

A SEDE DOS DATA CENTERS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E OS IMPACTOS NO NORTE E SUL GLOBAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por serviços de Inteligência Artificial (IA) impulsiona uma expansão sem precedentes de sua infraestrutura material: os *data centers*. Apresentados como pilares de uma economia digital moderna, esses complexos tecnológicos escondem um paradoxo central da crise climática contemporânea, pois seu funcionamento depende de um consumo massivo de água e energia (Furtado; Cunha, 2024). Enquanto nações do Norte Global começam a impor restrições à construção de novas instalações devido à pressão sobre suas redes elétricas e hídricas (Bryan, 2024), observa-se um movimento de transferência desses projetos para o Sul Global, que passa a absorver os impactos socioambientais da revolução digital (Malamud, 2024).

Este fenômeno ganha contornos críticos em localidades como Caucaia/CE, Igaporã/BA, Campo Redondo/RN e Eldorado do Sul/RS, municípios em regiões com histórico de eventos climáticos extremos, entre seca, estiagem e chuvas, que se veem na rota para receberem mega estruturas de processamento de dados. A chegada desses *hubs* de IA é promovida como um vetor de desenvolvimento, mas levanta questionamentos urgentes sobre a gestão de recursos naturais escassos e a soberania local (Martins; Amorim, 2025). A disputa pela água e energia entre as necessidades de uma comunidade e a demanda de uma infraestrutura global coloca em xeque o próprio conceito de progresso sustentável.

Diante do exposto, o presente estudo aborda a seguinte questão de pesquisa: de que forma a expansão de *data centers* para Inteligência Artificial tem sido associada ao consumo de recursos hídricos e energéticos? Com isso, o objetivo do artigo é mapear o conhecimento produzido sobre os impactos hídricos e energéticos de *data centers* de IA para o Norte e Sul Global.

A necessidade desta investigação é reforçada pela própria literatura, que aponta a lacuna da urgência de "enquadramentos teóricos capazes de amparar políticas públicas de monitoramento dos impactos sócioambientais causados por governos e empresas estrangeiros sobre territórios e suas populações no Sul Global" (Furtado; Cunha, 2024, p. 1).

A justificativa para este estudo reside na necessidade de avaliar criticamente as políticas de atração de investimentos em tecnologia sob a ótica dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 17) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2025). As metas da ONU para parcerias globais (17.6 e 17.7) incentivam a disseminação de tecnologias ambientalmente corretas em condições favoráveis e mutuamente acordadas. A instalação de uma indústria de alta demanda hídrica, no Sul Global, pode contradizer esse ideal, sugerindo que, em vez de uma parceria justa, perpetua-se uma lógica de colonialismo digital, na qual o Sul Global arca com os custos ambientais para sustentar a expansão tecnológica do Norte (Furtado; Cunha, 2024). A expansão de *data centers* em territórios do Sul Global evidencia não uma cooperação horizontal, mas sim uma dinâmica de dependência e exploração ao deslocar os impactos ambientais e sociais da infraestrutura tecnológica para regiões periféricas, sem que haja necessariamente mecanismos compensatórios ou uma partilha justa dos benefícios econômicos (Furtado; Cunha, 2024). Assim, em vez de promover a difusão de tecnologias ambientalmente sustentáveis em condições mutuamente vantajosas, o que se observa é a reprodução de padrões históricos de desigualdade, onde o Sul Global fornece recursos naturais e suporte territorial, enquanto o Norte Global captura os maiores dividendos da economia digital. Posto isso, construiu-se este trabalho em uma perspectiva de análise sistemática da literatura sobre o tema exposto.

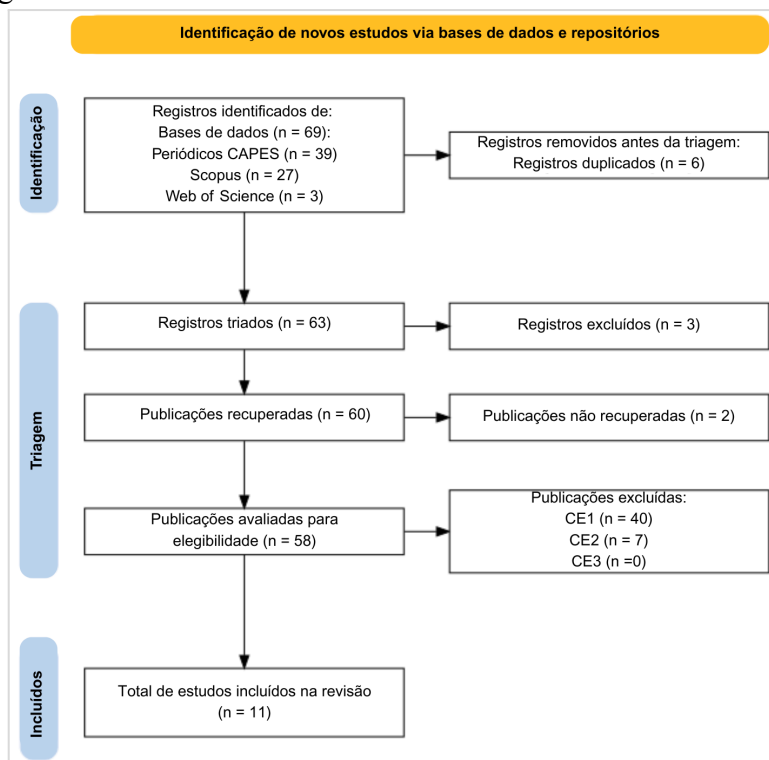
2 PERCURSO METODOLÓGICO

Esta pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e de cunho exploratório (Zamberlan, 2016), utilizando como procedimento metodológico a Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Empregou-se o método PRISMA: *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Page *et al.*, 2022), escolhido por fornecer uma estrutura robusta e transparente que garante a replicabilidade e a clareza no mapeamento e avaliação do campo de conhecimento.

A revisão foi executada entre julho e agosto de 2025. A busca pelos artigos ocorreu nas bases de dados internacionais *Scopus* e *Web of Science (WoS)*, escolhidas pela precisão de seus mecanismos de busca e pela sua relevância na área da Sustentabilidade. Foi utilizada a seguinte *string* de busca (vasculhando em título, resumo e palavras-chave): *(("data center*" AND ("artificial intelligence*" OR "AI") AND ("water" OR "energ*") AND ("water expenditure*" OR "water expense*" OR "water cost*" OR "water waste*" OR "water consumption*" OR "water wear*" OR "water consumption*" OR "water expenditure*" OR "water absorption*"))*). Também optou-se por buscas com os termos em português e inglês no Portal Periódicos CAPES para abranger pesquisas nacionais. O recorte temporal abarcou publicações dos últimos 6 anos (2020 a 2025), considerando artigos de periódicos, de conferência e de revisão, checados por pares, para analisar o atual estado da arte.

Para dinamizar a triagem dos estudos, dois pesquisadores utilizaram a plataforma *Rayyan*© que, em concordância com o método PRISMA, viabilizou a aplicação de seleção dupla-cega dos critérios de elegibilidade pelos pares nos artigos analisados, a seguir observa-se o fluxograma de revisão pelo protocolo PRISMA:

Figura 1 - Fluxograma da Revisão Sistemática de Literatura PRISMA



Fonte: Elaboradas pelos autores usando *software* em R de Haddaway, Page, Pritchard e McGuinness (2022).

Os critérios de inclusão (CI) definidos para a seleção dos artigos foram: (CI1) Artigos que abordam simultaneamente os temas de *data centers* e Inteligência Artificial; (CI2) Artigos que discutem explicitamente o consumo ou o impacto no uso de recursos hídricos

e/ou energéticos no meio ambiente; e **(CI3)** Artigos cujo escopo de análise seja o Norte ou Sul Global ou que apresentem uma discussão geopolítica ou comparativa diretamente aplicável a este contexto de sustentabilidade. Já, os critérios de exclusão **(CE)** foram: **(CE1)** Artigos com foco estritamente técnico em otimização de *hardware*, algoritmos ou gerenciamento de máquinas virtuais, sem uma análise do impacto ambiental agregado; **(CE2)** Artigos que não analisam o consumo de água e energia em *data centers*; e **(CE3)** Outros documentos que não se caracterizam como artigos de pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A meta-síntese dos 11 artigos selecionados (sumarizados no Quadro 1) revela um campo de estudo marcado por uma dualidade de abordagens. De um lado, uma vertente significativa da literatura, exemplificada por Lei *et al.* (2025) e Zhou *et al.* (2025), concentra-se na dimensão técnico-eficientista, tratando o consumo de recursos como um desafio de engenharia a ser otimizado através de melhores sistemas de resfriamento ou métricas de uso de água. Essa perspectiva é complementada por Park, Han e Lee (2023), que analisam os ganhos de eficiência energética pelo lado do usuário de serviços em nuvem, argumentando que a migração para a nuvem pode levar a uma economia de energia para as empresas clientes. Nessa mesma linha, o estudo de caso de Jerléus, Ibrahim e Augustsson (2024) na Suécia avança ao propor uma ferramenta de planejamento multicritério para avaliar a adequação de locais para novos *data centers*, considerando fatores como acesso a energia renovável e condições de resfriamento gratuito. Embora relevantes, esses estudos frequentemente se baseiam em contextos do Norte Global ou da Ásia e tendem a não questionar o modelo de expansão contínua da infraestrutura digital, focando no como otimizar, em vez de no onde ou para quem.

Quadro 1 – *Framework* de Síntese das Abordagens da Literatura Analisada

Critério de Análise	Foco Principal	Temas Centrais	Desafios Apontados	Benefícios Apontados	Artigos Representativos
Vertente Crítica Socioambiental e Geopolítica	Analisa onde, o porquê e para quem a infraestrutura é desenvolvida, com ênfase em justiça ambiental, soberania e relações de poder.	Colonialismo digital, Externalização de impactos, Fronteiras globais, Ciclo de vida do <i>hardware</i> (extração ao descarte), Políticas públicas e Regulação.	Aprofundamento das desigualdades Norte-Sul, conflitos por recursos escassos, degradação de ecossistemas, perda de soberania, <i>greenwashing</i> corporativo.	Cético: aponta potencial de desenvolvimento apenas sob condições de governança justa e regulação estrita.	Furtado; Cunha, 2024; Malamud, 2024; Falk; Van Wynsberghe; Biber-Freudenberg, 2024; Soares; Yarime; Klemun, 2024; Jue, 2023; Shi <i>et al.</i> , 2025; Kumar; Ghosh; Choudhary, 2025.
Vertente Técnico-Eficientista	Analisa como otimizar a infraestrutura existente, com ênfase em eficiência de recursos, métricas de desempenho e redução de custos operacionais.	Eficiência energética, Eficiência hídrica, Otimização de sistemas de resfriamento, Análise de custo-benefício, Modelagem e simulação, Adequação de local (<i>Site Suitability</i>).	Consumo excessivo de recursos como uma falha técnica, ineficiências operacionais, custos elevados de energia e água, localização inadequada de infraestruturas.	Redução de custos para empresas, ganhos de eficiência energética para o usuário final, otimização de processos produtivos.	Lei <i>et al.</i> , 2025; Zhou <i>et al.</i> , 2025; Park; Han; Lee, 2023; Jerléus; Ibrahim; Augustsson, 2024.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em contraposição, uma vertente crítica emergente investiga a dimensão geopolítica e socioambiental dessa expansão. Artigos como os de Furtado e Cunha (2024) e Malamud (2024) - analisando o contexto de países como Brasil, Chile, Argentina e Uruguai - são centrais ao enquadrarem a instalação de *data centers* no Sul Global como uma manifestação de colonialismo digital e uma exportação de crises hídricas. Em particular, Furtado e Cunha (2024) levantam o debate da soberania nacional e autodeterminação dos povos, entrelaçando e defendendo o conceito da soberania permanente sobre recursos naturais com a ideia da soberania digital, em consonância, por exemplo, com os princípios fundamentais que estruturam o Estado brasileiro, suas relações internacionais e relações com recursos naturais (Brasil, 1988, art. 1º, I; art. 4º, I e III; art. 20, III; art. 176, *caput*).

A dinâmica do colonialismo digital e crises hídricas e energéticas também é explicada pelas próprias políticas do Norte: a análise de Soares, Yarime e Klemun (2024) sobre as moratórias e restrições em *hubs* europeus e em Singapura demonstra como a pressão regulatória nesses locais impulsiona a migração dos impactos para territórios com regulamentação mais frouxa. A base material dessa transferência desigual é detalhada por Falk, Van Wynsberghe e Biber-Freudenberger (2024), que, utilizando o conceito de fronteiras globais, mostram como o ciclo de vida do *hardware* — da extração mineral ao lixo eletrônico — sobrecarrega desproporcionalmente o Sul Global, enquanto os benefícios da IA permanecem no Norte.

Finalmente, a meta-síntese aponta para um paradoxo fundamental relacionado à solução pela via tecnológica e à falta de transparência da indústria. Diversos autores criticam a narrativa de que a própria IA seria a solução para os problemas de sustentabilidade que ela agrava (Jue, 2023). A revisão sistemática de Kumar, Ghosh e Choudhary (2025) reforça essa crítica ao concluir que a trajetória atual da IA apresenta uma pegada de carbono líquida positiva. Este paradoxo é sustentado pela opacidade do setor, um tema transversal na literatura. Falk, Van Wynsberghe e Biber-Freudenberger (2024) destacam o problema de atribuição dos custos ambientais a uma indústria percebida como imaterial, enquanto Shi *et al.* (2025) apontam para a falta de padronização e a necessidade de uma avaliação geograficamente consciente que exponha as disparidades regionais. A ausência de dados transparentes e auditáveis sobre o consumo real de água e energia permite a proliferação de discursos de *greenwashing*, que mascaram os verdadeiros custos socioambientais e a distribuição desigual da “sede” da Inteligência Artificial.

4 CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática permitiu mapear como a expansão dos *data centers* de IA está associada ao consumo de recursos hídricos e energéticos, concluindo que o tema é abordado sob duas óticas distintas e complementares: uma técnico-eficientista, predominante no Norte Global, e outra crítica, focada nos conflitos socioambientais e na soberania do Sul Global. A pesquisa responde à questão central ao demonstrar que a literatura confirma a existência de uma sede material e geopolítica por trás da infraestrutura da IA, cujos custos são distribuídos de forma desigual, reforçando as dinâmicas de um colonialismo digital. A síntese dos resultados indica que, enquanto a primeira vertente busca otimizar um sistema cuja expansão não é questionada, a segunda problematiza a própria lógica dessa expansão e seus impactos assimétricos.

A principal contribuição deste artigo é a sistematização de um campo de estudo emergente, conectando a dimensão material (consumo de água e energia) com a dimensão geopolítica (relações entre Norte e Sul Global), oferecendo um panorama coeso que pode guiar futuras investigações. No entanto, o estudo possui limitações inerentes: o número reduzido de artigos selecionados que atendem a todos os critérios de elegibilidade indica a

escassez de pesquisas que integram essas duas dimensões de forma explícita. Não foi possível acesso para análise de 03 artigos que estavam no escopo da pesquisa, conforme deliberação dos pesquisadores, por estarem em bases de dados restritas. Também se identificou uma baixa representatividade de estudos de caso primários e empíricos no Sul Global, fazendo com que grande parte da discussão crítica ainda se baseie em análises teóricas ou extrapolações de dados do Norte.

Para pesquisas futuras, recomenda-se que se aprofundem em estudos de caso empíricos em localidades do Sul Global destinadas a receber *data centers*, como as citadas neste artigo, a fim de quantificar os impactos locais. Sugere-se também a realização de análises comparativas das políticas regulatórias sobre o consumo de água e energia por *data centers* entre diferentes países, para identificar modelos de governança mais justos. Desse modo, são necessárias investigações que mensurem os efeitos dessas infraestruturas na segurança hídrica e energética das comunidades do entorno, sobretudo em áreas que estão em fragilidade climática. Tais estudos são cruciais para subsidiar políticas públicas que alinhem o inevitável avanço tecnológico à justiça ambiental e à soberania nacional, conforme preconiza o ODS 17.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF:

Presidência da República, 1988. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 31 ago. 2025.

BRYAN, Kenza. Centros de dados sofrem restrições à medida que pressão aumenta em redes elétricas. Folha de S.Paulo, 14 fev. 2024. Tec. Disponível em:

<https://www1.folha.uol.com.br/tec/2024/02/centros-de-dados-sofrem-restricoes-a-medida-que-pressao-aumenta-em-redes-eletricas.shtml>. Acesso em: 27 ago. 2025.

FALK, Sophia; VAN WYNSBERGHE, Aimee; BIBER-FREUDENBERGER, Lisa. The attribution problem of a seemingly intangible industry. **Environmental Challenges**, v. 16, p. 101003, 2024. DOI: 10.1016/j.envc.2024.101003.

FURTADO, Renato Guimarães; CUNHA, Simone Evangelista. Inteligência artificial, *data centers* e colonialismo digital: Impactos socioambientais e geopolíticos a partir do Sul Global. **Liinc em Revista**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, e7272, nov. 2024. DOI: 10.18617/liinc.v20i2.7272.

HADDAWAY, N. R. *et al.* PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. **Campbell Systematic Reviews**, v. 18, e1230, 2022. DOI: 10.1002/cl2.1230.

JERLÉUS, Kim; IBRAHIM, Muhammad Asim; AUGUSTSSON, Anna. Environmental footprints of the data center service sector in Sweden. **Heliyon**, v. 10, n. 11, e31290, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e31290.

JUE, Melody. The Many Ecologies of AI. **American Literature**, v. 95, n. 2, p. 337-349, jun. 2023. DOI: 10.1215/00029831-10575119.

KUMAR, Neeraj; GHOSH, Arindam; CHOUDHARY, Pooja. Does Artificial Intelligence Contribute To Carbon Emission? - A Systematic Review. **International Journal of Environmental Sciences**, v. 11, n. 4, p. 1764-1774, 2025.

LEI, Nuo *et al.* The water use of data center workloads: A review and assessment of key determinants. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 219, p. 108310, 2025. DOI: 10.1016/j.resconrec.2025.108310.

MALAMUD, Marina. AI Hub in Latin America Skyrockets Water Crises. **Middle Atlantic Review of Latin American Studies**, v. 8, n. 1, p. 42-47, 2024. DOI: 10.23870/marlas.467.

MARTINS, Laís; AMORIM, Francisco. TikTok quer construir data center em cidade que sofre com a seca no Ceará. *The Intercept Brasil*, 22 maio 2025. Disponível em: <https://www.intercept.com.br/2025/05/22/tiktok-data-center-cidade-seca-no-ceara/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável. [s. l.], 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/17>. Acesso em: 27 ago. 2025.

PAGE, Matthew J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 31, n. 2, e2022107, 2022. DOI: 10.5123/S1679-49742022000200033.

PARK, Jiyong; HAN, Kunsoo; LEE, Byungtae. Green Cloud? An Empirical Analysis of Cloud Computing and Energy Efficiency. **Management Science**, v. 69, n. 3, p. 1639-1664, mar. 2023. DOI: 10.1287/mnsc.2022.4442.

SHI, Meilin *et al.* Geography for AI sustainability and sustainability for GeoAI. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 52, n. 4, p. 331-349, 2025. DOI: 10.1080/15230406.2025.2479796

SOARES, Ian Varela; YARIME, Masaru; KLEMUN, Magdalena M. Balancing the trade-off between data center development and its environmental impacts: A comparative analysis of Data Center Policymaking in Singapore, Netherlands, Ireland, Germany, USA, and the UK. **Environmental Science & Policy**, v. 157, p. 103769, 2024. DOI: 10.1016/j.envsci.2024.103769.

ZAMBERLAN, Loni. *Pesquisa em ciências sociais aplicadas*. Ijuí: Editora Unijuí, 2016.

ZHOU, Yongcheng *et al.* Sustainability of direct air-side free cooling data centers in China: An assessment based on operational optimization. **Applied Thermal Engineering**, v. 273, p. 126462, 2025. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126462.