

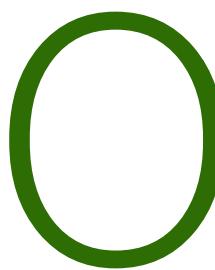


ARTIGO

O DILEMA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS DIANTE DA AÇÃO CLIMÁTICA E DA AGENDA 2030 DA ONU

POR

Raimundo José de Araújo Macêdo
macedo@ufba.br



ano de 2024 foi o mais quente já registrado, superando todos os anteriores em termos de temperatura média global. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a temperatura média global ficou cerca de 1,55 °C acima dos níveis pré-industriais. Os últimos dez anos (2015–2024) estão entre os mais quentes da história, evidenciando uma tendência clara de aquecimento global [1].

O aquecimento global tem provocado consequências graves, como o derreti-

mento de geleiras e calotas polares, a elevação do nível do mar e alterações nos padrões climáticos – incluindo ondas de calor, secas, enchentes e tempestades mais frequentes e intensas. Tais fenômenos têm impactos diretos sobre a vida humana, com ameaças à segurança alimentar, escassez de água, aumento dos riscos à saúde e instabilidades econômicas [2].

No Brasil, por exemplo, em 2024 enfrentamos secas severas na Amazônia e no Pantanal, ondas de calor extremas e chuvas torrenciais que causaram inundações catastróficas, especialmente no

estado do Rio Grande do Sul. Já em 2025, a região do Semiárido brasileiro continua sofrendo com estiagens prolongadas, expansão da área semiárida e degradação das terras. No mesmo período, também foram registrados recordes de baixas temperaturas no sul do país. Enquanto escrevo este artigo, chegam notícias de enchentes sem precedentes no Texas, Estados Unidos. Fenômenos similares têm ocorrido em todo o planeta.

Diante desse cenário alarmante, **qual é o papel das tecnologias digitais?**

De um lado, a transformação digital tem se consolidado como um dos principais vetores de mudança do nosso tempo. Tecnologias da computação estão cada vez mais presentes em setores estratégicos como transporte, saúde, agricultura, sistemas de energia e infraestrutura urbana. Essa integração oferece um enorme potencial para acelerar soluções sustentáveis – como o monitoramento climático em tempo real, o uso eficiente de recursos, a agricultura de precisão e a gestão inteligente de cidades.

Por outro lado, há uma dualidade inerente ao avanço digital: ele pode ser solução ou ameaça ambiental, conforme sua implementação. O alto consumo energético de centros de dados, a rápida obsolescência de dispositivos e o crescente volume de lixo eletrônico, além da extração intensiva de minerais, podem agravar ainda mais os impactos ambientais e sociais da crise climática.

Temos, aqui, um dilema essencial do nosso tempo: **a tecnologia digital pode tanto promover quanto comprometer a**

sustentabilidade, e cabe à sociedade – governos, empresas e cidadãos – tomar decisões conscientes sobre como orientar seu uso.

É nesse contexto que se insere a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, lançada em 2015 pelas Nações Unidas [3]. O documento “Transformando Nossa Mundo: **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**” propõe os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que formam um plano ao nível global para construir um futuro mais justo, inclusivo e ambientalmente responsável. Esses objetivos abrangem áreas fundamentais como erradicação da pobreza (ODS 1), segurança alimentar (ODS 2), saúde (ODS 3), educação (ODS 4), água potável (ODS 6), energia limpa (ODS 7), trabalho decente (ODS 8), cidades sustentáveis (ODS 11), ação climática (ODS 13), proteção da vida terrestre e marinha (ODS 14 e 15), entre outros.

A **ação climática (ODS 13)** ocupa um lugar central nessa agenda, pois seus desdobramentos afetam diretamente os demais objetivos. A intensificação das mudanças climáticas compromete a segurança alimentar, a saúde pública, o acesso à água, a energia e a estabilidade econômica. Para enfrentar essa realidade, estabeleceu-se uma meta global: **limitar o aquecimento da Terra a bem menos de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços para não ultrapassar 1,5 °C.**

No entanto, os compromissos assumidos pelos países no âmbito do Acordo de Paris – as chamadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) – ainda são insuficientes para alcançar esse objetivo. Mesmo com a implementação

plena das NDCs, projeta-se uma redução de apenas 5,9% nas emissões globais de gases de efeito estufa até 2030, em comparação com 2019 – muito abaixo dos **43% necessários**, conforme indicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) [2]. Pior ainda, sem o cumprimento dos elementos condicionais das NDCs – que dependem de apoio internacional, transferência de tecnologia e capacitação – as emissões globais tendem a aumentar no mesmo período.

A lacuna entre metas e ações concretas mostra que o mundo **não está no caminho para cumprir o ODS 13**, e o tempo para evitar os impactos mais devastadores da crise climática está se esgotando.

Neste cenário, **a transformação digital** precisa ser pensada não apenas como inovação tecnológica, mas como parte integrante da solução para os desafios globais do desenvolvimento sustentável. Utilizada com responsabilidade, ela pode acelerar o progresso em direção a vários ODS – inclusive os relacionados ao clima, à energia, à saúde e à gestão de cidades. Mas se mal conduzida, pode também reforçar desigualdades, ampliar impactos ambientais e comprometer os próprios pilares da sustentabilidade.

Atenta aos desafios da mudança climática, a SBC criou uma força-tarefa para explorar o papel da computação na sustentabilidade ambiental. A força-tarefa se reuniu regularmente de setembro de 2021 a julho de 2022 para discutir esforços nacionais e internacionais, culminando no MANIFESTO “Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente” [4], aprovado na Assembleia Geral da SBC em 2022.



Em artigo publicado na revista Communications of the ACM (CACM), as recomendações do manifesto da SBC são discutidas e reforçadas – desde os princípios fundamentais para o projeto de sistemas computacionais voltados ao meio ambiente, passando pelas tecnologias utilizadas, até a proposição de políticas públicas [5].

Uma das questões centrais é o uso das tecnologias digitais para coletar, analisar e interpretar grandes volumes de dados ambientais. A complexidade desses dados representa um desafio significativo. Dada a sua diversidade de formatos e fontes, destaca-se a necessidade de integração eficiente, o que exige a adoção de princípios computacionais fundamentais tanto para dados quanto para sistemas, como **abertura, interoperabilidade, confidencialidade, integridade, disponibilidade**.

dade e controle de qualidade dos dados.

Tecnologias como **gêmeos digitais, sistemas ciberfísicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), computação de alto desempenho (HPC) e inteligência artificial (IA)** são fundamentais para simulações, coleta de dados em tempo real e análises. A **computação em nuvem** facilita o compartilhamento de dados.

A SBC, por meio do referido Manifesto, propõe cinco ações estratégicas, resumidas a seguir:

- **Política Nacional:** Criar uma política pública integrada para uso de tecnologias digitais no combate às mudanças climáticas, com indicadores regionais, financiamento estratégico, cooperação internacional e um instituto nacional dedicado;
- **Ciência Aberta:** Tornar dados e modelos acessíveis, reutilizáveis e transparentes, seguindo os princípios FAIR e promovendo padrões, governança de dados e sistemas auditáveis;
- **Fórum Transdisciplinar:** Fortalecer a colaboração entre especialistas em tecnologia e meio ambiente, com capacitação, intercâmbio internacional, diretrizes curriculares e uso compartilhado de infraestrutura;
- **Digital Twin Brasil:** Desenvolver uma plataforma nacional baseada em gêmeos digitais para monitorar, simular e prever eventos ambientais em tempo real, com padronização e integração de dados;
- **Modelagem Ambiental:** Melhorar modelos ambientais usando IA explicável, computação verde e métricas



para substituir ou complementar métodos tradicionais com menor impacto e maior eficiência.

Em um esforço complementar ao da SBC e no âmbito internacional, a **Força-Tarefa sobre Mudanças Climáticas e Tecnologias Digitais** foi criada em dezembro de 2022 pela **IFIP (Federação Internacional para o Processamento da Informação)**. Ela concluiu seu trabalho em setembro de 2024 com a publicação de um extenso relatório [6]. Ao longo de quase dois anos, a força-tarefa investigou como as tecnologias digitais podem tanto agravar quanto mitigar os efeitos das mudanças climáticas. O trabalho foi desenvolvido por meio de colaborações em subgrupos e uma pesquisa aplicada às sociedades-membro e aos comitês técnicos da IFIP.

O relatório final da força-tarefa da IFIP está estruturado em duas partes. A primeira discute os conceitos centrais da crise climática e analisa como tecnologias digitais – como sensores, inteligência artificial e análise de dados – podem

apoiar estratégias de mitigação e adaptação. A segunda parte traz **recomendações práticas direcionadas a diversos atores sociais**, incluindo indivíduos, governos, setor produtivo, instituições de ensino e organizações de TIC, destacando especialmente o papel da **educação e da conscientização pública** como elementos cruciais para a transformação sustentável. Entre os principais pontos estão: **adoção de práticas digitais sustentáveis, incentivo à inovação verde, políticas públicas climáticas, integração do tema ambiental na educação formal e campanhas amplas de mobilização social.**

O foco na educação como vetor de enfrentamento da mudança climática converge diretamente com a criação, pela CAPES, do Fórum “**Impacto da Pós-Graduação Brasileira na Agenda 2030**”. O resultado deste trabalho gerou um livro a ser divulgado na COP30 realizada em Belém, em novembro próximo. O documento tem o objetivo de relatar e propor medidas alinhadas à Agenda 2030 da ONU. Em particular, foram examinados os impactos e contribuições da pós-graduação brasileira para o ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima [7]. O capítulo dedicado ao tema discute os impactos ambientais, econômicos, sociais e culturais, além de estratégias de mitigação e adaptação, destacando a atuação de pesquisadores brasileiros em diferentes

áreas. No mesmo capítulo, são apresentadas também iniciativas de destaque da pós-graduação nacional e propostas **recomendações para a integração ampla e efetiva do tema das mudanças climáticas nos programas de pós-graduação, em todas as áreas do conhecimento**, reforçando o compromisso da educação superior com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

As recomendações citadas ao longo deste artigo, detalhadas em suas respectivas fontes originais, são urgentes, consistentes e tecnicamente bem fundamentadas. Elas oferecem caminhos viáveis para que as tecnologias digitais contribuam efetivamente para a sustentabilidade ambiental e para o enfrentamento das mudanças climáticas. No entanto, sua implementação depende de decisões políticas ambiciosas e de mudanças estruturais que ainda estão aquém do necessário. Sem a imediata tradução dessas propostas em políticas públicas, regulamentações específicas, incentivos à inovação verde e práticas concretas em todos os níveis – do governo à academia, do setor produtivo à sociedade civil –, os avanços permanecerão limitados. **É imperativo que o conhecimento técnico e científico acumulado seja transformado em ação coordenada, intersetorial e urgente, sob o risco de comprometermos não apenas o ODS 13, mas toda a Agenda 2030.**

Referências

1. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Disponível em: <https://wmo.int/>. Acesso em: 9 jul. 2025.
2. THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 9 jul. 2025.
3. UNITED NATIONS. The 2030 Agenda for Sustainable Development. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 9 jul. 2025.
4. SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO (SBC). Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente: Manifesto SBC. Jul. 2022. 18 p. DOI: 10.5753/sbc.rt.2022.07.01.
5. MACÊDO, Raimundo J. de Araújo; PIAS, Marcelo; CLUA, Esteban; AGUIAR, Marilton de; ANDRADE, Pedro R.; SÁ, Alirio de; SANTOS, Eulanda dos; SANTOS, José Campos dos; VINHAS, Lúbia. A Brazilian Perspective on Computing for the Planet's Sustainability. *Communications of the ACM*, New York, v. 68, n. 7, p. 96-101, jul. 2025. DOI: 10.1145/3724498.
6. MACÊDO, Raimundo; PIAS, Marcelo; LIYANAGE, Liwan; COOK, David; MURAYAMA, Yuko et al. Digital Technologies for Environmental Sustainability. In: IFIP GENERAL ASSEMBLY, 2024. IFIP EPUBLICATION, 2024. DOI: 10.52545/2-7
7. ORRICO, Rômulo; MACÊDO, Raimundo; BEZERRA, Augusto; MENDONÇA, Francisco. Destaques de experiências quanto aos impactos das atividades de pós-graduação brasileira no protagonismo do ODS 13 - Mudança no Clima. In: SAMPAIO, C. A. C. et al. (Org.). *Impacto da Pós-Graduação Brasileira na Agenda 2030: Promovendo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, DF: CAPES, 2025. Cap. VI.



RAIMUNDO JOSÉ DE ARAÚJO MACÊDO é Professor Titular da Universidade Federal da Bahia (DCI/IC/UFBA), onde coordena o Laboratório de Sistemas Distribuídos (LaSiD). Ele foi presidente da SBC de 2019 a 2023 e membro do Conselho da IFIP de 2015 a 2021. Macêdo presidiu, junto com Marcelo Pias, a Força-Tarefa da SBC "Digital Twin BR: a computação para o planeta". Ele também presidiu a Força-Tarefa "Digital Technology and Climate Change" da IFIP e é membro do Fórum Impacto da Pós-Graduação Brasileira na Agenda 2030.