

AS ABORDAGENS DE ORGANIZAÇÕES INTERNACIONAIS À QUESTÃO DA TRANSIÇÃO VERDE E DIGITAL

Diset

Diretoria de Estudos e Políticas
Setoriais de Inovação e Infraestrutura

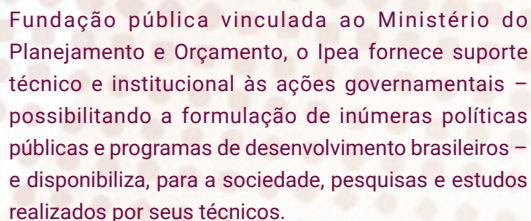
Nº XX

Vitor Marinho
Tulio Chiarini



Janeiro de 2025

Ministério do Planejamento e Orçamento
Ministra Simone Nassar Tebet



© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2025

Vitor Marinho

Pesquisador bolsista na Diset/Ipea. E-mail: vitor.marinho@ipea.gov.br.

Tulio Chiarini

Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) do Ipea.
E-mail: tulio.chiarini@ipea.gov.br.

DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/ntdisetXX-port>

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e ePUB (livros e periódicos). Acesse: <https://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

Como citar:

XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XX Xx
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX).

Sumário

1 INTRODUÇÃO	4
2 NOTA METODOLÓGICA	4
3 A TRANSIÇÃO DUPLA.....	7
4 PONTOS CONVERGENTES ENTRE OS RELATÓRIOS	10
4.1 Coordenação	10
4.2 Incentivo ao engajamento de <i>stakeholder</i>	10
4.3 Apoio à inovação disruptiva.....	11
4.4 Desigualdade e inclusão.....	11
4.5 Mobilização de financiamento sustentável	12
4.6 Desafios	12
4.7 Discussão	15
5 SOLUÇÕES E TECNOLOGIAS DIGITAIS E VERDES PARA A TRANSIÇÃO DUPLA.....	16
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
REFERÊNCIAS	20
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	21
APÊNDICE A.....	22
REFERÊNCIAS	24

INTRODUÇÃO^{1, 2}

O termo *transição dupla* – ou *transição gêmea* – vem ganhando destaque em relatórios de diversos organismos internacionais. De forma geral, a transição dupla combina as chamadas *transição verde* e *transição digital*, o que representa uma abordagem integrada para enfrentar desafios contemporâneos de sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico, especialmente no que diz respeito às novas tecnologias digitais. Essa transição simultânea, ao menos em teoria, busca promover uma economia de baixo carbono, ao mesmo tempo que aproveita as vantagens da digitalização, da “dataficação” e da “plataformização”, com o objetivo de impulsionar a eficiência e a inovação em diversos setores.

Embora ainda não seja amplamente utilizado na academia,³ organizações internacionais têm abordado, com diferentes enfoques, a *transição dupla* em seus relatórios e, por meio destes, têm difundido o termo.

O objetivo desta nota técnica é apresentar as interpretações do termo *transição gêmea* ou *transição dupla* promovidas por organizações internacionais selecionadas, destacando similaridades e nuances. Essas organizações foram escolhidas por sua influência na orientação de políticas públicas globais, ao exercer *soft power* com variados graus de *enforcement* para a implementação de suas recomendações referentes a diferentes órgãos governamentais.

Para atingir seu objetivo, a nota técnica está estruturada em seis seções, incluindo-se esta introdução. Na seção 2, é apresentado o caminho metodológico trilhado, destacando-se quais organizações internacionais e quais relatórios serão analisados. Na seção 3, é revelado o foco principal de cada relatório e uma síntese do termo *transição dupla*, o que sugere haver uma crescente convergência das agendas globais sobre a importância da *transição dupla*, com ênfase em inovação tecnológica, sustentabilidade, inclusão e necessidade de políticas públicas eficazes para lidar com os desafios emergentes. Na seção 4, são apresentados os pontos convergentes entre os relatórios referentes a: i) coordenação; ii) incentivo ao engajamento de *stakeholders*; iii) apoio à inovação disruptiva; iv) desigualdade e inclusão; v) financiamento sustentável; e vi) desafios. Na seção 5, são descritas as principais soluções e tecnologias digitais e verdes relacionadas à *transição dupla* identificadas nos relatórios. Finalmente, são propostas considerações finais na seção 6, destacando-se que a nota técnica oferece uma análise concisa dos pontos convergentes nos relatórios, resume as ações recomendadas por essas entidades internacionais e destaca os desafios associados à *transição dupla* identificados em seus documentos.

2 NOTA METODOLÓGICA

As instituições foram selecionadas por sua influência na formulação de políticas públicas globais, entre estas: Banco Mundial; Fórum Econômico Mundial (FEM) – em inglês, World Economic Forum (WEF); Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE); Joint Research Centre da Comissão Europeia

1. Os autores registram seu agradecimento pela leitura cuidadosa e pelas valiosas sugestões e recomendações dos pareceristas anônimos. Agradecem, igualmente, à equipe do Editorial do Ipea o rigoroso trabalho de revisão gramatical e a atenção dedicada à formatação do texto.

2. Este trabalho integra o projeto A Produção do Futuro, desenvolvido na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea).

3. A busca na Web of Science pelo termo *twin transition* como tópico, limitada a artigos acadêmicos – *twin transition (topic) and article (document type)* –, realizada em 28 de agosto de 2024, resultou em 76 manuscritos. Destes, 40% estão categorizados em *environmental studies* e *environmental science* e 20%, em *economics*. Embora o termo tenha sido mencionado pela primeira vez em 2002, em uma revista especializada em ciência de materiais (Prabaharan *et al.*, 2002), foi apenas a partir de 2021, com o trabalho de Gerlitz e Meyer (2021), que aborda a capacidade de tomada de decisão para a transição ambiental e digital nos ecossistemas de portos pequenos e médios na União Europeia (UE), que este começou a ser associado de maneira consistente à relação entre *sustentabilidade* e *digitalização*. A partir desse ano, o termo passou a ganhar maior relevância na academia com esse novo enfoque. Recentemente Sperotto *et al.* (2024), utilizando a base Scopus, e, a partir dos seguintes termos (“decarboniz*” ou “low-carbon” ou “low carbon” e “digit*”), identificaram 1.220 artigos publicados ou no prelo.

(JRC/CE); diferentes agências da Organização das Nações Unidas (ONU); e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – em inglês, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). A seleção dos relatórios considerou os seguintes critérios:

- abordagem direta: relatórios que mencionam explicitamente o termo *transição gêmea* ou *transição dupla*;
- abordagem indireta: relatórios que, embora não utilizem o termo de forma direta, tratam de temas correlatos e relevantes para a integração das transições digital e verde, como sustentabilidade e uso de recursos naturais; e
- relevância: análise da importância das recomendações para o contexto das políticas públicas.

O quadro 1 apresenta os relatórios relevantes identificados para cada uma das organizações. Ao todo, foram selecionados onze relatórios, todos publicados a partir de 2021, o que reforça a ideia de que o tema está ganhando destaque no contexto dessas instituições.

QUADRO 1

Relatórios identificados (2021-2024)

Organização	Documento	Ano da publicação
Banco Mundial	<i>The Leaders of the Twin Transition in Asia: mapping capabilities through digital and green patents</i>	2023
	<i>Green Data Centers: towards a sustainable digital transformation</i>	2023
	<i>Green Digital Transformation: how to sustainably close the digital divide and harness digital tools for climate action</i>	2024
OCDE	<i>Navigating Green and Digital Transitions: five imperatives for effective STI policy</i>	2023
JRC/CE	<i>Towards a Green and Digital Future: key requirements for successful twin transitions in the European Union</i>	2022
JRC/CE e OCDE	<i>World Corporate Top R&D Investors: paving the way for climate neutrality</i>	2021
UNCTAD	<i>Digital Economy Report 2024: shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future</i>	2024
UNEP	<i>Global Resource Outlook 2024: bend the trend – pathways to a liveable planet as resource use spikes</i>	2024
UNIDO	<i>Industrial Development Report 2024: turning challenges into sustainable solutions – the new era of industrial policy</i>	2024
WGIII/IPCC	<i>Innovation, Technology Development and Transfer</i>	2022
FEM	<i>Digital Transition Framework: an action plan for public-private collaboration</i>	2023

Elaboração dos autores.

Obs.: UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development (Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento); UNEP – United Nations Environment Programme (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA); UNIDO – United Nations Industrial Development Organization (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial); e WGIII – Working Group III – Mitigation of Climate Change (Grupo de Trabalho III – Mitigação da Mudança do Clima).

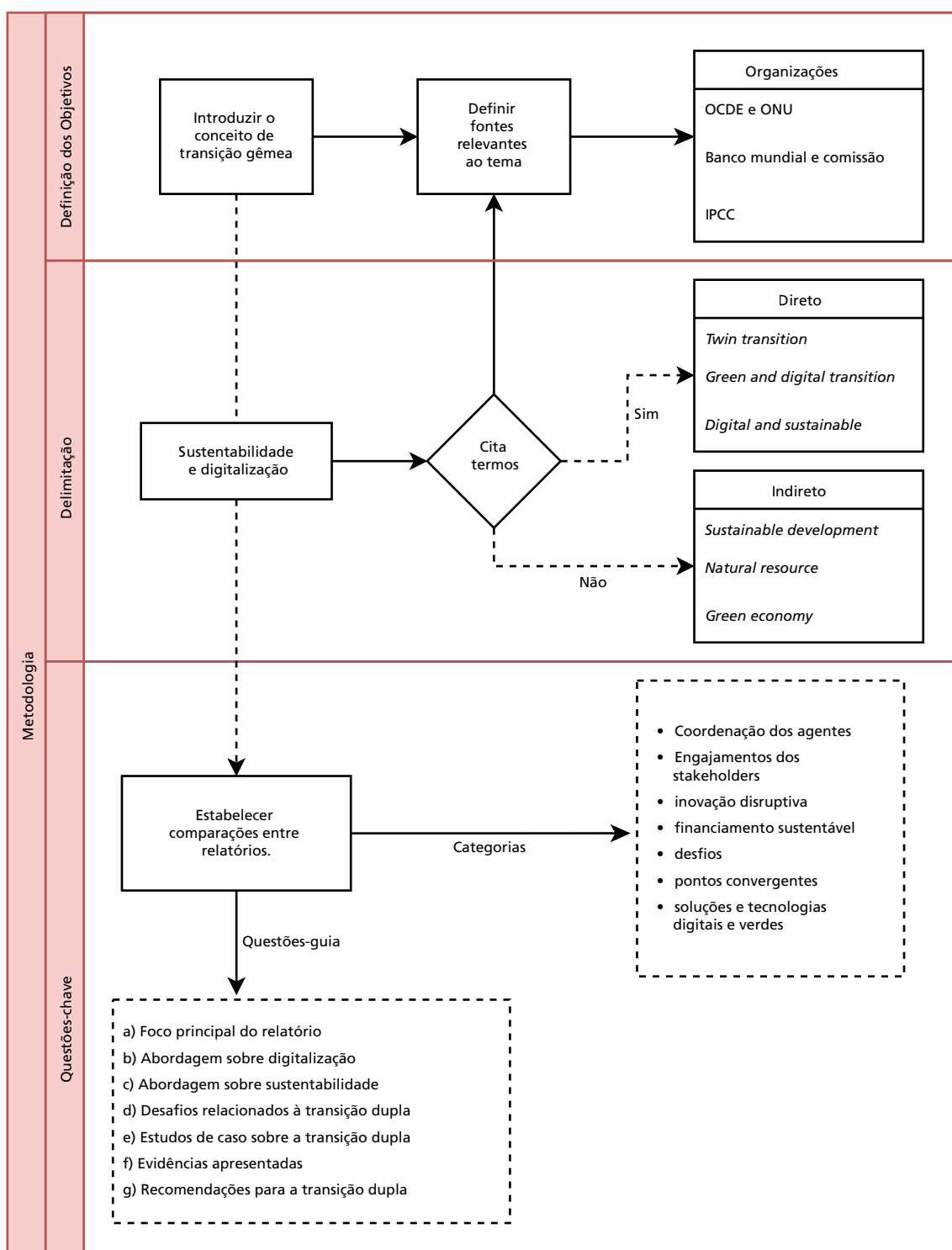
Para estruturar a análise dos relatórios, foram identificadas questões-chave que orientaram a coleta e a interpretação das informações, sendo estas: i) foco principal do relatório; ii) abordagem sobre digitalização; iii) abordagem sobre sustentabilidade; iv) desafios relacionados à *transição dupla*; v) estudos de caso sobre a *transição dupla*; vi) evidências apresentadas; e vii) recomendações para a *transição dupla*.

Os relatórios selecionados foram analisados com base nessas questões-chave, organizadas em um quadro-resumo comparativo, localizado no apêndice A. Esse quadro facilita a identificação de pontos de convergência nas abordagens da *transição dupla*, bem como de soluções e tecnologias digitais e verdes associadas, proporcionando uma síntese dos resultados.

Os pontos de convergência foram analisados considerando-se as seguintes questões: i) coordenação dos agentes; ii) engajamento dos *stakeholders*; iii) inovação disruptiva; iv) desigualdade e inclusão; v) financiamento sustentável; e vi) desafios.

A figura 1 resume o percurso metodológico adotado na nota técnica.

FIGURA 1
Caminho metodológico da nota técnica



Elaboração dos autores.

3 A TRANSIÇÃO DUPLA

O termo *transição dupla* refere-se à integração simultânea das transições digital e verde. Esse tema tem ganhado destaque nas discussões sobre inovação industrial e desenvolvimento sustentável, especialmente no contexto das políticas da UE e da recuperação econômica pós-pandemia de covid-19. Nesta seção, é explorada, a partir dos relatórios apresentados no quadro 1, como essas duas transições se conectam, destacando-se a importância da digitalização em promover a sustentabilidade e os desafios associados a essa integração.

As descrições de *transição dupla* variam entre organizações internacionais, mas compartilham a visão de que a integração das transições digital pode desenvolver economias mais inclusivas, competitivas e resilientes.

QUADRO 2

Termos estabelecidos nos relatórios institucionais

Organizações	Transição dupla	Transição digital	Transição verde
Banco Mundial	"O termo <i>transição gêmea</i> refere-se às <i>transformações digital e ecológica</i> , bem como à união das duas transições, que poderá acelerar as mudanças necessárias. O êxito das transições ecológica e digital afetará a vida de todos os cidadãos, ajudará a combater as alterações climáticas e remodelará nossa sociedade" (World Bank, 2023, p. 10, grifo nosso, tradução nossa).	"A digitalização ajuda na resiliência climática e na redução de emissões, com soluções como redes inteligentes e <i>big data</i> , que mitigam os impactos ambientais" (World Bank, 2023, p. 12, tradução nossa).	"A transição verde é suportada pela digitalização, ao promover práticas de baixo carbono e eficiência energética, especialmente em setores de energia e transporte" (World Bank, 2023, p. 20, tradução nossa).
	"Uma <i>abordagem de dupla transição</i> procura associar a <i>transformação digital</i> à <i>ação climática</i> . Isso significa garantir a existência de bases e aplicações digitais inclusivas e sustentáveis, com o objetivo de acelerar os esforços de atenuação e adaptação, ao mesmo tempo que se colhem benefícios mais alargados da transformação digital para o crescimento, a criação de emprego e uma vida melhor" (World Bank, 2024, p. 21, grifo nosso, tradução nossa).	"A transição digital, principalmente por intermédio da IA, é avaliada pela sua capacidade de otimizar sistemas energéticos e reduzir emissões de [gases de efeito estufa] GEEs" (World Bank, 2024, p. 27, tradução nossa).	"A transição verde é essencial para alcançar a neutralidade climática, envolvendo mudanças estruturais para reduzir a pegada de carbono" (World Bank, 2024, p. 31, tradução nossa).
OCDE	"As economias e as sociedades de todo o mundo enfrentam duas tendências emergentes: as <i>transições gêmeas ecológica e digital</i> . Considerar essas transições em conjunto pode oferecer aos governos e às sociedades uma oportunidade de tirar partido da transformação digital para um futuro ecológico" (OECD, 2022, p. 15, grifo nosso, tradução nossa).	"As tecnologias digitais, como a conectividade e a inteligência artificial [IA], desempenham papel fundamental para adaptar as economias a novas demandas ambientais, sendo uma prioridade para acelerar o crescimento digital inclusivo" (OECD, 2022, p. 4, tradução nossa).	"Promove o uso de soluções de tecnologia limpa e práticas sustentáveis, com o intuito de apoiar o crescimento industrial e reduzir o impacto ambiental" (OECD, 2022, p. 6, tradução nossa).
	"As <i>transições ecológica e digital</i> implicam mudança para uma economia e uma sociedade com emissões líquidas nulas e respeitadoras do ambiente, que tire partido das tecnologias digitais, com a finalidade de atingir objetivos socioeconômicos comuns de inclusão, competitividade, resiliência e bem-estar. A ciência, a tecnologia e a inovação são fundamentais para alcançar esses objetivos" (Arnold <i>et al.</i> , 2023, p. 8, grifo nosso, tradução nossa).		
JRC/CE	"A expressão <i>transições gêmeas</i> refere-se não apenas a duas tendências transformacionais simultâneas (as transições ecológica e digital); o termo também se refere à união às duas transições, o que poderia acelerar as mudanças necessárias e aproximar as sociedades do nível de transformação necessário. Para ter êxito nas transições ecológica e digital, uma melhor compreensão das possibilidades de as ligar é fundamental, especialmente quando se trata de saber o que deve ser feito mais urgente" (Muench <i>et al.</i> , 2022, p. 7, grifo nosso, tradução nossa).	"A integração digital e verde nas economias europeias promove políticas públicas que alinhem eficiência digital com metas ambientais" (Muench <i>et al.</i> , 2022, p. 8, tradução nossa).	"A colaboração entre JRC e OCDE busca criar um alinhamento em políticas verdes e digitais que suportem a economia circular e as tecnologias limpas" (Muench <i>et al.</i> , 2022, p. 14, tradução nossa).

(Continua)

(Continuação)

Organizações	Transição dupla	Transição digital	Transição verde
FEM	"Acelerar a <i>germinação das transições digital e ecológica</i> , com o objetivo de promover a sustentabilidade, a circularidade e a equidade" (WEF, 2023, p. 7, grifo nosso, tradução nossa).	"As tecnologias digitais, como a conectividade e a inteligência artificial, desempenham papel fundamental para adaptar as economias a novas demandas ambientais, sendo uma prioridade para acelerar o crescimento digital inclusivo" (WEF, 2023, p. 4, tradução nossa).	"Promove o uso de soluções de tecnologia limpa e práticas sustentáveis, com a finalidade de apoiar o crescimento industrial e reduzir o impacto ambiental" (WEF, 2023, p. 6, tradução nossa).
JRC/CE e OCDE	"Embora o elevado consumo de energia associado à utilização das tecnologias digitais seja motivo de preocupação legítima, a <i>transformação digital</i> foi também apresentada como possível solução para o <i>desafio climático</i> . As tecnologias da informação e das comunicações [TICs] têm a promessa de aumentar a eficiência energética e dos recursos, tanto na produção e distribuição de eletricidade – por exemplo, graças às redes inteligentes –, como na produção industrial" (Amoroso <i>et al.</i> , 2021, p. 58, grifo nosso, tradução nossa).		
UNCTAD	"Há cada vez mais referências às <i>transições gêmeas</i> , o que alude à necessidade de permitir, por um lado, a <i>transição para uma economia mais digital</i> e, por outro, a <i>transição para uma economia de baixo carbono</i> . Atualmente, as mudanças para tecnologias digitais e de baixo carbono têm sido consideradas como processos paralelos. Na realidade, estão estreitamente interligados no âmbito da transição mais alargada da economia global. A evolução para atividades econômicas mais sustentáveis do ponto de vista ambiental necessita de ferramentas digitais para tornar-se mais eficiente e resiliente a longo prazo" (UNCTAD, 2024, p. 34, grifo nosso, tradução nossa).	-	-
UNEP	"As tendências emergentes, como a digitalização (UNCTAD, 2020) e a inteligência artificial, deverão também alterar a forma como os atores públicos e privados operam. Embora isso seja acompanhado por uma procura crescente de materiais específicos, continua a não ser claro o modo como isso pode afetar a distribuição dos benefícios e dos impactos ambientais da utilização de materiais" (UNEP, 2024, p. 5, tradução nossa).	"A economia digital circular proposta pela UNEP inclui a promoção de tecnologias que ajudam a gerenciar e reduzir o desperdício e o consumo de recursos" (UNEP, 2024, p. 8, tradução nossa)	"A UNEP destaca a urgência de transição verde que reduza o consumo de recursos e preserve o meio ambiente, com foco em tecnologias limpas e economia circular" (UNEP, 2024, p. 8, tradução nossa).
UNIDO	"Atualmente, os dois domínios das transformações ecológica e digital, comumente designados por <i>dupla transição</i> , ocupam um lugar de destaque nas agendas dos países. A ênfase nesses pilares reflete a evolução global e representa oportunidades e desafios únicos para as economias em vias de industrialização da Europa Oriental" (UNIDO, 2024, p. 142, tradução nossa).	"Incentiva a digitalização de indústrias sustentáveis, com foco em eficiência de recursos e inovação, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental da produção industrial" (UNIDO, 2024, p. 16, tradução nossa).	"A UNIDO defende políticas industriais verdes que integrem energia renovável e eficiência energética, com o intuito de transformar a produção global de forma sustentável" (UNIDO, 2024, p. 18, tradução nossa).
WGIII/IPCC	"Um domínio em que o desenvolvimento sustentável, a atenuação das <i>alterações climáticas</i> e a <i>mudança tecnológica</i> interagem é a <i>digitalização</i> . As tecnologias digitais podem não apenas promover grandes aumentos na eficiência energética por meio da coordenação e de uma mudança econômica para os serviços, mas também podem aumentar consideravelmente a procura de energia devido à energia utilizada nos dispositivos digitais" (Blanco <i>et al.</i> , 2022, p. 1645, grifo nosso, tradução nossa).	"A digitalização pode auxiliar na coleta de dados e no monitoramento de emissões, o que contribui para o gerenciamento eficiente de recursos e a criação de soluções baseadas em dados para mitigação climática" (Blanco <i>et al.</i> , 2022, p. 9, tradução nossa).	"Foca em práticas verdes para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, incentivando o uso de energias renováveis e tecnologias que reduzam as emissões de GEEs em setores-chave como transporte e energia" (Blanco <i>et al.</i> , 2022, p. 10, tradução nossa).

Elaboração dos autores.

A OCDE destaca que

as transições ecológica e digital implicam uma mudança para uma economia e sociedade com emissões líquidas nulas e ambientalmente amigáveis, que aproveitam as tecnologias digitais, com o intuito de atingir objetivos socioeconômicos compartilhados (Arnold *et al.*, 2023, tradução nossa).

O Banco Mundial foca principalmente no potencial das cidades asiáticas, apontando-as como líderes da *transição dupla*. O estudo explora o papel dos “patentes digitais e verdes” como indicadores de progresso e inovação (World Bank, 2023). A abordagem é pragmática, buscando mapear capacidades e identificar líderes e parcerias estratégicas que possam acelerar as transformações. Em outro relatório, o banco enfatiza a digitalização como ferramenta para fechar a divisão digital e apoiar ações climáticas de forma sustentável, propondo que tecnologias inclusivas impulsionam o crescimento econômico e o bem-estar social (World Bank, 2024).

Por sua vez, a OCDE adota uma perspectiva mais quantitativa e de políticas públicas, que foca na medição dos impactos ambientais das tecnologias, como a IA, e propõe cinco imperativos para políticas eficazes de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A OCDE vê a *transição dupla* como uma oportunidade para as economias adotarem tecnologias digitais que apoiem objetivos ambientais e sociais de forma integrada.

Por seu turno, a CE e o JRC entendem a *transição dupla* a partir de uma perspectiva de longo prazo, ao destacar a interdependência das transições digital e verde até 2050. Estes argumentam que a compreensão das sinergias entre essas transformações pode direcionar políticas públicas que promovam mudanças estruturais significativas.

Por sua vez, a UNCTAD, traz uma perspectiva de desenvolvimento inclusivo, na qual os impactos da digitalização na sustentabilidade e na redução de desigualdades podem promover uma economia global mais justa e resiliente. A entidade também discute como até o momento essas duas frentes de transição eram tratadas como separadas, mas na realidade estão intimamente conectadas.

A UNEP e a UNIDO adotam uma abordagem focada em recursos e industrialização sustentável, explorando como a digitalização pode impactar o uso de materiais e contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente em economias em desenvolvimento. Por fim, o IPCC destaca a dualidade da digitalização, pois reconhece seu potencial de eficiência energética, mas alerta para o aumento da demanda energética dos dispositivos digitais. Para o painel, um campo no qual as duas transições se conectam é por meio da digitalização.

As diferentes abordagens refletem uma diversidade de perspectivas sobre como a *transição dupla* pode ser gerida, mostrando que, embora as metas sejam comuns, as estratégias variam conforme as prioridades institucionais dessas entidades.

Os canais de integração entre as transições verde e digital são variados. Por exemplo, a otimização de recursos em que sistemas de IoT e *big data* são utilizados para monitorar e melhorar o uso de recursos naturais, aumentando a eficiência energética e reduzindo desperdícios. A digitalização de processos industriais, com sensores conectados e sistemas de gestão de dados, também promove operações mais eficientes e sustentáveis (Arnold *et al.*, 2023).

A economia circular digital também pode ser entendida como um canal de transmissão entre as transições verde e digital, o que facilita o rastreamento e o gerenciamento de produtos ao longo de seu ciclo de vida. A implementação de passaportes digitais para produtos, por exemplo, aumentaria a transparência sobre a origem dos materiais e incentivaria práticas de reciclagem e reutilização (Muench *et al.*, 2022).

A inovação e a pesquisa transdisciplinar são motores que fortalecem a sinergia entre essas transições. A colaboração entre diferentes disciplinas e setores permite o desenvolvimento de soluções tecnológicas

que sejam simultaneamente verdes e digitais. No entanto, o investimento em inovação ainda está concentrado em poucos países e empresas (Blanco *et al.*, 2022; World Bank, 2024).

4 PONTOS CONVERGENTES ENTRE OS RELATÓRIOS

Nesta seção, serão explorados os pontos convergentes identificados nos relatórios analisados. Apesar de terem sido desenvolvidos por instituições com missões e perspectivas distintas, esses documentos compartilham semelhanças em suas abordagens e recomendações. A convergência entre esses relatórios destaca consensos que emergem nas discussões sobre o tema. Desse modo, reforça-se, sobretudo, a importância de abordagens colaborativas e integradas. As principais intersecções identificadas foram coordenação, incentivo ao engajamento, apoio à inovação disruptiva, financiamento sustentável e desafios.

4.1 Coordenação

A coordenação entre diferentes níveis de governo é frequentemente destacada pelas entidades como um fator para o sucesso da *transição dupla*. Como destacam a OCDE e o JRC, esse processo requer colaboração eficiente entre os governos locais, regionais e nacionais, com o intuito de alinhar políticas, distribuir recursos e garantir a implementação eficaz das medidas necessárias. A OCDE recomenda integrar as CT&I para criar um governo coordenado, capaz de gerenciar a complexidade da transição e monitorar os resultados e os ganhos comuns (Arnold *et al.*, 2023). Por sua vez, a UE busca promover os *contratos climáticos das cidades*, acordos entre cidades e governos nacionais para alcançar a neutralidade climática até 2030 (Muench *et al.*, 2022).

A coordenação entre diferentes níveis de governo também é identificada como desafio. Uma vez que a falta de alinhamento pode resultar em sobreposições ou lacunas nas políticas, o que compromete a eficácia das ações (OCDE, 2023; União Europeia, 2023).

De forma complementar, o Banco Mundial destaca a importância da coordenação estratégica para promover tecnologias verdes e digitais, com foco especial em cidades da Ásia Oriental e do Sudeste Asiático. O relatório da instituição orienta formuladores de políticas, investidores e praticantes a considerar as melhores maneiras de alocar recursos e promover colaborações entre cidades, com o objetivo de ativar complementaridades inexploradas entre as agendas digital e verde. Segundo o banco, isso inclui identificar quais tecnologias devem ser priorizadas de acordo com as capacidades e os potenciais de cada cidade, além de incentivar colaborações específicas que possam otimizar a implementação de inovações digitais e sustentáveis (World Bank, 2023).

O relatório ainda sugere que os formuladores de políticas promovam parcerias entre cidades que permitam maximizar as sinergias entre diferentes tecnologias, enquanto se envolvem ativamente com organizações locais que possam contribuir para o desenvolvimento das agendas verde e digital. Essa abordagem sublinha a importância de coordenação não apenas entre diferentes níveis de governo, mas também entre cidades e *stakeholders* locais, para responder às especificidades regionais e avançar na *transição dupla* de forma mais eficaz (World Bank, 2023).

4.2 Incentivo ao engajamento de stakeholder

Outro ponto congruente entre os relatórios é o engajamento de diversas partes interessadas, incluindo cidadãos, empresas e instituições de pesquisa. A OCDE e o FEM enfatizam a importância de envolver múltiplos *stakeholders* no desenvolvimento e na implementação de políticas públicas, ao reconhecer que a inclusão dessas partes é um canal de transmissão entre transições (Amoroso *et al.*, 2021; WEF, 2023). O JRC exemplifica essa abordagem por meio de *contratos climáticos das cidades*, que envolvem diretamente os cidadãos na busca por soluções climáticas, fortalecendo o vínculo entre políticas públicas e as necessidades da sociedade.

Outro exemplo dessa abordagem, também promovido pelo JRC, foi um estudo elaborado resultado de processo de *foresight* participativo, que utilizou as metas das transições digital e verde como ponto de partida para examinar tecnologias que podem ser desenvolvidas e combinadas para alcançar esses objetivos. O processo incluiu uma revisão abrangente da literatura, além do engajamento contínuo de especialistas em discussões e oficinas de trabalho. Os resultados foram validados por meio dessas oficinas e conferências adicionais, envolvendo mais de duzentos especialistas de diversos setores, incluindo-se academia, sociedade civil, administração pública e empresas (Muench *et al.*, 2022).

O engajamento é tratado como peça motriz na condução da *transição dupla*, pois assegura que as iniciativas de digitalização e sustentabilidade contem com amplo apoio e sejam adaptadas às necessidades locais das comunidades. De acordo com as agências, a participação ativa dos *stakeholders* pode aumentar a aceitação de novas tecnologias e práticas sustentáveis, além de estimular a colaboração, a fim de mitigar processos de aprendizado do uso de novas tecnologias.

4.3 Apoio à inovação disruptiva

Os relatórios também destacam a importância da cooperação para o desenvolvimento de tecnologias disruptivas. A OCDE, por exemplo, enfatiza a necessidade de políticas que facilitem o desenvolvimento e a adoção de inovações tecnológicas e ecológicas avançadas (Arnold *et al.*, 2023; OECD, 2022). Por sua vez, o FEM incentiva a inovação tecnológica como meio para melhorar a competitividade global e a sustentabilidade (WEF, 2023).

O IPCC, por sua vez, promove a Mission Innovation, uma iniciativa global composta por 23 países-membros, cujo objetivo é acelerar a inovação em energia limpa. Além disso, o painel também menciona que a cooperação internacional em P&D pode promover *spillovers* de conhecimento, o que pode ajudar na adoção e no desenvolvimento de novas tecnologias, especialmente em países em desenvolvimento (Blanco *et al.*, 2022). No entanto, ressalta-se que a maioria das iniciativas de P&D internacionais é liderada pelo setor público, com o envolvimento do setor privado ocorrendo principalmente nas fases de incubação, comercialização e difusão.

Por sua vez, o JRC discute a inovação disruptiva como ferramenta antioligopólios, a fim de que o mercado não seja dominado por grandes empresas, mas sim constitua um ecossistema saudável que inclua pequenas e médias empresas e *startups*. A abordagem da UE posiciona a inovação no centro da transição para uma economia circular, o que evidencia as áreas em que tecnologias digitais e verdes se cruzam, ao oferecer soluções integradas (EC, 2022).

4.4 Desigualdade e inclusão

Outro ponto-chave que perpassa a discussão dessas instituições é a inclusão digital. O Banco Mundial e o FEM ressaltam a importância de garantir que a transformação digital beneficie toda a sociedade, especialmente em regiões menos desenvolvidas. Ao ampliar o acesso às tecnologias digitais e capacitar as populações para utilizá-las de forma eficaz, as entidades apontam que haveria inovação disruptiva em termo de desigualdade social, mitigando-a (World Bank, 2024; WEF, 2023).

Por sua vez, o IPCC chama atenção para divisão digital (*digital divide*), especialmente entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. O painel de mudanças climáticas percebe esse *gap* não somente como um gargalo, mas também como uma oportunidade. Dessa forma, destaca que o fechamento da lacuna digital em países em desenvolvimento e comunidades rurais pode gerar oportunidades significativas, como o *leapfrogging* tecnológico, que permite a adoção de tecnologias avançadas, como energias renováveis descentralizadas e agricultura inteligente, sem passar pelas etapas intermediárias de desenvolvimento tecnológico (Blanco *et al.*, 2022). Nesse caso, a inovação disruptiva atuaria como mitigador do diferencial de desenvolvimento entre os países e como um motor do progresso e do desenvolvimento econômico e tecnológico.

4.5 Mobilização de financiamento sustentável

As organizações internacionais chamam atenção para a mobilização de recursos financeiros para apoiar a transição. O FEM e o Banco Mundial discutem estratégias para atrair investimentos para projetos verdes e digitais, como a promoção de títulos verdes e a formação de parcerias público-privadas (World Bank, 2024; WEF, 2023).

A mobilização de financiamento sustentável é um elemento condutor da *transição dupla*. A OCDE, por exemplo, enfatiza a necessidade de coordenação entre políticas públicas e investimentos privados, com o objetivo de apoiar inovações que conduzam a uma economia verde e digital. Destaca ainda que o financiamento sustentável deve ser direcionado não apenas para projetos de infraestrutura verde, mas também para iniciativas que impulsionem a digitalização em setores estratégicos, o que permite que a inovação tecnológica atue como um catalisador para a sustentabilidade ambiental (Arnold *et al.*, 2023).

O Banco Mundial também trata da mobilização de recursos financeiros como uma prioridade, especialmente para países em desenvolvimento que enfrentam maiores desafios em termos de acesso ao capital. Menciona também a importância de parcerias público-privadas e mecanismos de financiamento inovadores, como os *green bonds* (títulos verdes) e fundos de investimento direcionados, que podem atrair investidores interessados em projetos sustentáveis. Além disso, defende que o financiamento sustentável deve incluir políticas de mitigação de risco, com o intuito de tornar os investimentos em tecnologias verdes mais atrativos, ao reduzir as barreiras financeiras para a adoção de soluções inovadoras e resilientes (World Bank, 2024).

A Comissão Europeia, por sua vez, aborda a mobilização de financiamento sustentável por meio de pacotes governamentais, como o European Green Deal e o InvestEU, que visam canalizar recursos para projetos que combinem a digitalização com a sustentabilidade ambiental. A comissão salienta que o direcionamento de financiamento para áreas de inovação disruptiva que possam escalar rapidamente e gerar impacto significativo na redução das emissões de carbono e na criação de uma economia circular deve ser prioridade em planos de transição. Para isso, a CE propõe o fortalecimento de padrões e diretrizes de investimentos verdes, que garantam que os recursos sejam alocados de maneira eficiente e transparente, maximizando os benefícios econômicos e ambientais da transição (Comissão Europeia, p. 25).

Essas organizações convergem na ideia de que a mobilização de financiamento sustentável é efetiva para acelerar a transição. Estas destacam a importância de políticas integradas que combinem recursos públicos e privados, desenvolvam mecanismos financeiros inovadores e promovam a adoção de tecnologias que impulsionem a sustentabilidade em larga escala. Esse enfoque colaborativo é visto como oportuno para superar os desafios financeiros e garantir que a transição se torne uma realidade global.

4.6 Desafios

Os relatórios internacionais também convergem em relação aos desafios complexos que precisam ser abordados para alcançar seus objetivos de sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico. Dessa forma, identificaram-se vários obstáculos, incluindo-se a falta de coordenação governamental, a necessidade de infraestrutura adequada, e a escassez de financiamento. Além disso, um desafio significativo é o *efeito rebote*, que pode minar os benefícios das melhorias de eficiência.

Reduzir as emissões de GEES estufa no setor de TICs também é visto como um desafio, uma vez que rastrear as emissões setorialmente ainda é pouco factível. A digitalização crescente é pautada tanto como ferramenta para mitigação das mudanças climáticas, quanto como fonte significativa de emissões de carbono devido ao consumo energético de infraestruturas digitais, como centros de dados e redes de telecomunicações (Arnold *et al.*, 2023).

O Banco Mundial detalha três principais componentes do setor de TICs em relação às emissões diretas: infraestrutura de conectividade digital; infraestrutura de gestão de dados; e dispositivos de usuários finais. Também destaca que, embora os avanços na eficiência energética tenham sido realizados, o crescimento exponencial no uso de dados e dispositivos pode anular esses ganhos (World Bank, 2024).

Outro desafio é a crescente necessidade de tornar as infraestruturas digitais resilientes às mudanças climáticas e aos desastres naturais. Com a digitalização avançando rapidamente, a dependência de infraestruturas digitais confiáveis cresce, o que aumenta a vulnerabilidade a eventos como inundações, *tsunamis* e ciclones, que podem danificar essas estruturas. Sendo necessário incorporar resiliência desde o estágio de *design* da rede, planejando-se redundâncias e utilizando-se análises de risco de perigos climáticos, com o objetivo de escolher locais apropriados para a infraestrutura digital (World Bank, 2024).

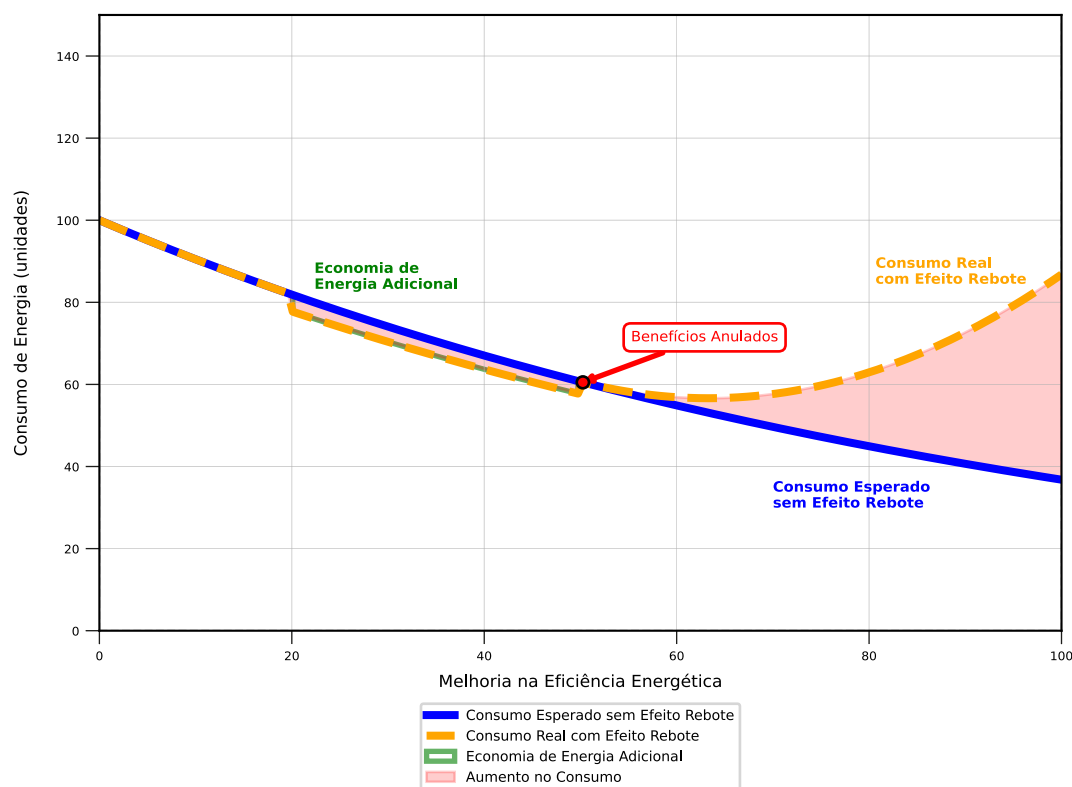
A digitalização exige minerais críticos como lítio, cobalto e grafite, essenciais tanto para tecnologias digitais quanto para transição de baixa emissão de carbono. A demanda por esses materiais aumenta a pressão sobre o meio ambiente e causa desafios sociais em regiões de extração, frequentemente localizadas em países em desenvolvimento. Esses países, apesar de fornecerem recursos essenciais para a digitalização, tendem a enfrentar desvantagens, como menor acesso aos benefícios econômicos da economia digital e maior exposição a impactos ambientais negativos. A UNCTAD destaca a importância de políticas globais para equilibrar esses efeitos e assegurar que esses países possam participar efetivamente da transformação digital sustentável (UNCTAD, 2024).

Um desafio particularmente complexo é o efeito rebote, também conhecido como “paradoxo de Jevons”. Esse fenômeno ocorre quando os ganhos de eficiência em recursos ou energia levam a um aumento no consumo total desses recursos, anulando os benefícios esperados (gráfico 1, para um exemplo hipotético). O Banco Mundial e o IPCC reconhecem o efeito rebote como um obstáculo significativo para a *transição dupla* (World Bank, 2023; IPCC, 2022). Por exemplo, sistemas de IA estão sendo apontados como catalisadoras para atingir metas de sustentabilidade, pois criam eficiências que reduzem o impacto ambiental. No entanto, há reconhecimento crescente de que, enquanto essas tecnologias podem reduzir emissões e melhorar a eficiência energética, estas também exigem grandes quantidades de recursos computacionais, o que pode contribuir para o aumento do uso de energia e emissões de GEEs (OECD, 2022).

O efeito rebote, ilustrado no gráfico 1, elaborado a partir da leitura dos relatórios, refere-se à situação hipotética em que o aumento da eficiência no uso de recursos levaria, paradoxalmente, à elevação no consumo total desses recursos, como ilustrado pela área em vermelho do gráfico 1. Isso ocorreria porque a melhoria na eficiência tenderia a reduzir os custos de utilização, o que poderia incentivar um uso mais intensivo ou abrangente dos recursos, anulando os benefícios esperados das melhorias de eficiência. A curva contínua representa o consumo de energia sem o efeito rebote. À medida que a eficiência energética aumentasse, o consumo de energia diminuiria, no exemplo hipotético, de forma exponencial. Isso refletiria o comportamento esperado, ao melhorar a eficiência, o consumo de energia tenderia a cair, pois as mesmas tarefas poderiam ser realizadas utilizando-se menos recursos. Por exemplo, nesse cenário, também seria possível que os ganhos de eficiência fossem tão grandes que gerassem economia de energia, como ilustrado pela área em verde.

Após 45% de melhoria, no entanto, a curva com rebote começaria a desviar-se da curva de eficiência. Esse comportamento mostra que, a partir desse nível, o efeito rebote se tornaria evidente, com o consumo de energia real sendo maior que o consumo esperado. Esse aumento é devido ao maior uso de energia que surgiria como consequência de comportamentos como o aumento da demanda ou o uso mais frequente de serviços, dispositivos eletrônicos, processamento generativo de IA dentro e outros usos de tecnologias e serviços digitais.

GRÁFICO 1
Efeito rebote



Elaboração dos autores.

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Esse fenômeno tem implicações significativas para as políticas de transição verde e digital, pois desafia a suposição de que melhorias tecnológicas automaticamente levam a uma redução no consumo de recursos e nas emissões. Entender e mitigar o efeito rebote é um gargalo para o sucesso das iniciativas de sustentabilidade e eficiência energética.

A UNEP frequentemente menciona o efeito rebote em seus relatórios. A agência destaca que, enquanto as melhorias na eficiência energética são basilares para a transição, é preciso também considerar os possíveis aumentos no consumo total de energia (não limpa) resultantes dessas melhorias. Em seu relatório *World Energy Outlook*, são recomendadas políticas que complementam as melhorias tecnológicas com incentivos para a conservação de energia e a mudança comportamental dos consumidores (UNEP, 2024).

O IPCC enfatiza que a eficiência energética, por si só, pode não ser suficiente para reduzir as emissões globais de GEEs. Dessa forma, sugerem-se políticas que incluam regulação, preços de carbono e mudança comportamental. A fim de que os ganhos de eficiência resultem em reduções reais no consumo de energia e nas emissões de carbono (Blanco *et al.*, 2022).

A OCDE trata do efeito rebote em suas análises de políticas de CT&I. O órgão alerta que as inovações tecnológicas devem ser acompanhadas de políticas de gestão da demanda e mudanças nas estruturas de incentivos, com a finalidade de evitar que o aumento da eficiência resulte em maior consumo total de recursos. A organização recomenda a integração de políticas de eficiência com estratégias de economia circular e gestão sustentável de recursos (Blanco *et al.*, 2022).

Os organismos internacionais sugerem algumas estratégias para mitigar o efeito rebote e garantir que as melhorias de eficiência contribuam efetivamente para os objetivos de sustentabilidade.

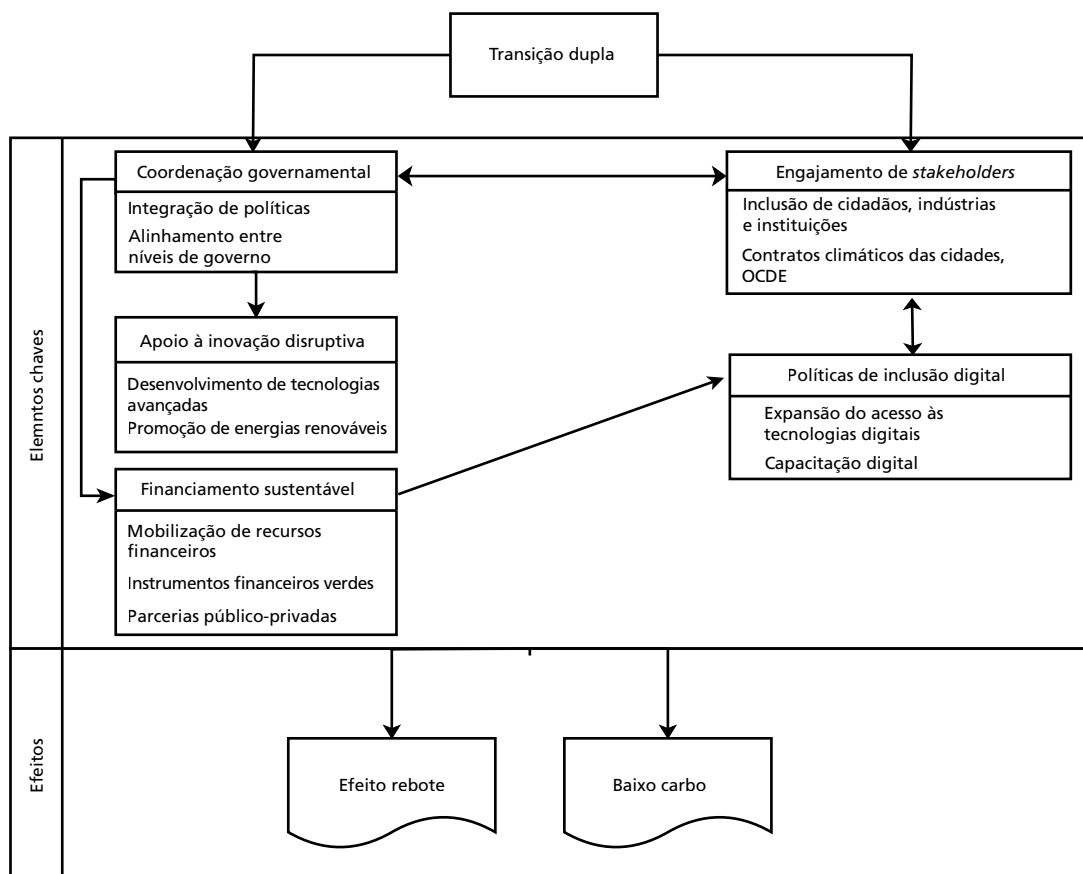
- 1) Políticas de preços: implementação de preços de carbono e impostos sobre o consumo de energia, com o objetivo de internalizar os custos ambientais e desincentivar o uso excessivo de recursos (WEF, 2023).
- 2) Educação e sensibilização: programas de educação para consumidores e empresas sobre a importância da conservação de energia e práticas de uso sustentável (World Bank, 2023).
- 3) Incentivos para inovações sustentáveis: apoio a tecnologias que não apenas aumentem a eficiência, mas também promovam a redução absoluta do uso de recursos (OCDE, 2023).
- 4) Regulamentação e normas: estabelecimento de normas rigorosas de eficiência e regulação do uso de recursos para limitar o impacto do efeito rebote (IEA, 2023; IPCC, 2023).

Destaca-se a necessidade de planejamento cuidadoso. Dessa forma, objetiva-se garantir que as tecnologias digitais sejam usadas de maneira a maximizar os benefícios ambientais enquanto minimizam os riscos potenciais, como o aumento do consumo de energia em centros de dados e infraestruturas de TICs.

4.7 Discussão

A partir da leitura dos relatórios, é possível identificar que os elementos anteriormente apresentados são interdependentes, mas se fortalecem de forma mútua, conforme ilustrado na figura 2.

FIGURA 2
Pontos convergentes entre os relatórios internacionais



A coordenação governamental atuaria como um facilitador central, ao garantir a integração de políticas e a alocação eficiente de recursos. Isso, por sua vez, melhoraria o *engajamento de stakeholders*, criando espaços de diálogo e colaboração para o desenvolvimento de políticas de inclusão digital que atenderiam às necessidades de toda a sociedade. Esse engajamento asseguraria a aceitação e o suporte às iniciativas tecnológicas. Simultaneamente, o apoio à inovação disruptiva seria viabilizado por mecanismos de financiamento sustentável, que promoveriam projetos de P&D avançada e práticas sustentáveis. Tais elementos podem levar a um cenário de rebote, como também a melhorias de eficiência que resultem na redução de carbono, conforme discutido na subseção 4.6.

5 SOLUÇÕES E TECNOLOGIAS DIGITAIS E VERDES PARA A TRANSIÇÃO DUPLA

As tecnologias digitais desempenham um papel na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, pois proporcionam ferramentas e tecnologias inovadoras para monitorar, prever e reduzir os impactos ambientais.

O quadro 3 apresenta uma seleção de soluções, práticas e sistemas específicos ligados a temas verdes e digitais segundo World Bank (2024), que abrangem desde tecnologias específicas – como *manufatura aditiva* ou *computação em nuvem* – até soluções mais amplas e aplicadas – a exemplo de *gestão de resíduos* ou *edifícios verdes*. O Banco Mundial baseou-se em uma análise em dados de patentes para identificar essas tecnologias-chave e soluções-chave. Embora exista uma lista que representa as principais tecnologias e soluções associadas a essa transição, não há consenso entre os relatórios sobre quais são realmente fundamentais.

Algumas tecnologias/soluções verdes, como as vinculadas às redes elétricas inteligentes e baterias, também podem ser vistas como digitais, enquanto outras, como as relacionadas à energia nuclear, geram controvérsia quanto à sua classificação como “verde”. Nesse sentido, a transição digital tem sido associada, sobretudo, à Indústria 4.0 e à IA, com impactos significativos nas economias, automatizando tanto tarefas repetitivas quanto não repetitivas, bem como transformando a produção de conhecimento e manufatura (OECD, 2022).

QUADRO 3

Principais soluções e tecnologias da transição dupla, considerando-se aspectos de sustentabilidade

Soluções e tecnologias “verdes”	Aspectos da sustentabilidade
Redução da poluição do ar e da água	Diminuição de emissões e preservação de ecossistemas aquáticos
Gestão de resíduos	Redução de resíduos e impacto ambiental
Tecnologias de adaptação relacionadas à água	Resiliência a eventos climáticos extremos
Energia eólica	Geração de energia renovável e redução de emissões
Energia solar	Energia limpa e acessível
Energia geotérmica	Energia sustentável com baixa emissão de carbono
Energia marinha e hidrelétrica	Fontes renováveis e diversificação de matriz energética
Transportes verdes	Redução de emissões no setor de transporte
Biocombustíveis	Alternativa de combustível com menor impacto ambiental
Baterias	Armazenamento eficiente de energia para suportar fontes renováveis
Energia nuclear	Redução de emissões de carbono com alta capacidade energética
Outras formas de armazenamento de energia	Suporte para a estabilidade de redes renováveis
Hidrogênio	Combustível limpo e potencial para redução de emissões em indústrias
Captura de GEEs	Mitigação de mudanças climáticas por captura de carbono
Combustão e energia eficientes	Redução no consumo de combustíveis fósseis e emissões
Edifícios verdes	Construção sustentável com menor consumo de recursos e energia
Soluções e tecnologias digitais	Aspectos da sustentabilidade

(Continua)

(Continuação)

Soluções e tecnologias "verdes"	Aspectos da sustentabilidade
Manufatura aditiva	Redução de desperdício e uso eficiente de materiais
Inteligência artificial	Otimização de processos, com potencial efeito rebote de consumo energético
Realidade aumentada	Auxílio na simulação de processos sustentáveis
Robôs autônomos	Eficiência operacional e redução de emissões em indústrias
Veículos autônomos	Transporte mais seguro e eficiente com menor impacto ambiental
Blockchain	Transparência e eficiência nas cadeias de fornecimento, com alta demanda energética
Computação em nuvem	Centralização e eficiência no uso de energia e recursos
Cibersegurança	Proteção de infraestruturas digitais críticas para resiliência climática
Computadores quânticos	Potencial de inovação para eficiência energética, com alto consumo de desenvolvimento
Redes elétricas inteligentes	Gestão eficiente de energia renovável e resposta a demandas
Internet das coisas (IoT)	Monitoramento em tempo real para eficiência energética
Gêmeos digitais (<i>digital twins</i>)	Simulação de processos para reduzir consumo de recursos
Realidade virtual e <i>big data</i>	Previsão e mitigação de impactos ambientais
IA aplicada à 4IR	Otimização industrial e redução de consumo energético

Fonte: World Bank (2023).
Elaboração dos autores.

As tecnologias/soluções verdes, como às relacionadas à energia eólica, solar, geotérmica e marinha, com tecnologias para produção de biocombustíveis e armazenamento de energia, focam na redução da poluição e na gestão eficiente de recursos naturais. Essas tecnologias visam mitigar os impactos ambientais, por intermédio de soluções como edifícios verdes e transporte sustentável, além de novas formas de energia limpa e eficiente.

Por sua vez, as tecnologias/soluções digitais, como aquelas relacionadas a sistemas de IA, à manufatura aditiva e à IoT, podem acelerar a inovação industrial e a gestão de recursos por meio de automação e maior conectividade. A integração dessas tecnologias, por exemplo, em redes elétricas inteligentes e veículos autônomos, não apenas melhora a eficiência energética, mas também possibilita um controle mais preciso e adaptativo dos recursos, alinhando-se com os objetivos de sustentabilidade global (World Bank, 2023).

Outro mecanismo citado na questão digital-verde são as plataformas digitais. Estas têm o potencial de aumentar significativamente a eficiência energética em diversos setores por meio da automação, da otimização e da coordenação de sistemas, além de reduzir a demanda por materiais e promover a gestão energética mais eficaz (União Europeia, 2023; World Bank, 2024; OCDE, 2023). No entanto, não há conceitualização do tipo e da governança dessas plataformas.

No contexto da mitigação, tecnologias como a IA e a IoT são apontadas pelas entidades como mecanismos úteis à redução de gases de efeito estufa. A OCDE destaca que a IA pode otimizar sistemas energéticos, prever padrões climáticos e identificar oportunidades para a redução de GEEs (OECD, 2022). O uso de *big data*, como apontado pela CE, permite a análise de grandes volumes de dados ambientais, auxiliando na criação de políticas mais eficazes e na tomada de decisões informadas (EC, 2022). A IoT, mencionada pelo Banco Mundial, possibilita, por intermédio de sensores conectados, o monitoramento em tempo real de recursos naturais e infraestruturas, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável (World Bank, 2024).

No setor de energia, essas tecnologias facilitam a transição para sistemas descentralizados e baseados em fontes renováveis, como redes inteligentes e sistemas de armazenamento digitalmente gerenciados, que otimizam o consumo e a oferta de energia. No transporte, soluções como a *mobilidade como serviço* (*mobility as a service* – MaaS), a otimização de rotas e a integração de veículos elétricos com sistemas energéticos reduzem as emissões de GEEs e promovem um transporte mais sustentável.

Na agricultura, a aplicação de tecnologias de IoT e IA permite práticas de agricultura de precisão, que otimizam o uso de água, fertilizantes e pesticidas, reduzindo o impacto ambiental e aumentando a eficiência produtiva. Por sua vez, nas cidades, as tecnologias digitais melhoram o planejamento urbano, a gestão de resíduos e a eficiência energética de edifícios, contribuindo para a criação de centros urbanos mais inteligentes e resilientes. Dessa forma, a integração dessas tecnologias em cada setor não apenas reduz emissões, mas também gera novas oportunidades para práticas mais sustentáveis, destacando-se o papel da digitalização na luta contra as mudanças climáticas (World Bank, 2024).

Para a adaptação, as tecnologias digitais oferecem soluções que podem aumentar a resiliência de comunidades e infraestruturas. Sistemas de alerta precoce baseados em IA e *big data* que podem prever desastres naturais com maior precisão, além de respostas rápidas e eficientes, conforme destacado pelo painel de mudanças climáticas (IPCC, 2021). Além disso, plataformas digitais podem facilitar a comunicação e a coordenação em situações de emergência, melhorando a capacidade de resposta das autoridades e da população. Estas também facilitam a recuperação/adaptação, o que permite transferências rápidas de recursos para as populações afetadas (UNEP, 2024).

Outra tecnologia citada são os centros de dados sustentáveis, como o Lefdal Mine Datacenter, que representam um exemplo de integração bem-sucedida de práticas ecológicas. Localizado em uma antiga mina na Noruega, o Lefdal Mine Datacenter utiliza energia hidrelétrica local e aproveita a refrigeração natural das águas de um fiorde adjacente. Esse sistema reduz drasticamente a necessidade de resfriamento artificial, uma das maiores demandas energéticas dos centros de dados tradicionais. A adoção de tais práticas permite que o Lefdal Mine Datacenter alcance uma pegada de carbono extremamente baixa, além de otimizar o uso de recursos hídricos e reduzir os custos operacionais, o que reforça o papel dos centros de dados na mitigação das mudanças climáticas (OECD, 2022; World Bank, 2023).

Também discute a importância de incorporar princípios de economia circular na operação dos centros de dados, como o reuso e a reciclagem de equipamentos de TICs. Esse enfoque não apenas minimiza o consumo de materiais, mas também combate o problema do *e-waste*, ou resíduos eletrônicos, ao estender o ciclo de vida dos equipamentos e reduzir a necessidade de novos recursos naturais (World Bank, 2023).

Há também recomendações de descentralização do processamento de dados, denominada de computação na borda. Essa iniciativa permite que os dados sejam processados localmente, reduzindo a quantidade de informação que precisa ser transportada e armazenada em grandes centros de dados. O que contribuiria para a diminuição do consumo de energia (Dæhlen, 2023).

A *transição dupla* oferece um ambiente propício para a integração dessas tecnologias, ao promover uma sinergia que amplifica seus benefícios. A digitalização de processos industriais e urbanos não somente melhora a eficiência operacional, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental (OECD, 2022). Por exemplo, cidades inteligentes utilizando sensores e análise de dados para otimizar o consumo de energia e água, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade do ar (Comissão Europeia, 2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta nota técnica foi sintetizar o termo *transição gêmea/dupla*, com base em relatórios de organizações internacionais selecionadas.

A *transição dupla*, que une os desafios da transição verde às oportunidades da digitalização, está no centro das discussões sobre estratégias globais para um futuro sustentável e resiliente. Relatórios de entidades como OCDE, Banco Mundial, UNIDO e IPCC ressaltam a importância de alinhar os avanços tecnológicos digitais com práticas sustentáveis. Dessa forma, destaca-se que a sinergia entre digitalização e sustentabilidade é uma solução promissora para enfrentar crises ambientais e econômicas contemporâneas.

Tecnologias digitais, como IA e IoT, com a crescente “dataficação”, são vistas como potenciais apoiadoras do processo de mitigação das mudanças climáticas, ao melhorar a eficiência energética e possibilitar modelos econômicos mais sustentáveis. No entanto, o crescimento da digitalização também traz desafios, como o aumento da demanda de energia e a dependência de minerais raros, que podem gerar impactos ambientais negativos.

As organizações enfatizam a importância de uma governança coordenada para enfrentar esses desafios, com colaboração entre diferentes níveis de governo e o engajamento de *stakeholders*, incluindo-se cidadãos e indústrias. Além disso, é fundamental garantir que os benefícios da digitalização sejam amplamente distribuídos, especialmente em regiões menos desenvolvidas, para evitar o aumento da exclusão digital. Esse obstáculo pode transformar-se em oportunidade de desenvolvimento, ao incorporar tecnologias verdes na cadeia produtiva de países menos desenvolvidos, permitindo que estes “saltem” etapas tradicionais de desenvolvimento.

Os principais desafios da *transição dupla* incluem a falta de infraestrutura adequada, a escassez de financiamento e o efeito rebote – no qual os ganhos de eficiência energética podem ser anulados pelo aumento do consumo total de energia. Para superar esses obstáculos, os relatórios recomendam abordagem que combine inovação tecnológica, inclusão digital e políticas econômicas sustentáveis, como incentivos fiscais para tecnologias verdes.

As prioridades da digitalização verde devem considerar o perfil climático e de emissões de cada país, especialmente em nações de baixa e média renda, mais vulneráveis às mudanças climáticas. Medidas de eficiência energética e tecnologias verdes devem ser adaptadas ao contexto local, promovendo o desenvolvimento sustentável e a inclusão digital. Embora a *transição dupla* envolva tecnologias avançadas, soluções adaptadas e acessíveis podem ser eficazes a curto prazo, especialmente no enfrentamento de desastres ambientais e na construção de resiliência.

Ademais, as soluções propostas pela *transição dupla* dependem da expansão da conectividade, de habilidades digitais, da governança de dados e da resiliência da infraestrutura crítica. Também é essencial ampliar o acesso a soluções digitais em áreas rurais, que frequentemente são as mais vulneráveis e de difícil acesso. Por fim, políticas digitais precisam ser integradas às políticas climáticas, e ambas devem envolver todos os setores do governo e da sociedade.

É importante reconhecer que o avanço tecnológico, por si só, não garante a sustentabilidade e pode até gerar impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade. A relevância da transição dupla reside justamente em alinhar o progresso digital com as metas ambientais, incentivando que ambas as dimensões avancem de forma integrada. Esse enfoque exige a formulação de estratégias que garantam que as tecnologias digitais sejam direcionadas para apoiar, e não comprometer, os objetivos de sustentabilidade.

Em conclusão, a *transição dupla* oferece uma oportunidade única de combinar inovação digital com sustentabilidade ecológica, ao promover não apenas o crescimento econômico, mas também a equidade social e a resiliência climática. No entanto, para que essa transição ocorra de forma eficaz, é fundamental que haja coordenação entre diferentes agências governamentais, empresas, universidades e a sociedade civil, identificando soluções às realidades locais, e que os benefícios sejam distribuídos de forma equitativa. A *transição dupla* trata-se, portanto, de proposta das organizações internacionais apresentadas, pela qual procuram moldar o futuro, caracterizando-se como uma aposta cujos benefícios esperados e riscos associados ainda carecem de compreensão mais profunda.

REFERÊNCIAS

AMOROSO, S. *et al.* **World corporate top R&D investors**: paving the way for climate neutrality. Luxemburgo: Publications Office of the EU, 23 nov. 2021.

ARNOLD, E. *et al.* **Navigating green and digital transitions**: five imperatives for effective STI policy. Paris: OECD, 30 nov. 2023. (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n. 162).

BLANCO, G. *et al.* Innovation, technology development and transfer. *In*: SHUKLA, P. R. *et al.* (Ed.). **Climate Change 2022**: mitigation of climate change. Cambridge, Reino Unido; Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press, 2022. p. 1641-1725.

DÆHLEN, M. **The twin transition century**: the role of digital research for a successful green transition of society? Bruxelas: The Guild of European Research-Intensive Universities; Berna: Bern Open Publishing, set. 2023. (The Guild Insight Paper, n. 5).

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Towards a green and digital future**: key requirements for successful twin transitions in the European Union. Luxembourg: JRC/EC, 2022. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129319>.

EC – EUROPEAN COMMISSION; OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **World corporate top R&D investors**: paving the way for climate neutrality. Luxembourg: JRC/EC; OECD, 2021. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126788>.

GERLITZ, L.; MEYER, C. Small and medium-sized ports in the TEN-T network and nexus of europe's twin transition: the way towards sustainable and digital port service ecosystems. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4386-4410, 14 abr. 2021.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Working Group III – Mitigation of Climate Change. **Innovation, technology development and transfer**. Geneve: IPCC, 2022. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter16.pdf.

MUENCH, S. *et al.* **Towards a green & digital future**: key requirements for successful twin transitions in the European Union. Luxemburgo: Publications Office of the EU, 29 jun. 2022.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Measuring the environmental impacts of artificial intelligence compute and applications**: the AI footprint. Paris: OECD, nov. 2022. (OECD Digital Economy Papers, n. 341).

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Navigating green and digital transitions**: five imperatives for effective STI policy. Paris: OECD, nov. 2023. (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n. 162). Disponível em: <file:///C:/Users/t2019711/Downloads/dffb0747-en.pdf>.

PRABAHARAN, S. *et al.* Optimization of synthesis condition and the electrochemical properties of $\text{LiVMO}_{6-\delta}$ (M = Mo or W) as candidate positive electrode material for lithium batteries. **Solid State Ionics**, v. 152-153, p. 91-97, dez. 2002.

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **Digital Economy Report 2024**: shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future. Nova York: UN, 2024.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Resources Outlook 2024**: bend the trend – pathways to a liveable planet as resource use spikes. Nairobi: UNEP, 2024.

UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Industrial Development Report 2024**: turning challenges into sustainable solutions – the new era of industrial policy. Viena: UNIDO, maio 2024.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital transition framework**: an action plan for public-private collaboration. Cologny: WEF, jan. 2023. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/digital-transition-framework-an-action-plan-for-public-private-collaboration/>. Acesso em: 22 set. 2024.

WORLD BANK. **The leaders of the twin transition in Asia**: mapping capabilities through digital and green patents. Washington: IBRD/World Bank, 2023a.

WORLD BANK. **Green digital transformation**: how to sustainably close the digital divide and harness digital tools for climate action. Washington: IBRD/World Bank, 2023b.

WORLD BANK. **Green digital transformation**: how to sustainably close the digital divide and harness digital tools for climate action. Washington: IBRD/World Bank, 2024.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BECK, U. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra modernidade. São Paulo: Editora 34, 2011. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2020/11/sociedade_de_risco.pdf.

ITU – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION; WORLD BANK. **Green data centers**: towards a sustainable digital transformation – a practitioner’s guide. Genebra: ITU; Washington: World Bank, 2023.

APÊNDICE A

QUADRO A.1
Quadro-resumo (2021-2024)

Organização	Relatório	Ano	Foco principal do relatório	Como aborda a digitalização	Abordagem de sustentabilidade	Desafios identificados	Estudo de casos (cidades e países)	Evidências utilizadas	Ações sugeridas
Banco Mundial (Seoul Center)	The Leaders of the Twin Transition in Asia: mapping capabilities through digital and green patents	2023	Explora o progresso na transição digital e verde em cidades asiáticas, ao identificar lideranças e potenciais parcerias.	Foco em tecnologias como internet das coisas (IoT), computação em nuvem, inteligência artificial (IA) e outras, usando dados de patentes para medir o desenvolvimento regional/tecnológico.	Aborda tecnologias verdes como parte da transição dupla , ao focar em patentes de energias renováveis, como a solar, a eólica e a de baterias.	A maioria das cidades é "seguidora", com poucas lideranças isoladas em tecnologias digitais e ou verdes.	Cento e vinte e oito cidades da Ásia Oriental e do Sudeste Asiático (China, Japão, Coreia do Sul, Indonésia, Vietnã etc.).	Dados de patentes globais (2004-2021), análise de densidade de relatedness entre tecnologias digitais e verdes.	Evitar políticas de "tamanho único" e promover parcerias internacionais para desenvolver capacidades digitais e verdes.
Banco Mundial	Green Digital Transformation: how to sustainably close the digital divide and harness digital tools for climate action	2024	Explora como a digitalização pode ajudar na ação climática e no fechamento da divisão digital de forma sustentável.	Foca na transição digital, com o objetivo de acelerar a ação climática, com tecnologias digitais para mitigar emissões e aumentar a resiliência.	Uso de tecnologias digitais, com o intuito de reduzir emissões e promover infraestrutura resiliente, com foco na inclusão digital, para garantir que as tecnologias cheguem a todos.	Exclusão digital persistente, especialmente em países de baixa renda, e o aumento de emissões do setor de tecnologias da informação e comunicação (TICs) sem ações para torná-lo mais sustentável (efeito rebote).	Exemplos de estratégias de adaptação digital em Ruanda, nas Maldivas e em países nórdicos que integram políticas digitais e climáticas.	Dados sobre a exclusão digital global, impacto do setor de TICs nas emissões e exemplos de como as tecnologias digitais já estão sendo usadas na mitigação climática.	Promover uma transição dupla entre digitalização e ação climática, bem como garantir políticas que incentivem o uso de energias renováveis no setor digital.
International Telecommunication Union (ITU) e Banco Mundial	<i>Green Data Centers: towards a sustainable digital transformation – a practitioner's guide.</i>	2024	Propõe práticas e tecnologias para tornar data centers mais sustentáveis, com foco em mitigação e adaptação climática.	Aborda o papel dos data centers como infraestruturas digitais críticas, com ênfase em otimização energética e digitalização sustentável.	Enfatiza a eficiência energética, o uso de energias renováveis, a refrigeração sustentável e a economia circular na gestão de data centers .	Crescimento da demanda de energia, dependência de minerais críticos e desafios na gestão de resíduos eletrônicos (e-waste).	Ledra Mine Datacenter (Noruega)	Dados sobre consumo de energia, análises de impacto ambiental e estudos de casos específicos.	Incentivar políticas públicas de incentivo à sustentabilidade em data centers , promover uso de energias renováveis e adotar certificações ambientais, como a Excellence in Design for Greater Efficiencies (Edge), para validar práticas sustentáveis.
Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)	Measuring the Environmental Impacts of AI Compute and Applications: the AI footprint.	2022	Medir os impactos ambientais diretos e indiretos da IA, com foco no uso de recursos computacionais e suas aplicações.	A IA é descrita como uma tecnologia digital que pode gerar eficiência ambiental, mas seu uso intensivo de recursos computacionais pode ter impactos ambientais (efeito rebote).	Foca em reduzir os impactos ambientais da IA, ao abordar o ciclo de vida de recursos como energia, água e uso de materiais.	Há dificuldade em medir impactos específicos da IA, mensurar o impacto do aumento exponencial no uso de recursos computacionais para grandes modelos de IA.	Estudo de centros de dados de grandes empresas, como Google, Meta e DeepMind.	Revisão de literatura e entrevistas com especialistas em IA e sustentabilidade, incluindo-se dados de centros de dados e consumo energético.	Estabelecimento de normas globais para medição de impactos ambientais da IA, bem como coleta de dados de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e consumo de água e energia no setor.
OCDE	Navigating Green and Digital Transition: five imperatives for effective STI policy	2023	Explorar cinco imperativos de política para transições verde e digital, focando em inovação e tecnologia.	A digitalização é vista como crítica para a transição verde, usando tecnologias como IA e big data para impulsionar eficiência e inovação em setores-chave.	Foco na integração de tecnologias verdes e digitais, com o objetivo de atingir metas climáticas, destacando-se a importância da inovação para descarbonização.	Governança fragmentada entre ministérios, dificuldade em escalar inovações e falta de coordenação transnacional em políticas.	Exemplos de políticas na Alemanha e em outros países da OCDE, como acordos de neutralidade climática em cidades e políticas de inovação.	Relatórios e estudos de caso de políticas de inovação na Alemanha, além de dados de projetos da OCDE e de outros organismos internacionais.	Incentivar inovações disruptivas, criar governança coordenada e ágil, engajar stakeholders , e promover uma visão compartilhada para a transição verde e digital.

(Continua)

(Continuação)

Organização	Relatório	Ano	Foco principal do relatório	Como aborda a digitalização	Abordagem de sustentabilidade	Desafios identificados	Estudo de casos (cidades e países)	Evidências utilizadas	Ações sugeridas
Joint Research Centre/ Comissão Europeia (JRC/CE)	<i>Towards a Green and Digital Future: Key requirements for successful twin transitions in the European Union</i>	2022	Explorar como as transições verde e digital podem reforçar-se mutuamente até 2050.	Aborda a digitalização como um facilitador da transição verde, as destacar tecnologias digitais como IoT, gémeos digitais, realidade virtual e big data , para melhorar processos de sustentabilidade.	Apoio à transição verde com tecnologias digitais como simulação, monitoramento e otimização de processos sustentáveis em setores-chave (agricultura, energia etc.).	Aumento no consumo energético pelas tecnologias digitais, efeito rebote e dependência de recursos raros para eletrônicos.	Dez estudos de caso em setores como agricultura, construção, energia, transporte e mobilidade, com exemplos práticos de soluções digitais verdes.	Revisão de literatura, análise de tendências e participação de mais de duzentos especialistas em oficinas e conferências.	Coerência política, padrões tecnológicos interoperáveis, investimento em soluções digitais e verdes, proteção de dados e inclusão social.
JRC/CE e OCDE	World Corporate Top R&D Investors: paving the way for climate neutrality	2021	Analisar a contribuição das maiores empresas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para a neutralidade climática e a inovação tecnológica.	A digitalização é abordada como facilitadora de tecnologias de mitigação climática, com 20% das patentes relacionadas ao clima possuindo componentes digitais.	Foco na inovação tecnológica, com o intuito de mitigar mudanças climáticas, com patentes e marcas ligadas a tecnologias de mitigação e adaptação climática.	Baixos investimentos diretos em tecnologias de baixa emissão por setores de TICs, apesar do impacto crescente dessas tecnologias nas emissões globais.	Empresas da China, do Japão, da Coreia do Sul e da União Europeia (UE) especializam-se em tecnologias-chave, como hidrogênio e energias renováveis.	Análise de dados de patentes e marcas relacionadas ao clima, baseadas no sistema de classificação do European Patent Office (EPO) e do banco de dados EPO Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT).	Integração de incentivos para inovação verde nas políticas industriais, fortalecimento da colaboração público-privada e ampliação do investimento em P&D.
Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (UNCTAD/ONU)	Digital Economy Report 2024: shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future	2024	Explorar como a digitalização pode ser sustentável e inclusiva, ao abordar impactos ambientais e desigualdades.	A digitalização é discutida como um motor de crescimento não apenas econômico e social, mas também com impacto ambiental, particularmente no uso de recursos e na geração de resíduos.	Foca na transição para uma economia digital circular e sustentável, com ênfase na redução de resíduos e no uso eficiente de recursos.	Alta dependência de minerais para tecnologias digitais e renováveis; impacto ambiental desigual em países desenvolvidos e em desenvolvimento.	Exemplo de centros de dados em países como Irlanda e Singapura; mineração de minerais de transição em países como República Democrática do Congo (RDC), Austrália e Chile.	Estudos de tendências de digitalização, análise de impactos ambientais de centros de dados e produção de dispositivos digitais.	Incentivar uma economia digital circular, promover o uso de energias renováveis e desenvolver legislações globais, com o objetivo de minimizar impactos ambientais.
Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) da ONU	Global Resource Outlook 2024	2024	Analisar tendências de uso de recursos e seus impactos, oferecendo caminhos para uma transição sustentável.	O foco é mais nos impactos físicos e ambientais do uso de recursos, não explorando profundamente a digitalização.	Propõe uma transição para um uso sustentável de recursos naturais, com foco em energia, alimentos e materiais de construção.	Desigualdade no uso de recursos e na distribuição dos benefícios; transição lenta para práticas sustentáveis.	Análise de diferentes cenários de transição em regiões de alta e baixa renda globalmente.	Redução significativa dos impactos ambientais e da desigualdade global por meio de transição eficiente e sustentável.	Economia circular, eficiência energética, gestão sustentável de recursos, reforma tributária verde, investimento em tecnologias verdes e governança global de recursos.
Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) da ONU	Industrial Development Report 2024	2024	Acelerar o progresso nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), por meio da industrialização sustentável.	Enfatiza a Quarta Revolução Industrial (4IR), incluindo-se tecnologias como IA, IoT, e big data , aplicadas para otimização de processos industriais.	Foca na industrialização sustentável, com adoção de tecnologias verdes, ao promover a eficiência energética e a inovação tecnológica.	Desigualdade no acesso às novas tecnologias, falta de investimento em países em desenvolvimento e infraestrutura inadequada.	Casos em países como Brasil (digitalização de pequenas e médias empresas – PMEs), Arábia Saudita (fábricas do futuro) e China (mobilidade elétrica).	Dados de patentes verdes, análise de políticas industriais regionais, avaliações de progresso em ODS e megatendências globais.	Incentivo a políticas industriais que promovam o uso de tecnologias da 4IR, inovação verde, colaboração público-privada e eficiência energética
Grupo de Trabalho III – Mitigação da Mudança do Clima do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (WGIII/IPCC)	Innovation, Technology Development and Transfer	2022	Fomentar a inovação tecnológica, com o objetivo de obter mitigação climática e desenvolvimento sustentável.	A digitalização é abordada como uma general-purpose technology (GPT), que pode não apenas aumentar a eficiência energética, mas também gerar maior demanda de energia e materiais raros.	Enfoque em tecnologias verdes e inovações para descarbonização, mitigando-se impactos ambientais e sociais negativos.	Dependência de materiais raros, aumento da demanda por energia, desafios em políticas de governança digital e desigualdade digital.	Estudo de impacto do uso de IA e outras tecnologias digitais em setores como agricultura, transportes e energia, abordando tanto ganhos como limitações.	Estudos baseados em evidências globais sobre eficiência digital e impactos climáticos, além de modelos de avaliação integrada.	Políticas para governança digital, incentivos para energias renováveis, redução da exclusão digital e investimentos em tecnologias verdes.

Elaboração dos autores.

REFERÊNCIAS

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Towards a green and digital future**: key requirements for successful twin transitions in the European Union. Luxembourg: JRC/EC, 2022. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129319>.

EC – EUROPEAN COMMISSION; OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **World corporate top R&D investors**: paving the way for climate neutrality. Luxembourg: JRC/EC; OECD, 2021. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126788>.

ITU – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION; WORLD BANK. **Green data centers**: towards a sustainable digital transformation – a practitioner’s guide. Genebra: ITU; Washington: World Bank, 2023.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Measuring the environmental impacts of artificial intelligence compute and applications**: the AI footprint. Paris: OECD, nov. 2022. (OECD Digital Economy Papers, n. 341).

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Navigating green and digital transitions**: five imperatives for effective STI policy. Paris: OECD, nov. 2023. (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n. 162). Disponível em: <file:///C:/Users/t2019711/Downloads/dffb0747-en.pdf>.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Resources Outlook 2024**: bend the trend – pathways to a liveable planet as resource use spikes. Nairobi: UNEP, 2024.

UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Industrial Development Report 2024**: turning challenges into sustainable solutions – the new era of industrial policy. Viena: UNIDO, maio 2024.

WORLD BANK. **The leaders of the twin transition in Asia**: mapping capabilities through digital and green patents. Washington: IBRD/World Bank, 2023a.

WORLD BANK. **Green digital transformation**: how to sustainably close the digital divide and harness digital tools for climate action. Washington: IBRD/World Bank, 2023b.

EDITORIAL

Coordenação

Aeromilson Trajano de Mesquita

Assistentes da Coordenação

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elías de Souza

Supervisão

Ana Clara Escórcio Xavier

Everson da Silva Moura

Revisão

Alice Souza Lopes

Amanda Ramos Marques Honorio

Barbara de Castro

Cláudio Passos de Oliveira

Clícia Silveira Rodrigues

Denise Pimenta de Oliveira

Fernanda Gomes Teixeira de Souza

Nayane Santos Rodrigues

Olavo Mesquita de Carvalho

Reginaldo da Silva Domingos

Susana Sousa Brito

Yally Schayany Tavares Teixeira

Jennyfer Alves de Carvalho (estagiária)

Katarinne Fabrizzi Maciel do Couto (estagiária)

Editoração

Anderson Silva Reis

Augusto Lopes dos Santos Borges

Cristiano Ferreira de Araújo

Daniel Alves Tavares

Danielle de Oliveira Ayres

Leonardo Hideki Higa

Capa

Leonardo Hideki Higa

Projeto Gráfico

Leonardo Hideki Higa

*The manuscripts in languages other than Portuguese
published herein have not been proofread.*

Ipea – Brasília

Setor de Edifícios Públicos Sul 702/902, Bloco C

Centro Empresarial Brasília 50, Torre B

CEP: 70390-025, Asa Sul, Brasília-DF

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.