos e necessidade crescente de energia, o *data center* precisa integrar tecnologias de alta eficiência e ecologicamente corretas para solucionar esses problemas. O sistema combinado de resfriamento, aquecimento e energia refere-se à geração síncrona de eletricidade e energia para aquecimento e resfriamento por meio da conversão de várias energias, que pode resolver muitos dos desafios do *data center* (TIAN et al., 2021).

Outra abordagem foi proposta por Chkirbene et al. (2018), considerando-se que os dispositivos de rede de TI são projetados para o caso de utilização total da rede mas raramente é atingida. Consequentemente, muitos dispositivos são colocados em estado ocioso e causando um enorme desperdício de energia. Os autores propuseram controlar dinamicamente o número de *links* de comunicação ativos, desligando e ligando portas da rede (portas de *switch* e portas de nós) reduzindo o consumo de energia.

Assim, para controlar e melhorar a eficiência, Shao et al. (2022) apresentaram um estudo da revisão das métricas de avaliação de eficiência energética de *data centers* e as classificaram de acordo com suas ênfases. As vantagens, escopo de aplicação, correlações e limitações de cada métrica foram analisadas qualitativamente para avaliar suas funções na melhoria da eficiência energética nos *data centers*.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo da pesquisa foi responder a questão de pesquisa: quais são as soluções apresentadas pelos pesquisadores para a melhoria da eficiência energética em *data centers*? Para isso foi verificado na literatura acadêmica os artigos publicados sobre eficiência energética.

As pesquisas apresentaram diversas sugestões para redução do consumo de energia e também dos impactos ambientais em *data centers*, como, por exemplo: redução do uso do ventilador do servidor; uso dos sistemas de refrigeração e ventilação; barramentos CC supercondutores de alta temperatura; algoritmo para minimizar o alto consumo de energia; algoritmo dinâmico de agendamento de tarefas *online*; modelo de consumo de energia dinâmico acoplado incluindo dispositivos de TI e de refrigeração; melhorar a distribuição do fluxo de ar; sistema combinado de resfriamento, aquecimento e energia; sistema de resfriamento de tubo de calor integrado; uso de energias renováveis; desligando e ligando portas da rede; métricas para avaliação energética, entre outras.

A demanda para reduzir o consumo de energia do *data center* tem aumentado. Novos *data centers* que incorporam tecnologias mais recentes podem atingir uma melhor eficiência do uso de energia, mas para melhorar a eficiência energética de um *data center* existente, é necessário um método de economia

de energia que seja simples de aplicar e utilize os recursos fornecidos da maneira mais eficiente possível (CHOI et al., 2022).

A indústria de *data centers* é responsável pelo desenvolvimento de padrões de avaliação de eficiência energética. A eficiência energética foi aprimorada até certo ponto graças aos esforços combinados de várias partes interessadas. No entanto, operadores de *data centers*, tomadores de decisão e acadêmicos devem manter seus esforços diante do aumento do uso de energia. No futuro deve-se esforçar mais em modelagem de eficiência energética, tecnologias de economia de energia, promoção de critérios de avaliação de eficiência energética e utilização de recursos renováveis para criar *data centers* verdes mais sustentáveis (LONG et al., 2022).

Rteil et al. (2022) advertiram que ao executar um programa de atualização, é importante realizar pesquisas sobre quais máquinas estão tendo o pior desempenho, quais soluções estão disponíveis para substituição e quais são as projeções de custo e energia para isso. Compreender as propriedades de cada servidor, medir o desempenho e comparar com um banco de dados completo de marcas e modelos independentemente de fornecedor, é essencial para os resultados finais e também para reduzir o impacto ambiental.

Uma contribuição prática desta pesquisa é a divulgação de processos sobre as possíveis melhorias de controle de consumo de energia por meio, por exemplo, de métricas; de atualização de métodos e *design*; de integração de tecnologias e contribuindo também na redução dos impactos ambientais. Segundo Shao et al. (2022) o desenvolvimento verde dos *data centers* se tornou uma tendência inevitável e os gestores poderão selecionar as métricas apropriadas de acordo com as diferentes funções para otimizar o *design*.

Portanto verifica-se que o caminho para projetar e construir *data centers* que consumam pouca energia e tenham nenhum ou pouco impacto ambiental ainda é muito longo e dependerá de muitas investigações pois as pesquisas mostraram que os *data centers* continuarão em expansão causados pelo crescimento da demanda e com o conseqüente aumento de consumo de energia, proporcionando um vasto campo para pesquisas e desenvolvimentos tanto na academia quanto na indústria.

Os resultados apresentados são limitados pois foi utilizada somente uma base de dados (*ScienceDirect*) restringindo as conclusões aqui descritas. Sugere-se para as próximas pesquisas a utilização de outras bases e sejam comparadas com os resultados aqui encontrados.



## REFERÊNCIAS

- AN, H.; MA, X. Dynamic coupling real-time energy consumption modeling for data centers. *Energy Reports*, v. 8, sup. 10, p. 1184-1192, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.085>.
- ARSHAD, U. et al. Utilizing power consumption and SLA violations using dynamic VM consolidation in cloud data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 167, 112782, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112782>.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*, (5a ed.). Lisboa: Edições 70. Lda, 2009.
- BASHROUSH, R. et al. Optimizing server refresh cycles: the case for circular economy with an aging Moore's Law. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, v. 7, n.1, p.189-200, 2022. <https://doi.org/10.1109/TSUSC.2020.3035234>
- BRADY, G. A. et al. A case study and critical assessment in calculating power usage effectiveness for a data centre. *Energy Conversion and Management*, v. 76, p. 155-161, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.035>.
- CAPES - COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. (2022). *Plataforma Sucupira*. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>>. Acesso em: 16 Ago. 2022.
- CHEN, X. et al. A 10 MW class data center with ultra-dense high-efficiency energy distribution: Design and economic evaluation of superconducting DC busbar networks. *Energy*, v. 250, 123820, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123820>.
- CHKIRBENE, Z. et al. Efficient techniques for energy saving in data center networks. *Computer Communications*, v. 129, p. 111-124, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2018.07.025>.
- CHOI, Y. J. et al. Development of an adaptive artificial neural network model and optimal control algorithm for a data center cyber-physical system. *Building and Environment*, v. 210, 108704, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108704>.
- DWIVEDI, Y. K. et al. Metaverse beyond the hype: multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, v. 66, 102542, p. 1-55, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>.
- GUO, C. et al. Energy management of internet data centers in multiple local energy markets. *Electric Power Systems Research*, v. 205, 107760, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107760>.
- JIN, C.; BAI, X.; YANG, C. Effects of airflow on the thermal environment and energy efficiency in raised-floor data centers: A review. *Science of The Total Environment*, v. 695, 133801, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133801>.
- KUZAY, M. et al. Retrofitting of an air-cooled data center for energy efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 36, 102228, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102228>.
- LI, X. et al. Energy-aware cloud workflow applications scheduling with geo-distributed data. *IEEE Transactions on Services Computing*, v. 15, n. 2, p. 891-903, 2022. <https://doi.org/10.1109/TSC.2020.2965106>.
- LIU, Y. et al. Energy consumption and emission mitigation prediction based on data center traffic and PUE for global data center. *Global Energy Interconnection*, v. 3, n. 3, p. 272-282, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gloi.2020.07.008>.
- LONG, S. et al. A review of energy efficiency evaluation technologies in cloud data centers. *Energy and Buildings*, v. 260, 111848, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111848>.
- MA, H.; DING, A. Method for evaluation on energy consumption of cloud computing data center based on deep reinforcement learning. *Electric Power Systems Research*, v. 208, 107899, p. 1-7, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.107899>.
- MAHBOD, M. H. B. et al. Energy saving evaluation of an energy efficient data center using a model-free reinforcement learning approach. *Applied Energy*, v. 322, 119392, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119392>.

- MALONE, C.; BELADY, C. Metrics to characterize data center & IT equipment energy use. In: *Proceedings of the Digital Power Forum*. Richardson, TX, USA; 2006.
- MASANET, E. et al. Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, v. 367, n. 6481, p. 984-986, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>.
- MATERWALA, H.; ISMAIL, L. Performance and energy-aware bi-objective tasks scheduling for cloud data centers. *Procedia Computer Science*, v. 197, p. 238-246, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.137>.
- PENG, X. et al. Exploiting renewable energy and UPS systems to reduce power consumption in data centers. *Big Data Research*, v. 27, 100306, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100306>.
- REDDY, K. H. K. et al. Towards energy efficient Smart city services: A software defined resource management scheme for data centers. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 35, 100776, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100776>.
- RTEIL, N. et al. Interact: IT infrastructure energy and cost analyzer tool for data centers. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 33, 100618, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100618>.
- SANTOS, M. R.; BRITO, J. L. R; SHIBAO, F. Y. Academic approach on solar photovoltaic energy in Brazil. *Scientific Journal of Applied Social and Clinical Science*, v. 2, n. 21, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.22533/at.ed.2162212220104>.
- SHAO, X. et al. A review of energy efficiency evaluation metrics for data centers. *Energy and Buildings*, v. 271, 112308, p. 1-19, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112308>.
- SYNERGY RESEARCH GROUP. *Pipeline of over 300 new hyperscale Data Centers drives healthy growth forecasts*. Reno, NV, March 23: 2022. Disponível em: <Pipeline of Over 300 New Hyperscale Data Centers Drives Healthy Growth Forecasts | Synergy Research Group (srgresearch.com)>. Acesso em: 16 Ago. 2022.
- SYNERGY RESEARCH GROUP. *Hyperscale Data Center capacity doubles in under four years; the US still accounts for half*. Reno, NV, November 17: 2021 Disponível em: <<https://www.srgresearch.com/articles/as-hyperscale-data-center-capacity-doubles-in-under-four-years-the-us-still-accounts-for-half-of-the-total>>. Acesso em: 16 Ago. 2022.
- THE GREEN GRID. *Green grid metrics: describing datacenter power efficiency*. 2007. Disponível em: <[https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2018/03/Green\\_Grid\\_Metrics.pdf](https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2018/03/Green_Grid_Metrics.pdf)>. Acesso em: 20 Out. 2022.
- TIAN, Q. et al. Robust optimal energy management of data center equipped with multi-energy conversion technologies. *Journal of Cleaner Production*, v. 329, 129616, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129616>.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003. <https://doi.org/10.1111/14678551.00375>.
- WANG, Y. et al. Towards an energy-efficient Data Center Network based on deep reinforcement learning. *Computer Networks*, v. 210, 108939, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108939>.
- WEBSTER, J.; WATSON, R. T. Analyzing the past to prepare for de future: writing a literature review. *MIS Quarterly*, v. 26, n. 2, p. 13-23, 2002.