

ISSN 1414-9230

59

BNDES Setorial

Vol. 31 | março de 2025



 **BNDES**

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL

Presidente

Aloizio Mercadante Oliva

Diretores

Alexandre Correa Abreu

Helena Tenório Veiga de Almeida

José Luis Pinho Leite Gordon

Luciana Aparecida da Costa

Luiz Augusto Fraga Navarro de Britto Filho

Maria Fernanda Ramos Coelho

Nelson Henrique Barbosa Filho

Tereza Helena Gabrielli Barreto Campello

Walter Baère de Araújo Filho

59

BNDES Setorial

ISSN 1414-9230

59

BNDES Setorial

Vol. 31 | Março de 2025



BNDES Setorial

Publicação semestral editada em março e setembro

Editores

Antônio Marcos Hoelz Ambrozio

Gabriel Ferraz Aidar

Thiago de Holanda Lima Miguez

Edição

Gerência de Editoração e Memória

Coordenação editorial

Shirlene Linny da Silva

Gerência de Editoração e Memória

Luisa de Carvalho e Silva

Comissão editorial

Carla Gaspar Primavera

João Paulo Pieroni

Lívia dos Reis Cavalcante José Rocha

Luciene Ferreira Monteiro Machado

Conselho editorial convidado desta edição

Felipe Guatimosim Maciel

Jorge Antonio Bozoti Pasin

Gustavo de Britto Rocha (UFMG)

Leandro Gomes da Silva (UFRJ)

Copidesque e revisão

Tikinet

Diagramação e capa

Refinaria Design

BNDES Setorial, n. 1, jul. 1995 -

Rio de Janeiro, Banco Nacional de Desenvolvimento

Econômico e Social, 1995 - n.

Semestral. ISSN 1414-9230

Periodicidade anterior: quadrimestral até o n. 3.

1. Economia - Brasil - Periódicos. 2. Desenvolvimento econômico - Brasil - Periódicos. I. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

CDD 330.05

Ficha catalográfica elaborada por: Juceli Vasconcelos – CRB/7-4725

© 2025

Esta publicação está disponível

em formato digital em

www.bndes.gov.br/bibliotecadigital

Distribuição gratuita

É permitida a reprodução parcial ou total dos artigos desta publicação, desde que citada a fonte.

Para assinar esta publicação, envie e-mail para: gedit@bndes.gov.br

Os artigos assinados são de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES.

Av. República do Chile, 100

Rio de Janeiro - RJ - CEP 20031-917

<http://www.bndes.gov.br>

Sumário

PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA *OFFSHORE* E AS PERSPECTIVAS PARA O BRASIL | 5 |

Renato Santos de Souza
Guilherme Oliveira Arantes

GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL E O DESENVOLVIMENTO DA CADEIA LOCAL DE FORNECEDORES. | 57 |

Carlos Henrique Cabral Duarte
Bruno Plattek de Araújo

O DESAFIO PARA CIDADES RESILIENTES NO BRASIL. | 119 |

Luciene Machado
Flavio Papelbaum
Mauricio Cardoso Gelelete
Alberto Gallo

GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL: DIAGNÓSTICO, DESAFIOS E OPORTUNIDADES | 167 |

Leticia Pimentel
Luciana Capanema

COMPLEXIDADE E O APOIO
DO BNDES ÀS EXPORTAÇÕES | 209 |

Alexandre Kussunoki Lautenschlager

DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO E EXPORTAÇÕES
DE SERVIÇOS EMPRESARIAIS
INTENSIVOS EM CONHECIMENTO:
RELAÇÕES DE CAUSALIDADE
E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS | 247 |

Bruno Galvão dos Santos

OVERVIEW OF OFFSHORE WIND ENERGY AND PROSPECTS FOR BRAZIL

Renato Santos de Souza

*Guilherme Oliveira Arantes**

Keywords: energy; renewable energy; offshore wind energy.

* Respectively, engineer and manager of the Electric Power Department of the BNDES's Energy Transition and Climate Division.

Resumo

A energia eólica *offshore* alcançou um estágio avançado de maturidade em diversos países e surge como uma alternativa estratégica para a diversificação da matriz elétrica brasileira, impulsionada por avanços regulatórios, planejamento espacial marinho e instrumentos financeiros. Com quase dez mil quilômetros de linha costeira e elevado potencial eólico, o Brasil tem avançado na regulamentação do setor. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) tem desempenhado papel crucial no financiamento da transição energética, com mais de US\$ 36,4 bilhões investidos desde 2004. Por meio do Fundo Clima e dos títulos verdes, mobilizando recursos nacionais e internacionais, incluindo o secretariado da Plataforma Brasil de Investimentos Climáticos (BIP), o BNDES seguirá apoiando a transição energética e aumentando o engajamento financeiro e institucional em projetos eólicos *offshore*, reforçando a posição do país como líder global no desenvolvimento de energia renovável.

Abstract

Offshore wind energy has reached an advanced maturity stage in several countries and is emerging as a strategic alternative for diversifying the Brazilian energy matrix, which was driven by regulatory advances, marine spatial planning, and financial instruments. Brazil has almost ten thousand kilometers of coastline and high wind potential, and has advanced in regulating the sector. The Brazilian Development Bank (BNDES) has played a crucial role in financing the energy transition and more than US\$ 36.4 billion were invested since 2004. Via the Climate Fund and green bonds, mobilizing national and international resources, including the secretariat of the Brazil Climate Investment Platform (BIP), BNDES will continue to support the energy transition and increase the financial and institutional engagement in offshore wind projects, reinforcing the country's position as a global leader in the development of renewable energy.

Introdução

A Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês) estima que, para atingir a transição da economia global para atividades com emissões líquidas zero e, assim, evitar a catástrofe climática, serão necessários investimentos anuais de US\$ 4 trilhões até 2050. Esses investimentos deverão impulsionar as tecnologias existentes de geração de energia renovável, como solar e eólica; expandir as ações de eletrificação direta, como veículos elétricos e bombas de calor; e promover tecnologias inovadoras, a exemplo de soluções de eficiência energética, usos do hidrogênio, bioenergia e soluções de captura de carbono (IEA, 2021). Estima-se que a eletrificação direta poderá responder por 50% dos esforços de descarbonização, enquanto os outros 50% dependem de tecnologias que ainda estão em amadurecimento, principalmente em setores de difícil abatimento como transporte de longas distâncias, produção de aço e fertilizantes (BNEF, 2024).

As mudanças climáticas já em curso estão relacionadas ao aumento da incidência de eventos climáticos extremos, decorrentes do acúmulo de emissões de gases de efeito estufa (GEE), sobretudo provenientes da queima de combustíveis fósseis. Esse cenário impõe novos desafios à gestão e ao planejamento do sistema elétrico. Ao mesmo tempo que a eletrificação das atividades econômicas é fundamental para a transformação de processos produtivos emissores de GEE, o sistema elétrico, em especial em regiões com grande penetração de hidrelétricas, como no Brasil, precisa aumentar sua resiliência para suportar os impactos climáticos que estão em andamento.

Espera-se que as mudanças climáticas impactem a maioria das tecnologias de produção de eletricidade, sendo que os efeitos negativos na produção de energia praticamente dobram entre cenários de aquecimento

de 1,5°C e 3°C (Tobin *et al.*, 2018). A diversificação é a melhor maneira de aumentar a resiliência da geração de energia contra as mudanças climáticas (IEA, 2024). Estudos mostram que uma maior participação de energias renováveis pode reduzir a vulnerabilidade da geração de energia aos impactos climáticos, embora a variabilidade continue sendo um desafio (Tobin *et al.*, 2018). Isso ocorre porque diferentes fontes de energia, como solar, eólicas em terra e no mar, hidrelétrica e bioenergia, têm características distintas de produção e são afetadas de maneiras variadas por eventos climáticos extremos (Sinsel; Yan; Stephan, 2019). Quando o sistema elétrico é diversificado, ele se torna menos vulnerável a oscilações causadas por secas, tempestades, variações de temperatura ou mudanças nos padrões dos ventos.

Nesse contexto, a tecnologia de geração eólica em estruturas no mar (*offshore*) traz uma nova oportunidade de diversificação da matriz elétrica brasileira. Estudos sugerem que há uma relevante complementaridade operacional entre os sistemas de energia hidrelétrica e eólica *offshore* no Brasil (World Bank, 2024a), o que contribui para aumentar a resiliência da energia renovável às mudanças climáticas, expandir a gama de condições climáticas sob as quais o sistema pode operar com segurança e reduzir a dependência de combustíveis fósseis que intensificam as mudanças climáticas (Wang *et al.*, 2022).

Este estudo analisa o papel crescente da energia eólica *offshore* no cenário mundial, bem como as oportunidades e desafios para a inserção dessa nova fonte na matriz elétrica brasileira. Para isso, além desta introdução, o artigo foi organizado em seis seções. A primeira explora o panorama global das eólicas *offshore*, com abordagem da perspectiva histórica e dos impactos nos locais onde os projetos foram desenvolvidos. A segunda seção apresenta os elementos necessários para o desenvolvimento dessa indústria, entre os quais a cadeia de suprimentos, as políticas públicas

e as fases do desenvolvimento dos projetos. A terceira seção aborda o potencial, as sinergias e os desafios para o desenvolvimento dessa fonte renovável no Brasil. A quarta seção apresenta o estágio atual da regulação e das políticas públicas no país. A quinta seção trata da perspectiva financeira, trazendo os elementos necessários para a financiabilidade dos projetos, com destaque para os instrumentos e a atuação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Por fim, as conclusões são apresentadas na última seção.

Panorama global das eólicas *offshore*

Histórico do desenvolvimento do setor

A energia eólica *offshore* desenvolveu-se significativamente desde a sua criação no início da década de 1990. O primeiro parque eólico *offshore* comercial foi estabelecido na Dinamarca, em 1991, com capacidade de 4,95 MW (Higgins; Foley, 2013). Na verdade, tratava-se de um conjunto de 11 turbinas *onshore* adaptadas para condições marinhas, cada uma com 450 kW de potência, e que foram descomissionadas em 2017, mas tiveram grande importância para iniciar o ciclo das eólicas *offshore* na Europa (World Bank, 2019). A indústria progrediu de projetos em águas rasas e próximos à costa para águas mais profundas, necessitando de turbinas maiores e técnicas avançadas de instalação, com grandes desenvolvimentos no noroeste da Europa (Macaskill; Mitchell, 2013) e, mais recentemente, na China (GWEC, 2024).

O crescimento da energia eólica *offshore* foi impulsionado pela necessidade de descarbonização do sistema elétrico de países europeus, por seu impacto local reduzido em comparação com a energia eólica *onshore*,

pelas maiores áreas disponíveis e pelo potencial de grandes economias de escala. Os marcos regulatórios evoluíram para apoiar esse desenvolvimento, com a União Europeia desempenhando um papel significativo na formação das leis aplicáveis (Nieuwenhout, 2021).

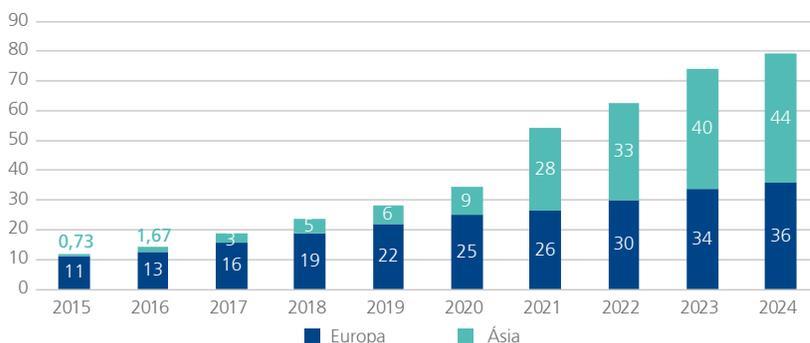
Resultados de leilões recentes indicam que a energia eólica *offshore* está se tornando cada vez mais competitiva, com custos em rápido declínio e alguns projetos na Alemanha e na Holanda já livres de subsídios. Globalmente, os leilões de energia eólica *offshore* empregam diversos *designs*, embora a maioria forneça alguma forma de estabilização de receita (Jansen *et al.*, 2020).

No entanto, o custo de capital para energia eólica *offshore* permanece mais alto do que para energia eólica *onshore* e solar, em parte devido às enormes estruturas empregadas e à complexidade de construção. No seu planejamento decenal, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) considera custos médios para eólicas *offshore* entre 2,4 e 3,5 vezes superiores aos projetos *onshore* (Brasil; EPE, 2024). Embora todas as tecnologias de energia renovável, incluindo solar e eólica, tenham apresentado reduções significativas de custos, a competitividade de cada projeto varia a depender de fatores como custos de capital e taxas de desconto (Timilsina, 2021). A competitividade de custo da energia eólica *offshore* evoluiu significativamente nos últimos anos: o preço da energia eólica *offshore* contratada diminuiu 70% em dez anos no norte da Europa, considerando a diferença de preços entre os projetos instalados desde 2015 e aqueles recém-leiloados, que entram em operação até 2025 (World Bank, 2021).

Apesar dos desafios, como ambientes marinhos complexos, transmissão de energia em alto mar e altos custos de instalação, a energia eólica *offshore* continua a se expandir globalmente e se apresenta como uma fonte de energia renovável estável e promissora (Li *et al.*, 2020). Em 2024, a fonte

atingiu quase 80 GW instalados, sendo 50% concentrados na China e o restante em países da Europa, como Reino Unido, com 15 GW, Alemanha, com 9 GW, e Holanda, com 5 GW instalados (IRENA, 2025). O Gráfico 1 ilustra a evolução da capacidade instalada, com destaque para o ano de 2020, quando a China adicionou 16,7 GW de eólicas *offshore*.

Gráfico 1 | Evolução da capacidade instalada em eólicas *offshore* (em GW)



Fonte: Elaboração própria com base em dados da IRENA (2025).

Impacto local dos projetos

Mesmo trazendo os benefícios da geração de energia limpa, o desenvolvimento da indústria eólica *offshore* também gera críticas devido aos seus impactos locais. Entre as preocupações estão o ruído submarino, que pode afetar a migração e reprodução de animais marinhos, colisões de aves marinhas com as turbinas, perturbação visual da paisagem, perda de territórios para comunidades – como pescadores – e a resistência de grupos contrários ao desenvolvimento da energia renovável, associada ao fenômeno *not in my backyard* (NIMBY).¹ Esse fenômeno é amplificado por campanhas de desinformação, principalmente de opositores ou da indústria de combustíveis fósseis (Garó; Roberts, 2024; Slevin; Roberts; Kattrup, 2023).

¹ Termo criado para caracterizar o movimento de oposição a projetos de infraestrutura coletiva próximos a áreas de residência ou de interesse dos seus integrantes, mas com a conotação de que podem ser tolerados se desenvolvidos em locais distantes.

Essas críticas são importantes para aprimorar os estudos e o planejamento dos projetos, visando minimizar impactos negativos. Por exemplo, os efeitos das turbinas eólicas sobre as aves têm sido amplamente estudados, apontando riscos como mortalidade por colisão, deslocamento e impactos nas populações de presas. No entanto, pesquisas recentes indicam que a mudança de rotas migratórias ou habitats não é conclusiva e algumas espécies até mostram atração pelas turbinas (Trinder; O'Brien; Deimel, 2024; Marques; Batalha; Bernardino, 2021). A altura das torres e o uso de turbinas maiores podem reduzir o risco de colisões com as aves (Johnston *et al.*, 2014).

Além disso, as turbinas eólicas emitem ruído subaquático de baixa frequência, que pode afetar espécies marinhas, como botos e focas, dependendo da distância, embora esse ruído seja mais baixo que o ruído de navios na mesma faixa de frequência (Tougaard; Hermanssen; Madsen, 2020). Durante a construção, o ruído gerado pelas fundações tipo monoestaca é mais alto, mas medidas como cortina de bolhas e observação de proximidade podem mitigar esses impactos (Green *et al.*, 2022).

Outros impactos no ecossistema marinho incluem os campos eletromagnéticos gerados pelos cabos de transmissão, que podem afetar espécies como salmões e tartarugas marinhas. No entanto, esses efeitos podem ser mitigados com melhor planejamento e isolamento dos cabos. As colisões com embarcações durante a construção e a manutenção dos parques também são preocupantes, especialmente para mamíferos marinhos, e podem ser reduzidas com a diminuição da velocidade das embarcações. Além disso, a formação de recifes artificiais nas estruturas pode atrair espécies de peixes e invertebrados, o que pode ser benéfico se o *design* das estruturas for adequado às necessidades ecológicas (Green *et al.*, 2022). Todos esses aspectos exigem um aprimoramento contínuo das pesquisas, especialmente

nas fases iniciais dos projetos, antes da obtenção da licença de instalação, durante os estudos de impacto ambiental.

Diretrizes para o desenvolvimento de eólicas *offshore*

Nesta seção, serão tratados os principais componentes da cadeia de valor a ser desenvolvida para viabilizar a implantação de parques eólicos no mar, com análise direcionada ao mercado brasileiro. Também serão abordados os condicionantes regulatórios e políticos para o desenvolvimento desse mercado e as fases típicas de um projeto, desde os primeiros pilotos até alcançarem a escala necessária para consolidação e competitividade da fonte.

Cadeia produtiva

A cadeia de suprimentos do setor de eólicas *offshore* foi dividida em dois grupos: os componentes principais do parque eólico *offshore* e os serviços prestados nas diversas fases dos projetos.

Os componentes de um parque eólico *offshore* normalmente são produtos manufaturados que poderão ser produzidos a partir da cadeia de fornecedores existente ou demandarão novos investimentos, como é o caso de muitos componentes de maior dimensão, peso e características diferenciadas ao ambiente marinho. O Quadro 1 sintetiza esses componentes e suas características.

Quadro 1 | Principais componentes do parque eólico *offshore*

Grupo	Componente	Descrição	Características
Componentes principais do aerogerador <i>offshore</i>	Pás	Feitas de materiais como fibra de vidro, carbono e madeira balsa, são maiores em projetos <i>offshore</i> , aumentando a geração de energia.	As pás de turbinas de 15 MW podem alcançar 150 m e exigem moldes específicos.
	Cubo do rotor	Conecta as pás ao eixo central da turbina.	Devido a suas dimensões, precisam ser fabricados o mais próximo possível dos portos.
	Nacele	Contém o rotor, caixas multiplicadoras, unidades hidráulicas e sistemas de segurança.	Mesmo com a presença dos principais fabricantes no Brasil, novos investimentos são necessários devido aos requisitos de dimensão e peso, sendo desejável que a montagem ocorra o mais próximo possível dos portos.
	Torres	Feitas de aço tratado, as torres são mais robustas devido às condições marinhas e também mais altas, aumentando sua eficiência.	As fábricas de torres existentes no Brasil podem ser adaptadas, mas a logística pode ser um desafio a depender do local de instalação.
	Fundações	Podem ser fixas ou flutuantes, com a escolha dependendo da profundidade do mar e das condições do solo marinho.	As fundações fixas são limitadas a profundidades de até 60 m.

(Continua)

(Continuação)

Grupo	Componente	Descrição	Características
Componentes principais do aerogerador <i>offshore</i>	Componentes de grande porte	A fabricação de fundidos de grande porte, rolamentos e transformadores exige novos investimentos.	O conhecimento atual das empresas é um ativo, mas demandarão novas estruturas fabris e algumas deverão se deslocar para os portos.
	Componentes modulares	Componentes como painéis, conversores, freios, parafusos e sinalizações podem ser adaptados da cadeia eólica <i>onshore</i> .	Pela característica modular desses componentes, podem ser adaptados ao aumento de potência e dimensões dos aerogeradores <i>offshore</i> .
Componentes de interligação do parque <i>offshore</i>	Cabos submarinos	Transportam eletricidade das turbinas para as subestações e para a rede elétrica.	Sua robustez aumenta conforme o parque está mais distante da costa.
	Subestações <i>offshore</i>	São plataformas no mar que concentram a eletricidade gerada pelas turbinas e a enviam para a terra.	Quanto maior a distância da costa, maiores os custos do sistema de transformação e transmissão.

Fonte: Elaboração própria.

Já a cadeia de fornecedores de serviços especializados pode ser agrupada nas três fases principais do desenvolvimento do setor, sendo a primeira o desenvolvimento da infraestrutura de portos, navios e logística, seguida da construção dos parques e, por fim, da operação e manutenção dos parques construídos, conforme detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 | Serviços especializados

Grupo	Componente	Descrição	Características
Infraestrutura e logística	Portos	Essenciais para a movimentação de grandes componentes e para a montagem e manutenção dos parques.	A infraestrutura portuária adequada é crucial para o sucesso dos projetos.
	Navios	Transportam turbinas, fundações e cabos, com grandes guindastes e embarcações adaptadas às necessidades da instalação no mar.	Alguns navios podem ser compartilhados com outras indústrias, como a de petróleo, enquanto outros são específicos e têm custos altos e janelas de afretamento concorridas.
	Transporte terrestre	Inclui o transporte de peças para os portos, o que exige infraestrutura apropriada para lidar com componentes pesados.	Os custos logísticos entre o local de produção e o de pré-montagem antes da montagem final no mar podem ser significativos.
Engenharia e construção	Estudos geotécnicos e ambientais	Antes da instalação, são realizados estudos para avaliar o solo marinho e os impactos ambientais.	Envolve atividades como medição de ventos, avaliações geológicas, estudos de impacto ambiental.
	Engenharia de fundações e instalações	Projetos de fundações variam conforme as condições do fundo oceânico e da profundidade do mar.	As fundações oneram os projetos eólicos <i>offshore</i> e seu dimensionamento correto é um fator de competitividade.
	Instalação e comissionamento	A montagem das turbinas, fundações e subestações requer alta especialização.	Componente que pode representar 25 a 35% dos custos de um parque em função da complexidade da operação no mar.

(Continua)

(Continuação)

Grupo	Componente	Descrição	Características
Operação e manutenção (O&M)	Monitoramento remoto	Utiliza sensores avançados para monitoramento contínuo das turbinas e sistemas de transmissão.	Atividades que garantem o funcionamento seguro e econômico do projeto, atingindo equilíbrio entre custo de funcionamento e produção de eletricidade.
	Manutenção especializada	A manutenção exige embarcações e helicópteros, além de ser mais cara e desafiadora devido às condições adversas no mar.	
	Inspeções regulares	Drones e robôs subaquáticos são usados para inspecionar fundações, torres e cabos submarinos.	

Fonte: Elaboração própria.

Políticas públicas

O desenvolvimento dos projetos *offshore* é longo, levando cerca de oito a dez anos para os projetos pioneiros serem concluídos. Porém, os primeiros passos para o estabelecimento dessa indústria não demandam grandes investimentos, pois estão concentrados em políticas públicas para definir estratégias, metas e arcabouços regulatórios que irão guiar e incentivar o seu desenvolvimento.

O Banco Mundial e a Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) publicaram um guia voltado para economias emergentes, como a do Brasil, que estão em estágios iniciais de implantação de políticas para o mercado de eólicas *offshore*, trazendo quatro pilares para o desenvolvimento da indústria: estratégia, políticas, regulação e entrega, que serão apresentados na sequência (World Bank, 2021).

- **Estratégia – estabelecer a visão**

A estratégia tem por objetivo integrar as eólicas *offshore* ao plano energético de longo prazo, reconhecendo sua contribuição para a segurança energética, devido a sua larga escala, alto fator de capacidade e previsibilidade, para a descarbonização e para o atingimento de metas do Acordo de Paris. Com essa declaração de intenções inequívoca, os formuladores de política energética e políticas públicas contribuem para o progressivo desenvolvimento do mercado, redução de custos, robustez dos contratos, adensamento da cadeia e criação de empregos (World Bank, 2021).

Os novos projetos *offshore* têm apresentado maior fator de capacidade, como observado no Reino Unido, onde a média aumentou de 34,9% para 41% entre as rodadas do esquema de obrigação de energias renováveis (Dean, 2020). Na China, estima-se um potencial de 800 GW em regiões com fator de capacidade superior a 50% (Peng; Lin; He, 2023). Como será detalhado posteriormente, estima-se que o fator de capacidade no Brasil atinja valores médios entre 47 e 60%, o que contribui para o aumento da atratividade dessa fonte (Fernandes *et al.*, 2022).

Embora os custos iniciais sejam elevados, o desenvolvimento do mercado os reduz. No Reino Unido, o custo nivelado de energia (LCOE, na sigla em inglês) caiu de 150 €/MWh, em 2011, para 69 €/MWh, em 2020, impulsionado por fatores como financiamento favorável e avanços tecnológicos (Santhakumar *et al.*, 2022).

A distribuição geográfica de parques *offshore* contribui para a segurança energética ao minimizar períodos de baixa geração e reduzir a dependência de poucas fontes renováveis (Potisomporn; Vogel, 2021). Além disso, o setor tem impacto socioeconômico relevante, podendo gerar 2,1 milhões de pessoas-dias de trabalho para cada 500 MW

instalados,² principalmente na fabricação dos componentes, instalação, operação e manutenção ao longo de toda a vida útil do parque (IRENA, 2018). Por fim, a indústria atrai investimentos e *funding* local e global, fortalecendo a economia e viabilizando energia limpa a preços competitivos no longo prazo (Kilicarslan, 2019).

A eólica *offshore* é considerada no planejamento energético brasileiro nos Planos Decenais de Energia (PDE 2030 e PDE 2031), elaborados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela EPE, mas ainda não se mostra competitiva no horizonte de dez anos, mesmo com a incorporação de referências internacionais de redução de custos (Brasil; EPE, 2021, 2022). Essa avaliação se mantém na versão mais recente do PDE 2034, ainda em consulta pública (Brasil; EPE, 2024).

No longo prazo, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) discute o potencial da tecnologia conforme fatores como profundidade e velocidade dos ventos, além dos desafios para sua implementação, como infraestrutura portuária e regulação (Brasil; EPE, 2020). A inclusão da eólica *offshore* nos principais estudos do MME e da EPE reforça seu reconhecimento como parte da estratégia energética de longo prazo do Brasil.

- **Política – leis e acordos para implementar a estratégia**

Para fomentar um *pipeline* robusto de projetos e reduzir custos, o Banco Mundial recomenda um plano de desenvolvimento com metas claras e cronograma de leilões de concessão de áreas, equilibrando redução de custos e benefícios econômicos e sociais (World Bank, 2021). Países como Reino Unido, com meta de implantação de 40 GW até 2030,

2 A referência de 2,1 milhões de pessoas-dias de trabalho para cada 500 MW instalados é utilizada por ser independente do tempo de cada etapa do ciclo de vida do parque eólico. Por exemplo, 59% desse montante de referência está na fabricação de componentes, e para calcular o número de empregos gerados seria necessário conhecer o tempo de fabricação, assim como o número de empregos da operação e manutenção (24%) e da instalação (11%) dependeriam de conhecermos o tempo de vida útil e o prazo de instalação, respectivamente.

Alemanha, com meta de 20 GW, e Estados Unidos da América (EUA), com meta de 30 GW, demonstram que a definição de metas impulsiona investimentos (World Bank, 2021).

O Banco Mundial sugere um *roadmap* para capacitação da força de trabalho e alerta sobre o equilíbrio entre políticas de conteúdo local e redução de custos para garantir crescimento sustentável da indústria (World Bank, 2021). O mesmo estudo alerta ainda que os formuladores de políticas públicas devem evitar a busca por múltiplos objetivos simultaneamente, sendo necessário o balanceamento ou faseamento das políticas, a fim de promover a redução de custo com políticas de desenvolvimento da cadeia produtiva e o crescimento consistente da indústria, especialmente nas etapas iniciais (World Bank, 2021). Além disso, a falta de transparência e previsibilidade nos processos de cessão de áreas e licenciamento ambiental são barreiras ao desenvolvimento do setor (Vasconcelos *et al.*, 2022).

No Brasil, o grupo de trabalho de eólicas *offshore*, coordenado pelo MME, tem como objetivo estruturar um mapa regulatório para viabilizar projetos e avaliar adequações normativas.³ Nesse sentido, a aprovação da Lei 15.097/2025 (Brasil, 2025), foi um marco importante para o avanço do setor.

• Arcabouço regulatório – viabilizar a política e a estratégia

O Banco Mundial define sete *frameworks* regulatórios fundamentais para o desenvolvimento da indústria eólica *offshore*, quais sejam: (i) planejamento espacial marítimo (PEM), para mapear as áreas mais adequadas; (ii) processo de concessão, garantindo direitos aos desenvolvedores para pesquisa e operação; (iii) licenciamento ambiental,

³ Informações sobre o grupo de trabalho estão disponíveis em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgebc/gt-eolicas-offshore-1>. Acesso em: 26 mar. 2025.

exigindo estudos detalhados sobre impactos sociais e ambientais; (iv) suporte à receita, reduzindo riscos financeiros e viabilizando investimentos; (v) planejamento das conexões elétricas, assegurando a integração eficiente à rede; (vi) treinamentos em saúde e segurança, protegendo trabalhadores da indústria; e (vii) padronização e certificação, garantindo conformidade técnica e permitindo ganhos de escala (World Bank, 2021).

O modelo regulatório pode adotar um sistema integrado ou separado para a concessão de áreas e a definição dos contratos de receita. No modelo integrado, um único processo competitivo concede tanto a área quanto os direitos de comercialização da energia, exigindo mais envolvimento governamental na disponibilização de informações. Já no modelo separado, ocorre primeiro a concessão da área para o desenvolvedor realizar estudos e estruturar o projeto, seguido por um leilão específico para a venda da energia gerada (World Bank, 2021).

A colaboração entre governo, indústria e agentes do setor é apontada como essencial para o sucesso da regulação, permitindo adaptações aos desafios regionais e aproveitamento de boas práticas internacionais. Fóruns que reúnem esses atores, a exemplo do grupo de trabalho de eólicas *offshore* liderado pelo MME, podem acelerar projetos e reduzir custos ao alinhar interesses e compartilhar conhecimento (World Bank, 2021).

Mercados já consolidados adotaram estratégias para facilitar e agilizar o processo regulatório. O conceito de *one stop shop* – um órgão único responsável por coordenar todas as etapas necessárias para a outorga de projetos – tem sido um fator de sucesso em países como Dinamarca e Noruega, além dos EUA, onde o Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) coordena esse processo (Vasconcelos *et al.*, 2022).

• Implementação – entrega dos resultados

O Banco Mundial sugere que a implementação de projetos eólicos *offshore* comece com projetos pilotos, que servem para testar e ajustar os *frameworks* regulatórios em uma escala reduzida, com o objetivo de, a longo prazo, estabelecer um *pipeline* contínuo de projetos que possibilite a redução de custos e a consolidação da indústria (World Bank, 2021).

A sustentabilidade a longo prazo da indústria depende também do desenvolvimento da infraestrutura local, incluindo a cadeia de suprimento e portos. O governo tem um papel central nesse processo, incentivando investimentos por meio de mecanismos como competição por crédito direcionado, incentivos a pesquisa e desenvolvimento, incentivos tributários e acordos com agências de exportação (World Bank, 2021).

Para garantir que as competências locais atendam às demandas dessa nova indústria, o Banco Mundial propõe ações como análises das lacunas da cadeia (*gap analysis*), incubadoras de empresas, programas de diversificação para empresas de outros setores, e o fomento de associações industriais para promover a coordenação e o intercâmbio de informações (World Bank, 2021).

Por fim, como os portos são centros estratégicos para o desenvolvimento da cadeia eólica *offshore*, o governo pode apoiar o crescimento da indústria promovendo políticas direcionadas, estimulando a inovação e o desenvolvimento portuário, o que contribui para a redução dos custos de energia no futuro (World Bank, 2021).

Fases do desenvolvimento dos projetos

O desenvolvimento de projetos eólicos *offshore* é composto pelas seguintes fases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento, operação e pós-operação.

Na fase de pré-desenvolvimento, realiza-se a avaliação inicial do local do projeto, levando em consideração fatores técnicos e ambientais como a velocidade e variabilidade dos ventos, a infraestrutura necessária (como portos e sistemas de transmissão elétrica) e os impactos ambientais potenciais, especialmente sobre a vida marinha e o ecossistema local. O PEM é uma ferramenta importante, pois facilita a integração dos projetos ao ambiente marinho e ajuda a superar desafios relacionados à falta de dados, aos conflitos entre diferentes usuários do espaço marítimo e à complexidade regulatória, promovendo uma implantação mais rápida e ambientalmente responsável de parques eólicos *offshore*.

Na fase de desenvolvimento, o foco está no licenciamento e na obtenção de permissões necessárias para construção e operação do parque. O processo envolve a realização de um estudo de impacto ambiental (EIA), a obtenção de licenças ambientais e marítimas, e a concessão do uso do solo marinho. Além disso, são necessários consulta pública e engajamento para garantir que sejam consideradas as preocupações de todas as partes interessadas. Também é preciso garantir as licenças para a instalação de cabos submarinos e a conexão do parque à rede elétrica.

Ainda durante essa fase, são elaborados os projetos detalhados das turbinas, fundações e infraestrutura necessária, incluindo os sistemas de cabos submarinos. A análise geotécnica das áreas-alvo é essencial para determinar o tipo adequado de fundação, considerando fatores como a profundidade do mar e as condições geológicas. O *design* das turbinas deve ser otimizado para as condições locais de vento e maré, e as turbinas precisam ser projetadas para garantir máxima eficiência e baixa manutenção. A modelagem e a simulação, que consideram as condições do vento e o impacto das turbinas sobre o vento incidente na turbina adjacente, são cruciais para o sucesso do projeto.

A decisão de investimento é um dos passos mais importantes, com uma análise detalhada da viabilidade dos modelos de negócios influenciando a escolha de financiar o projeto. A negociação de contratos de compra de energia (PPA, na sigla em inglês) e a aquisição de componentes essenciais, como turbinas e cabos submarinos, são determinantes para garantir os recursos financeiros necessários. Mecanismos de apoio, como as tarifas *feed-in* (FIT, na sigla em inglês) e os contratos por diferença (CFD, na sigla em inglês),⁴ que estabilizam a receita dos novos empreendimentos, podem ajudar a reduzir a incerteza política e econômica, embora exijam recursos públicos direcionados a sustentar esses mecanismos.

Na fase de construção e instalação, os componentes são transportados para o local de instalação por meio de navios especializados, e a instalação das fundações, a montagem das turbinas e o lançamento dos cabos submarinos são realizados. As infraestruturas portuárias e estaleiros precisam ser adequadamente modernizados para lidar com os grandes e pesados componentes necessários. A instalação bem-sucedida dos componentes é um passo crucial para o início da geração de energia do parque.

Operação e manutenção (O&M) envolvem monitoramento remoto do desempenho das turbinas, além de inspeções e reparos regulares para garantir o funcionamento eficiente e seguro do parque eólico ao longo de sua vida útil.

Por fim, o descomissionamento é a fase em que as operações são encerradas de maneira ambientalmente responsável, com a desmontagem das turbinas e remoção das fundações, desconexão dos cabos submarinos e recuperação ambiental da área marítima.

4 FITs são tarifas fixas superiores às convencionais, garantidas pelo poder público e, geralmente, definidas em leilões ou processos competitivos. CFDS são mecanismos baseados em processos competitivos distintos para compra e para a venda de um determinado produto em que a diferença de preços de mercado é garantida pelo poder público, compensando o desenvolvedor caso os preços do mercado sejam mais baixos, ou recebendo um pagamento quando os preços superam o valor acordado. Ambos têm como objetivo estabilizar as receitas de um projeto e incentivar a adoção de novas tecnologias, que podem experimentar reduções de custos com os ganhos de escala.

Investimento total necessário

Sobre o contexto brasileiro, uma pergunta premente é: quanto investimento será necessário para o desenvolvimento do setor de geração eólica *offshore* no Brasil? Para tratar essa questão, é preciso observar o montante necessário não apenas do ponto de vista do investimento no projeto eólico em si, mas também da infraestrutura e da cadeia de fornecedores que serão necessárias desenvolver para sustentar o crescimento dessa indústria.

O estudo "Cenários para o desenvolvimento de eólica *offshore* no Brasil", conduzido pelo Banco Mundial e pela consultoria DNV, destaca que, em um cenário intermediário, o Brasil pode ter 8 GW instalados até 2035 e 32 GW de eólicas *offshore* até 2050 (World Bank, 2024a). Para que esse cenário se materialize, seriam necessários leilões frequentes de cessão de área, entre 2025 e 2050, e o desenvolvimento simultâneo de portos, transmissão e outras infraestruturas em torno das três macrorregiões brasileiras, no Sul, Sudeste e Nordeste. Considerando um custo de R\$13,5 milhões por MW, a instalação a um ritmo regular de 1,8 GW por ano requer um investimento direto total de R\$17,2 bilhões por ano.

Porém, investimento de capital (Capex) medido em R\$/MW é diferente do investimento em infraestrutura necessária para implementar atualizações de rede de transmissão, de portos e da cadeia de suprimentos. Em um exercício de perspectiva de investimentos, projetamos que ao Capex anual de R\$ 17,2 bilhões, que viabilizariam os 1,8 GW/ano, deverão ser adicionados cerca de 50% de investimentos extras em infraestrutura e na indústria. O direcionamento desses investimentos no momento adequado será um importante elemento estratégico, de forma a não inviabilizar os primeiros projetos e permitir que, ao longo do tempo, o custo unitário se reduza e torne a fonte cada vez mais competitiva, com os ganhos de escala da cadeia de suprimentos local.

Nesse cenário, o estudo do Banco Mundial estima um retorno no PIB de US\$ 55 bilhões e a criação de 100 mil postos de trabalho nos picos de construção, com média de 50 mil novos postos no período (World Bank, 2024a).

Potencial das eólicas *offshore* no Brasil

Sinergias

As eólicas *offshore* podem desempenhar um papel crucial no atendimento à demanda futura por energia renovável no Brasil, especialmente considerando a crescente limitação da expansão das hidrelétricas. Atualmente, as hidrelétricas respondem por 72% da eletricidade consumida no país, mas a expectativa é que sua participação caia para 46% até 2050, conforme indicado pelos estudos do PNE 2050 (Brasil; EPE, 2020). Isso ocorre devido à escassez de áreas disponíveis para a expansão, uma vez que grande parte do potencial hidrelétrico brasileiro se encontra em áreas protegidas ou de alta sensibilidade ambiental. Dessa forma, fontes de energia renovável não hídrica, como a energia solar e a eólica, tornaram-se alternativas essenciais para garantir a expansão da capacidade de geração elétrica do país.

A energia eólica *offshore* apresenta um grande potencial para complementar a geração hidrelétrica no Brasil, especialmente nas regiões Nordeste e Sudeste, áreas com alta intensidade de ventos (Nogueira; Morais; Pereira, 2023). Além disso, essa fonte de energia possui uma característica valiosa: sua complementaridade com o regime de chuvas. O vento no mar tende a ser mais constante e forte durante os meses secos, enquanto a geração das hidrelétricas é maior durante os períodos chuvosos, o que torna essas fontes de energia convenientemente complementares. Isso significa que a geração de energia eólica *offshore* pode compensar a menor produção das hidrelétricas em anos de escassez hídrica, o que contribui para uma matriz energética mais estável e resiliente. Estudos indicam que a distribuição otimizada dos parques eólicos *offshore* pode reduzir em até 68% a variabilidade

sazonal da produção de energia eólica no Brasil, maximizando a geração de eletricidade e reduzindo a necessidade de usinas térmicas de reserva, que são mais caras e poluentes (Fernandes *et al.*, 2022; World Bank, 2024a).

Os ventos *offshore*, em comparação com os ventos *onshore*, geralmente apresentam velocidades mais altas e menor variabilidade, o que os torna mais favoráveis à geração de energia elétrica. Esse fenômeno ocorre devido a mudanças na estabilidade atmosférica e nas características de rugosidade das superfícies terrestre e marítima, que favorecem maior velocidade do vento no mar à noite. Durante o dia, as condições se tornam mais estáveis, o que reduz a velocidade do vento *offshore*. O regime de ventos no mar, assim como em terra, tende a alcançar seu pico durante a noite, o que ajuda a atender parte do pico de demanda de eletricidade que acontece no início da noite, enquanto os picos de produção de energia solar ocorrem em horários diferentes (Li *et al.*, 2020; Barthelmie; Grisogono; Pryor, 1996; Yu; Wagner, 1970). Essas características complementares são especialmente importantes no atual sistema elétrico brasileiro, que observa um aumento significativo da energia solar. Quando a produção solar se encerra e ocorre também o aumento de demanda, outras fontes precisam suprir a carga. Atualmente, as hidrelétricas têm sido a principal responsável por atender essa demanda, mas devido à sua limitação de expansão, as eólicas *offshore* poderão desempenhar um papel importante no atendimento dessa demanda instantânea.

Conforme desenvolvido na seção anterior, a cadeia de suprimentos a ser desenvolvida para eólicas *offshore* pode valer-se de algumas sinergias com o setor eólico *onshore* do Brasil. No entanto, permanecem desafios relacionados à logística e à necessidade de novos investimentos - em função das maiores dimensões e peso de alguns equipamentos - e às

especificações do regime de trabalho no mar. Alguns componentes de grande porte, como pás, nacelles, torres e fundações, demandarão novos investimentos em instalações fabris, preferencialmente deslocadas para áreas próximas aos portos, enquanto outros componentes naturalmente escaláveis e a prestação de serviços poderão aproveitar-se da estrutura e *expertise* existentes.

Por fim, a vasta experiência do Brasil na exploração de petróleo no mar e sua infraestrutura de navegação de apoio resultaram em uma riqueza de recursos e conhecimentos técnicos que podem ser aproveitados para o desenvolvimento da energia eólica *offshore*, a exemplo da força de trabalho com experiência em operações *offshore*, da indústria naval estabelecida para apoiar a fabricação e a instalação de componentes e os recursos existentes em logística e operações marítimas (Shadman *et al.*, 2023). Além da sinergia pelo conhecimento e experiência, existe a possibilidade de reaproveitamento de estruturas e plataformas de petróleo fixas que estão em final de vida útil, reutilizando-as como subestações *offshore* ou estruturas de apoio a futuros parques eólicos, evitando o processo de descomissionamento desses equipamentos (Nogueira; Moraes; Pereira, 2023).

Potencial eólico brasileiro

O Brasil tem um grande potencial para a geração de energia renovável, especialmente energia eólica, com destaque para o setor *offshore*, que apresenta oportunidades ainda mais promissoras. Na região Nordeste, por exemplo, os parques eólicos *offshore* podem alcançar fatores de capacidade de até 75% entre os meses de agosto e novembro, período de maior incidência de vento, e uma média anual entre 47% e 60% de eficiência (Fernandes *et al.*, 2022). Em comparação, os parques eólicos *onshore* da região apresentam um fator de capacidade médio de 43% nos mesmos meses de pico, e uma média anual entre 34% e 38%. Porém, a região sofre uma variabilidade sazonal

significativa, com redução do fator de capacidade para cerca de 27% entre janeiro e maio, período de chuvas (ONS, 2025).

Além da alta velocidade constante dos ventos, outro fator favorável ao desenvolvimento da energia eólica *offshore* no Brasil é a profundidade das águas costeiras. As turbinas eólicas mais econômicas, que utilizam fundações fixas no fundo do mar, exigem águas rasas, enquanto estruturas flutuantes, mais caras, são necessárias para profundidades superiores a cinquenta metros. A EPE estima que o potencial teórico de geração de energia *offshore* no Brasil pode atingir quase 700 GW, considerando locais onde a velocidade do vento a cem metros de altura é maior que 7 m/s, e a profundidade não ultrapassa os cinquenta metros (EPE, 2020).

O aproveitamento ideal dessa energia requer uma análise cuidadosa das áreas de concessão, levando em conta a sobreposição de fatores técnicos e as condições de contorno, como unidades de conservação, rotas de navegação e áreas de exploração mineral e de petróleo. O PEM, ferramenta que, conforme mencionado anteriormente, visa harmonizar os usos do espaço marinho, será essencial para o desenvolvimento sustentável da energia eólica *offshore*. Embora o PEM ainda esteja em elaboração para todas as regiões do Brasil, é possível iniciar a definição de áreas para os projetos, desde que as condições sociais e ambientais sejam analisadas adequadamente.

Ao contrário dos parques eólicos *onshore*, que exigem grandes áreas de terra, os parques *offshore* apresentam menor risco de conflito com outros usos, como agricultura e preservação ambiental, já que as turbinas são instaladas no mar, longe das áreas habitadas. Embora haja impactos no ecossistema marinho, esses efeitos podem ser minimizados com um planejamento adequado. A geração de energia eólica *offshore* também tende a gerar menos impactos sociais, pois não desloca comunidades

nem interfere em atividades terrestres, além de causar menores impactos visuais e sonoros.

Desafios

O desenvolvimento das eólicas *offshore* em países emergentes, como o Brasil, enfrenta diversos entraves, como a falta de infraestrutura em portos especializados e redes de transmissão adequadas, o arcabouço regulatório ainda recente e em desenvolvimento, a complexidade do licenciamento ambiental, além do alto custo inicial, com exigência de grandes investimentos em infraestrutura e em tecnologia.

Um estudo sobre o desenvolvimento do setor de energia eólica *offshore* na Dinamarca mapeou, por meio de entrevistas e documentos, os aspectos mais importantes e agrupou-os nas dimensões: (i) espacial, relativo ao uso do espaço marinho e infraestrutura existente; (ii) financeira, relativa às questões tributárias e de financiamento; (iii) ambiental, quanto aos riscos e efeitos no entorno; e (iv) política, relativa à governança e aos processos a serem estabelecidos. O estudo é sumarizado no Quadro 3 e forma um guia para que outras regiões possam desenvolver seus próprios recursos de energia eólica no mar (Barth, 2024).

Quadro 3 | Desenvolvimento do setor de energia eólica *offshore* na Dinamarca

Categoria	Pontos críticos
Espacial	Envolvimento das partes interessadas por meio do PEM ou estudos semelhantes antes da decisão de alocação de recursos.
	Uso estratégico de infraestrutura portuária e de transmissão e desenvolvimento de <i>clusters</i> de projetos para otimização da logística.
	Implementação inicial com projetos menores e escaláveis para evitar o superdimensionamento, o qual poderia atrapalhar a transição das cadeias de suprimentos tradicionais.

(*Continua*)

(Continuação)

Categoria	Pontos críticos
Financeira	As tarifas reguladas oferecem estabilidade de preços em mercados flutuantes por um prazo longo (10-25 anos) para projetos iniciais; posteriormente, podem migrar para processos competitivos.
	O uso de instrumentos de dívida para custear o investimento permite que os desenvolvedores de projetos realizem iniciativas mais ambiciosas.
	Fundos públicos e privados podem ser utilizados como fontes, fornecendo garantias para mitigar os riscos financeiros relacionados à volatilidade do mercado.
	Os certificados verdes negociáveis atraem capital de vários setores, expandindo o fluxo de recursos para além da energia eólica <i>offshore</i> .
	As tecnologias de conversão de eletricidade em outros vetores energéticos, como hidrogênio e outros <i>e-fuels</i> (<i>Power-to-X</i>), fortalecem a viabilidade financeira das energias renováveis e a segurança energética para a cadeia de valor dessas novas aplicações.
Ambiental	Os estudos ambientais (mapeamento de riscos e mitigação de impactos) são indispensáveis para a integração das estruturas ao espaço marinho.
	Os parques eólicos <i>offshore</i> são uma oportunidade para o aumento da biodiversidade, criando recifes e novos <i>clusters</i> de vida marinha.
	A descarbonização e a redução de emissões exigem uma abordagem holística, tanto do setor eólico quanto da economia como um todo.
Política	A política energética nacional é crucial para impulsionar a transição verde sustentável.
	A atribuição clara de papéis nas parcerias público-privadas cria um setor de energia eólica <i>offshore</i> eficaz.
	O processo de licitação adiciona concorrência a um mercado regulamentado.
	A demanda de mercado orientada pela capacidade garante um crescimento sustentável.
	Estruturas de propriedade claras criam responsabilidade e fornecem alocação de risco.

Fonte: Adaptado de Barth (2024).

Marco regulatório e políticas no Brasil

Legislação de eólicas *offshore* no Brasil

A regulação do setor de energia eólica *offshore* no Brasil está em andamento e apresenta avanços legais significativos, embora ainda enfrente desafios para consolidar um sistema regulatório robusto e atrativo para os investidores. Um marco importante foi a publicação do Decreto 10.946/2022, que regulamenta a cessão de uso de espaços no mar e o aproveitamento de recursos naturais para a geração de energia eólica *offshore*. Esse decreto define as regras para o uso de águas públicas e estabelece um processo de licenciamento ambiental detalhado, com a exigência de consulta a diversos órgãos federais, como a Marinha do Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac). A Declaração de Interferência Prévia (DIP) é uma parte essencial desse processo, exigindo a identificação de potenciais interferências entre os projetos e outras atividades no mar, como rotas de pesca e áreas portuárias (Brasil, 2022a).

Após o decreto, duas portarias importantes foram publicadas: a Portaria Normativa MME 52/2022, que estabelece normas complementares para a cessão de uso de áreas *offshore* para geração de energia (Brasil, 2022b), e a Portaria Interministerial MME/MMA 3/2022, que define as diretrizes para a criação de um portal único de gestão para o uso dessas áreas (Brasil, 2022c). O portal será um espaço digital transparente e acessível para acompanhar o andamento dos projetos, proporcionando mais clareza aos investidores e à sociedade.

Antes dessas publicações, desde 2019, o Ibama já vinha recebendo solicitações de licenciamento ambiental de empresas interessadas em desenvolver projetos eólicos *offshore* no Brasil. Com a publicação das novas normas, o interesse aumentou, de modo que atualmente verificam-se 96 pedidos de licenciamento, que totalizam 234 GW de potência e 15.500 aerogeradores. No entanto, muitos desses projetos estão localizados em áreas sobrepostas ou em locais de possível conflito com outras atividades, como exploração de petróleo, rotas de navegação ou áreas protegidas. Os instrumentos para lidar com esses conflitos são a DIP e o PEM, mas a falta de regulação e governança para implantar os processos levou o Ibama a declarar que somente analisaria os pedidos de licenciamento ambiental que fossem acompanhados de outorga da Aneel.

Diante disso, surgiu a necessidade de uma legislação mais robusta para regulamentar de maneira clara o setor de energia eólica *offshore*. Vários projetos de lei foram apresentados ao longo dos anos, com destaque para o PL 576, de 2021, que consolidou as propostas anteriores e foi aprovado no Senado e na Câmara, sendo sancionado pelo Governo Federal, tornando-se a Lei 15.097/2025. Essa lei estabelece o marco regulatório para a exploração de energia *offshore*, incluindo as eólicas, e detalha normas para a outorga de autorizações de uso de áreas em águas públicas, além de definir os critérios de licitação e as modalidades de concessão (Brasil, 2025).

A Lei 15.097/2025 ratifica diretrizes estabelecidas pelo Decreto 10.946/2022, e introduz a possibilidade de cessão de uso das áreas por meio de dois mecanismos principais: a oferta permanente, quando o governo delimita áreas com base no interesse dos empreendedores; e a oferta planejada, em que o governo define previamente as áreas a serem oferecidas aos interessados por meio de licitação pública. Além disso, a lei ratifica o uso da DIP para identificar interferências entre os projetos e outras

atividades. Ela também determina a vedação da concessão de áreas que coincidam com blocos de exploração de petróleo, rotas de navegação ou áreas protegidas, com algumas exceções previstas. A Lei também inclui exigências financeiras para os concessionários, como bônus de assinatura e taxas de ocupação, além de participações proporcionais sobre a energia gerada (Brasil, 2025).

A aprovação da Lei 15.097/2025 e sua regulamentação são vistas como essenciais para dar segurança jurídica aos desenvolvedores e investidores, garantindo que as concessões de uso das áreas marinhas serão protegidas durante a implementação dos projetos. Com a conclusão dessa etapa legal, os primeiros leilões de áreas poderão ser realizados, permitindo a atração de investimentos para os estudos necessários de licenciamento ambiental e para a obtenção das permissões para a construção dos parques eólicos *offshore*.

O planejamento espacial marinho

O Brasil possui uma extensa linha costeira, com cerca de dez mil quilômetros, abrangendo 17 estados e 279 municípios situados na zona costeira (Brasil, 2021). Essa região é altamente relevante, não apenas por sua importância geográfica, mas também por abrigar grande parte da população do país. Cerca de 18% da população brasileira vive em municípios costeiros;⁵ e, quando se considera uma distância de até 150 quilômetros da costa, essa porcentagem aumenta para 54,8% (Abdala, 2024). A zona costeira é crucial para diversas atividades econômicas e desempenha um papel significativo na preservação ambiental, o que torna fundamental um planejamento estratégico e ordenado para o uso do espaço marinho.

5 Os dados do censo podem ser consultados em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

As atividades que competem por espaço no oceano incluem pesca comercial e recreativa, exploração de petróleo e gás, a produção de energia renovável *offshore*, além de áreas marinhas protegidas, canais de navegação, ancoradouros, áreas para exercícios militares, entre outras. Dada essa variedade de usos, o PEM se apresenta como uma ferramenta essencial para coordenar e alocar as diferentes atividades de forma sustentável, buscando alcançar objetivos ecológicos, econômicos e sociais. O PEM é definido como um processo público de análise e alocação de atividades humanas no mar, com base em um planejamento que integra diversos níveis de governo e setores econômicos, além da participação ativa da sociedade. Esse processo visa antecipar e resolver potenciais conflitos, promovendo um desenvolvimento equilibrado e sustentável (Ehler; Douvère, 2009).

O principal resultado do PEM é o mapeamento do espaço marinho, com a definição de prioridades para cada área. Esse planejamento é feito com uma visão de longo prazo, geralmente de dez a vinte anos, e serve como base para o licenciamento das atividades e a criação de áreas de preservação (Ehler; Douvère, 2009). É importante destacar que o PEM não substitui o processo de licenciamento específico de cada atividade, mas fornece informações gerais e orientações que ajudam a facilitar a análise e aprovação de novos projetos. Além disso, o PEM não substitui o planejamento setorial de cada atividade humana, como transporte, energia e pesca, mas busca integrar os diversos setores para reduzir impactos, riscos e conflitos.

No Brasil, a elaboração do PEM está em andamento e é coordenada pela Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), vinculada à Marinha do Brasil, e pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). O BNDES financia os estudos técnicos para o PEM nas regiões Sul, Sudeste e Norte, enquanto a

Fundação Norte Rio Grandense de Pesquisa e Cultura (Funpec) financia os estudos para a região Nordeste. A expectativa é de que os cadernos do PEM para cada região sejam divulgados a partir de 2025, após consultas com os interessados e integrações intersetoriais.

A Lei 15.097/2025 estabelece que a outorga de áreas para projetos de energia *offshore* deve observar as diretrizes do PEM ou de instrumentos equivalentes (Brasil, 2025). No entanto, caso o PEM para uma área específica ainda não tenha sido concluído, seria necessário realizar estudos equivalentes para a área em questão, como o Mapeamento Integrado de Sensibilidade Ambiental e Social (SenMap, na sigla em inglês), desenvolvido pelo Banco Mundial (World Bank, 2024b). Essa flexibilidade permite que os leilões de outorga de áreas possam ser realizados mesmo antes da finalização do PEM, sem prejudicar o processo de planejamento e integração dos diferentes usos. Dessa forma, o PEM deve ser visto como um processo integrador, que ajuda a identificar as melhores áreas para o desenvolvimento de atividades econômicas, ao mesmo tempo que minimiza conflitos e favorece a conservação ambiental.

Financiamento das eólicas *offshore*

Financiabilidade

A financiabilidade refere-se à avaliação por parte dos financiadores do nível de confiança em fornecer crédito ao projeto conforme as políticas de crédito e risco da instituição financeira (Morgan, 1987). É também definida como avaliação da alavancagem em relação à rentabilidade do projeto e aos custos financeiros das fontes de recursos (Repovž, 1988).

A literatura de tomada de decisão em projetos de infraestrutura sugere diversos elementos na avaliação da financiabilidade que caracterizam um “bom projeto”, tais como reputação dos empreendedores (Jaafari, 1990), a solidez dos contratos que irão gerar a receita do empreendimento (Mendicino *et al.*, 2019), a viabilidade técnica e comercial (Tiong; Alum, 1997), a confiabilidade das premissas usadas nas previsões de performance, assim como a análise de sensibilidade das variações dessas premissas (Patel; Bhattacharya, 2010), o rendimento técnico dos equipamentos e a perda da sua eficiência (Leloux *et al.*, 2014).

Observando os protocolos no Ibama, órgão ambiental federal, verifica-se que as empresas que manifestaram interesse nas áreas de exploração de energia eólica no mar são empresas sólidas, já atuantes no setor de energia eólica ou petróleo e gás, e isso ajuda na tomada de decisão dos financiadores. Por outro lado, no aspecto do projeto, o segmento de eólicas *offshore* está em desenvolvimento. As premissas para modelagem ainda são incertas, não havendo estudos de rendimento e custos, e estando o arcabouço regulatório ainda em amadurecimento. Isso traz volatilidade aos fluxos de caixa que remuneram os investidores, provocando maiores custos de capital e complexidade na estrutura financeira necessária para lidar com a incerteza de cobertura da dívida, o que resultaria em maiores preços ao consumidor (Stauffer, 2006).

Nesse ponto, o regulador tem um papel importante em garantir a financiabilidade conjuntural das empresas de um setor (Tapia, 2012), sendo um objetivo primordial dos governos e órgãos de desenvolvimento o de promover a solidez das outorgas para garantir a sustentabilidade da cadeia e a financiabilidade dos empreendimentos (Eberhard *et al.*, 2017).

Ecossistema de financiamento

O ecossistema financeiro é essencial para viabilizar os investimentos necessários à transição para um futuro com zero emissões líquidas de GEE, envolvendo tanto o setor público quanto as instituições financeiras privadas, que desempenham papéis complementares. No financiamento privado, a redução de riscos é fundamental, com os bancos fornecendo grande parte do crédito, embora haja limitações para que eles assumam riscos totais de construção ou forneçam financiamento de longo prazo, devido ao descasamento entre o prazo dos depósitos bancários, geralmente de curto e médio prazo, e o longo prazo de retorno dos projetos de energia renovável (WEF, 2021; Taghizadeh-Hesary; Yoshino, 2020). Os investidores institucionais, como fundos de pensão, controlam vastos recursos, mas priorizam crédito de baixo risco, o que limita seus investimentos em transição energética. Para superar essa limitação, é fundamental aumentar a participação das instituições financeiras privadas e entidades não bancárias em investimentos verdes de longo prazo, além de utilizar crédito direcionado à transição energética para melhorar os retornos e desenvolver esquemas de garantia de crédito verde (Taghizadeh-Hesary; Yoshino, 2020; McDonnell; Gupta, 2023).

As seguradoras também desempenham um papel no financiamento de projetos eólicos *offshore*, oferecendo programas de seguro adaptados às necessidades específicas dessas iniciativas. Elas ajudam a mitigar os riscos associados às fases de construção e operação dos parques eólicos, incluindo seguros para riscos de construção, atraso, perdas de receita, quebras de equipamento, sobrecustos operacionais e responsabilidade civil. Esses produtos de seguros são essenciais para atrair investimentos e apoiar o desenvolvimento sustentável dos projetos eólicos *offshore* (Kirillova; Pukala; Janowicz-Lomott, 2021; Taghizadeh-Hesary; Yoshino, 2020).

No setor público, a criação de um ambiente de apoio é crucial para a transição energética. Isso inclui a implementação de esquemas de incentivo, como subsídios, crédito concessional e mecanismos indutores, como metas ou mandatos de adoção de tecnologias e políticas de precificação de carbono (WEF, 2021). As agências de crédito à exportação (ECA), os bancos de desenvolvimento, como o BNDES, e os bancos multilaterais de desenvolvimento (MDB) desempenham papéis centrais no fornecimento de financiamento e melhoria de crédito, sendo responsáveis por financiar 73% dos projetos de eólicas *offshore* em países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) entre 2004 e 2021 (Waidelich; Steffen, 2024).

Por fim, o sucesso do financiamento da transição energética para um futuro *net-zero* depende de uma abordagem colaborativa entre as partes interessadas. São necessários mecanismos que integrem os diversos atores do ecossistema financeiro em torno de soluções de redução de riscos, garantia de demanda, estabilidade de receita e inovação tecnológica para que os ganhos de escala promovam a redução de custos.

Instrumentos financeiros

Os projetos de parques eólicos *offshore* em operação nos mercados europeus têm utilizado uma variedade de instrumentos financeiros para viabilizar seu desenvolvimento e operação. Um desses instrumentos é o *project finance*, que consiste no financiamento de um projeto específico baseado nos seus fluxos de caixa projetados, e não no balanço patrimonial de uma empresa operacional. Esse tipo de financiamento é comumente utilizado para projetos de alto custo de capital, como a geração de energia renovável. O financiamento de *project finance* cria um veículo exclusivo, a sociedade de propósito específico (SPE), que concentra as garantias exigidas nos ativos e nas receitas do projeto,

sendo que o valor do financiamento é determinado por métricas de alavancagem, como a relação dívida/patrimônio, e as receitas operacionais previstas para o pagamento da dívida. Além disso, avaliações de cenários, *due diligence* e análise de contratos de fornecimento e receita são essenciais nesse processo (Roth *et al.*, 2022).

O capital próprio (*equity*) também é essencial para esses projetos, representando a participação financeira que os investidores colocam no projeto. Estima-se que entre 20% e 40% do investimento seja proveniente de capital próprio, que pode vir de investidores especializados, gestores de ativos, contrapartes industriais ou fabricantes de equipamentos (Roth *et al.*, 2022).

Além disso, a emissão de títulos (*bonds*), especialmente os alinhados ao clima, é uma estratégia para levantar capital. Esses títulos são utilizados para financiar projetos que atendem a metas climáticas, com a grande maioria dos títulos de clima sendo de grau de investimento (BBB ou melhor) (WEF, 2021).

O cofinanciamento e o *blended finance* são formas de alavancar fontes distintas de financiamento, em uma composição de capital privado e concessional, com características e apetite a risco diferentes e complementares. Os bancos de desenvolvimento frequentemente oferecem esse tipo de solução e têm um caráter mais paciente em relação à recuperação do capital investido (Waidelich; Steffen, 2024). Essa característica viabiliza, por exemplo, a constituição de estruturas financeiras compostas, nas quais os bancos de desenvolvimento fornecem a parcela da dívida com prazos mais longos e os credores institucionais ou privados oferecem prazos mais curtos ou outras condições diferenciadas (WEF, 2021).

Por fim, alguns projetos de energia eólica *offshore* podem ser refinanciados após a construção, utilizando dívidas pós-construção. Esses refinanciamentos geralmente buscam condições financeiras mais favoráveis, com redução de riscos e um melhor dimensionamento da dívida nos balanços patrimoniais das empresas que investem nesses projetos (WFO, 2022).

O BNDES e as energias renováveis

O BNDES, criado em 1952, desempenha um papel fundamental no financiamento de energias renováveis no Brasil. Nos últimos vinte anos, financiou mais de 65 GW de geração renovável, o que representa mais da metade da expansão do período, além de 67 mil quilômetros de linhas de transmissão. Entre 2004 e 2023, foi a instituição financeira que mais concedeu empréstimos para novas energias renováveis globalmente, totalizando mais de US\$ 36,4 bilhões (BNEF, 2024; IRENA, 2024).

A partir do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (Proinfa), o BNDES tem apoiado a expansão recente da geração de energia renovável, ajustando sua atuação conforme as mudanças do setor. Nos leilões regulados, possibilitou condições de financiamento de longo prazo e em moeda local com melhores taxas para novas tecnologias. No mercado livre, em que contratos entre geradores e consumidores possuem prazos menores, o Banco desenvolveu uma metodologia de valoração da energia no longo prazo para viabilizar financiamentos com contratos de comercialização mais curtos. O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima), administrado pelo BNDES, tornou-se um importante mecanismo de crédito para a transição energética. Seu orçamento foi ampliado de uma média de R\$ 300 milhões anuais, entre 2011 e 2023, para cerca de R\$ 10 bilhões, a partir de 2024, impulsionado por captações externas. Além disso, o Banco fomenta o mercado de finanças sustentáveis por

meio da subscrição de debêntures e da emissão de títulos verdes, tanto no mercado local quanto internacional. O BNDES também é um agente importante no desenvolvimento do mercado de capitais doméstico, seja por meio de aquisição de debêntures incentivadas emitidas por empresas que investem no setor de energia, seja por meio da estruturação de ofertas desse tipo de instrumento. Projetos inovadores, como eólicas *offshore*, armazenamento de energia e hidrogênio verde, demandarão novas fontes de capital e instrumentos financeiros. Para isso, o BNDES poderá utilizar seu relacionamento institucional com bancos multilaterais e agências governamentais internacionais.⁶ De 2009 a 2024, o BNDES captou mais de US\$ 5 bilhões para projetos de energia renovável por meio de títulos verdes e parcerias internacionais.

O BNDES também contribuiu decisivamente para o desenvolvimento da cadeia de suprimentos da indústria de energia eólica no Brasil, por meio da disponibilidade de financiamento em melhores condições e da metodologia de credenciamento para acessar seu financiamento de longo prazo (IRENA, 2024). Aliada à política energética, que incentivou a inserção de fontes renováveis, criando um *pipeline* de projetos de energia eólica para atender ao crescimento esperado da demanda, uma política industrial exitosa também pode ser desenvolvida progressivamente para adaptar a cadeia existente e fomentar novos fornecedores para o novo mercado das eólicas *offshore*.

Além dessas iniciativas, o governo brasileiro também lançou a Plataforma Brasil de Investimentos Climáticos e para a Transformação Ecológica (BIP), visando ampliar investimentos sustentáveis e a descarbonização da economia. A plataforma facilitará a conexão entre projetos e fornecedores de capital financeiro, e contará com a participação do BNDES

6 A relação completa de acordos de cooperação e convênios do BNDES com instituições financeiras internacionais pode ser consultada em: www.bndes.gov.br/Acordos.

na gestão e monitoramento dos projetos cadastrados. A geração eólica *offshore* é um dos setores priorizados, e projetos outorgados poderão se candidatar ao financiamento para acelerar sua implementação e benefícios econômicos.

Conclusão

O Brasil está na vanguarda do desenvolvimento regulatório da energia eólica *offshore* na América Latina. O marco legal representado pela Lei 15.097/2025 e o desenvolvimento do PEM representam avanços significativos no ambiente regulatório, que colocam o país no rumo para criar segurança jurídica e atrair investimentos. No entanto, ainda há espaço para desenvolvimento do atual cenário regulatório para energia eólica *offshore* no país, implementando e aperfeiçoando a atual legislação e desenvolvendo regras em torno da regulamentação dessa nova fonte.

O Brasil possui excelentes recursos eólicos com profundidades relativamente rasas na costa, tornando o desenvolvimento eólico *offshore* uma fonte de energia alternativa sólida para descarbonizar as atividades econômicas e construir nova capacidade de geração, trazendo diversificação e segurança na matriz elétrica instalada. Conforme vimos neste artigo, há sinergias e adaptações necessárias para o desenvolvimento da cadeia de suprimentos e infraestrutura para esse novo setor.

Como proposta para investigações futuras, sugere-se, por exemplo, avaliar os diversos desenhos de leilões das áreas já utilizados em outros países e até mesmo os formatos de concessões para outras fontes de energia, como exploração de blocos de petróleo ou hidrelétricas. Outra sugestão seria explorar exemplos de mecanismos e ações que

incentivem instituições financeiras privadas e entidades não bancárias a alocar mais recursos nos segmentos de geração de energia renovável, como eólicas *offshore*, especialmente em investimentos de longo prazo. A ampliação da participação do financiamento privado é um desafio conhecido, e aprofundar análises e estratégias para ampliar seu envolvimento nesses investimentos, de forma eficaz, seria particularmente relevante para o debate.

Por fim, destaca-se que o desenvolvimento de parques eólicos *offshore* no Brasil requer uma consideração cuidadosa dos fatores ambientais e sociais para garantir que os benefícios da energia renovável sejam maximizados, minimizando o impacto negativo nos ecossistemas e comunidades regionais.

Referências

ABDALA, V. Mais da metade da população brasileira vive no litoral. *Agência Brasil*, Rio de Janeiro, 21 mar. 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-03/mais-da-metade-da-populacao-brasileira-vivem-no-litoral>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BARTH, J. *The development of offshore wind energy in Denmark: lessons for Nova Scotia, Canada*. 2024. Dissertação (Mestrado) – University of Akureyri, Ísafjörður, 2024. Disponível em: <https://skemman.is/handle/1946/48695>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BARTHELMIE, R.; GRISOGONO, B.; PRYOR, S. Observations and simulations of diurnal cycles of near-surface wind speeds over land and sea. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Washington, D.C., v. 101, n. D16, p. 21327-21337, 1996. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96JD01520>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BNEF – BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. *Brazil transition factbook*. London: BNEF, set. 2024. Disponível em: <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Brazil-Transition-Factbook.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2025.

BRASIL. Decreto 10.946, de 25 de janeiro de 2022. Dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 25 jan. 2022a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/Decreto/D10946.htm. Acesso em: 4 mar. 2025.

BRASIL. Lei 15.097, de 10 de janeiro de 2025. Disciplina o aproveitamento de potencial energético offshore [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 10 jan. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/115097.htm. Acesso em: 4 mar. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília, DF: MME; EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2030*. Brasília, DF: MME; EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: 04 mar. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. Brasília, DF: MME; EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>. Acesso em: 04 mar. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2034*. Brasília, DF: MME; EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria normativa 52, de 19 de outubro de 2022. Estabelece as normas e procedimentos complementares relativos à cessão de uso onerosa para exploração de central geradora de energia elétrica offshore [...]. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 160, n. 200, p. 65, 20 out. 2022b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-normativa-n-52/gm/mme-de-19-de-outubro-de-2022-437756203>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Portaria interministerial 3, de 19 de outubro de 2022. Cria o Portal Único para Gestão do Uso de Áreas Offshore para Geração de Energia. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 160, n. 200, p. 65, 20 out. 2022c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-interministerial-mme/mma-n-3-de-19-de-outubro-de-2022-437756126>. Acesso em: 4 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Portaria normativa 34, de 2 de fevereiro de 2021. Aprova a listagem atualizada dos municípios abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira brasileira. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 159, n. 23, p. 53, 3 fev. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/despacho-decisorio-n-2/2021/spe-302053421>. Acesso em: 4 mai. 2025.

DEAN, N. Performance factors. *Nature Energy*, London, v. 5, n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41560-019-0545-5>. Acesso em: 4 mai. 2025.

EBERHARD, A. *et al.* Independent power projects in Sub-Saharan Africa: investment trends and policy lessons. *Energy Policy*, Amsterdam, v. 108, p. 390-424, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421517303087?via%3DihU>. Acesso em: 4 mar. 2025.

EHLER, C.; DOUVERE, F. *Marine spatial planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management*. Paris: Unesco, 2009. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186559>. Acesso em: 4 mar. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Roadmap eólica offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima*. Brasília, DF: EPE, 2020. (NT-EPE-PR-001/2020-r2). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf. Acesso em: 04 mar. 2025.

FERNANDES, I. *et al.* Exploring the complementarity of offshore wind sites to reduce the seasonal variability of generation. *Energies*, Basel, v. 15, n. 19, p. 1-24, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/19/7182>. Acesso em: 4 mar. 2025.

GARO, I.; ROBERTS, T. *Spinning negativity*: discourses of delay on offshore wind in the 118th Congress. Providence: The Climate and Development Lab – Brown University, 2024. Disponível em: <https://www.climatedevlab.brown.edu/post/new-brown-university-study-finds-pervasive-disinformation-in-congress-about-offshore-wind>. Acesso em: 4 mar. 2025.

GREEN, R. *et al.* *Environmental effects of U.S. offshore wind energy development*: compilation of educational research briefs: U.S. Offshore Wind Synthesis of Environmental Effects Research (SEER). Golden; Richland: National Renewable Energy Laboratory; Pacific Northwest National Laboratory, 2022. Disponível em: <https://research-hub.nrel.gov/en/publications/environmental-effects-of-us-offshore-wind-energy-development-comp>. Acesso em: 5 mar. 2025.

GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global offshore wind report 2024*. Brussels: GWEC, 2024. Disponível em: <https://www.gwec.net/reports/globaloffshorewindreport/>. Acesso em: 4 mar. 2025.

HIGGINS, P.; FOLEY, A. Review of offshore wind power development in the United Kingdom. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING, 12, 2013. *Conference Papers* [...]. Wrocław: IEEE, 2013. p. 589-593. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6549584>. Acesso em: 5 mar. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Net Zero by 2050*. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Acesso em: 4 mar. 2021.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2024 – Analysis*. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>. Acesso em: 4 mar. 2025.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *Renewable energy benefits: leveraging local capacity for offshore wind*. Abu Dhabi: IRENA, 2018. Disponível em: https://now.solar/wp-content/uploads/2022/08/irena_leveraging_for_offshore_wind_2018.pdf. Acesso em: 4 mar. 2025.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *Development banks and energy planning: attracting private investment for the energy transition – the Brazilian case*. Abu Dhabi: IRENA, 2024. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2024/Sep/Development-banks-and-energy-planning-Attracting-private-investment-for-the-energy-transition-Brazil>. Acesso em: 4 mar. 2025.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *Renewable capacity statistics 2025*. Abu Dhabi: IRENA, 2025. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2025/Mar/Renewable-capacity-statistics-2025>. Acesso em: 4 mar. 2025.

JAAFARI, A. Management know-how for project feasibility studies. *International Journal of Project Management*, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 167-172, 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0263786390900198?via%3Dihub>. Acesso em: 4 mar. 2025.

JANSEN, M. *et al.* Offshore wind competitiveness in mature markets without subsidy. *Nature Energy*, London, v. 5, n. 8, p. 614-622, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41560-020-0661-2>. Acesso em: 4 mar. 2025.

JOHNSTON, A. *et al.* Modelling flight heights of marine birds to more accurately assess collision risk with offshore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, Hoboken, v. 51, n. 1, p. 31-41, 2014. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.12191>. Acesso em: 4 mar. 2025.

KILICARSLAN, Z. The relationship between foreign direct investment and renewable energy production: evidence from Brazil, Russia, India, China, South Africa and Turkey. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Istanbul, v. 9, n. 4, 2019. Disponível em: <https://www.econjournals.com/index.php/ijee/article/view/7879>. Acesso em: 4 mar. 2025.

KIRILLOVA, N.; PUKALA, R.; JANOWICZ-LOMOTT, M. Insurance programs in the renewable energy sources projects. *Energies*, Basel, v. 14, n. 20, 6802, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/20/6802>. Acesso em: 4 mar. 2025.

LELOUX, J. *et al.* A bankable method of assessing the performance of a CPV plant. *Applied Energy*, Amsterdam, v. 118, p. 1-11, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261913010131?via%3Dihu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

- LI, J. *et al.* A review on development of offshore wind energy conversion system. *International Journal of Energy Research*, Hoboken, v. 44, n. 12, p. 9283-9297, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.5751>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- LI, Y. *et al.* Comparative study of onshore and offshore wind characteristics and wind energy potentials: a case study for southeast coastal region of China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Amsterdam, v. 39, p. 100711, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138820301363?via%3Dihub>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- MACASKILL, A.; MITCHELL, P. Offshore wind—an overview. *WIREs Energy and Environment*, Hoboken, v. 2, n. 4, p. 374-383, 2013. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wene.30>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- MARQUES, A. T. BATALHA, H. BERNARDINO, J. Bird displacement by wind turbines: assessing current knowledge and recommendations for future studies. *Birds*, Basel, v. 2, n. 4, p. 460-475, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-6004/2/4/34>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- MCDONNELL, C.; GUPTA, J. Beyond divest vs. engage: a review of the role of institutional investors in an inclusive fossil fuel phase-out. *Climate Policy*, London, v. 24, n. 3, p. 314-331, 2023. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2023.2261900>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- MENDICINO, L. *et al.* Corporate power purchase agreement: formulation of the related levelized cost of energy and its application to a real life case study. *Applied Energy*, Amsterdam, v. 253, p. 113577, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919312516?via%3Dihub>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- MORGAN, B. Benefits of project management at the front end. *International Journal of Project Management*, Amsterdam, v. 5, n. 2, p. 102-119, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0263786387900366?via%3Dihub>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- NIEUWENHOUT, C. Chapter IX.45: Regulating offshore wind energy. In: FAURE, Michael (ed.). *Elgar encyclopedia of environmental law*. Cheltenham: Edward Elgar, 2021. p. 535-545. Disponível em: https://www.elgaronline.com/display/book/9781785369520/b-9781788119689-IX_45.xml. Acesso em: 4 mar. 2025.

NOGUEIRA, E. C.; MORAIS, R. C.; PEREIRA, A. O. Offshore wind power potential in Brazil: complementarity and synergies. *Energies*, Basel, v. 16, n. 16, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/16/5912>. Acesso em: 4 mar. 2025.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Fator de capacidade*. Brasília, DF: ONS, 2025. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/fator-capacidade.aspx>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PATEL, U.; BHATTACHARYA, S. Infrastructure in India: the economics of transition from public to private provision. *Journal of Comparative Economics*, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 52-70, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147596709000821?via%3Dihub>. Acesso em: 4 mar. 2025.

PENG, L.; LIN, J.; HE, G. Accelerating offshore wind development enhances energy independence and contributes to carbon-neutrality in China's coastal regions. In: AMERICAN GEOPHYSICAL UNION ANNUAL MEETING, 2023, San Francisco. *Conference Papers [...]*. San Francisco: AGU23, 2023. Disponível em: <https://agu.confex.com/agu/fm23/meetingapp.cgi/Paper/1359174>. Acesso em: 4 mar. 2025.

POTISOMPORN, P.; VOGEL, C. Spatial and temporal variability characteristics of offshore wind energy in the United Kingdom. *Wind Energy*, Hoboken, v. 25, n. 3, p. 537-552, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/we.2685>. Acesso em: 4 mar. 2025.

REPOVŽ, L. Project financing and financial engineering. *International Journal of Project Management*, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 171-177, 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0263786388900440?via%3Dihub>. Acesso em: 4 mar. 2025.

ROTH, A. *et al.* Financing conditions of renewable energy projects – results from an EU wide survey. *Open Research Europe*, Brussels, v. 1, n. 136, p. 1-14, 2022. Disponível em: <https://open-research-europe.ec.europa.eu/articles/1-136/v2>. Acesso em: 4 mar. 2025.

SANTHAKUMAR, S. *et al.* Technological progress observed for fixed-bottom offshore wind in the EU and UK. *Technological Forecasting and Social Change*, Amsterdam, v. 182, p. 1-22, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162522003808?via%3Dihub>. Acesso em: 4 mar. 2025.

SHADMAN, M. *et al.* A review of offshore renewable energy in South America: current status and future perspectives. *Sustainability*, Basel, v. 15, n. 2, p. 1-34, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/2/1740>. Acesso em: 4 mar. 2025.

SINSEL, S.; YAN, X.; STEPHAN, A. Building resilient renewable power generation portfolios: the impact of diversification on investors' risk and return. *Applied Energy*, Amsterdam, v. 254, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919310220?via%3Dihu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

SLEVIN, I.; ROBERTS, T.; KATTRUP, W. *Against the wind: a map of the anti-offshore wind network in the Eastern United States*. Providence: The Climate and Development Lab – Brown University, 2023. Acesso em: <https://www.climatedevlab.brown.edu/post/against-the-wind-a-map-of-the-anti-offshore-wind-network-in-the-eastern-united-states>. Acesso em: 05 mar. 2025.

STAUFFER, H. Capacity markets and market stability. *The Electricity Journal*, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 75-80, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040619006000212?via%3Dihu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

TAGHIZADEH-HESARY, F.; YOSHINO, N. Sustainable solutions for green financing and investment in renewable energy projects. *Energies*, Basel, v. 13, n. 4, p. 1-18, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/4/788>. Acesso em: 4 mar. 2025.

TAPIA, J. The 'duty to finance', the cost of capital and the capital structure of regulated utilities: Lessons from the UK. *Utilities Policy*, Amsterdam, v. 22, p. 8-21, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178712000197?via%3Dihu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

TIMILSINA, G. Are renewable energy technologies cost competitive for electricity generation? *Renewable Energy*, Amsterdam, v. 180, p. 658-672, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148121012568?via%3Dihu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

TIONG, R.; ALUM, J. Financial commitments for BOT projects. *International Journal of Project Management*, Amsterdam, v. 15, n. 2, p. 73-78, 1997.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786396000336?via%3DiHu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

TOBIN, I. *et al.* Vulnerabilities and resilience of European power generation to 1.5 °C, 2 °C and 3 °C warming. *Environmental Research Letters*, Bristol, v. 13, n. 4, p. 1-8, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aab211>. Acesso em: 4 mar. 2025.

TOUGAARD, J.; HERMANNSEN, L.; MADSEN, P. How loud is the underwater noise from operating offshore wind turbines? *The Journal of the Acoustical Society of America*, Melville, v. 148, p. 2885-2893, 2020. Disponível em: <https://pubs.aip.org/asa/jasa/article/148/5/2885/631772/How-loud-is-the-underwater-noise-from-operating>. Acesso em: 4 mar. 2025.

TRINDER, M.; O'BRIEN, S.; DEIMEL, J. A new method for quantifying redistribution of seabirds within operational offshore wind farms finds no evidence of within-wind farm displacement. *Frontiers in Marine Science*, Lausanne, v. 11, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2024.1235061/full>. Acesso em: 4 mar. 2025.

VASCONCELOS, R. M. *et al.* Environmental licensing for offshore wind farms: guidelines and policy implications for new markets. *Energy Policy*, Amsterdam, v. 171, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421522004670?via%3DiHu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

WAIDELICH, P.; STEFFEN, B. Renewable energy financing by state investment banks: evidence from OECD countries. *Energy Economics*, Amsterdam, v. 132, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988324001634?via%3DiHub>. Acesso em: 4 mar. 2025.

WANG, C. *et al.* A systematic review on power system resilience from the perspective of generation, network, and load. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 167, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122004658?via%3DiHu>. Acesso em: 4 mar. 2025.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. *Financing the transition to a net-zero future: innovative financing for a sustainable future*. Cologny: World Economic Forum, 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/financing-the-transition-to-a-net-zero-future/>. Acesso em: 4 mar. 2025.

WFO – WORLD FORUM OFFSHORE WIND. *Financing offshore wind*. Hamburg: WFO, 2022. Disponível em: https://wfo-global.org/wp-content/uploads/2022/09/WFO_FinancingOffshoreWind_2022.pdf. Acesso em: 5 mar. 2025.

WORLD BANK. *Going global: expanding offshore wind to emerging markets*. Washington, D.C.: World Bank, 2019. Disponível em: https://www.esmap.org/going-global_offshore_wind. Acesso em: 5 mai. 2025.

WORLD BANK. *Key factors for successful development of offshore wind in emerging markets*. Washington, D.C.: World Bank, 2021. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/343861632842395836/pdf/Key-Factors-for-Successful-Development-of-Offshore-Wind-in-Emerging-Markets.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2025.

WORLD BANK. *Scenarios for offshore wind development in Brazil*. Washington, D.C.: World Bank, 2024a. Disponível em: https://www.esmap.org/Offshore_Wind_Development_Program_Scenarios_for_Offshore_Wind_Development_in_Brazil. Acesso em: 5 mar. 2025.

WORLD BANK. *Integrated environmental and social sensitivity mapping: guidance for early offshore wind spatial planning*. Washington, D.C.: World Bank, 2024b. Disponível em: https://www.esmap.org/Integrated_Environmental_Social_Sensitivity_Mapping. Acesso em: 5 mar. 2025.

YU, T.; WAGNER, N. Diurnal variation of onshore wind speed near a coastline. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Boston, v. 9, n. 5, p. 760-766, 1970. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/9/5/1520-0450_1970_009_0760_dvoows_2_0_co_2.xml. Acesso em: 5 mar. 2025.

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY GENERATION IN BRAZIL AND THE DEVELOPMENT OF THE LOCAL SUPPLY CHAIN

Carlos Henrique Cabral Duarte

*Bruno Plattek de Araújo**

Keywords: solar energy; equipment production chain; photovoltaic energy generation; green industrial policies; energy transition.

* Respectively, analyst and sector studies manager of the Capital and Consumer Goods Industries, Commerce and Services Department of the BNDES' Productive Development and Innovation Division. The authors thank Lucas Moura de Lucena for information and discussions on the subject.

Resumo

A geração de energia solar fotovoltaica está crescendo rapidamente no mundo e no Brasil. Países como China, Estados Unidos da América, Japão, União Europeia e Índia lideram essa expansão, mas a indústria está concentrada no Leste Asiático, com predominância da China. No Brasil, a geração fotovoltaica expandiu 72% ao ano nos últimos cinco anos. Em 2024, foi instalada nova capacidade de 15 GW, com investimento de aproximadamente R\$ 30 bilhões, totalizando 52 GW, tornando a geração fotovoltaica a segunda fonte em capacidade instalada e a terceira em geração de energia. Quase a totalidade dos módulos fotovoltaicos são importados, gerando um déficit comercial anual superior a US\$ 3,5 bilhões desde 2022. A participação de módulos nacionais caiu de 35% para 1% em 2024. Este artigo discute a crise da indústria fotovoltaica no Brasil, as políticas públicas e as oportunidades para fortalecer a cadeia de fornecedores e promover a inovação tecnológica. Conclui com sugestões de políticas para o desenvolvimento da indústria local.

Abstract

Photovoltaic solar energy is rapidly growing worldwide and in Brazil. Countries such as China, the United States of America, Japan, the European Union, and India lead this expansion, but the industry remains concentrated in East Asia, mostly in China. In Brazil, photovoltaic energy has grown 72% annually over the past five years. In 2024, 15 GW of new capacity was installed, with investments over BRL 30 billion, reaching a total of 52 GW. This made photovoltaic energy the second largest in installed capacity and third in generation. Almost all photovoltaic modules are imported, resulting in an annual trade deficit of over USD 3.5 billion since 2022. The share of domestically produced modules dropped from 35% to 1% in 2024, with only four companies still in operation. This article reviews Brazil's photovoltaic supply chain, the public policies, and opportunities for strengthening the local industry and promoting technological innovation. It concludes with policy suggestions for expanding photovoltaic energy and developing the local supply chain.

Introdução

A energia solar fotovoltaica emergiu como uma das principais fontes de energia renovável na última década, impulsionada pela crescente demanda energética e pela necessidade de descarbonização. A geração fotovoltaica, caracterizada pela conversão direta da radiação solar em eletricidade, cresceu exponencialmente, consolidando-se como solução promissora para a transição energética.

Entre 2010 e 2023, a capacidade instalada global de geração solar cresceu mais de 35 vezes, passando de 40 GW para 1400 GW (IRENA, 2024). Esse crescimento foi impulsionado por significativas quedas nos custos de instalação, economias de escala, inovações tecnológicas e políticas industriais para desenvolvimento da cadeia de fornecedores.

A indústria de equipamentos para geração fotovoltaica, especialmente de células, módulos e inversores, desempenha papel central nesse contexto. A China, os Estados Unidos da América (EUA), a Índia e os países membros da União Europeia (UE) adotaram políticas industriais para expandir a geração e constituir cadeias produtivas competitivas. Contudo, a manufatura global se concentrou no leste asiático, com a China assumindo a liderança absoluta nesse setor.

No Brasil, a energia fotovoltaica cresceu de forma significativa. Há uma década, a capacidade instalada era considerada marginal. Porém, em 2024, a produção atingiu 52 GW, tornando-se a segunda maior fonte em capacidade instalada na matriz elétrica, com mais de 20% da capacidade instalada total.

A expansão da energia fotovoltaica no Brasil ganhou tração por meio de leilões de energia na década de 2010, cujos investimentos em infraestrutura

tiveram forte apoio dos bancos públicos, com destaque para o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Associada ao financiamento, a política de conteúdo local da Agência Especial de Financiamento Industrial S.A. (FINAME) para credenciamento de sistemas fotovoltaicos, lançada em 2014, impulsionou a localização da indústria no país, fomentando o estabelecimento de uma cadeia produtiva local.

Após a crise política e econômica de 2014-16, o crescimento desacelerou e houve reformulação dos incentivos à energia fotovoltaica. A geração distribuída (GD) e o mercado livre substituíram os leilões como principais motores de expansão. A queda nos preços dos módulos importados e a alta dos juros do BNDES desarticularam a política em construção.

Diante disso, o modelo de expansão da geração fotovoltaica no Brasil tem sido marcado pela dependência de produtos importados, particularmente módulos. A participação no mercado doméstico dos módulos nacionais caiu de 35% para menos de 1% nos últimos cinco anos. O respectivo déficit comercial ultrapassa US\$ 3,5 bilhões anuais desde 2022, evidenciando fragilidades na cadeia local de fornecedores.

Diante desse cenário, este artigo analisa a cadeia de fornecedores de módulos e sistemas de geração fotovoltaica no Brasil. Avalia os impactos das políticas implementadas no adensamento produtivo e apresenta sugestões para que as políticas energética e industrial conciliem a diversificação da matriz elétrica brasileira com o fortalecimento da indústria local.

O artigo possui cinco seções, além desta introdução. A primeira seção apresenta um panorama da indústria de energia solar no mundo, destacando a expansão da geração de energia, a estrutura dessa indústria e sua distribuição geográfica. A segunda analisa a evolução da geração de energia fotovoltaica no Brasil, abordando a geração centralizada (GC) e a GD. A terceira discute as políticas públicas para o setor. A quarta apresenta

um panorama da cadeia produtiva local. Na última seção são indicadas algumas recomendações para as políticas públicas.

Panorama da indústria de energia solar fotovoltaica no mundo

Tecnologias para fabricação de módulos fotovoltaicos

A geração de energia solar ocorre via efeito fotovoltaico ou heliotermia.¹ Este artigo foca no efeito fotovoltaico, que converte radiação solar incidente sobre materiais semicondutores em eletricidade. O material bruto mais utilizado é o silício, que deve ser purificado e “dopado”² para que se torne um semicondutor mais eficiente. Células fotovoltaicas são fabricadas a partir de *wafers* de silício cristalino,³ que são laminados a partir de lingotes e sofrem tratamentos químicos. Ao final, recebem terminações elétricas para formar células geradoras de energia.

As células fotovoltaicas de silício cristalino dominam o mercado. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), tem havido preferência crescente pela utilização do silício monocristalino frente ao policristalino, além de pequena utilização do telureto de cádmio (CdTe). O silício cristalino representava cerca de 97,5% das vendas

1 A geração heliotérmica consiste na produção de eletricidade por meio da conversão da energia solar em térmica e, posteriormente, elétrica, assunto não detalhado neste texto.

2 O processo de dopagem do silício solar consiste na adição ao silício puro de impurezas específicas (átomos de outros elementos) para alterar suas propriedades elétricas, tornando-o mais eficiente na conversão de luz solar em eletricidade.

3 *Wafers* de silício cristalino são lâminas finas de silício ultrapuro, usadas na fabricação de células e painéis fotovoltaicos. Eles são cortados a partir de lingotes de silício cristalino.

em 2022 (IEA PVPS, 2023), enquanto filmes finos correspondiam a 2,5% do mercado. Existem ainda células de materiais híbridos, que se encontram em estágio inicial de comercialização.

As tecnologias de silício cristalino, filme fino e híbridas têm vantagens e desvantagens em termos dos custos de fabricação e rendimentos (Tabela 1). Cada uma delas possui características próprias de eficiência, desempenho sob condições climáticas diversas, faixas de absorção de luz, custos de produção e preços de venda. Assim, apesar da participação dominante do silício cristalino no mercado, decorrente de maciços investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e processos fabris, não há tecnologia ideal para todas as aplicações.

Tabela 1 | Comparativo entre as tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas

Características técnicas	Silício cristalino	Filmes finos	Híbridas
Faixa de eficiência	15-25%	9-30%	25-40%
Área ocupada	Maior	Menor	Dado não disponível
Participação no mercado mundial	97,5%	2,5%	–
Preço médio efetivo no mercado internacional	Baratos	Medianos	Dado não disponível
Aproveitamento da radiação difusa	10-20%	5-15%	15-25%
Cadeia de fabricação	Maior	Menor	Experimental

Fonte: IEA PVPS (2023), com os dados sobre faixa de eficiência do National Renewable Energy Laboratory (NREL), United States Department of Energy (DOE) e Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE).

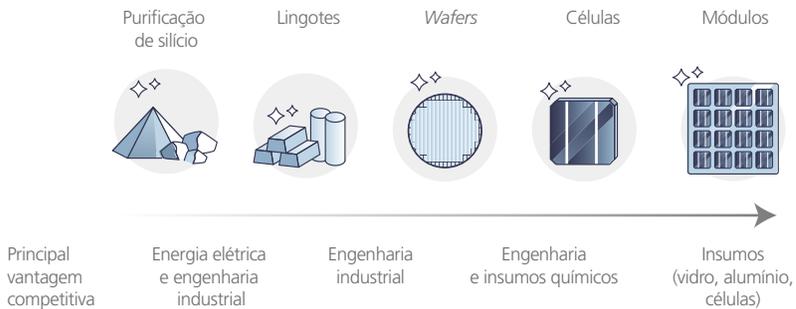
A cadeia de produção com a tecnologia de silício cristalino

A cadeia de fabricação dos módulos à base de silício cristalino se inicia na extração do minério, passando pela sua purificação, formação do

lingote, fatiamento e produção dos *wafers*, dopagem das células e, por fim, a montagem dos módulos.

A primeira etapa é o beneficiamento do quartzo bruto por meio de processos de lavagem, britagem, moagem e separação granulométrica para obter silício com diferentes níveis de pureza: desde o grau metalúrgico até o grau solar, com 99,9999% de pureza.

Figura 1 | Cadeia de produção do silício cristalino



Fonte: Elaboração própria.

O silício de grau solar surgiu como subproduto do silício utilizado na indústria eletrônica, que exige uma pureza ainda superior, da ordem de 99,999999%. A maioria dos fabricantes utiliza o processo Siemens de crescimento de cristais em altos fornos, concebido originalmente para a indústria de semicondutores. A transformação do silício cristalino em lingotes ocorre por deposição de impurezas a partir de gases (difusão) e implantação iônica (recozimento), tornando-o um semicondutor eficiente.

Além do processo Siemens, reatores de leito fluidizado (*fluidized bed reactor* – FBR) também são usados para produzir silício cristalino, pois consomem menos energia e permitem a fabricação de produtos mais

granulares. Em 2022, a empresa chinesa GCL Technologies iniciou a operação de três plantas utilizando esse processo (IEA PVPS, 2023).

Existem, ainda, processos experimentais de crescimento de cristais semicondutores de carbeto de silício (SiC) a partir de dopagens com fósforo (Ingenito *et al.*, 2019). O carbeto de silício apresenta alta resistência térmica e elétrica, porém ainda é necessário aprimorar sua eficiência e custos de fabricação. A dopagem com utilização de grafeno é uma rota possível para alcançar esses objetivos.

Os lingotes semicondutores produzidos na etapa inicial do processo passam, depois, por um processo de laminação (corte). Em seguida, são realizadas deposições metálicas no substrato de silício semicondutor para que se formem junções semicondutoras do tipo P-N (dopagem).

Até recentemente, as células do tipo P, feitas dopando o silício com boro ou gálio – tecnologia *passivated emitter and rear contact* (PERC) – e carregadas positivamente, eram as mais usadas em painéis solares por sua eficiência e custo-benefício. No entanto, os reatores FBR viabilizaram a produção de células do tipo N, dopadas com fósforo e carregadas negativamente – tecnologia *tunnel oxide passivated contact* (TOPCon).

Células TOPCon são mais eficientes, sofrem menos degradação pela luz solar e duram mais que as do tipo PERC. Com os desafios de engenharia tendo sido superados para minimizar desgastes causados por umidade e radiação ultravioleta, a indústria está gradualmente substituindo células do tipo P pelas do tipo N (Moehlecke *et al.*, 2017). Conforme tendência relatada em IEA PVS (2024), em 2024 já foram produzidas mais células TOPCon do que PERC.

Após a laminação e deposição, tratamentos superficiais aumentam a absorção de luz pelas junções e reduzem sua reflexão (foto-sensibilização),

formando *wafers* fotovoltaicos. Em seguida, ocorre a individualização, metalização dos contatos elétricos e passivação da superfície para que ali sejam definidas células fotovoltaicas. Algumas células utilizam uma pasta condutora à base de grafeno, substituindo metais caros e raros, como a prata e a platina, na soldagem dos contatos traseiros à grelha frontal da célula.

Os módulos fotovoltaicos geralmente são produzidos a partir de *wafers* semicondutores por meio de processos de corte a *laser* das células, soldagem e encapsulamento em vidro, além de cabeamento interno, montagem e selagem de proteção quanto à incidência de poeira e água.

A vida útil dos módulos fotovoltaicos costuma ser de 25 anos, podendo atingir até trinta anos, sendo que os fabricantes que atendem aos padrões internacionais de qualidade garantem 80% da potência nominal do módulo ao final desse período (Montenegro, 2013).

A cadeia de produção com a tecnologia de filme fino

A fabricação de células fotovoltaicas de filme fino consiste na deposição física ou química de camadas semicondutoras sobre substrato ultrafino, como polímero plástico, aço inox ou vidro. Essas camadas podem conter materiais fotovoltaicos inorgânicos, como silício amorfo (a-Si),⁴ telureto de cádmio (CdTe),⁵ cobre, índio e gálio seleneto (CIS/CIGS),⁶ ou orgânicos – *organic thin-film photovoltaic* (OPV).

4 As células de a-Si são fabricadas pelo processo de “empilhamento” de camadas para aumentar sua eficiência. No entanto, esse processo é mais caro do que para células de silício cristalino quando considerada a relação eficiência *versus* custos.

5 As células de CdTe são as únicas que possuem a relação eficiência *versus* custo superior à do silício cristalino.

6 Os painéis solares que utilizam as células CIGS possuem maior eficiência, porém o elemento químico cádmio é altamente tóxico.

Figura 2 | Cadeia de produção do filme fino



Fonte: Elaboração própria.

Quanto às células orgânicas do tipo OPV, em particular, há diversas vantagens em relação às de silício cristalino, como o fato de poderem ser feitas de plásticos não tóxicos, leves, semitransparentes e flexíveis, porém ainda não contam com processos fabris consolidados.

A fabricação de células solares de filme fino envolve a impressão das células em superfícies ou rolos, utilizando processo semelhante à flexografia, seguida de tratamento térmico. Os módulos são definidos após a aplicação de eletrodos nas extremidades do filme e encapsulamento em vidro ou polímero. Assim, são dispensadas molduras ou folhas traseiras (*backsheet*).

As tecnologias baseadas em materiais híbridos

A fabricação de células fotovoltaicas também pode usar materiais híbridos, orgânicos e inorgânicos, à base de perovskita (*perovskite solar cells* – PSC). Na coleta de luz, essas células combinam elementos inorgânicos – metais como o chumbo (Pb) ou estanho (Sn) adicionados a um haleto contendo iodo (I), bromo (Br) ou cloro (Cl) – com cátions de materiais orgânicos – como o metil amônio (CH_3NH_3^+) ou formamidínio ($\text{CH}(\text{NH}_2)_2^+$). Essa composição alia a flexibilidade e o baixo custo dos orgânicos à alta eficiência e estabilidade dos inorgânicos.

Em alguns casos, o uso de tinta à base de grafeno sobre as perovskitas aumenta a estabilidade e eficiência das células (Bagade *et al.*, 2023). A tecnologia de revestimento a jato de tinta industrial líquida com PSCs e grafeno permite a impressão de células de perovskita sobre superfícies. Materiais híbridos são hoje a tecnologia fotovoltaica mais promissora (IEA PVPS, 2023).

Células mistas do tipo *tandem* combinam filmes de materiais híbridos com o silício cristalino. Seu recorde de eficiência de 33,7% foi alcançado em laboratório pela Universidade de Ciência e Tecnologia Rei Abdullah (Kaust, na sigla em inglês), da Arábia Saudita, em 2023 (Jones, 2023).

A indústria global de módulos fotovoltaicos

O mercado global de energia solar cresceu de forma exponencial na última década. A geração de energia fotovoltaica tem sido responsável por quase a totalidade desse crescimento. Várias aplicações tornaram-se viáveis economicamente pela expansão das escalas de produção e a consequente queda nos custos dos equipamentos de geração de energia.

No século XXI, a indústria fotovoltaica se consolidou nos mercados desenvolvidos. Até 2004, a capacidade instalada de geração fotovoltaica era pouco significativa (REN21, 2014). Seu desenvolvimento inicial e massificação se beneficiaram de consideráveis incentivos estatais. O aumento da demanda e da escala de produção, aliadas ao desenvolvimento tecnológico, reduziram os preços dos insumos, impulsionando a difusão dessa tecnologia.⁷

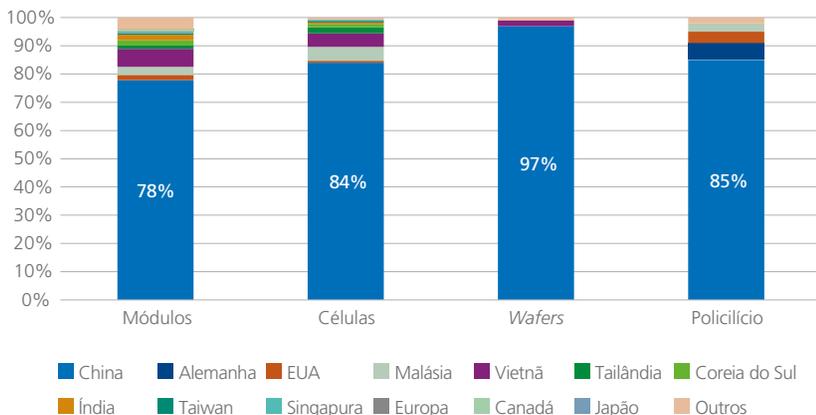
Inicialmente, Alemanha, EUA e Japão lideraram o desenvolvimento tecnológico, com Itália, Espanha e Noruega em papéis secundários. Mais

7 Segundo Hopkins e Lazonick (2013), o custo dos módulos fotovoltaicos em 1980 era de cerca de US\$ 23/watt.

recentemente, a China se tornou protagonista, impulsionando novas soluções e expandindo seu mercado.

Segundo Platzer (2015), diversos fabricantes localizaram suas plantas fabris em países onde a demanda era alta. Assim, nos últimos dez anos, houve expressiva consolidação da cadeia na China. O país aproveitou economias de escala para competir por preço, impulsionadas por maciços incentivos governamentais à fabricação local. Como resultado, a produção é muito superior à demanda. O Gráfico 1 detalha a participação de mercado da indústria por tipo de componente e localização.

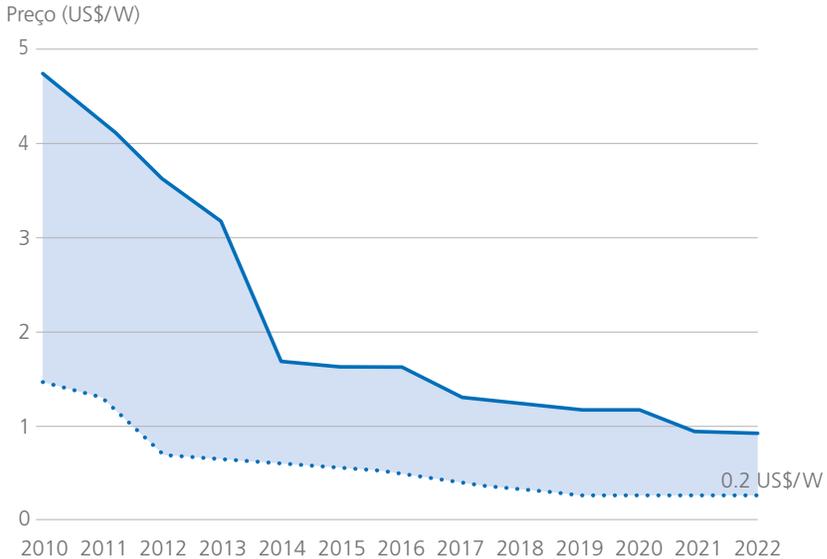
Gráfico 1 | Localização da cadeia de produção fotovoltaica no mundo



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de IEA PVPS (2024).

Em maio de 2018, o governo chinês reduziu seus subsídios (IEA PVPS, 2023), porém essa decisão causou antecipação de investimentos, levando a uma queda nos preços dos produtos até 2020. Em 2021, a pandemia elevou os preços dos insumos como células, vidros, cobre e alumínio. A partir de 2022, os preços dos insumos voltaram a cair. No fim de 2022, os preços dos módulos atingiram seu menor patamar histórico, 0,2 US\$/W (Gráfico 2).

Gráfico 2 | Evolução dos preços médios dos módulos fotovoltaicos no mundo



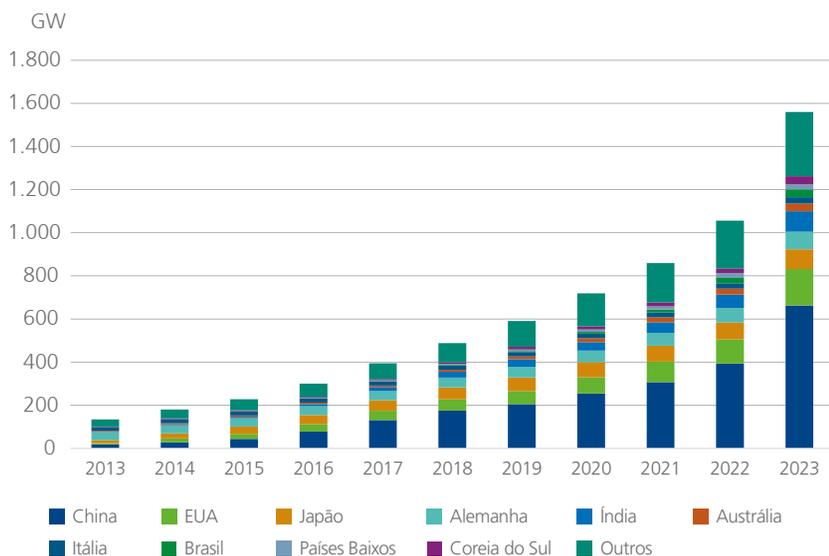
Fonte: Adaptado de IEA PVPS (2023).

Apesar dos baixos preços dos insumos, há grande variabilidade nos preços dos módulos. Os mais baratos são para sistemas montados em estruturas sobre o solo para GC, seguidos por aqueles montados sobre telhados de casas para GD. Módulos para sistemas isolados ou dispostos de forma flutuante são os mais caros, podendo superar 4,0 US\$/W.

A China lidera o mercado global de energia solar, com cerca de um terço da capacidade instalada, seguida pelos EUA, que representam 10% do total. Outros mercados relevantes são a Alemanha, Índia e Japão. O Brasil ocupa a oitava posição e tem apresentado crescimento significativo.

Em 2023, a energia fotovoltaica representou mais de 5% da eletricidade gerada no mundo, alcançando cerca de 1,6 TWh (Gráfico 3).

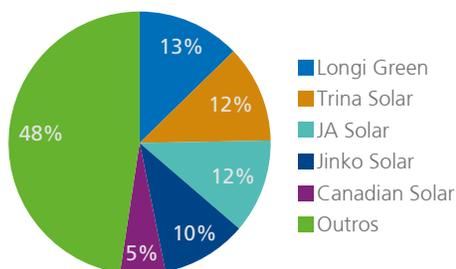
Gráfico 3 | Expansão da capacidade instalada de geração fotovoltaica no mundo



Fonte: Elaboração própria com base em dados da United States Energy Information Administration (EIA) publicados no Anuário Estatístico de Energia 2023 (EPE, 2024), para dados até 2022; e IEA PVPS (2024), para dados de 2023.

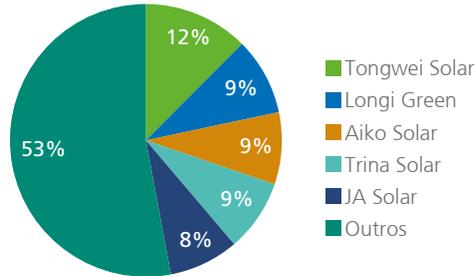
Em relação à capacidade de fabricação de células e módulos fotovoltaicos, os gráficos 4 e 5 demonstram a atual liderança das empresas chinesas, que ocupam as cinco primeiras posições no *ranking* (exceto a Canadian Solar, que é canadense). Outros países que ainda apresentam capacidade industrial relevante são os EUA e o Canadá.

Gráfico 4 | Principais fabricantes de módulos fotovoltaicos no mundo



Fonte: Elaboração própria com base em IEA PVPS (2024).

Gráfico 5 | Principais fabricantes de células fotovoltaicas no mundo



Fonte: Elaboração própria com base em IEA PVPS (2024).

A partir do século XXI, observava-se uma maior escala e porte nas empresas da base da cadeia produtiva (extração e fabricação de silício de grau metalúrgico e solar) e uma maior pulverização na sua parte mais a jusante (fabricação de lingotes, *wafers* e células, além da montagem e instalação de sistemas fotovoltaicos).

Na última década, os fabricantes chineses aumentaram as escalas nos elos finais de suas cadeias produtivas, impulsionados por rápidos avanços tecnológicos, como o desenvolvimento de reatores FBR. A indústria chinesa dominou, inicialmente, as etapas finais da cadeia de valor e, em menos de uma década, integrou etapas de maior escala e complexidade tecnológica.

Atualmente, a concorrência global é intensa, com empresas chinesas dominando a cadeia e liderando a fabricação de células e painéis. Elas detêm a maior parcela do mercado, cooperam para padronizar produtos, reduzir custos de fabricação e simplificar processos de *design* e instalação, bem como investem fortemente em novas tecnologias e em capacidade de fabricação.

O reposicionamento dos fabricantes chineses alterou a dinâmica de concorrência, contribuindo para as dificuldades enfrentadas por

empresas de outros países. Podem ser citados os casos das empresas norte-americanas Evergreen Solar e Solyndra e das alemãs Q-Cells e Solon que declararam falência (Schultz, 2012).

Os fabricantes chineses provocaram competição por preço que gerou reações de muitos países. O primeiro conflito relevante ocorreu em 2011, quando a Coalition for American Solar Manufacturing (CASM) apresentou uma petição *antidumping* junto ao United States Department of Commerce (DOC) e ao United States International Trade Commission (USITC), alegando que fabricantes chineses vendiam produtos abaixo dos preços de mercado com subsídios do governo chinês. Os EUA impuseram uma sobretaxa de importação de 30% a células e módulos fotovoltaicos, reduzindo-a gradualmente até 15% em 2021. Além desse, há outros conflitos documentados que continuam gerando desdobramentos. Essas disputas se estendem para além dos EUA e China, existindo casos na UE e na Índia (Platzer, 2015). Nos próximos anos, projeta-se um crescimento menor na Europa e mais significativo em países emergentes, especialmente na Ásia e América Latina.

Panorama da indústria de energia solar fotovoltaica no Brasil

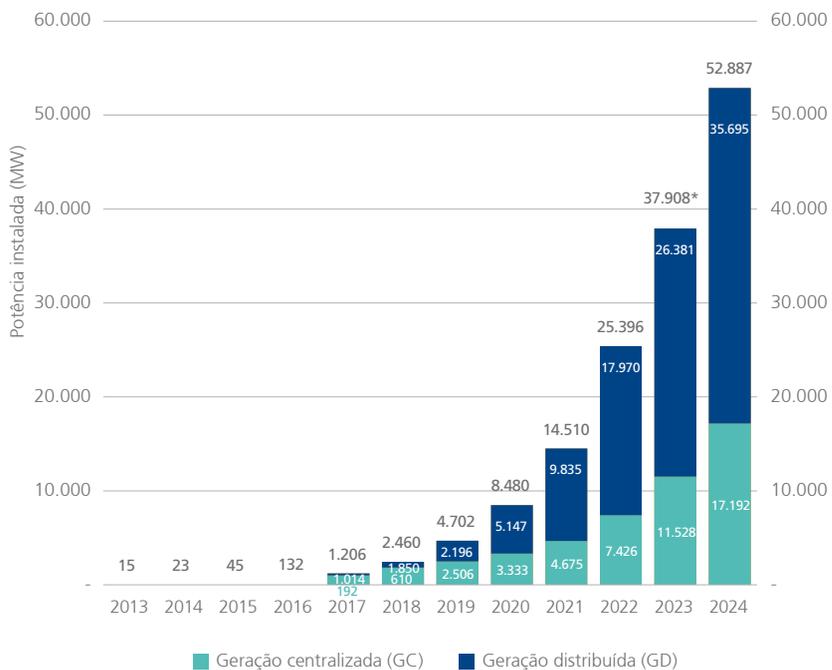
A expansão do mercado de energia fotovoltaica no Brasil iniciou com leilões para o mercado centralizado. O primeiro leilão ocorreu em 2014.⁸ Essa demanda inicial impulsionou a implantação da cadeia fotovoltaica

8 O novo modelo do setor elétrico, definido pela Lei 10.848, de 15 de março de 2004 e pela Lei 10.847, de 15 de março de 2004, criou os ambientes de contratação regulada (ACR) e livre (ACL) de energia. O ACR atende à GC, enquanto o ACL abrange o mercado livre. Esse modelo estabeleceu as bases para o ciclo de investimento em energia nos anos seguintes.

no país, fomentou a expansão da GD, especialmente a micro e minigeração, e estimulou o mercado livre de energia, que se tornou a principal frente de expansão do mercado no país.⁹

Desde 2021, a GC passou a responder por apenas um terço e a distribuída por mais de dois terços da capacidade de geração fotovoltaica no Brasil, adicionando 62% do total em 2024. O Gráfico 6 detalha a expansão e a situação atual do mercado brasileiro de energia fotovoltaica.

Gráfico 6 | Capacidade instalada de geração fotovoltaica no Brasil



Fonte: Adaptado de Absolar (2025).

*A variação observada no somatório deve-se ao arredondamento dos valores unitários.

9 A Resolução 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), modificada pela Resolução 687, de 24 de novembro de 2015, regulamentou o acesso à microgeração (menor que 75 kW) e minigeração (maior que 75 kW e menor ou igual a 1 MW) por meio da conexão aos sistemas das concessionárias de energia.

Evolução dos mercados de geração de energia solar fotovoltaica no Brasil

A geração centralizada (GC)

A GC no Brasil ocorre em grandes usinas (como hidrelétricas, termelétricas, eólicas e solares) conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN). As usinas, geralmente, estão distantes dos grandes centros de consumo, exigindo linhas de transmissão para que a energia gerada chegue às redes de distribuição que atendem consumidores finais. Segundo a Resolução 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), elas abarcam parques solares com capacidade instalada acima de 5 MW.

A demanda por energia na GC é gerada principalmente pelo consumo de eletricidade nos centros urbanos e industriais, sendo influenciada por fatores como crescimento econômico, condições climáticas, mudanças demográficas e políticas de eficiência energética.¹⁰

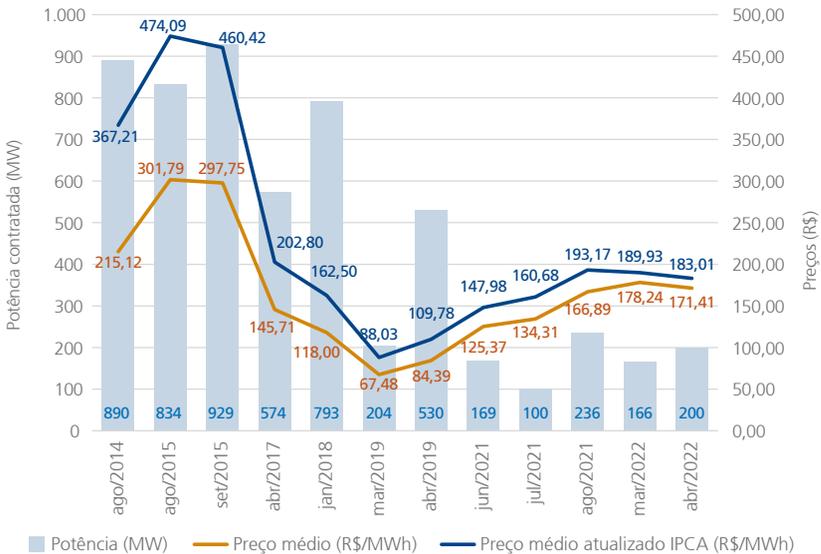
A contratação da energia gerada ocorre de duas formas no Brasil, por meio do ambiente de contratação regulada (ACR) e do ambiente de contratação livre (ACL). No ACR, a energia é contratada pelas distribuidoras de energia por meio de leilões de energia.¹¹ A partir de 2014, foram realizados pelo Governo Federal três leilões com objetivo de aquisição de energia de reserva. Posteriormente, foram realizados

10 A demanda é estimada com base em projeções de consumo e monitorada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e EPE para garantir que a oferta de energia acompanhe as necessidades do país.

11 Os leilões de energia no Brasil são organizados pela Aneel com o apoio do ONS e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), bem como regulados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que define as diretrizes e a demanda a ser contratada. Há diferentes modalidades, como leilões de energia de reserva (LER), energia nova (LEN), energia existente (LEE) e de fontes alternativas (LFA).

outros leilões, todos em menor escala, mas eles foram interrompidos em 2022¹² (Gráfico 7).

Gráfico 7 | Contratação de energia fotovoltaica nos leilões de energia



Fonte: Adaptado de Aneel (2025).

A queda observada na contratação de energia fotovoltaica no ACR por meio dos leilões tem relação com um movimento estrutural de migração dos clientes para o mercado livre em busca dos menores preços de geração encontrados no ACL, que se tornou o “motor” do processo de expansão do setor elétrico nesse período.

O ACL deve permanecer como a principal fonte de demanda por equipamentos de geração fotovoltaica nos próximos anos. Cerca de 90% da expansão de capacidade prevista para o período 2023-2029 tem relação com o mercado livre de energia (Abraceel, 2023).

¹² O último leilão de energia fotovoltaica ocorreu em 16.9.2022, com suprimento previsto para 2027. Segundo o Sistema de Informações de Geração de Energia (Siga) da Aneel, há 6,29 GWp em construção com entrada em operação escalonada.

A geração distribuída (GD)

A GD consiste em pequenas instalações em residências, comércios, propriedades rurais ou industriais para suprir total ou parcialmente a demanda local. Diferente da GC, a GD dispensa longas redes de transmissão e distribuição para conexão ao SIN.

A GD tem sido o principal motor da expansão da geração fotovoltaica no país, adicionando mais de 60% de capacidade ao ano desde 2019. Sua escalabilidade e flexibilidade tornam a energia fotovoltaica ideal para GD, atendendo tanto consumidores conectados à rede elétrica (*on-grid*), quanto aqueles em áreas isoladas (*off-grid*).¹³

Em 2014, a EPE projetou que a GD fotovoltaica no Brasil atingiria 539 MWh em 2021 (EPE, 2014).¹⁴ No entanto, o resultado superou em muito essas expectativas, com a GD tornando-se a principal frente de expansão da geração fotovoltaica no Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional referente ao ano de 2022 (Brasil; EPE, 2023), a autoprodução e GD em 2021 corresponderam a 9 TWh, representando 56% da geração fotovoltaica, contribuindo com 1,2% da energia total consumida no país.

Segundo o planejamento de longo prazo da EPE, a GD ganhará ainda mais relevância. As projeções no Plano Decenal de Expansão (PDE) para 2031 (Brasil; EPE, 2022) indicam que, em 2024, a geração fotovoltaica representará mais de 12% da produção total de energia no Brasil.

13 Sistemas isolados no Brasil, notadamente na região amazônica e no interior do Nordeste, enfrentam desafios de implantação, devido às altas temperaturas e umidade (no caso da Floresta Amazônica), que reduzem a vida útil de equipamentos e baterias.

14 Estimativa que envolve o dimensionamento da área útil nos telhados dos domicílios aptos a receber sistemas de geração fotovoltaica, a evolução dos custos e dos preços da energia nos diversos estados e municípios brasileiros, o perfil de consumo dos clientes no comércio e serviços, a evolução tecnológica e seu potencial de geração. A variabilidade dessas variáveis mostra que há dificuldades de mensuração do mercado potencial, dadas as incertezas nas premissas adotadas.

O avanço da GD no Brasil deve-se a medidas tomadas na última década. A Resolução 482/2012 e a Resolução 687, de 24 de novembro de 2015, ambas da Aneel, regulamentaram a microgeração e minigeração distribuída e sua conexão aos sistemas das concessionárias. Elas reduziram as barreiras regulatórias existentes para conexão da geração de pequeno porte proveniente de fontes de energia incentivadas, bem como introduziram o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*).¹⁵

Posteriormente, houve debates relacionados à cobrança de imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) na compensação de energia proveniente da GD. Antes, permitia-se a dupla incidência do ICMS na GD, sobrepondo-a à tarifação sobre o consumo do cliente final. Tal questão foi superada pelo Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), que isentou a tributação sobre operações no sistema de compensação de energia elétrica (SCEE). Todos os estados e o Distrito Federal aderiram à isenção tributária prevista no convênio, que continua vigente.

Nesse mesmo ano, por meio da Portaria 538, de 14 de dezembro de 2015, o MME lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), provendo estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis, em especial a energia fotovoltaica.

Com isso, tornou-se possível injetar a energia excedente no sistema integrado de energia, habilitando os geradores a ingressar no SCEE e receber deduções nas contas de energia. A minigeração distribuída passou a exigir garantias de fiel cumprimento. Esses movimentos culminaram

¹⁵ O *net metering* regula a troca de energia solar entre concessionária e consumidores: excedentes gerados viram créditos e déficits geram débitos. O balanço é calculado pela concessionária no momento do faturamento das contas de energia.

no marco legal da geração distribuída (Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022). O MME ainda mantém o ProGD em vigência.¹⁶

Por fim, a Resolução 1.059, de 7 de fevereiro de 2023, da Aneel, definiu critérios de cálculo da tarifa de uso do sistema de distribuição (Tusd), concedendo isenção total da Tusd até 2045 para usuários do SCEE registrados até 2022. Essa medida aprimorou as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída, bem como o funcionamento do SCEE.

Ainda há desafios na massificação da GD, por exemplo, em relação aos modelos de negócios mais adequados e legalmente admissíveis. Atualmente, há diferentes modelos que envolvem empresas de serviços de conservação de energia (*energy services company* – ESCO), o aluguel ou arrendamento de equipamentos e o fornecimento de sistemas de geração de energia por empresas de engenharia, que muitas vezes se envolvem na operação dos parques fotovoltaicos.

16 O ProGD possui como metas, até 2030, atingir 23% da geração através de energias renováveis, propiciar 10% de ganho de eficiência no setor elétrico e ampliar a GD. O MME avalia que o programa poderá movimentar cerca de R\$ 100 bilhões em investimentos.

Políticas públicas e instrumentos de apoio à geração de energia e à cadeia de fornecedores

Financiamento

A disponibilidade de crédito é essencial para viabilizar projetos de geração de energia solar. O Brasil conta com diversas alternativas para o financiamento a projetos oferecidas por bancos públicos e privados. O Quadro 1 apresenta as principais linhas de financiamento do BNDES e outros bancos públicos destinadas aos projetos de geração fotovoltaica nos últimos anos.

Tendo em vista o alto retorno do investimento em projetos de geração fotovoltaica, particularmente na GD domiciliar e comercial, em que o *payback* é inferior a cinco anos (Greener, 2023), instituições financeiras privadas desenvolveram produtos financeiros específicos. O Quadro 2 sintetiza esses instrumentos.

Quadro 1 | Linhas de financiamento de bancos públicos*

Banco	BNDES	BNDES	BNDES	BNDES	Banco do Nordeste (BNB)	Banco de Brasília (BRB)	Banco da Amazônia (Basa)
Linha/programa	Fundo Clima - transição energética	BNDES Fimem - geração de energia	Finame Baixo Carbono		Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE Sol)	Fundo Constitucional do Centro-Oeste (FCO Verde)	Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO Energia Verde)
Modalidades	Direto	Direto e indireto	Indireto		Direto	Direto	Direto
Valores admissíveis	De R\$ 20 milhões a R\$ 500 milhões por grupo econômico a cada 12 meses.	Mínimo de R\$ 40 milhões.	Até R\$ 140 milhões.		Até R\$ 100 mil para micro e minigeradores e pessoa física.	Mínimo de R\$ 500 mil.	Até R\$ 20 mil para microempreendedores individuais.
Prazo de carência	Até oito anos.	Até seis meses da entrada do projeto em operação comercial com juros capitalizados nesse período.	Até um ano para financiamentos em taxa fixa do BNDES (TFB) e até dois anos nos demais casos.		Empresas e produtores rurais: até 36 meses. Pessoa física: até seis meses. Locação para GD: até 12 meses.	Até oito anos.	Até quatro anos.
Prazo total	Até 16 anos.	Até 24 anos.	Até dez anos.		Empresas e produtores rurais: até 12 anos. Pessoa física: até oito anos. Locação para GD: até 24 anos.	Até 15 anos, incluindo oito anos de carência.	Até 12 anos, incluindo quatro anos de carência.

(Continua)

(Continuação)

Banco	BANDES	BANDES	BANDES	BANDES	Banco do Nordeste (BNB)	Banco de Brasília (BRB)	Banco da Amazônia (Basa)
Nível de participação	Até 100%	Até 80% do valor total do projeto. Limitada a 100% dos itens financiados.	Até 100%	Pequeno-médio porte: 100%. Porte médio I: 95%.	Até 100%	Até 100%	Pequeno-médio e médio porte I: 100%. Médio porte II: 95%.
Custo financeiro	8%** a.a.	Taxa de longo prazo (TLP)	TFB, taxa fixa do BANDES em dólar (TFBD), TLP ou Selic	7,46%** a.a. ou IPCA + 0,87 a.a.			
Remuneração básica	A partir de 1,1% a.a.	Diretas: 1,1% a.a. Indiretas: 1,05% a.a.	0,95% a.a.	Bônus de adimplência de 0,14% a.a. como redutor do custo básico.	Bônus de adimplência de 0,14% a.a. como redutor do custo básico.	Bônus de adimplência de 0,14% a.a. como redutor do custo básico.	Bônus de adimplência de 0,14% a.a. como redutor do custo básico.
Faixa de spreads	A partir de 0,2% a.a.	A partir de 0,2% a.a. em operações diretas.	Até 3,5% a.a.	Dado não disponível.	Dado não disponível.	Dado não disponível.	Dado não disponível.
Garantias aceitáveis	Reais ou pessoais, definidas na análise do projeto.	Diretas: reais ou pessoais, definidas na análise. Indiretas: definidas pelos agentes financeiros.	Definidas na negociação com os agentes financeiros.	Alienação fiduciária, aval, hipoteca e fiança.			
Fonte dos recursos	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC).	Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT).	Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT).	Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE).	Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO).	Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO).	Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO).

Fonte: Elaboração própria, com dados atualizados até 30.6.2024.

*O financiamento também é possível em linhas genéricas, como o BANDES Automático, ou setoriais, como as que compõem o Programa Agrícola do Governo Federal (PAGF).
**Taxas pré-fixadas.

Quadro 2 | Linhas de financiamento específicas disponíveis de bancos privados

Banco	Santander	Bradesco	Bradesco	Itaú	Banco Votorantim (BV)
Linha/ programa	Santander Energia Solar	Bradesco - <i>Leasing</i> Ambiental	Bradesco - CDC Energia Fotovoltaica	Crédito para Energia Solar	Financiamento para Energia Solar BV
Modalidades	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto
Valores admissíveis	A partir de R\$ 2 mil.	Dado não disponível.	Dado não disponível.	Dado não disponível.	Pessoa física: de R\$ 5 mil a R\$ 500 mil. Pessoa jurídica: de R\$ 5 mil a R\$ 3 milhões
Prazo de carência	Até três meses.		Até três meses.	Até quatro meses.	Até quatro meses.
Prazo total	Até oito anos.	De três a cinco anos.	Até cinco anos.	Até cinco anos.	Até oito anos.
Nível de participação	Até 100% dos equipamentos + custos de instalação.	Até 70% dos bens a serem alienados.	Até 100% do investimento.	Até 100% do investimento.	Até 100% do investimento.
Custo financeiro	A partir de 1,4% a.m.	Dado não disponível.	Dado não disponível.	A partir de 1,55% a.m.	Dado não disponível.

Fonte: Elaboração própria, com dados atualizados até 30.6.2024.

Apoio do BNDES a projetos de geração de energia fotovoltaica

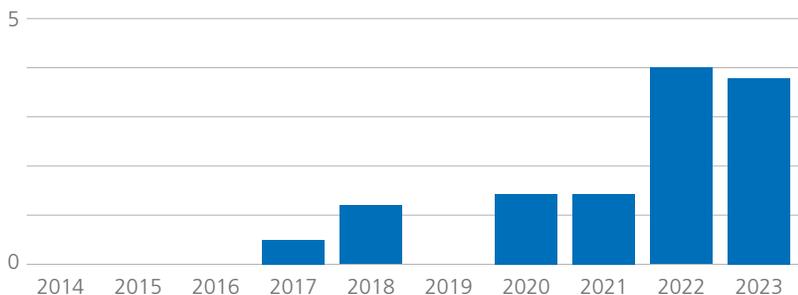
Até 2020, a demanda por crédito do BNDES para investimentos em geração fotovoltaica foi baixa. Entre 2017 e 2020, o Banco financiou apenas projetos de geração fotovoltaica distribuída via programas setoriais, como no Programa Agropecuário do Governo Federal (PAGF), Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) e BNDES Fundo Clima.

O BNDES financia os investimentos previstos em cada projeto, o que compreende tanto o investimento em equipamentos, quanto em mão de obra, serviços etc. No caso do financiamento para aquisição de equipamentos, o Banco exige que esses bens mantenham credenciamento Finame, que demanda determinado nível de agregação de valor local.

Os financiamentos do BNDES ganharam escala com a revisão da metodologia de credenciamento em 2020, que segregou os sistemas com painéis manufaturados localmente (tipo A) daqueles que possuíam, em sua configuração, componentes fabricados localmente, como seguidores ou inversores solares (cujos sistemas são mais baratos) e contassem com painéis importados (tipo B).

No fim de junho de 2024, a carteira de projetos do BNDES atingiu 5,2 GW, dos quais 4,6 GW se referiam à implantação de sistemas apenas com inversor ou rastreador nacional, enquanto 0,6 GW se referiam a projetos com painéis fabricados localmente. O Gráfico 8 apresenta o apoio à geração fotovoltaica na modalidade direta, sem agentes financeiros.

Gráfico 8 | Carteira de projetos de geração fotovoltaica do BNDES apoiados diretamente (R\$ bilhões)



Fonte: Elaboração própria com base em dados do BNDES.

Credenciamento de equipamentos para geração fotovoltaica na Finame/BNDES

A política de conteúdo local, que vincula o financiamento à comercialização de bens de capital a exigências de produção nacional, ainda é operacionalizada pela Finame. Para obter crédito Finame via agentes financeiros, ou por meio do BNDES, quando o crédito é concedido diretamente a empresas ou projetos, os bens de capital devem ser mantidos no Credenciamento de Máquinas, Equipamentos, Sistemas Industriais e Componentes do Sistema BNDES (CFI).

O credenciamento no CFI verifica se um item é considerado de produção nacional, avaliando se o fabricante possui planta industrial no país e se seu produto atende aos critérios de agregação de valor local. Bens de capital credenciados recebem um código e podem ser comercializados com financiamento indireto pelas linhas da Finame, ou apoiados diretamente pelo BNDES em projetos de investimento, caso em que se prescinde da intermediação de agentes financeiros.

Diante da demanda por sistemas de geração de energia fotovoltaica decorrente dos leilões de energia iniciados em 2014, o BNDES entendeu ser relevante estabelecer uma metodologia específica de credenciamento.

Metodologia de credenciamento de sistemas fotovoltaicos

Em 2014, o BNDES lançou a metodologia de credenciamento de sistemas fotovoltaicos, com etapas de nacionalização gradativa. Seu objetivo foi apoiar um setor industrial nascente no país, que não atendia à regra geral de credenciamento vigente.

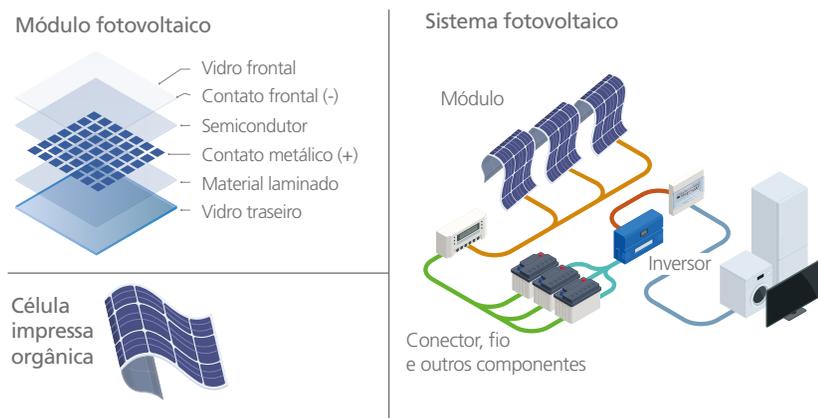
A metodologia setorial exigia que fabricantes de módulos e sistemas fotovoltaicos cumprissem etapas básicas de seu plano de produção local e utilizassem certos componentes nacionais. Também estabelecia regras distintas para as tecnologias de silício cristalino (Figura 3) e filme fino (Figura 4), além de separar as tabelas de nacionalização para módulos e sistemas fotovoltaicos.

Figura 3 | Componentes de módulos e sistemas fotovoltaicos na rota do silício cristalino



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 | Componentes de módulos e sistemas fotovoltaicos na rota de filmes finos



Fonte: Elaboração própria.

A partir da identificação e nacionalização dos principais componentes, foram definidos critérios de credenciamento de sistemas, com obrigações segregadas em três etapas: (i) a primeira, até dezembro de 2017, quando passou a ser obrigatória a nacionalização do *frame* e da montagem do módulo; (ii) a segunda, de janeiro de 2018 até dezembro de 2019, quando se passou a exigir caixas de junção de procedência nacional; e (iii) a terceira, a partir de janeiro de 2020, quando se passou a exigir células de fabricação nacional (BNDES, 2017).

Além disso, a partir da segunda fase, foi exigido que o inversor solar estivesse credenciado de acordo com as normas tradicionais do BNDES, para que todo o sistema pudesse ser credenciado e se tornasse passível de financiamento. A metodologia definiu, ainda, itens que deveriam ser obrigatoriamente nacionais, itens opcionais e *premium*.

Integradores responsáveis pelo projeto e instalação de sistemas solares passaram a ser passíveis de credenciamento, devendo indicar os

componentes a serem utilizados nos projetos comercializados, bem como seus respectivos fornecedores.

A regra de credenciamento previa, originalmente, a fabricação de módulos fotovoltaicos no país, buscando avançar em direção à fabricação local de células, *wafers* e lingotes de silício de grau solar. A regra passou por duas revisões para adequá-la à realidade do setor, considerando os investimentos realizados e as dificuldades encontradas nos projetos em desenvolvimento.

Uma primeira revisão em 2017 retirou a obrigatoriedade de células fabricadas no país e tornou opcional a compra de inversores nacionais, exigindo-os a partir de 2020. Contudo, sua implantação enfrentou dificuldades, sobretudo devido à baixa oferta de inversores nacionais para potências menores e a ausência de inversores em série com monitoramento sistêmico remoto, do tipo *string*, então não fabricados no país.

Uma nova revisão foi realizada em 2020, prevendo regras específicas de acordo com a potência do sistema. Além disso, foi criada uma modalidade (tipo B) que permitiria a aquisição de módulos importados, desde que adquiridos outros componentes fabricados localmente:

- i) Sistemas geradores com potência até 375 kW: precisam contar com partes fabricadas no país – módulos fotovoltaicos e/ou inversores; condutores elétricos de origem nacional; e inversores (*trackers*) ou estruturas de sustentação fixas.
- ii) Sistemas geradores fotovoltaicos de potência superior a 375 kW (tipo A): devem contemplar concomitantemente módulos fotovoltaicos credenciados; inversores credenciados; *trackers* credenciados ou estruturas de sustentação fixas de origem nacional; e condutores elétricos de origem nacional.
- iii) Sistemas geradores fotovoltaicos de potência superior a 375 kW (tipo B): devem atingir um índice de estrutura de

produtos (IEP) mínimo de 30% e ter em sua composição ao menos um de três componentes de procedência local entre módulos fotovoltaicos, inversores ou *trackers* credenciados, ou estruturas fixas de origem nacional.

Portanto, a fabricação local de células e módulos fotovoltaicos deixou de ser um item de cumprimento obrigatório. A última revisão foi implementada em meio a um cenário no qual o BNDES passou a operar com taxas de juros mais elevadas a partir da adoção da taxa de longo prazo (TLP). No momento, a regra estabelecida em 2020 permanece vigente.

Metodologia de credenciamento de sistemas estacionários de armazenamento de energia com baterias e com hidrogênio

O BNDES aprovou, em 19 de maio de 2022, nova metodologia setorial relacionada ao segmento de energias renováveis para credenciamento de sistemas estacionários de armazenamento de energia com baterias e hidrogênio (BNDES, 2022). Esse novo regulamento autorizou o credenciamento de baterias que suportem, pelo menos, quatro mil ciclos de recarga e profundidade de descarga igual ou maior que 80%, desde que sua fabricação apresente índice de credenciamento crescente.

São avaliados todos os componentes das baterias, como ânodo, cátodo, eletrólitos, separadores, carcaças, fios e conectores, além de sistemas de controle de carga, *racks* e sistemas de refrigeração. O regulamento para *battery energy storage system* (BESS) também abrange conjuntos de baterias, gestão de energia, inversores, climatização, estruturas metálicas, elementos elétricos (painéis elétricos, transformador e cabeamento) e sistemas de incêndio, seguindo a lógica de nacionalização progressiva.

Processos produtivos básicos (PPB) e o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (Padis)

Antes da metodologia de credenciamento do BNDES, já se reconhecia que o desenvolvimento da geração fotovoltaica traria externalidades positivas para a cadeia de equipamentos com eletrônica digital embarcada, devido às similaridades nas etapas de fabricação do silício cristalino, *wafers* e células semicondutoras.

Por esses motivos, fabricantes de equipamentos e componentes eletrônicos fotovoltaicos, além de contar com o cumprimento de processos produtivos básicos (PPB)¹⁷ para efeito de credenciamento Finame, vêm podendo usufruir dos incentivos previstos no Decreto-Lei 288, de 28 de fevereiro de 1967, que cobre a Zona Franca de Manaus (ZFM), e na Lei 8.248, de 23 de outubro de 1991 (Lei de Informática), que cobre todo o país, bem como em suas alterações posteriores.

Assim, os fabricantes dos produtos listados no Quadro 3, desde que cumpram os respectivos PPBs, podem contar com créditos financeiros, calculados com base nos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) realizados.

17 Um PPB é o conjunto mínimo de etapas de produção que uma empresa deve realizar no Brasil para que determinado produto seja considerado como fabricado no território nacional. PPBs são regulamentados pelo Governo Federal.

Quadro 3 | PPBs fixados para produtos da cadeia fotovoltaica

Portarias MCTI/MDIC*	Escopo
277/2001-ZFM	Gerador fotovoltaico
276/2001-ZFM	Carregador para gerador fotovoltaico
408/2015-ZFM e 409/2015-BR	Componentes semicondutores, inclusive células fotovoltaicas
2524/2021-BR e 2525/2021-ZFM	Seguidor solar
3808/2021-ZFM e 3809/2021-BR	Células e módulos ou painéis fotovoltaicos
5519/2021-ZFM	Cabos para sistemas fotovoltaicos
54/2024-BR e 55/2024-ZFM	Sistema de armazenamento de energia
63/2024-BR e 64/2024-ZFM	Inversor fotovoltaico

Fonte: Elaboração própria.

*Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação/Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços.

Em particular, o PPB de geradores fotovoltaicos exige que painéis e carregadores/controladores de carga sejam fabricados no país conforme seus PPBs. Além da montagem e soldagem local de todos os componentes em placas de circuito impresso, a montagem de partes mecânicas e elétricas deve ser a partir de componentes desagregados, com a integração final do equipamento no país.

Os PPBs de painéis e células adotam sistemas de pontuação que priorizam a realização de etapas físico-químicas, bem como de corte, soldagem e empacotamento do produto em território nacional. As atividades de PD&I e desenvolvimento tecnológico no país, além de soldagens, vedações e montagens também são valorizadas, porém com menor peso.

Na prática, o cumprimento das etapas produtivas e condicionantes em cada PPB visa o mesmo objetivo das metodologias do BNDES: o adensamento local da cadeia produtiva fotovoltaica. Porém, o cumprimento dessa legislação foi interrompido durante o período em que sua conformidade com os acordos comerciais internacionais subscritos pelo Brasil foi contestada na Organização Mundial do Comércio (OMC), até

o ano de 2019. Os incentivos foram reformulados para a retomada desse mecanismo, substituindo a redução do imposto sobre produtos industrializados (IPI) por créditos tributários. Desde 2021, novas portarias estabeleceram PPBs para equipamentos e componentes fotovoltaicos, ainda necessitando acompanhamento.

O segmento de células e módulos fotovoltaicos também está incluído no escopo do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (Padis), criado pelo Decreto 6.233, de 11 de outubro de 2007. O programa originalmente zerava alíquotas do programa de integração social (PIS), da contribuição para o financiamento da seguridade social (Cofins), do imposto sobre produtos industrializados (IPI) e do imposto de importação (II) na compra de insumos e máquinas/equipamentos para o ativo imobilizado ou produção, desde que tais produtos estivessem relacionados nos anexos do decreto.

O Padis também zerava tributos incidentes sobre vendas - IPI, PIS/Cofins e imposto de renda de pessoa jurídica (IRPJ) - e oferecia incentivos relacionados ao IRPJ e à contribuição de intervenção no domínio econômico (Cide). As contrapartidas incluíam a abertura de CNPJ, aprovação de projeto pelo MCTI, realização de atividades produtivas e PD&I no país, além da aprovação dos relatórios anuais de prestação de contas.

A Lei 14.302, de 7 de janeiro de 2022, corrigiu as assimetrias presentes no Padis, incluindo todos os fabricantes de semicondutores e insumos como beneficiários de créditos financeiros. Depois, a Lei 14.968, de 11 de setembro de 2024, criou o Programa Brasil Semicondutores (Brasil Semicon, sucessor do Padis), garantindo isenção total de impostos para toda cadeia de insumos na fabricação de módulos fotovoltaicos no país.

Incentivos tributários

Além dos incentivos e políticas abordados nas seções anteriores, os seguintes incentivos tributários também são direcionados à expansão da geração fotovoltaica no país:

- Convênio ICMS 101, de 12 de dezembro de 1997: concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para energias renováveis.
- Convênio ICMS 109, de 21 de outubro de 2014: autoriza que unidades federadas concedam diferimento de ICMS nas aquisições de máquinas, equipamentos e insumos produtivos.
- Lei 13.169, de 6 de outubro de 2015: isenta de PIS/Cofins a micro e minigeração para uso próprio de consumidores residenciais, comerciais e industriais.
- Lei 13.203, de 8 de dezembro de 2015: estabelece redução tarifária de até 50% na transmissão e distribuição devido a produção independente ou autoprodução.

A cadeia produtiva de equipamentos para geração solar fotovoltaica no Brasil

Esta seção apresenta o mapeamento dos fabricantes estabelecidos no país nos principais elos da cadeia de fornecedores de módulos e componentes de geração fotovoltaica e identifica algumas das oportunidades para o desenvolvimento dessa indústria.

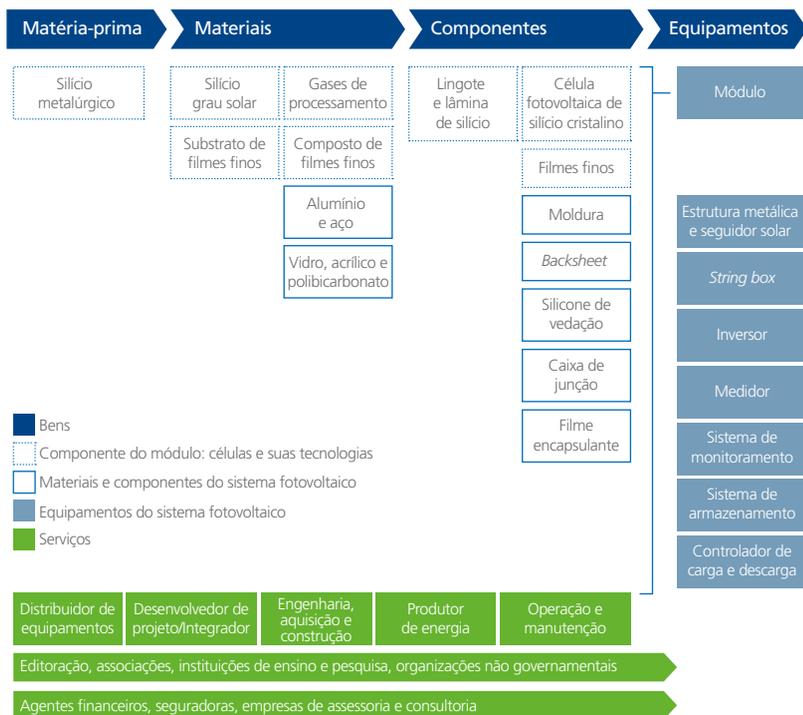
A cadeia produtiva de módulos e componentes fotovoltaicos estabelecida no país

Diversos insumos são utilizados em sistemas de geração fotovoltaica, como o silício de grau solar, gases para processamento físico-químico, *wafers* de silício purificado, *backsheet* e silicone para vedação, fios e cabos para montagem de caixas de junção, bem como alumínio e aço para montagens de molduras e estruturas de módulos fotovoltaicos.

Além dos módulos, os sistemas de geração fotovoltaica incluem inversores, medidores de energia, baterias e sistemas de armazenamento, controladores de carga e rastreadores solares. Esses itens são essenciais para o funcionamento de sistemas fotovoltaicos e representam fração relevante dos seus custos.

A cadeia produtiva inclui prestadores de serviços, como empresas de consultoria e engenharia, fornecedores do tipo *engineering, procurement and construction* (EPC), operação e manutenção (O&M), distribuidores de equipamentos, agentes financiadores, instituições de ensino e pesquisa, entre outros (Figura 5).

Figura 5 | Cadeia de valor fotovoltaica



Fonte: Adaptado de Ramos et al. (2018).

Módulos fotovoltaicos

Atualmente, quatro fornecedores fabricam painéis fotovoltaicos no país, todos com base na tecnologia de silício cristalino bifacial. Eles possuem produtos credenciados no CFI, porém sua produção está praticamente paralisada, devido ao reduzido patamar de preços e elevada concorrência com produtos chineses. Os atuais fabricantes são a BYD, Sengi, Balfar e Minasol, que informaram ter capacidade instalada de produção de módulos fotovoltaicos totalizando, aproximadamente, 1.250 MW/ano. Em 2024, esses fabricantes operavam com nível de ocupação de sua capacidade

entre 1% e 5%, mas podem escalar rapidamente sua produção, desde que disponham de capital de giro e adotem turnos adicionais de trabalho.

Algumas empresas possuem módulos fotovoltaicos credenciados para financiamento caso a caso, como a Intelbras e a Renovigi (empresa do grupo Intelbras), que precisam demonstrar a fabricação dos produtos no país conforme as regras de credenciamento a cada financiamento pleiteado. A Weg atua no mercado com marca própria, porém no formato *white-label*, assumindo a garantia e performance de produtos fabricados por terceiros. Apesar de ter anunciado planos para instalação de capacidade fabril própria, declinou do investimento em função das oscilações de preço e riscos da migração tecnológica das células de tipo P para N.

Nos últimos anos, outros fabricantes de painéis fotovoltaicos interromperam suas atividades ou deixaram o país. As empresas de filmes finos deixaram o mercado local devido às incertezas mercadológicas e à predominância do silício cristalino como padrão global.

No mercado internacional, das dez maiores empresas fabricantes de módulos fotovoltaicos, oito são chinesas (Longi Green, Jinko Solar, Trina Solar, JA Solar, Astroenergy, Tongwei Solar, Risen Energy, DAS Solar), uma é canadense (Canadian Solar) e uma é norte-americana (First Solar) (Aleina, 2024).

Sistemas geradores fotovoltaicos

Há grande quantidade de fornecedores de sistemas de geração fotovoltaica credenciados no BNDES, a maioria mantém tanto sistemas de tipo A quanto de tipo B credenciados. A estimativa de sua participação no mercado é dificultada devido à grande pulverização das vendas.

Algumas empresas atuam no mercado como fabricantes de sistemas e integradores, utilizando assim financiamentos do BNDES caso a caso, adotando estratégias diferenciadas para atender seus clientes. Fornecedores que atuam com células do tipo A geralmente têm múltiplos sistemas credenciados, pois trabalham com mais de um fornecedor de módulos nacionais (Balfar, BYD, Sengi ou Minasol). Além disso, alguns fabricantes de módulos também credenciam sistemas, *trackers* e inversores para atender diretamente clientes de maior porte.

Ao final de 2024, havia 129 sistemas credenciados por fornecedores localizados nas regiões Sul e Sudeste (Tabela 2). Dentre eles, 78 eram de tipo A, sendo 46 sistemas entre 750 W e 75 kW e 32 com potência superior a 75 kW. Já os 51 sistemas de tipo B, que geralmente utilizam painéis solares importados, eram todos de potência superior a 75 kW.

Tabela 2 | Tipos de sistemas fotovoltaicos credenciados

Tipo	Potência	Quantidade
Tipo A	Entre 50 W e 75 kW	46
	Acima de 75 kW	32
Tipo B	Entre 50 W e 75 kW	–
	Acima de 75 kW	51
Total		129

Fonte: Elaboração própria.

A segregação dos sistemas credenciados de acordo com seus tipos e potências demonstra claramente que os sistemas com menor conteúdo local (tipo B) são destinados a plantas de geração fotovoltaica de maior capacidade.

Inversores

Inversores são os componentes responsáveis por converter a corrente contínua gerada por painéis fotovoltaicos em corrente alternada para que possa ser utilizada pelos consumidores. Um inversor pode ser usado para todo o conjunto ou inversores separados podem ser usados para cada sequência de módulos (IEA PVPS, 2023). São um componente crítico no funcionamento da maioria dos sistemas fotovoltaicos.

O país desenvolveu competências locais nesse segmento por meio de fornecimentos à Eletrobras (enquanto ainda estatal) e a suas concessionárias. Os inversores nacionais, especialmente para GD, demandam desenvolvimentos específicos, devido aos requisitos operacionais particulares do sistema interligado, podendo utilizar, na geração fotovoltaica, eletrônica de potência em nível de módulos (do inglês, *module-level power electronics* – MLPE), por exemplo para integrar as funções de controle e monitoramento de energia a cada painel fotovoltaico.

Inversores podem ser credenciados pelo BNDES ao atender o índice de credenciamento ou por cumprir um PPB, conforme habilitação em portarias conjuntas emitidas pelo MCTI e MDIC. Segundo esses normativos, o fabricante tem a opção de fornecer sistemas fotovoltaicos com inversores importados, pois sua nacionalização não é obrigatória.

A fabricação de inversores no Brasil está concentrada em modelos de grande porte, acima de 1 MW de potência, com poucas exceções, como a Weg, que produz para GD. Outras empresas de capital nacional credenciadas são DMS, NHS, Noma do Brasil, Technomaster, Tracel e WD Master. Entre as estrangeiras com produtos credenciados, destacam-se as chinesas Central Solar e Link e a espanhola Ingeteam. Já fabricantes como Livoltek, PHB, Renovigi e SNA não mantêm produtos credenciados.

Os fabricantes locais enfrentam forte concorrência de produtos importados, particularmente chineses, como os da Huawei, Deye e Growatt (Badra, 2024). Atuam também no mercado interno diversas outras empresas como, por exemplo, as europeias Siemens, Fronius, Fimer e Santerno.

Rastreadores solares

Rastreadores solares (ou *trackers*) são equipamentos com um ou mais eixos, ligados à estrutura metálica dos painéis para movimentar os módulos e, assim, otimizar a captação da irradiação solar. Seu uso é especialmente atrativo em sistemas terrestres com alta irradiação direta, aumentando o rendimento energético em 10% a 20% nos modelos de eixo único e em 20% a 30% nos de eixo duplo (IEA PVPS, 2023).

Rastreadores também devem ser credenciados para serem considerados componentes de sistemas fotovoltaicos credenciados. Há, no momento, alguns fabricantes que atendem a esse requisito, entre eles: Array STI, Brafer, Brametal, Convert, GameChange, Nextracker (Flextronics), Romagnole, Soltec e Trina Solar. Destaca-se que alguns deles estão localizados na região Nordeste, onde se formaram competências nesse segmento. Há ainda, no mercado nacional, fornecedores não credenciados que importam produtos para revenda.

O fornecimento de rastreadores não enfrenta restrições de capacidade. A caixa de controle, com gabinete plástico ou metálico, contendo placas de circuito impresso, é fabricada no país. O rastreador possui estrutura metálica com acionamento integrado, incluindo controladores, motores e redutores. Devido à eletrônica digital embarcada, podem ser credenciados devido ao cumprimento de PPBs.

Baterias estacionárias e sistemas de armazenamento

A utilização de sistemas de armazenamento de energia apresenta sinergia com a geração fotovoltaica, uma vez que essa é uma fonte de energia intermitente. Apesar disso, o uso desses sistemas ainda é incipiente no Brasil.

Sistemas híbridos combinam geração e armazenamento de energia. Usinas híbridas utilizam sistemas de geração fotovoltaica (ou eólica) e de armazenamento para estabilizar a injeção de energia na rede e fornecer serviços auxiliares, como estabilidade de tensão e resposta rápida a picos de energia. Também aumentam o fator de capacidade das unidades produtoras, permitem postergar a injeção do excedente gerado em sistemas interligados, protegem o consumidor quanto à elevação dos preços e, adicionalmente, reduzem custos ou eliminam prejuízos com a falta de fornecimento (EPE, 2018).

Sistemas de armazenamento usam baterias estacionárias, projetadas para fornecimento contínuo de energia em locais fixos. Baterias são essenciais em sistemas *off-grid* para fornecer energia em períodos de pouca ou nenhuma luz solar. Até recentemente, quase todas as baterias usadas em sistemas fotovoltaicos eram do tipo chumbo-ácido (IEA PVPS, 2023). Porém, baterias com elementos de níquel-cádmio (NiCad), níquel-hidreto metálico (NiMH) ou íon-lítio (Li-Ion) passaram a ser utilizadas, trazendo as vantagens de não poderem ser sobrecarregadas ou profundamente descarregadas.

Sua vida útil varia, dependendo do regime e das condições operacionais, entre cinco e dez anos, podendo ser recondiçionadas com a substituição desses elementos. No momento, apenas Moura e Weg estão credenciadas como fabricantes de baterias estacionárias.

Há poucos fabricantes com produtos de comprovada eficácia sendo comercializados no mercado interno. Devido ao uso de minerais críticos, pode-se antever dificuldades para entrada de insumos importados no mercado local, bem como restrições à comercialização de componentes. Assim, essa cadeia de valor apresenta oportunidades para desenvolvimento tecnológico e fabricação locais.

Dada a relevância de baterias e sistemas de armazenamento para a geração fotovoltaica no país, bem como o número limitado de fabricantes credenciados, é recomendável fomentar PD&I para superar barreiras tecnológicas. São necessários desenvolvimentos ou melhorias para reduzir custos, bem como aumentar segurança, vida útil e eficiência (EPE, 2018).

Globalmente, há iniciativas para desenvolver baterias com novos materiais. Enquanto as de chumbo-ácido e chumbo-carbono estão obsoletas devido ao uso de contaminantes, as de íon de lítio, embora avançadas, podem aquecer ou explodir. Alternativas em desenvolvimento incluem baterias que utilizam, na acumulação de carga, fosfato de lítio-ferro, níquel-hidrogênio, óxidos de lítio-titânio e níquel-manganês-cobalto, brometo de zinco, além de baterias experimentais à base de sal fundido e cloreto de estrôncio. Além disso, o nióbio pode ser usado nos ânodos de baterias de íon de lítio para melhorar sua condutividade elétrica, resistência à corrosão, carregamento rápido e durabilidade.

Medidores bidirecionais

Medidores bidirecionais são essenciais em sistemas fotovoltaicos que funcionam integrados ao sistema elétrico interligado (*on-grid*). Eles são utilizados para mensurar tanto a energia excedente injetada na rede como a energia consumida quando a geração local é insuficiente.

Medidores inteligentes, por sua vez, gerenciam sistemas geradores quando não se deseja interações com o sistema interligado, em modo de funcionamento *zero-grid*. Realizam também funções de automação, operando de forma integrada aos respectivos inversores. São itens passíveis de credenciamento segundo as regras vigentes, sendo, inclusive, análogos aos medidores elétricos residenciais.

Os fabricantes credenciados são Eletra e Nansen, mas há produtos de outras empresas brasileiras, como Weg e Ecil, que ainda não têm credenciamento. Grandes fornecedores globais também atuam no mercado brasileiro via importação, como Schneider Electric, Siemens, ABB e Growatt. No entanto, produtos importados enfrentam barreiras técnicas, especialmente requisitos de segurança e certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).

Células fotovoltaicas

Atualmente, não há fabricação de células fotovoltaicas no Brasil. A metodologia de credenciamento do BNDES, inicialmente, exigia a produção local a partir de 2020. Contudo, essa condição foi flexibilizada posteriormente, uma vez que os investimentos e a escala para viabilizar uma unidade industrial de células são significativamente superiores aos necessários para a fabricação de módulos fotovoltaicos.

Na década de 2010, a produção de células de silício cristalino demandava ao menos 500 MW e investimentos acima de R\$ 450 milhões (Ramos *et al.*, 2018). Hoje, novas tecnologias e materiais permitem plantas menores, com capacidade da ordem de 10 a 20 MW/ano. Assim, é essencial acompanhar o mercado e as decisões de investimento para entender a dinâmica a ser estabelecida e antever os gargalos que possam surgir.

Esse segmento apresentou uma evolução inicial no país, com três fabricantes de módulos de silício cristalino habilitados no Padis para desenvolver projetos de nacionalização de produtos. Foram eles: S4 Solar, Pure Energy e BYD. Contudo, apenas a BYD permanece ativa no mercado interno, aguardando melhores perspectivas para retomar seus investimentos.

Na tecnologia de filmes finos não havia grandes obstáculos para fabricação local, mas sua maturação foi mais lenta do que do silício cristalino. Assim, não há previsão de investimentos para nacionalização de insumos ou fabricação local no curto prazo.

O projeto da entidade Swiss Center for Electronics and Microtechnology (CSEM) com tecnologia OPV merece destaque. Foi desenvolvido no país pela subsidiária Sunew, que implantou o processo industrial de impressão (*roll to roll*) de células e desenvolveu uma mistura das tintas fotovoltaicas.

A Sunew iniciou suas operações em 2014, após investimentos superiores a R\$ 100 milhões realizados pela CSEM, por empreendedores e por investidores. Em 2015, a empresa obteve os incentivos fiscais do Padis para atividades de concepção, desenvolvimento e projeto (*design*), processamento físico-químico, corte, encapsulamento e teste de filmes fotovoltaicos orgânicos. Chegou a produzir 11 mil metros lineares de filmes finos por ano para atender clientes como Petrobrás, Totvs e Natura. Com isso, tornou-se uma das principais fornecedoras de OPV no mundo.

Enfrentando dificuldades financeiras a partir de 2017, interrompeu sua produção em 2021, mantendo apenas atividades administrativo-financeiras e instalações produtivas enquanto aguarda novos clientes ou a possibilidade de futuras capitalizações.

Oportunidades para o desenvolvimento da cadeia de fornecedores no Brasil

O desenvolvimento da cadeia de fornecedores de sistemas de geração fotovoltaica geraria aplicações diversas e externalidades positivas para outros setores econômicos. O Quadro 4 sintetiza algumas das oportunidades e desafios de desenvolvimento dessa cadeia no país.

Quadro 4 | Oportunidades e desafios de desenvolvimento na cadeia fotovoltaica

Insumo/ componente*	Condição necessária para aplicação em sistemas fotovoltaicos	Condição atual da cadeia no Brasil	Transversalidade da tecnologia
<p>Silício</p> <p>2804.69.00 – com grau de pureza inferior a 99,99%.</p>	<ul style="list-style-type: none"> O país possui as maiores reservas mundiais de quartzo leitoso e seu beneficiamento local ocorre de forma abundante. O quartzo precisa ser beneficiado até elevado grau de pureza, produzindo silício de grau solar. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há beneficiamento de silício de grau eletrônico ou solar no Brasil. A produção de silício de grau metalúrgico no Brasil, segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), é realizada por empresas em Minas Gerais, porém é voltada para exportação. 	<ul style="list-style-type: none"> O silício de grau eletrônico é o principal insumo da indústria eletrônica. Há rotas derivadas da produção de silício metalúrgico para produção de silício de grau solar, fibras óticas e vidros especiais. A purificação do silício promove elevada agregação de valor.

(Continua)

(Continuação)

Insumo/ componente*	Condição necessária para aplicação em sistemas fotovoltaicos	Condição atual da cadeia no Brasil	Transversalidade da tecnologia
<p>Lingote de silício cristalino</p> <p>2804.61.00 – com grau de pureza superior a 99,99%.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Lingotes devem ser manufaturados a partir de silício cristalino de grau solar por meio de processos físico-químicos altamente intensivos em capital, água e energia. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há fabricação de lingotes no Brasil. Seriam necessários investimentos superiores a US\$ 135 milhões para uma capacidade de 1.000 t/ano (Pizzini, 2010). 	<ul style="list-style-type: none"> Os processos de fabricação de lingotes são similares para aplicações fotovoltaicas ou eletrônicas.
<p>Wafer semicondutor</p> <p>3818.00.10 – de silício. 3818.00.90 – de outros materiais.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Wafers são fabricados a partir da laminação e tratamento superficial de lingotes de silício cristalino. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há fabricação de wafers no Brasil. Seriam necessários investimentos da ordem de US\$ 150 milhões para processar insumos de 1.000 t/ano. 	<ul style="list-style-type: none"> Os processos de fabricação de wafers são similares para aplicações fotovoltaicas ou eletrônicas.
<p>Célula fotovoltaica</p> <p>8541.42.90 e 8541.42.20 – inorgânicas. 8541.42.10 – orgânica.**</p>	<ul style="list-style-type: none"> Células fotovoltaicas são fabricadas a partir de wafers de silício por processos de dopagem, soldagem, inspeção e testes. 	<ul style="list-style-type: none"> Não há fabricação de células no Brasil, porém fabricantes de painéis podem internalizar esta atividade. Seriam necessários investimentos da ordem de US\$ 130 milhões para garantir fornecimento de 500 MW/ano (Ramos <i>et al.</i>, 2018). 	<ul style="list-style-type: none"> Possível utilização das células em setores industriais diversos, como o automotivo, agroindustrial e aviação.

(Continua)

(Continuação)

Insumo/ componente*	Condição necessária para aplicação em sistemas fotovoltaicos	Condição atual da cadeia no Brasil	Transversalidade da tecnologia
<p>Módulo ou painel fotovoltaico 8541.43.00 – célula montada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Módulos são produzidos a partir de células através de corte a laser, soldagem e encapsulamento em vidro; cabeamento, montagem e selagem. 	<ul style="list-style-type: none"> Há quatro fabricantes ativos no país de módulos fotovoltaicos. Estima-se que investimentos para plantas de 100 MW/ano giram em torno de US\$ 10 milhões. 	<ul style="list-style-type: none"> Há empresas que realizam processos análogos de encapsulamento de semicondutores no país.
<p>Vidro 7003.19.00 – laminado em outras chapas ou folhas não armadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Baixo teor de ferro em sua composição, que garante altas taxas de transmitância da luz solar e eficiência. O baixo teor de ferro pode ser atingido por meio do beneficiamento da areia utilizada. 	<ul style="list-style-type: none"> Há fabricação no Brasil, porém empresas nacionais não produzem em grande volume e têm dificuldades para escoar sua produção devido aos acordos dos painéis com grandes fornecedores mundiais, que supostamente oferecem produtos de maior qualidade. Há oportunidades para otimizar custos logísticos, caso ocorra ampliação da demanda, por meio da internalização desse elo, mediante parcerias entre fabricantes de painéis e vidros especiais. 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação em espelhos para energia heliotérmica. Uso arquitetônico. Proteção e encapsulamento de iluminação a <i>light emitting diode</i> (LED).

(Continua)

(Continuação)

Insumo/ componente*	Condição necessária para aplicação em sistemas fotovoltaicos	Condição atual da cadeia no Brasil	Transversalidade da tecnologia
<p>Cabeamento externo e caixa de junção 8535.30.19 - 1000V < tensão. 8536.90.90 – tensão ≤ 1000V.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Têm a função de conectar diferentes componentes de um sistema fotovoltaico. • Devem respeitar os requisitos da NBR 16612/2017 para garantir resistência a intempéries, isolamento e temperatura de funcionamento adequados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Há diversos fornecedores de insumos no país, como terminais e conectores, fusíveis e disjuntores, fios e cabos e diodos, bem como caixas metálicas e plásticas. • Os fabricantes locais enfrentam concorrência de produtos importados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possível utilização em setores industriais diversos, como o automotivo, agroindustrial e aviação.
<p>Inversor 8504.40.90 – outros conversores estáticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>On-grid</i>: capaz de interligar o sistema à rede da concessionária por meio da sincronização de sua frequência, que no Brasil é de 60Hz, e de sua tensão de saída. • <i>Off-grid</i>: necessidade de baterias e controladores de carga interligados. • A depender da aplicação e potência, possuem diferentes configurações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Há fabricantes credenciados no BNDES para fornecer inversores solares de grande porte. • Há poucos fabricantes de inversores para micro e minigeração credenciados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso em setores industriais diversos mediante configuração. • Fabricantes nacionais realizam PD&I local e detêm tecnologias desenvolvidas no país, utilizadas em inversores para micro e minigeração distribuída.

(Continua)

(Continuação)

Insumo/ componente*	Condição necessária para aplicação em sistemas fotovoltaicos	Condição atual da cadeia no Brasil	Transversalidade da tecnologia
Sistema gerador fotovoltaico Corrente contínua: 8501.71.00 – potência ≤ 50 W; 8501.72.10 – $50W < \text{potência} \leq 75$ kW; 8501.72.90 – $75kW < \text{potência}$; Corrente alternada: 501.80.00.	<ul style="list-style-type: none"> Os requisitos de funcionamento são determinados pelo MME, Aneel e Inmetro. 	<ul style="list-style-type: none"> Há diversos fornecedores locais. 	<ul style="list-style-type: none"> A metodologia de credenciamento do BNDES é semelhante à de geradores eólicos. Compartilha regulamentação e mercado de energias renováveis com o setor eólico.

Fonte: Elaboração própria.

*Categorização conforme a Nomenclatura Comum do Mercosul (NMC).

**Os códigos NCMs 8541.42.90 e 8541.42.20 sucedem os 8541.40.16/8541.40.18, bem como o código 8541.20.10 sucede o 8541.40.17.

Embora exista uma configuração padrão para sistemas fotovoltaicos na metodologia de credenciamento do BNDES e nos incentivos fiscais vigentes, alguns equipamentos desempenham funções adicionais relevantes. Seu uso tem crescido rapidamente nos últimos anos, trazendo oportunidades, desafios e externalidades para outras cadeias produtivas (Quadro 5).

Quadro 5 | Oportunidades e desafios de desenvolvimento de outros equipamentos

Insumo/ componente*	Condição necessária para aplicação em sistemas fotovoltaicos	Condição atual da cadeia no Brasil	Transversalidade da tecnologia
<p>Medidor bidirecional de energia</p> <p>9028.30 – contadores de eletricidade.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Necessários em sistemas <i>on-grid</i> ou para implementar estratégias <i>zero-grid</i> em sistemas voltados para autoconsumo. Devem satisfazer requisitos da NBR 16078/2012 sobre a precisão e confiabilidade de medição, integração com inversores e sistemas de monitoramento. 	<ul style="list-style-type: none"> Há fabricantes locais de medidores de energia, apesar da função bidirecional ser particular em sistemas de geração fotovoltaica. 	<ul style="list-style-type: none"> Há ampla gama de fabricantes de medidores de gás, água e energia no país com capacidade de fabricação para o setor de energia fotovoltaica.
<p>Estrutura de sustentação fixa</p> <p>7604.10.21 – perfil de alumínio não-ligado. 7610.90.00 – outras estruturas de alumínio. 7616.99.00 – outras obras de alumínio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Devem respeitar os requisitos da NBR 8800/2008 para garantir resistência e durabilidade, leveza e estabilidade, bem como proteção contra corrosão, devendo ser preferencialmente modulares e acessíveis para facilitar a passagem de cabos. 	<ul style="list-style-type: none"> Há diversos fornecedores de insumos no país, como perfis de alumínio (para instalações em tetos de edificações) ou de aço (para montagens no solo). Os fabricantes locais enfrentam concorrência de importados. 	<ul style="list-style-type: none"> Possível utilização em setores industriais diversos, como o automotivo, agroindustrial e aviação.
<p>Rastreador solar (tracker)</p> <p>8479.89.99 – outras máquinas e aparelhos mecânicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Devem garantir precisão de posicionamento, durabilidade e resistência, preferencialmente tendo operação e manutenção facilitadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Há diversos fabricantes no país que enfrentam concorrência de importados. Há uma concentração dos fabricantes na região Nordeste, algo que estimula o desenvolvimento regional. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricantes nacionais realizam PD&I local e buscam desenvolver tecnologias no país.

(Continua)

(Continuação)

Insumo/ componente*	Condição necessária para aplicação em sistemas fotovoltaicos	Condição atual da cadeia no Brasil	Transversalidade da tecnologia
<p>Bateria estacionária</p> <p>8507.20.10 - chumbo-ácido. 8507.60.00 - íon de lítio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Devem satisfazer requisitos específicos de carga e potência, profundidade de descarga, eficiência e durabilidade, além de funcionarem de forma segura e integrada a inversores e sistemas de armazenamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Há lideranças locais no segmento de baterias de chumbo-ácido e fornecedores de baterias de íons de lítio, porém não há fabricação local de células de armazenamento de energia. • O Brasil dispõe de boas reservas de minerais críticos e de materiais estratégicos usados na fabricação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização potencial em outros setores como o automotivo. • Seu desenvolvimento local estimula a transformação de minerais críticos e materiais estratégicos no país.
<p>Sistema de armazenamento de energia</p> <p>Acumuladores: 8507.20.90 – baseados em baterias de chumbo-ácido com peso < 1000 kg; 8507.80.00 – outros baseados em baterias. Sistemas: 8537.10.90 – tensão ≤ 1000 V; 8537.20.90 – outros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Além de todos os requisitos de baterias, devem satisfazer as necessidades de gerenciamento de energia e monitoramento remoto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Há diversos fornecedores no país, porém os fabricantes locais enfrentam concorrência de importados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os fabricantes são os que atendem ao setor elétrico nas necessidades de gestão de sistemas de geração de energia. • Fabricantes deverão enfrentar novos desafios para desenvolver sistemas capazes de integrar e gerenciar o uso de fontes de energia híbridas.

Fonte: Elaboração própria.

*Categorização conforme a Nomenclatura Comum do Mercosul (NMC).

Os segmentos da cadeia fotovoltaica com maior potencial de desenvolvimento no país são: (i) equipamentos adicionais aos sistemas de geração, como inversores e rastreadores; e (ii) produtos de armazenamento de energia, como baterias e BESS. No primeiro caso, há competências locais que viabilizam o desenvolvimento de equipamentos competitivos; já no segundo caso, destacam-se a abundância de minerais críticos e a existência de uma política pública orientada à sua transformação.

Considerações finais

Com base na análise realizada neste artigo, é possível indicar recomendações para políticas públicas voltadas ao desenvolvimento da indústria fotovoltaica instalada no Brasil. Em primeiro lugar, recomenda-se o estabelecimento de uma estratégia de desenvolvimento que articule os instrumentos das políticas existentes, reforçando-os e corrigindo condições desfavoráveis à produção local que ainda persistem.

Os incentivos tributários à geração de energia fotovoltaica devem estar alinhados às demais políticas de desenvolvimento da cadeia produtiva. A redução ou eliminação de regimes ex-tarifários, a elevação do imposto de importação e a revisão das cotas de importação podem equilibrar a competitividade entre a fabricação local e a importação de módulos fotovoltaicos.

Para harmonizar a concessão de crédito entre as instituições financeiras públicas, é necessário adotar referências uniformes de agregação de valor local, como as estabelecidas pelo BNDES no credenciamento Finame. Isso pode fortalecer a política de financiamento em direção a um maior adensamento produtivo local, especialmente em programas federais. Recomenda-se, ainda, a diferenciação das condições de apoio, de modo a oferecer soluções mais vantajosas que apresentem maior agregação de valor local.

Nesse sentido, é importante divulgar amplamente os instrumentos lançados pelo BNDES nos últimos anos, como o Programa BNDES Mais Inovação, o Fundo Clima e o subprograma desse fundo voltado para máquinas e serviços. Alavancar os recursos do Fundo Clima, por exemplo, pode impulsionar a demanda na indústria local, sobretudo

se alinhados às regras de credenciamento da Finame, priorizando a aquisição de módulos e sistemas nacionais.

A organização de leilões de energia, por sua vez, é uma medida relevante que vem sendo discutida pelo Governo Federal para fomentar a implantação de capacidade híbrida de geração de energia, que inclui a geração mista (solar, eólica e hidrelétrica) e a combinação com sistemas de armazenamento de energia.

Além disso, é importante utilizar o poder de compra do estado, por exemplo, na implantação de capacidade de geração em instalações da administração pública federal, bem como ampliar programas sociais e de infraestrutura, como o Minha Casa, Minha Vida e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Essas medidas podem estimular a adoção de sistemas de geração fotovoltaica fabricados no país.

Para fomentar a inovação tecnológica, é crucial apoiar o segmento de minerais críticos e materiais estratégicos, considerando o emprego de tecnologias promissoras - como o carbeto de silício, o grafeno e a perovskita - para os sistemas de geração fotovoltaica, bem como o lítio e o nióbio para sistemas de armazenamento e baterias. Para dar escala a projetos desse segmento, é importante articular fontes de financiamento à inovação.¹⁸ Além disso, deve-se acompanhar o impacto das mudanças recentes na legislação e regulamentação, especialmente aquelas relacionadas aos PPBs e Padis, a fim de avaliar a necessidade de medidas adicionais que visem à geração de valor e ao desenvolvimento tecnológico nacional.

18 Nesse sentido, o BNDES lançou, em 2025, um fundo de investimentos em participações (FIP) e uma chamada de projetos com foco em minerais estratégicos, além de existir a possibilidade de financiamento por meio do programa BNDES Mais Inovação. Algumas outras fontes de financiamento são: a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), especialmente por meio do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT); a Aneel, por meio do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação; a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii); e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai).

Recomenda-se, ainda, refinar as normas de certificação, qualidade e metrologia. A Portaria 140, de 21 de março de 2022, do Inmetro, regulamentou normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), consolidando o regulamento técnico da qualidade e os requisitos de avaliação da conformidade para equipamentos de geração, condicionamento e armazenamento de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos. Tal regulamento, aplicável a módulos, controladores de carga, inversores e baterias estacionárias de baixa intensidade de descarga, exige que os sistemas e equipamentos estejam em conformidade para que possam ser comercializados no Brasil. Diante disso, é importante reforçar a verificação de conformidade dos produtos com as normas técnicas vigentes no país.

Por fim, as normas e regulamentos vigentes também podem ser aprimorados para aumentar a percepção de confiabilidade e reduzir a percepção de risco na utilização dos produtos fotovoltaicos, bem como garantir a adequada aferição da medição na geração e no consumo de energia em transações comerciais. Nesse sentido, recomenda-se estudar a inclusão dos fotovoltaicos no arcabouço da metrologia legal.

Essas são recomendações preliminares de políticas que devem ser aprofundadas e detalhadas para restabelecer a articulação entre o ciclo de expansão da energia fotovoltaica no Brasil e o desenvolvimento da indústria nacional. O objetivo é alinhar a política energética à política industrial, promovendo a necessária transição para uma economia de baixo carbono combinada com o desenvolvimento industrial e a geração de emprego e renda no país.

Referências

ABRACEEL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA. *Expansão da oferta de geração para o mercado livre*. Brasília, DF: ABRACEEL, 2023. Disponível em: <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/2023/08/Estudo-Abraceel-2023-Expansao-geracao-ACL.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2025.

ALEINA. Top 20 global photovoltaic module manufacturers revealed by PVBL. *PVTIME*, Changchun, 12 jun. 2024. Disponível em: <https://www.pvtime.org/2024-top-20-global-photovoltaic-module-manufacturers-revealed-by-pvbl/>. Acesso em: 9 jan. 2025.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Leilões*. Brasília, DF: Aneel, 15 fev. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/leiloes>. Acesso em: 9 jan. 2025.

BADRA, M. *Ranking* mostra marcas de inversores híbridos mais citadas pelos integradores. *Canal Solar*, Campinas, 19 set. 2024. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/ranking-marcas-inversores-hibridos-integradores/>. Acesso em: 9 jan. 2025.

BAGADE, S. S. *et al.* Recent advancements in applications of graphene to attain next-level solar cells. *Journal of Carbon Research*, Basel, v. 9, n. 70, p. 1-33, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5629/9/3/70>. Acesso em: 8 jan. 2025.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Regulamento para o credenciamento de máquinas, equipamentos, sistemas industriais e componentes no credenciamento Finame (CFI)*. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/a04f8185-e24c-445f-ae45-3d922b67c218/novo-regulamento-de-credenciamento.pdf?MOD=AJPERES&CVID=l-xjshy>. Acesso em: 8 jan. 2025.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Regulamento setorial para o credenciamento de sistemas estacionários para armazenamento de energia com baterias e com hidrogênio no âmbito do CFI do Sistema BNDES*. Rio de Janeiro: BNDES, 2022. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/1c09a756-f3ae-42bb-abdc-9629deda29c0/Regulamento+Setorial+para+Armazenamento+de+Energia.pdf?MOD=AJPERES&CVID=o4BFZ5Z>. Acesso em: 8 jan. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. Brasília, DF: MME; EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf. Acesso em: 8 jan. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional (ano base 2022)*. Brasília, DF: MME; EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2025.

CLOVER, I. EU, China request consultation with US over solar tariffs. *PV Magazine*, [s. l.], 8 fev. 2018. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2018/02/08/eu-china-requests-consultation-with-us-over-solar-tariffs-wto-filing-shows/>. Acesso em: 24 jan. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Nota Técnica DEA 19/2014*: inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil – condicionantes e impactos. Brasília, DF: EPE, 2014. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\)%5B1%5D.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada)%5B1%5D.pdf). Acesso em: 8 jan. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Nota Técnica PR 04/18*: potencial dos recursos energéticos no horizonte 2050. Brasília, DF: EPE, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf. Acesso em: 8 jan. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Nota Técnica EPE-DEE-03/20*: projetos fotovoltaicos nos leilões de energia: análises dos leilões A-4 e A-6 de 2019. Brasília, DF: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-457/NT%20EPE-DEE-003-2020-r0.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023 (ano base 2022)*. Brasília, DF: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2025.

GREENER. *A evolução do mercado fotovoltaico no Brasil pelos dados do estudo estratégico de geração distribuída*. São Paulo: Greener, 28 fev. 2023. Disponível em: <https://www.greener.com.br/a-evolucao-do-mercado-fotovoltaico-no-brasil/>. Acesso em: 22 jan. 2025.

HOPKINS, M.; LAZONICK, W. *Soaking up the sun and blowing in the wind: clean tech needs patient capital*. Cambridge, MA: University of Massachusetts Lowell, 2013. (Working Paper n. 13-08/01).

IEA PVPS – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Trends in photovoltaic applications 2023 and 2024*. Paris: IEA PVPS, 2023. Disponível em: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/10/PVPS_Trends_Report_2023_WEB.pdf. Acesso em: 8 jan. 2025.

IEA PVPS – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Snapshot of global PV markets 2024*. Paris: IEA PVPS, 2024. Disponível em: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2024/>. Acesso em: 8 jan. 2025.

INGENITO, A. *et al.* Phosphorous-doped silicon carbide as front side full-area passivating contact for double-side contacted c-Si solar cells. *IEEE Journal of Photovoltaics*, Piscataway, v. 9, n. 2, p. 346-354, mar. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8588322>. Acesso em: 8 jan. 2025.

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. *Total solar capacity. Our World in Data*, 2024. Oxford, Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity>. Acesso em: 9 jan. 2025.

JONES, F. A corrida pelas células solares de perovskita. *Revista pesquisa Fapesp*, São Paulo, 6 dez. 2023. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-corrida-pelas-celulas-solares-de-perovskita/>. Acesso em: 9 jan. 2025.

MOEHLECKE, A. *et al.* Desenvolvimento de células solares N+NP+ em lâminas de silício de 100 µm de espessura. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/cC7S8fsRgYJgJBnQL6qnzZG/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MONTENEGRO, A. Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/130917>. Acesso em: 10 jan. 2025.

PIZZINI, S. Towards solar grade silicon: challenges and benefits for low-cost photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Amsterdam, v. 94, n. 9, p. 1528-1533, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024810000310>. Acesso em: 10 jan. 2025.

PLATZER, M. *U.S. solar photovoltaic manufacturing: industry trends, global competition, federal support*. Washington, D.C.: Congressional Research Service, 2015. Disponível em: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R42509.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2025.

RAMOS, C. *et al. Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil*. Brasília, DF: Sebrae, 2018.

REN21 – RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. Solar PV. In: REN21. *Renewables 2014 - Global Status Report*. Paris: REN21, 2014. p. 47-50. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2014_Full-Report_English.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

SCHULTZ, S. Bankruptcies have german solar on the ropes. *Spiegel Online International*, Hamburg, 3 abr. 2012. Disponível em <http://www.spiegel.de/international/business/q-cells-bankruptcy-heralds-end-of-german-solar-cell-industry-a-825490.html>. Acesso em: 24 jan. 2025.

THE CHALLENGE FOR RESILIENT CITIES IN BRAZIL

Luciene Machado

Flavio Papelbaum

Mauricio Cardoso Gelelete

*Alberto Gallo**

Keywords: climate change; urban resilience; financing; city adaptation; civil defense; housing.

* Respectively, superintendent of the BNDES's City Solutions Division, head, manager, and engineer of the Real Estate and Urban Regeneration Solutions Department of the same Division. Alberto Gallo is also a doctoral candidate in the Public Policy, Economics, and Development program at the Institute of Economics of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), where he conducts research on climate adaptation and urban resilience.

Resumo

Este artigo analisa as políticas de adaptação às mudanças climáticas no contexto urbano brasileiro, com foco em seu arcabouço institucional e regulatório, estratégias de resiliência e avaliação de sua eficácia até o momento. Aborda também o papel dos diferentes níveis governamentais na formulação e implementação dessas políticas, considerando o federalismo e a gestão territorial, e examina o papel dos agentes de financiamento. Além disso, discute as implicações econômicas das políticas de adaptação e seus impactos setoriais. A pesquisa revela uma significativa disparidade entre a robustez do marco legal e a realidade dos municípios. Nesse contexto, o financiamento é um obstáculo crítico, visto que a maioria das cidades carece de recursos para implementar medidas de adaptação climática e resiliência. Propõe-se uma abordagem regional para o planejamento e implementação dessas medidas como uma alternativa promissora para superar as limitações de cada município. Conclui-se que, apesar dos avanços normativos e institucionais, a tradução dessas políticas em ações concretas no nível local é o principal desafio para a construção de cidades resilientes no Brasil.

Abstract

This article examines climate change adaptation policies in the Brazilian urban context, focusing on their institutional and regulatory framework, resilience strategies, as well as assessing their effectiveness to date. It also addresses the role of different government levels in formulating and implementing these policies, considering federalism and territorial management, and analyzes the role of financing agents. Additionally, it discusses the economic implications of adaptation policies and their sectoral impacts. The research reveals a significant disparity between the solidity of the legal framework and the reality of municipalities. In this context, financing is a critical hindrance since most cities lack the resources to implement climate adaptation and resilience measures. A regional approach to planning and implementing these measures is proposed as a promising alternative to overcome the limitations of each municipality. It is concluded that, despite regulatory and institutional advances, translating these policies into concrete actions at the local level is the main challenge for building resilient cities in Brazil.

Introdução

As mudanças climáticas são entendidas como alterações significativas e duradouras nos padrões climáticos, sejam elas globais ou regionais. Essas transformações podem ocorrer devido a processos naturais, mas são, em grande parte, impulsionadas por atividades humanas. Considerado um dos maiores desafios do século XXI, o enfrentamento das mudanças climáticas exige não apenas esforços para desacelerar o aquecimento global, mas também ações que mensurem e promovam a adaptação aos seus impactos. Esses efeitos abrangem desde a sociedade humana até a economia e os ecossistemas, afetando profundamente o equilíbrio em escala global.

Os efeitos das mudanças climáticas podem ser percebidos no derretimento acelerado das calotas polares e glaciares, contribuindo para a elevação do nível do mar e colocando em risco comunidades costeiras. Outro aspecto crítico é o aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como furacões, ondas de calor e incêndios florestais. Esses eventos são monitorados por meio de medidas técnicas, dados meteorológicos e modelos climáticos avançados, que ajudam a prever tendências futuras (IPCC, 2012). Além dos impactos ambientais, as mudanças climáticas têm consequências sociais e econômicas profundas, exigindo ações globais coordenadas para mitigar seus efeitos e adaptar as cidades e todos os ambientes de habitação humana, agricultura e produção industrial.

As mudanças climáticas implicam reflexos locais e duradouros, que já se fazem sentir nas cidades brasileiras. É cada vez menos opcional ignorar os riscos das mudanças climáticas sobre o habitat humano, e os formuladores de políticas públicas são importantes na criação e implementação de

políticas integradas, considerando o plano de ação, adaptação, mitigação, educação e dotação de recursos para resiliência urbana.

Este estudo está inserido no setor da economia da infraestrutura urbana e da economia da adaptação e resiliência climática, que abrange os investimentos e intervenções nas cidades e as soluções baseadas na natureza (SBN). Busca-se combinar políticas públicas, instrumentos normativos e legislação, bem como atrair investimentos privados e públicos, visando respostas aos riscos climáticos.

Os governos são os mais importantes agentes na condução de políticas de estado e na liderança de iniciativas em diferentes níveis e escalas, inclusive para pautar uma governança estratégica que se sobreponha a mandatos políticos e ciclos eleitorais (Giddens, 2009; Bulkeley; Newell, 2010).

Este artigo analisa criticamente as políticas de adaptação às mudanças climáticas no Brasil, com ênfase nas estratégias urbanas. Destaca-se o papel central dos agentes de financiamento para a viabilidade dos projetos, seja na forma de arranjos de parcerias público-privadas (PPP), seja por meio de financiamento público, com oferta de linhas de crédito que viabilizem ações com impacto de longo prazo nas cidades brasileiras.

Para melhor compreensão do tema, é oportuno apresentar os conceitos de mitigação e adaptação, que são estratégias fundamentais para lidar com as mudanças climáticas. Embora muitas vezes sejam mencionadas em conjunto, elas têm objetivos e abordagens distintas. A mitigação das mudanças climáticas envolve ações destinadas a reduzir as causas do aquecimento global, principalmente por meio da diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Isso inclui a substituição de combustíveis fósseis por energias renováveis, como solar e eólica; melhorias na eficiência energética; e práticas agrícolas sustentáveis, que minimizem a liberação de gases como o óxido nitroso.

A adaptação às mudanças climáticas, por sua vez, é o processo de ajuste aos efeitos atuais ou esperados dessas mudanças. Seu objetivo é reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência dos sistemas humanos e naturais, minimizando os danos. A adaptação é necessária independentemente dos esforços de mitigação, pois as mudanças climáticas já estão em curso e seus impactos são inevitáveis. A adaptação está, portanto, diretamente envolvida com o ambiente urbano e com as políticas de proteção para populações mais vulneráveis.

Examinaremos o arcabouço institucional e regulatório das políticas de adaptação climática no Brasil, avaliando a eficácia das estratégias de resiliência urbana implementadas no país até o momento e apontando os desafios para que mais cidades possam adotar medidas de adaptação, resiliência e defesa das populações. Também discutiremos o papel dos diferentes níveis governamentais na formulação e na implementação de políticas de adaptação, considerando o federalismo brasileiro.

Impactos e riscos para cidades

Cidades resilientes

Em 2007, a população urbana ultrapassou a rural em todo o mundo, conforme estudo de 2014 apresentado na Organização das Nações Unidas (ONU) (Castelhana, 2020), e a previsão é que, até 2050, em torno de 70% da população mundial esteja habitando áreas urbanas. O crescimento da urbanização nas próximas três décadas é esperado para cidades da América Latina, África e Ásia (UN-Habitat, 2016), que estão em processos de adensamento acelerado, por vezes expondo grandes contingentes populacionais a situações de maior vulnerabilidade.

Segundo dados do censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE),¹ aproximadamente 87,4% da população brasileira reside em áreas urbanas, o que representa 177 milhões de pessoas. Esse processo trouxe um desafio para o planejamento urbano no que tange aos sistemas de saneamento, transportes e habitação, com impactos no meio ambiente (Ferreira, 2000). Como consequência, as camadas mais pobres da população ocupam áreas de risco, sujeitas a deslizamentos ou alagamentos. Tal situação tende a se intensificar com as mudanças climáticas, em que eventos extremos de calor, frio, chuvas, enchentes e aumento do nível do mar impactam fortemente as populações mais fragilizadas (Barbi; Rei, 2021).

É justamente nas cidades que as interações entre pessoas, hábitat natural e a transformação do trabalho humano se manifestam com maior intensidade. Entretanto, a segurança dos agrupamentos humanos, proporcionada pela divisão do trabalho, geração de excedentes e otimização de recursos sociais, implica desequilíbrios que afetam diretamente a qualidade de vida (Ferreira, 2000). O impacto das cidades no consumo de recursos naturais e na geração de resíduos é uma realidade observada de forma cada vez mais acentuada (Ojima; Hogan, 2008).

Para Barbi e Rei (2021), a chave para uma resposta efetiva aos desafios das mudanças climáticas no hábitat humano está no nível local, já que a municipalidade é o ambiente onde convergem as metas globais, as expectativas domésticas e o poder de ação no território (Contipelli, 2020). As cidades são os espaços mais vulneráveis, tanto pelo adensamento humano com riscos higiênicos e de saúde, como foi observado no período da pandemia (Medeiros; Rajs, 2020), quanto pela elevada demanda de energia, água e alimentos.

1 Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 30 jan.2025.

Assim, observou-se uma mudança no foco dos debates, abandonando o tema da redução de GEE e da queima de combustíveis fósseis para, a partir de 2015, focar na adaptação climática e resiliência urbana. Nesse ano, ocorreu em Paris a Conferência das Partes (Conference of the Parties – COP),² promovida pela ONU, da qual resultou um importante acordo internacional.

Nessa conferência foi estabelecido o objetivo de fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas. O acordo estabeleceu metas para limitar o aumento da temperatura média global a 2°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços para limitar o aumento a 1,5°C. Os principais pontos do Acordo de Paris³ são:

- i) Metas de redução de emissões: cada país deve apresentar planos nacionais, chamados de contribuições nacionalmente determinadas (*nationally determined contributions* – NDC), para reduzir suas emissões de GEE.
- ii) Transparência e revisão: os países devem relatar regularmente seus progressos e atualizar suas metas de forma mais ambiciosa ao longo do tempo.
- iii) Financiamento climático: países desenvolvidos se comprometeram a fornecer recursos financeiros para ajudar países em desenvolvimento a mitigar e se adaptar às mudanças climáticas.
- iv) Adaptação e resiliência: o acordo reconhece a necessidade de fortalecer a capacidade dos países de lidar com os impactos das mudanças climáticas.

2 A COP é o órgão decisório supremo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), que reúne os países signatários da convenção para avaliar o progresso no combate às mudanças climáticas e negociar acordos internacionais sobre o tema.

3 O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI) publicou a versão oficial do Governo Brasileiro para o acordo, em português, e a versão original, em inglês, da UNFCCC. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.

Mees (2017), ao examinar a eficácia dos acordos climáticos internacionais, aponta desafios estruturais nas negociações multilaterais, como a complexidade de harmonizar interesses nacionais divergentes no âmbito do Acordo de Paris. O estudo enfatiza a necessidade de compromissos mais ambiciosos e mecanismos vinculantes para garantir a mitigação efetiva dos impactos climáticos, além de destacar lacunas na governança adaptativa e na regulação transnacional. Hegger *et al.* (2017) complementam essa análise ao investigar modelos de agência regulatória, demonstrando como a atuação de governos locais pode preencher lacunas decisórias por meio de políticas adaptadas para realidades territoriais específicas. Nesse contexto, ressaltam-se as demandas sociais como motor central das ações governamentais. A ação climática eficaz requer iniciativas locais que possam gerar benefícios percebidos, criando incentivos para engajamento comunitário e influenciando políticas públicas amplas (Ostrom, 2009).

No Quadro 1, apresentamos as principais tipologias de riscos climáticos, conforme o tipo de clima e região. Os riscos climáticos urbanos vão depender da climatologia e dos assentamentos de cada cidade, considerando relevo, ocupação de leitos hídricos, costas marítimas ou lacustres, desmatamento de áreas verdes, entre outros fatores (Solecki *et al.*, 2015).

Algumas tipologias citadas podem ser agrupadas, conforme Quadro 1:

Quadro 1 | Tipologias de riscos climáticos

Tipo de clima	Tipologias	Descrição
Clima tropical	Inundações	Chuvas intensas levam a inundações urbanas, especialmente em áreas com drenagem inadequada.
	Deslizamentos de terra	Chuvas fortes em encostas íngremes provocam deslizamentos que afetam áreas urbanizadas.
	Calor extremo	Períodos prolongados de calor aumentam riscos à saúde, especialmente para populações vulneráveis.
Clima árido e semiárido	Secas	Escassez de água reduz a disponibilidade de água potável e degrada a agricultura urbana.
	Tempestades de poeira	Tempestades de poeira causam danos à saúde e à infraestrutura.
Clima temperado	Inundações e tempestades	Tempestades intensas provocam inundações urbanas.
	Nevascas severas	Tempestades de inverno causam interrupções nos serviços urbanos e aumentam riscos de acidentes.
Clima polar	Desgelo e elevação do nível do mar	Derretimento do gelo eleva o nível do mar, ameaçando infraestrutura costeira.
	Mudanças na biodiversidade	Impactos nos ecossistemas locais afetam pesca e atividades econômicas.
Clima mediterrâneo	Incêndios florestais	Calor extremo e seca aumentam frequência e intensidade dos incêndios florestais próximos a áreas urbanas.
	Escassez de água	Gestão hídrica é desafiada por períodos prolongados de seca.

Fonte: Elaboração própria com base em Solecki et al. (2015).

Apesar dos avanços no conhecimento científico sobre o clima, as perdas decorrentes de desastres relacionados às mudanças climáticas têm aumentado globalmente. Essa situação pode ser confirmada pelo relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2015), que aponta que, entre 2003 e 2013, a média anual de desastres naturais, incluindo eventos relacionados ao clima, quase dobrou em comparação à década de 1980, com prejuízos econômicos estimados em cerca de 1,5 trilhão de dólares no período. Esse cenário evidencia que as estratégias de gestão de riscos naturais, reassentamento populacional e mitigação de desastres não têm obtido êxito, demonstrando a necessidade de políticas mais eficazes e investimentos adequados (Klein *et al.*, 2007). Nesse contexto, considerando o agravamento dos impactos das mudanças climáticas, caracterizado pelo aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos, a agenda global de adaptação urbana tem recebido maior atenção no cenário internacional.

A Nova Agenda Urbana

A partir da conferência bi-decenal do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-Habitat III), realizada em Quito, em 2016, foi adotado um documento-guia, denominado Nova Agenda Urbana (NAU) (ONU, 2016). Esse documento define o papel das cidades e comunidades locais. Ele é fortemente pautado para ações de planejamento, adaptação e mitigação diante das mudanças climáticas, em uma agenda também voltada para redução de riscos de catástrofes, conforme Marco de Sendai (2015-2030) e pela campanha mundial Construir Cidades Resilientes, da ONU, visando estratégias locais para defesa civil. No Acordo de Paris, foram incluídas metas para fortalecimento contínuo de ações locais voltadas

para resiliência climática e mecanismos de apoio internacional para a adaptação nos países em desenvolvimento. Estão previstos novos arranjos institucionais que permitam a cooperação entre diferentes níveis de governos e países visando formas de mitigação e adaptação.

A NAU estrutura a sustentabilidade urbana local em cinco pilares, como forma de uma gestão integrada: (i) sustentabilidade social; (ii) sustentabilidade ambiental; (iii) planejamento urbano; (iv) governança participativa; e (v) sustentabilidade econômica. São cinco dimensões que pressupõem a participação da sociedade civil e do setor privado, devendo ser lideradas pelos governos locais, visando o interesse público. A NAU atua como um guia, um roteiro para governos nacionais, subnacionais e locais no enfrentamento de desafios urbanos, partindo de padrões globais e incentivando um planejamento urbano técnico, com projetos estruturados que tenham eficiência e possam gerar impactos.

Uma das formas de ação que emergiram a partir dessa provocação por boas práticas de gestão e planejamento urbano integrado manifesta-se nas redes transnacionais de municípios (RTM), que são associações de governos locais, em diferentes países, que se unem para troca de experiências e conhecimentos, com o objetivo de abordar as questões climáticas, fortalecer governança e construir modelos de gestão que possam ser aplicados em diferentes regiões e culturas. As RTMs formam um pacto de prefeitos com metas e empenhos em uma trajetória de construção de segurança e proteção aos cidadãos, especialmente às populações mais vulneráveis. No Quadro 2, apresentamos as principais cidades brasileiras e sua integração nas redes transnacionais como forma de intercâmbio e desenvolvimento de melhores práticas.

Quadro 2 | RTMs e cidades brasileiras

Nome da RTM	Descrição e foco de atuação	Cidades brasileiras filiadas
Local Governments for Sustainability (ICLEI)	Rede focada em sustentabilidade e mudanças climáticas, auxiliando cidades na formulação de políticas ambientais e climáticas locais.	Belo Horizonte, Curitiba, Porto Alegre, Recife e São Paulo.
C40	Criada em 2005, reúne grandes cidades globais para desenvolver soluções urbanas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.	Rio de Janeiro e São Paulo.
Asian Cities Climate Change Resilience Network (ACCCRN)	Rede iniciada em 2008 para construir resiliência climática em cidades asiáticas. Embora não tenha membros brasileiros diretos, influencia práticas similares na América Latina e o intercâmbio de conhecimento com países do Sul-Global. Filiada à Zurich Climate Resilience Alliance.	Não possui cidades brasileiras filiadas diretamente.
Resilient Cities Network (R-Cities)	Trabalha na adaptação e construção de resiliência urbana em resposta às mudanças climáticas e a outros desafios urbanos.	Rio de Janeiro, Salvador e Porto Alegre.
Climate Alliance	Rede que promove a integração de ações de mitigação e adaptação climática nas cidades, com participação de alguns municípios brasileiros.	Belém, Manaus e Curitiba.
Metropolis	Rede global que promove o desenvolvimento sustentável em regiões metropolitanas e grandes áreas urbanas.	São Paulo, Belo Horizonte e Brasília.

Fonte: Elaboração própria.

As redes permitem que as cidades possam trocar experiências e abordagens, além de difundir práticas de boa governança, modelos assertivos, metodologia de estruturação de projetos, *benchmarking* para soluções em infraestrutura e referências e indicativos de custos em padrão internacional. As duas maiores redes atuantes no Brasil possuem ação complementar.

O C40 se concentra exclusivamente em mudanças climáticas e ações urbanas de adaptação. Globalmente, atua com cidades maiores, metrópoles com alta densidade populacional. Foi instituído agregando as quarenta maiores cidades do mundo, mas hoje conta com mais de cem membros. Já o ICLEI possui uma abordagem mais ampla, buscando as dimensões social, econômica e ambiental, como previsto no NAU. Atua com cidades pequenas e médias, mas também oferece apoio e suporte para grandes cidades brasileiras.

A importância principal das RTMs é trazer para o âmbito da municipalidade a discussão das questões climáticas com a proposição de planos de ação e adaptação, elaborados a partir de critérios técnicos, com diagnósticos, programa de intervenções, orçamentos, hierarquização de intervenções e avaliação de impacto. Também são propostos fóruns de discussão e simpósios, com o objetivo de agregar a comunidade acadêmica, a sociedade civil e, principalmente, os responsáveis por políticas públicas em nível local.

Injustiça climática e populações vulneráveis

O termo injustiça climática abrange não apenas o impacto desigual das mudanças climáticas em diferentes estratos sociais, mas também entre nações. A capacidade de resposta e adaptação das cidades se refere tanto a ações públicas sobre o território, quanto à proteção de sua população, especialmente das classes sociais mais expostas ao risco. É um conceito mais amplo, que considera desde as condições de moradia, mais ou menos estruturadas, até o acesso a sistemas de energia, saneamento, infraestrutura urbana e serviços de saúde.

Para Massaú e Bertoldi (2022), as emergências climáticas podem acentuar as desigualdades já existentes, aumentando a pobreza, já que

essas populações são as mais afetadas por desastres. Segundo relatório do Banco Mundial, eventos climáticos extremos podem empurrar mais de 100 milhões de pessoas para a pobreza até 2030 (Nações Unidas Brasil, 2015), com destruição de patrimônios, redução das atividades laborais e diminuição das áreas de lavoura. O mais recente relatório do Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC, 2022) enfatiza a vulnerabilidade acentuada de áreas e comunidades com limitações de desenvolvimento. O documento apresenta projeções alarmantes, indicando que, até meados deste século, aproximadamente 250 mil vidas poderão ser perdidas anualmente devido a fatores associados às alterações climáticas. Essas estimativas sugerem um impacto desproporcional sobre as populações economicamente desfavorecidas, particularmente nos continentes africano e asiático.

Rammê (2012), por sua vez, analisa os desafios enfrentados pelos formuladores de políticas na busca de soluções equitativas e justas em resposta às desigualdades sociais e ambientais exacerbadas pelas mudanças climáticas. O estudo aborda como as políticas de adaptação e mitigação podem ser influenciadas por estruturas de poder e governança que, infelizmente, não priorizam o interesse das populações mais vulneráveis.

Do ponto de vista socioeconômico, as populações de baixa renda são particularmente afetadas, pois carecem de recursos financeiros para investir em tecnologias de adaptação, infraestrutura adequada ou seguros que possam mitigar os danos causados por eventos extremos, como inundações e secas. Essas populações frequentemente vivem em áreas geograficamente expostas a riscos climáticos, como zonas costeiras vulneráveis à elevação do nível do mar ou regiões áridas sujeitas à escassez hídrica. Essa localização aumenta sua exposição a desastres naturais e limita suas opções de realocação ou proteção.

Fatores culturais e identitários também desempenham um papel importante na definição dessas populações. Grupos étnicos, indígenas e minorias frequentemente enfrentam marginalização social e política, o que reduz sua representação em processos decisórios e dificulta o acesso a recursos necessários para adaptação. Além disso, questões de gênero agravam essa vulnerabilidade, frequentemente afetando mulheres e crianças devido à desigualdade no acesso a recursos e a oportunidades.

No campo da saúde, populações com acesso limitado a serviços médicos estão mais suscetíveis a doenças relacionadas às mudanças climáticas, como aquelas transmitidas por vetores em climas mais quentes ou pela falta de água potável. Por fim, baixos níveis educacionais e falta de acesso à informação sobre mudanças climáticas limitam a capacidade dessas comunidades de responder eficientemente aos desastres climáticos.

As injustiças climáticas acontecem também entre países (Torres *et al.*, 2021). Alguns países ou grupos econômicos historicamente contribuíram mais para as emissões de GEE, e as mudanças climáticas delas decorrentes impactam fortemente outras nações que têm menores responsabilidades nessas emissões. Países em desenvolvimento, que têm uma menor contribuição para a crise climática, muitas vezes enfrentam os impactos mais severos.

Uma das formas que grupos sociais e comunidades adotam para pressionar autoridades na criação de políticas públicas são os litígios climáticos. Essas ações judiciais buscam responsabilizar governos, países, empresas ou indivíduos por suas contribuições ou omissões em relação às mudanças climáticas, e são ferramentas importantes na luta por justiça climática. Segundo Bruno, Rafagnin e Ferreira (2024), os processos de responsabilização impactam na construção de políticas públicas de proteção social e mobilização das partes envolvidas e da sociedade civil.

Como referência, vale apresentar a Lei 17.615, de 27 de dezembro de 2022, que ratificou o protocolo de intenções entre o estado de São Paulo, o Distrito Federal e os demais estados da Federação, para a constituição do Consórcio Interestadual sobre o Clima – Consórcio Brasil Verde (São Paulo, 2022). A norma foi influenciada por pressões judiciais de organizações da sociedade civil que questionaram a insuficiência de políticas de adaptação climática no estado. Nesse contexto, um marco relevante foi a ação civil pública (ACP) movida pelo Observatório do Clima em 2021, que exigia a atualização do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) em conformidade com o Acordo de Paris.

Déficit habitacional e mudanças climáticas

A relação entre acesso à moradia digna e exposição a eventos climáticos extremos é um eixo central na crise socioambiental contemporânea. Dados globais revelam que 2,8 bilhões de pessoas vivem em habitações inadequadas (Reckford, 2024), muitas localizadas em áreas de risco (encostas, planícies de inundação ou zonas costeiras), onde desastres como enchentes e incêndios florestais são cinco vezes mais frequentes desde 2000. Essa geografia da vulnerabilidade não é acidental: a expansão urbana desordenada, impulsionada pela escassez de moradias acessíveis, força famílias de baixa renda a ocuparem territórios ambientalmente frágeis, ampliando tanto a destruição de ecossistemas quanto os custos humanos das mudanças climáticas.

O déficit habitacional é um indicador complexo que busca mensurar as necessidades habitacionais do país (Ferreira; Lacerda, 2024). O objetivo do indicador é mensurar a necessidade de moradias, não somente pela simples falta de unidades habitacionais para uma parcela da população, mas também pela inadequação de condições habitacionais. Dessa forma, eventos climáticos extremos tendem a majorar o déficit habitacional,

na medida em que as moradias têm baixa capacidade de resiliência aos efeitos causados por esses eventos.

Esse indicador é composto por dois grupos: o déficit quantitativo e o déficit qualitativo. O primeiro se refere às situações em que a habitação é tão precária ou os serviços são tão inadequados que é necessária a substituição da moradia ou a construção de novas unidades. Esse grupo inclui domicílios improvisados, construções com materiais inadequados, situações de coabitação familiar e o ônus excessivo com aluguel para famílias de baixa renda. De outro lado, o déficit qualitativo engloba as moradias que, embora não necessitem ser substituídas, carecem de melhorias significativas. Isso inclui a falta de infraestrutura urbana (como água, esgoto e energia elétrica), problemas construtivos (relacionados a cobertura, piso e número de cômodos, por exemplo) e questões de regularização fundiária.

O déficit habitacional não se refere simplesmente a um número que indique a diferença entre oferta e demanda de habitações, mas principalmente a mensurar habitações em quantidade e qualidade que possam atender a população com segurança. A metodologia de cálculo do déficit habitacional, desenvolvida pela Fundação João Pinheiro (FJP, 2022), utiliza dados do Cadastro Único para Programas Sociais, do Governo Federal, e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (Pnad Contínua) do IBGE. Em 2022, o déficit quantitativo no Brasil foi estimado em aproximadamente 6 milhões de domicílios, enquanto o déficit qualitativo atingiu cerca de 25 milhões de unidades. Trata-se, portanto, de um indicador, e não de um número efetivo de novas moradias a serem disponibilizadas no mercado.

No cenário de eventos climáticos extremos que impactam as cidades, destruindo vias urbanas, prédios públicos e infraestruturas, é muito importante que a população tenha acesso à moradia com capacidade

mínima de resistir a fortes chuvas e enchentes, ou seja, que sejam duráveis e com sistemas elétricos e hidráulicos resistentes à presença de água. Portanto, o planejamento habitacional e as políticas públicas devem contemplar tanto a necessidade da construção de novas moradias, quanto a melhoria das condições de habitabilidade e o acesso a serviços urbanos essenciais, e que possam resistir a desastres naturais; ainda que a população seja evacuada, a construção deve manter sua habitabilidade, para que possa ser recuperada. No caso do desastre decorrente das enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul, por exemplo, as unidades habitacionais com melhores qualidades construtivas demonstraram maior resiliência às cheias que atingiram a região metropolitana de Porto Alegre. A presença de caixa d'água nas residências foi um diferencial significativo durante a crise. Aqueles que possuíam esse equipamento tiveram maior capacidade de enfrentar a interrupção no fornecimento de água causada pelas enchentes. Isso demonstra como um elemento aparentemente simples da infraestrutura doméstica pode ter um impacto substancial na resiliência das famílias durante eventos climáticos extremos. E, de outro lado, as habitações precárias e que foram parcialmente destruídas pela enchente passaram a ser consideradas no indicador de déficit habitacional.

Domicílios improvisados ou construídos com materiais inadequados oferecem pouca proteção contra tempestades, ventos fortes ou temperaturas extremas. Além disso, a falta de infraestrutura urbana adequada, parte do déficit qualitativo, exacerba os impactos desses eventos. Por exemplo, a ausência de sistemas de drenagem eficientes em áreas de ocupação irregular aumenta significativamente o risco de alagamentos e inundações. A falta de saneamento básico, por sua vez, pode levar à contaminação de fontes de água durante eventos de inundação, aumentando o risco de doenças de veiculação hídrica.

O ônus excessivo com aluguel, outro componente do déficit habitacional, também contribui para a vulnerabilidade climática. Famílias que comprometem uma parcela significativa de sua renda com moradia têm menos recursos disponíveis para investir em medidas de adaptação ou para se recuperar de perdas causadas por desastres. A coabitação familiar, além de ser um indicador de déficit habitacional, pode resultar em maior densidade populacional em áreas de risco, aumentando o número de pessoas expostas a perigos climáticos em uma única unidade habitacional. Os impactos dos eventos climáticos extremos sobre populações em situação de déficit habitacional vão além dos danos imediatos às estruturas físicas. Eles podem resultar em deslocamentos forçados, perda de meios de subsistência e traumas psicológicos de longo prazo. Além disso, a recorrência desses eventos pode aprofundar o ciclo de pobreza e vulnerabilidade, dificultando ainda mais o acesso a moradias adequadas.

É importante notar que a vulnerabilidade climática não é apenas uma questão de exposição física a riscos ambientais, mas também de capacidade de adaptação e resiliência. A busca por soluções sustentáveis e equitativas para o déficit habitacional deve ser vista não apenas como uma questão de justiça social, mas também como um componente essencial da resiliência climática urbana.

A redução do déficit habitacional pela disponibilização de moradias com infraestrutura adequada é a forma mais tradicional de se pensar na mitigação desse grave problema social, mas faz-se necessária a reflexão de que as medidas tomadas para aumentar a resiliência das habitações são ações importantes para a não majoração do déficit habitacional.

Políticas públicas para resiliência climática no Brasil

Legislação brasileira para adaptação e resiliência climática

No Brasil, o marco institucional sobre o tema das mudanças climáticas se dá pela Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que instituiu a PNMC e estabeleceu as bases para as ações de mitigação e adaptação no país, considerando as cidades como unidade territorial. Essa legislação estabelece princípios, objetivos e instrumentos para lidar com as mudanças climáticas, criando um arcabouço legal que influencia diretamente a gestão urbana e as políticas de planejamento territorial (Brasil, 2009b).

No contexto urbano, a PNMC impõe desafios e oportunidades para os gestores municipais e planejadores urbanos. A lei exige que as cidades considerem as mudanças climáticas em seu planejamento, o que implica a necessidade de revisar e adaptar os planos diretores, códigos de obras e demais instrumentos de gestão urbana. Um dos aspectos mais relevantes da lei para o contexto urbano é o incentivo à adoção de medidas que promovam padrões sustentáveis de produção e consumo. Isso se traduz em políticas que favoreçam o desenvolvimento de infraestruturas urbanas mais eficientes e resilientes, como a implementação de sistemas de transporte público de baixa emissão de carbono, a adoção de práticas construtivas mais sustentáveis e a promoção de eficiência energética nas edificações.

Um aspecto central da PNMC é o estímulo ao desenvolvimento do mercado brasileiro de redução de emissões (MBRE) e representa

um marco na forma como as cidades brasileiras abordam as questões climáticas. Ao estabelecer as diretrizes nacionais para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas que precisam constar nos planos diretores de cada cidade, a lei objetiva impulsionar uma transformação no planejamento urbano, promovendo uma visão mais integrada e sustentável do desenvolvimento das cidades.

Um primeiro ponto de atenção é que no Brasil, segundo Espindola e Ribeiro (2021), dos 5.570 municípios,⁴ menos de 10% possuem os planos diretores atualizados. Esses autores consideraram que, das capitais brasileiras analisadas em 2020, apenas uma possuía plano diretor que mencionava diretamente mudanças climáticas, evidenciando uma fragilidade das políticas urbanas municipais nesse aspecto. É de se esperar que, nos últimos anos, as municipalidades já tenham incluído o tema nos debates e no planejamento urbano, mas, dado que as revisões dos planos diretores são decenais, é razoável supor que as legislações municipais não tenham evoluído tão significativamente.

4 Conforme revisão do IBGE em 2022, por meio da pesquisa Divisão Territorial Brasileira, o país possui 5.568 municípios, além do Distrito Federal e do Distrito Estadual de Fernando de Noronha, totalizando 5.570 entes municipais (unidades administrativas com autonomia política e administrativa). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/23701-divisao-territorial-brasileira.html?edicao=36436>. Acesso em: 25 maio 2025.

Quadro 3 | Legislação federal vigente

Norma	Ano de publicação	Resumo
Lei 12.187	2009	Institui a PNMC. Estabelece princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos para lidar com as mudanças climáticas no Brasil (Brasil, 2009b).
Lei 12.340	2010	Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos estados, Distrito Federal e municípios para a execução de ações de resposta e recuperação nas áreas atingidas por desastre (Brasil, 2010).
Lei 12.608	2012	Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC). Autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres (Brasil, 2012).
Lei 14.750	2023	Altera as Leis 12.608/2012 e 12.340/2010, aprimorando instrumentos de prevenção de acidentes ou desastres, recuperação de áreas afetadas, monitoramento de riscos e produção de alertas antecipados (Brasil, 2023).
Lei 14.904	2024	Estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas. Visa reduzir a vulnerabilidade e a exposição a riscos dos sistemas ambiental, social, econômico e de infraestrutura diante dos efeitos adversos das mudanças climáticas (Brasil, 2024a).
Lei 14.926	2024	Inclui na Política Nacional de Educação Ambiental temas relacionados às mudanças climáticas, à proteção da biodiversidade e aos riscos de desastres socioambientais (Brasil, 2024b).

Fonte: Elaboração própria.

A Lei 12.340, de 1 de dezembro de 2010, destaca a importância de que a municipalidade volte sua atenção para gestão de riscos e desastres no Brasil, estabelecendo diretrizes para o Sistema Nacional de Defesa Civil (Sindec) e mecanismos para a transferência de recursos entre os entes federativos. Seu principal objetivo é fortalecer a resiliência das comunidades brasileiras, promovendo uma resposta rápida e eficaz a

desastres naturais. Um dos avanços mais significativos da legislação é a exigência de que os municípios elaborem mapeamentos de áreas de risco e planos de contingência, bem como de instituírem órgãos municipais de defesa civil. A lei também prevê apoio técnico para municípios menores, especialmente aqueles com menos de 50 mil habitantes, auxiliando na elaboração de projetos e na fiscalização da aplicação dos recursos. Além disso, regulamenta a gestão de doações e suprimentos em desastres, garantindo um melhor aproveitamento dos recursos humanitários (Brasil, 2010).

O Decreto 10.692, de 3 de maio de 2021, instituiu o cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (Brasil, 2021). Esse decreto efetivamente implementou o cadastro nacional, que havia sido previsto pela Lei 12.340/2010 e regulamentado pela Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. Faz parte desse cadastro a identificação dos municípios vulneráveis, permitindo um monitoramento mais preciso e a alocação estratégica de investimentos em prevenção. No entanto, os resultados não foram satisfatórios, em função da baixa capacitação técnica, financiamento limitado e de barreiras burocráticas.

Em 2012, foi promulgada a Lei 12.608, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), reforçando a importância da gestão de riscos e desastres no Brasil e as responsabilidades dos municípios. Cabe às cidades a identificação das áreas de risco, a proposição de planos preventivos e a integração com políticas locais e programas estaduais e federais. A obrigatoriedade de incluir a gestão de riscos nos planos diretores municipais também reforça a necessidade de um planejamento urbano mais sustentável e seguro. Além disso, a lei prevê recursos e capacitação técnica para fortalecer a atuação das defesas civis

locais, especialmente em municípios mais vulneráveis (Brasil, 2012). Apesar dessas propostas de avanço e do endereçamento de recursos, não se observou uma qualificação de equipes técnicas e a produção de relatórios e planejamento de qualidade (Nogueira; Oliveira; Canil, 2014; Espindola; Ribeiro, 2021).

Apesar de seus avanços, a implementação da Lei 12.608/2012 enfrenta desafios. Muitos municípios carecem de estrutura técnica e recursos financeiros para realizar mapeamentos de risco e obras preventivas. A falta de pessoal qualificado e a rotatividade de gestores dificultam a continuidade das políticas de prevenção. Além disso, a dependência excessiva de repasses federais gera entraves burocráticos que podem atrasar ações emergenciais. Outra barreira significativa é a falta de cultura de prevenção, já que muitas administrações municipais priorizam a resposta a desastres, em vez de investir em medidas preventivas.

Nesse sentido, e visando fortalecer a atuação pública, a Lei 14.750, de 12 de dezembro de 2023, representa um avanço significativo em relação à legislação anterior sobre mudanças climáticas e prevenção de desastres, especialmente no que diz respeito às leis 12.608/2012 e 12.340/2010. Essa nova legislação aprimora os instrumentos de prevenção de acidentes e desastres, bem como a recuperação de áreas afetadas. A lei também acrescenta novas responsabilidades para a União, estados, Distrito Federal e municípios, incluindo a obrigação de produzir alertas antecipados e adotar medidas necessárias à redução dos riscos de acidentes ou desastres (Brasil, 2023). Portanto, a legislação atua como um indutor, para que os municípios possam assumir maior proatividade e um papel de liderança junto a outras entidades governamentais para lidar com potenciais calamidades. Outro aspecto relevante é a ampliação dos objetivos da PNPDEC, que passa a incluir a recuperação de áreas afetadas por desastres de forma a reduzir riscos e prevenir a reincidência, além

de promover a responsabilização do setor privado na adoção de medidas preventivas e na elaboração e implantação de planos de contingência.

Na construção do arcabouço legal abordando mudanças climáticas e cidades resilientes, destacamos a Lei 14.904, de 27 de junho de 2024, e a Lei 14.926, de 17 de julho de 2024, que representam avanços significativos na abordagem das mudanças climáticas e da adaptação no contexto urbano brasileiro, complementando e expandindo as diretrizes da legislação (Brasil, 2024a e 2024b). A Lei 14.904/2024 estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas, enfatizando a responsabilidade dos municípios na implementação de medidas concretas. Essa legislação exige que as cidades desenvolvam planos locais de adaptação, integrando-os ao planejamento urbano e às políticas de desenvolvimento. Além disso, os prefeitos têm a obrigação de incorporar a gestão de riscos climáticos em suas decisões, incluindo o monitoramento em tempo real de áreas de alto risco e a emissão de alertas antecipados sobre possíveis desastres. A inovação dessa lei reside na exigência de que os planos municipais sejam baseados em evidências científicas e alinhados com as diretrizes nacionais, promovendo uma abordagem mais coesa e fundamentada para a adaptação climática nas cidades. Por sua vez, a Lei 14.926/2024 foca na educação ambiental, trazendo para o âmbito municipal a responsabilidade de integrar temas relacionados às mudanças climáticas e à proteção da biodiversidade nos currículos escolares.

Diante desse cenário, observa-se uma assimetria significativa entre um número restrito de municípios, estimados em 370, que dispõem de condições para cumprir essas exigências, e a ampla maioria, que permanece altamente dependente do Governo Federal para viabilizar ações de adaptação e mitigação (Gallo, 2024). Esse descompasso revela tanto as dificuldades inerentes à descentralização da política climática, quanto a

necessidade de estratégias diferenciadas que considerem as especificidades locais e garantam suporte técnico e financeiro adequado às administrações municipais. Assim, torna-se imperativo o desenvolvimento de políticas públicas que promovam uma distribuição mais equitativa de recursos e conhecimento técnico, possibilitando que todos os municípios brasileiros adquiram capacidade institucional e operacional para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. A adoção de um modelo de governança climática cooperativa, associada ao incentivo à cooperação intermunicipal e ao fortalecimento de arranjos institucionais, pode contribuir para a redução das desigualdades regionais e para a construção de um sistema de gestão de riscos mais eficiente e resiliente.

Políticas públicas para adaptação e resiliência climática no Brasil

No âmbito do financiamento de políticas públicas para adaptação e resiliência, a Lei 14.904/2024 estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima, com o objetivo de reduzir a vulnerabilidade e a exposição a riscos dos sistemas ambiental, social, econômico e de infraestrutura diante dos impactos climáticos presentes e futuros (Brasil, 2024a).

Para viabilizar a execução dessas políticas, a lei prevê que a elaboração dos planos nacionais, estaduais, distrital e municipais possa ser financiada por recursos provenientes do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), conforme disciplinado pela Lei 12.114, de 9 de dezembro de 2009 (Brasil, 2009a), além de outras fontes de financiamento nacional e internacional. Essa estrutura de financiamento tem o potencial de fomentar o fortalecimento da capacidade institucional dos entes federativos, assegurando o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para a resiliência climática.

O Programa Cidades Verdes Resilientes (PCVR)⁵ integra políticas urbanas e ambientais para aumentar a qualidade ambiental e a resiliência das cidades brasileiras diante dos desafios climáticos. O programa traz uma abordagem de políticas públicas urbanas associada a uma visão ambiental e climática, com foco em áreas vulneráveis e priorizando a ação sobre o território. Uma crítica que se faz é que ele busca resolver todos os problemas da estrutura urbana por meio de um só instrumento, isso quando busca atuar também sobre as desigualdades sociais, diversidade de gênero, renda, entre outros temas abrangentes. Vale destacar dois pontos positivos do Programa Cidades Verdes Resilientes:

- i) Incentiva o processo participativo, por meio de oficinas temáticas, envolvendo diferentes instâncias de governo com representantes federais, municipais e da sociedade civil na construção da estratégia de implementação no território, e desconectadas das agendas eleitorais e político partidária. Prevê uma coordenação interministerial, mas com participação das partes interessadas, a nível local.
- ii) Foca na construção de resiliência urbana diante dos impactos das mudanças climáticas, com ênfase no diagnóstico e recuperação do território, do verde urbano e dos serviços ecossistêmicos nas cidades.

Outra política pública de referência é o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), instituído pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio da Portaria 150, de 10 de maio de 2016. O objetivo central é promover a adaptação do país aos impactos das mudanças climáticas, reduzindo a vulnerabilidade de sistemas naturais, humanos, produtivos e de infraestrutura, e fortalecendo a resiliência diante dos desafios impostos por um clima em transformação (Brasil, 2016).

5 Instituído pelo Decreto 12.041, de 6 de junho de 2024, é uma iniciativa do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), com apoio do Ministério das Cidades (MCID) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

O plano está estruturado em quatro eixos estratégicos que organizam suas ações e garantem sua implementação de forma coordenada. O primeiro eixo é a gestão do conhecimento, que visa produzir, sistematizar e disseminar informações sobre mudanças climáticas e adaptação, fortalecendo a base científica para a tomada de decisões. O segundo eixo é o fortalecimento institucional, que busca capacitar governos e instituições para implementar ações de adaptação, promovendo a integração entre políticas públicas e a criação de marcos legais e regulatórios adequados. O terceiro eixo é a implementação de ações, que foca na execução de medidas concretas de adaptação em setores prioritários, garantindo que os planos sejam transformados em práticas efetivas. O quarto eixo é o monitoramento e avaliação, que acompanha os resultados das ações e permite ajustes nas estratégias, garantindo que o PNA seja dinâmico e responsivo às mudanças no cenário climático. Nas cidades, o PNA promove a incorporação de critérios climáticos no planejamento e execução de obras públicas e privadas, garantindo sua durabilidade e segurança.

Mecanismos de financiamento para adaptação e resiliência

O terceiro objetivo do Acordo de Paris⁶ é claramente voltado para sistema financeiro e bancos multilaterais de desenvolvimento (BMD), que ocupam um papel central na promoção de transições energéticas justas, especialmente em países em desenvolvimento e emergentes.

6 O terceiro objetivo do Acordo de Paris, conforme o parágrafo 2, é "tornar os fluxos financeiros compatíveis com uma trajetória rumo a um desenvolvimento de baixas emissões de gases de efeito estufa e resiliente à mudança do clima". Ou seja, prover mecanismos para financiamento de iniciativas de adaptação climática. O primeiro e o segundo objetivos estão ligados à mitigação e adaptação. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf

A transição para fontes de energia limpa é uma necessidade premente para mitigar as mudanças climáticas, mas também apresenta desafios significativos em termos de justiça social e econômica. De acordo com Songwe, Stern e Bhattacharya (2022), a transição energética para uma economia de baixo carbono exige investimentos anuais significativos, que variam de USD 1,3 a USD 1,7 trilhão, excluindo-se a China, cujos dados não foram acessados na pesquisa.

O papel dos bancos de desenvolvimento, segundo Griffith-Jones, Attridge e Gouett (2020), está em uma presença anticíclica para impulsionar rapidamente economias nacionais em tempos de escassez monetária. E, neste momento da história, há uma clara vocação para atuação na transição verde. Esses autores comentam sobre os debates na Finance in Common Summit, em Paris, também reconhecida como o Fórum Econômico da Paz. Nesse encontro, com a presença das 450 maiores instituições de desenvolvimento de todo o mundo, cujos ativos somados correspondiam a cerca de USD 19 trilhões, com fluxo de crédito e transações de cerca de USD 2,4 trilhões, indicou-se a importância de soluções financeiras estruturadas, para que governos locais possam viabilizar programas de adaptação climática.

No Brasil, as principais fontes de financiamento para adaptação e resiliência climática acessíveis aos municípios, conforme as atribuições do PNA, são:

i) Fundo de Perdas e Danos⁷

Aprovado na COP27, em 2022, é um fundo internacional, criado para compensar países vulneráveis pelos impactos irreversíveis das mudanças climáticas, e responde a uma demanda de três décadas de nações em desenvolvimento.

⁷ O fundo tem por objetivo financiar respostas a perdas econômicas (infraestrutura destruída) e danos não econômicos (perda de biodiversidade, cultura) causados por eventos climáticos extremos (enchentes, secas) ou de início lento (elevação do nível do mar). O fundo conta com recursos da UE (US\$ 245 milhões), Alemanha (US\$ 100 milhões), Emirados Árabes (US\$ 100 milhões) e mais US\$ 100 milhões de outras nações.

ii) Recursos federais e estaduais

- Transferências constitucionais e voluntárias: os municípios podem acessar recursos federais e estaduais por meio de transferências constitucionais, como o Fundo de Participação dos Municípios (FPM), e voluntárias, como convênios e parcerias. Esses recursos podem ser direcionados para projetos de adaptação climática, como infraestrutura resiliente, gestão de recursos hídricos e prevenção de desastres.
- Programas federais: o Governo Federal oferece programas específicos que podem ser acessados pelos municípios, como o FNMC⁸ e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Esses programas financiam projetos de adaptação climática, como obras de drenagem urbana, contenção de encostas e reflorestamento.

iii) Fundo Nacional de Meio Ambiente (FNMA)

O fundo é uma fonte importante de recursos para projetos ambientais, incluindo ações de adaptação climática. Municípios podem apresentar propostas para financiamento de projetos como restauração de ecossistemas, gestão de resíduos sólidos e educação ambiental.

iv) BNDES

- Oferece linhas de crédito e financiamento para projetos de infraestrutura urbana sustentável, saneamento básico, mobilidade urbana e energia renovável.
- O Banco também atua no desenvolvimento de projetos estruturantes, considerando a modelagem financeira, jurídica e técnica

8 O FNMC é um instrumento financeiro vinculado ao MMA e integra a PNMC. Foi criado para financiar projetos de mitigação de emissões de GEE e adaptação aos impactos climáticos, operando sob duas modalidades de recursos: (i) recursos reembolsáveis, administrados pelo BNDES; e (ii) recursos não reembolsáveis, geridos pelo MMA. Seu objetivo é apoiar estudos, projetos-piloto e iniciativas comunitárias, como restauração de ecossistemas e sistemas de alerta climático.

de iniciativas complexas. Esse suporte é especialmente relevante para municípios que carecem de capacidade técnica para desenvolver projetos de grande escala, como sistemas de transporte sustentável, infraestrutura verde, gestão de resíduos sólidos e saneamento básico. Além disso, o BNDES promove a estruturação de PPPs, que permitem a atração de investimentos privados para projetos de infraestrutura urbana, como sistemas de transporte público, energia renovável e gestão de recursos hídricos. Essas parcerias são essenciais para viabilizar projetos que demandam altos investimentos e qualificação técnica.

- Para viabilizar esses projetos, o Banco oferece uma variedade de fundos e linhas de financiamento específicos para questões climáticas em cidades. Um dos principais é o FNMC,⁹ que financia iniciativas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, como mobilidade urbana sustentável, eficiência energética em edificações e iluminação pública, gestão de resíduos sólidos e infraestrutura verde. Outro exemplo é o Programa de Desenvolvimento Urbano (PDU), que apoia projetos de infraestrutura urbana sustentável, como sistemas de transporte público, revitalização de áreas degradadas e infraestrutura resiliente a desastres naturais.

v) Fundos estaduais de meio ambiente

Muitos estados possuem fundos ambientais que podem ser acessados pelos municípios para financiar projetos de adaptação climática. Esses fundos são alimentados por recursos advindos de multas ambientais, compensações e repasses federais.

9 Conforme mencionado, o BNDES atua como agente financeiro dos recursos reembolsáveis do FNMC, que envolve a concessão de financiamentos para projetos que atendam às diretrizes e prioridades estabelecidas pelo Comitê Gestor do fundo, que é presidido pelo MMA.

Além dos mencionados anteriormente, o Brasil tem desenvolvido mecanismos de financiamento para apoiar os municípios na construção de políticas de adaptação e resiliência climática, por meio de outras iniciativas como o Fundo Nacional de Calamidade Pública, a Comissão de Financiamentos Externos (Cofix) para captação de recursos, e o programa AdaptaCidades, anunciado na COP29, que visa capacitar tecnicamente e facilitar o acesso ao financiamento climático para 450 municípios brasileiros.

No entanto, para a maior parte dos municípios, a estrutura administrativa e financeira local não comporta arcar com esses financiamentos, tornando essas alternativas muitas vezes inacessíveis. A realidade é que a maior parte das cidades brasileiras permanece dependente de aportes federais, que são escassos e frequentemente liberados apenas por ocasião de desastres climáticos. Essa situação cria um ciclo de vulnerabilidade, em que os municípios menos preparados são também os mais afetados e com menor capacidade de resposta. Contudo, é importante reconhecer que há um esforço crescente do governo brasileiro para apoiar os municípios na adaptação às mudanças climáticas, buscando ampliar o acesso a recursos e capacitação técnica para enfrentar os desafios climáticos futuros.

Papel da defesa civil como resposta local a eventos climáticos

A defesa civil tem papel central como primeira resposta a eventos climáticos extremos, conforme Lei 14.750/2023, que fortalece sua atuação como sistema preventivo e reativo. Essa legislação aprimora a estrutura e as responsabilidades da defesa civil, enfatizando sua importância em todas as etapas do ciclo de gestão de desastres (Brasil, 2023). O sistema de resposta da defesa civil, conforme delineado pela lei e desenvolvido

no Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil (PN-PCD),¹⁰ abrange quatro etapas principais:

- i) **Prevenção:** passo crucial para reduzir riscos de desastres. A defesa civil mapeia áreas de risco, analisando fatores geológicos, hidrológicos e climáticos. São implementados sistemas de monitoramento e alerta precoce, utilizando tecnologias avançadas. Campanhas de conscientização educam a população sobre riscos e autoproteção. A prevenção também inclui planejamento urbano, com códigos de construção rigorosos e uso do solo adequado.
- ii) **Preparação:** foca em planejar respostas eficazes a desastres. Elaboram-se planos de contingência, incluindo protocolos de evacuação, abrigos e comunicação em crise. A Lei 14.750/2023 destaca treinamentos e simulações regulares para equipes de resposta. Estoques de suprimentos essenciais são mantidos, e parcerias com setores público e privado garantem uma resposta coordenada.
- iii) **Resposta:** é ativada durante os desastres. Nessa fase, a defesa civil coordena ações de emergência, como alertas à população, mobilização de equipes de resgate e evacuação de áreas de risco. São priorizadas a comunicação clara e a rápida restauração de serviços essenciais. Abrigos temporários são estabelecidos, e suprimentos de emergência são distribuídos.
- iv) **Recuperação:** visa “reconstruir melhor”, incorporando medidas de redução de riscos e resiliência. A defesa civil avalia danos, desenvolve planos de longo prazo e implementa projetos que melhoram infraestrutura e condições de vida. Lições aprendidas são usadas para atualizar planos de prevenção e preparação, fechando o ciclo de gestão de riscos.

10 O PN-PCD foi desenvolvido de forma coletiva e inclusiva, sob a supervisão da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (Sedec) do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud). Foi disponibilizado nacionalmente em julho de 2023. Mais informações sobre o plano estão disponíveis em: <https://pnpc.com.br/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

Segundo Silva *et al.* (2024), algumas cidades severamente afetadas por tragédias climáticas, passada a crise, não implantaram nenhuma estrutura de defesa civil. Como se as lições apreendidas não tivessem efeito para melhorias do sistema de defesa. Os autores citam o litoral norte de São Paulo, onde tempestades intensas em 2023 superaram os registros históricos, mas os novos planos de governo dos prefeitos eleitos ignoraram ou trataram superficialmente a estruturação da defesa civil. Não há previsão de bases de segurança ou monitoramento de áreas de risco, evidenciando uma grave lacuna no planejamento. Mesmo após tragédias com perda de vidas, que ocuparam as manchetes, as medidas necessárias continuam negligenciadas.

Lacunas, desafios e a regionalização da resiliência climática

Não obstante a moderna e abrangente legislação, com avanços institucionais, o que se observa é a grande disparidade de articulação em âmbito local. Em recente pesquisa da Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2024), foram ouvidos gestores públicos de mais de 3.600 cidades brasileiras, o que evidenciou a seguinte realidade:

- 68,9% dos municípios afirmaram nunca ter recebido recurso de estados ou do Governo Federal para atuar na prevenção às mudanças climáticas; e
- apenas 22,6% dos municípios entrevistados declaram estar preparados para eventos climáticos e seus impactos.

Ademais, segundo a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (Munic),¹¹ divulgada pelo IBGE, 59% dos municípios brasileiros não contavam com instrumentos de planejamento e gerenciamento de riscos em 2017.

11 Os dados da pesquisa são divulgados pelo IBGE em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html>.

Portanto, o que se observa é que, se não houver recursos e financiamentos compatíveis com a capacidade dos municípios, a simples existência de arcabouço legal consistente não é suficiente para garantir sua implementação. A realidade da maioria dos municípios brasileiros é marcada por restrições orçamentárias e escassez de recursos humanos especializados. Muitas cidades, especialmente as de menor porte, não dispõem de profissionais como arquitetos, urbanistas, geólogos e especialistas em meio ambiente em seus quadros permanentes. Essa lacuna técnica compromete seriamente a capacidade dos municípios de elaborar planos eficazes de adaptação climática, diagnósticos e projetos de infraestrutura urbana.

A solução para resiliência climática a partir da unidade municipal, na prática, é fictícia; embora a solução institucional se apresente robusta, ela se demonstra inexecutável para a maioria das cidades brasileiras.

Um possível caminho, mais promissor e potencialmente mais eficaz, é repensar o planejamento da resiliência climática a partir de unidades regionais, em vez de se basear exclusivamente em estruturas municipais. Essa estratégia, inspirada no modelo de organização do saneamento básico, poderia oferecer soluções mais abrangentes e integradas, superando as limitações frequentemente enfrentadas quando a responsabilidade recai exclusivamente sobre municípios individuais. Adotar uma perspectiva regional possibilitaria criar uma visão mais holística dos desafios climáticos, que raramente respeitam fronteiras administrativas.

Fenômenos como enchentes, secas ou mudanças nos padrões de precipitação afetam áreas extensas, muitas vezes englobando múltiplos municípios. Uma abordagem regional permitiria um planejamento mais coerente e eficiente, considerando ecossistemas inteiros, bacias hidrográficas e outros elementos geográficos relevantes que

transcendem limites municipais. Dessa forma é mais viável o planejamento de soluções integradas com o rateio das equipes por meio de consórcios regionais de municípios. Há vantagens significativas em termos de economia de escala e otimização de recursos. Municípios menores ou com menos recursos, que atualmente enfrentam dificuldades para elaborar e implementar planos de adaptação climática, poderiam se beneficiar de uma estrutura regional mais robusta. Isso possibilitaria o compartilhamento de conhecimento técnico, recursos financeiros e capacidade de planejamento entre diferentes localidades, resultando em planos mais abrangentes e eficazes.

A abordagem regional também facilitaria uma melhor coordenação de esforços e recursos. Ao invés de cada município trabalhar isoladamente, muitas vezes com sobreposição de esforços ou inconsistências nas estratégias, um planejamento regional permitiria uma alocação mais eficiente de recursos e uma implementação mais coerente de medidas de adaptação e mitigação. Isso é particularmente importante diante do fato de que muitos municípios brasileiros carecem de capacidade técnica e financeira para lidar adequadamente com os desafios das mudanças climáticas. Outra vantagem significativa seria a possibilidade de desenvolver projetos de maior escala e impacto. Medidas de adaptação que seriam inviáveis ou menos eficazes se implementadas por um único município poderiam se tornar possíveis e mais significativas quando planejadas e executadas em escala regional. Isso poderia incluir, por exemplo, grandes projetos de infraestrutura verde, sistemas de alerta precoce para desastres naturais, ou estratégias abrangentes de gestão de recursos hídricos. Ademais, uma abordagem regional poderia facilitar o acesso a financiamentos e apoio técnico.

Agências de fomento e organizações internacionais muitas vezes preferem apoiar projetos de maior escala e impacto, que seriam mais viáveis em um contexto regional do que municipal. Isso poderia abrir novas oportunidades de financiamento e parcerias para implementação de medidas de resiliência climática.

Considerações finais

O Brasil tem avançado significativamente no desenvolvimento de um arcabouço legal e institucional para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e promover a resiliência urbana. A legislação brasileira, incluindo a PNMC, o PNA e as recentes leis que fortalecem a defesa civil, estabelecem diretrizes que precisam ser levadas à esfera municipal, seja na execução dos planos municipais de adaptação climática, como também nos planos diretores de cada município. Essas iniciativas refletem uma compreensão da urgência e complexidade dos desafios climáticos, especialmente no contexto urbano.

No entanto, a implementação efetiva dessas políticas enfrenta obstáculos significativos. A disparidade entre a robustez do marco legal e a realidade operacional nos municípios é evidente. A maioria das cidades brasileiras carece de recursos financeiros, técnicos e humanos para implementar adequadamente as medidas de adaptação e resiliência previstas na legislação. Essa lacuna é particularmente pronunciada em municípios menores e com menos recursos, que muitas vezes são os mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas.

O financiamento emerge como um desafio crítico. Embora existam mecanismos como o FNMC e as linhas de financiamento do BNDES,

o acesso a tais recursos é frequentemente complexo e insuficiente para atender às necessidades de todos os municípios. A dependência de transferências federais e a limitada capacidade de endividamento de muitas cidades restringem ainda mais as opções de financiamento para projetos de adaptação climática.

O papel da defesa civil como primeira resposta a eventos climáticos extremos é fundamental, mas sua eficácia é comprometida pela falta de estruturação adequada em muitos municípios. A recente legislação que fortalece sua atuação é um passo positivo, mas sua implementação efetiva requer investimentos significativos em capacitação, equipamentos e planejamento preventivo.

O déficit habitacional e a injustiça climática são questões interligadas que exacerbam a vulnerabilidade de populações já marginalizadas. A necessidade de integrar políticas de habitação com estratégias de adaptação climática é evidente, mas ainda requer ações concretas em larga escala.

A abordagem atual, focada principalmente em soluções municipais individuais, mostra-se inadequada diante da escala e natureza dos desafios climáticos. Uma perspectiva regional para o planejamento e implementação de medidas de resiliência climática apresenta-se como uma alternativa promissora. Essa abordagem poderia permitir uma visão mais holística dos desafios, facilitar o compartilhamento de recursos e conhecimento técnico, e viabilizar projetos de maior escala e impacto.

Para avançar efetivamente na construção de cidades resilientes no Brasil, é necessário:

- i) Fortalecer a capacidade técnica e financeira dos municípios, especialmente os menores e mais vulneráveis.
- ii) Desenvolver mecanismos de financiamento mais acessíveis e adequados à realidade municipal.
- iii) Intensificar os investimentos em infraestrutura urbana resiliente, com foco em soluções baseadas na natureza e tecnologias de baixo carbono (mitigação).
- iv) Aprimorar a integração entre políticas de habitação, planejamento urbano e adaptação climática.
- v) Fortalecer a atuação da defesa civil, com ênfase em prevenção e preparação para desastres.
- vi) Ampliar a participação da sociedade civil e do setor privado nas iniciativas de resiliência urbana.
- vii) Promover uma abordagem regional para o planejamento e implementação de medidas de resiliência climática.

O desafio das mudanças climáticas nas cidades brasileiras é complexo e multifacetado, exigindo uma resposta igualmente abrangente e integrada. Apesar dos avanços na criação de um marco legal e institucional, a tradução dessas políticas em ações concretas e efetivas no nível local permanece como o principal desafio. O caminho para cidades resilientes no Brasil requer não apenas recursos financeiros, mas também uma mudança de paradigma na forma como planejamos e gerenciamos nossas áreas urbanas, priorizando a adaptação climática e a sustentabilidade em todas as esferas de decisão e ação governamental.

Referências

BARBI, F.; REI, F. C. F. Mudanças climáticas e agenda de adaptação nas cidades brasileiras. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, Tarragona, v. 12, n. 1, p. 1-34, 2021. Disponível em: <https://revistes.urv.cat/index.php/rcda/article/view/3047>. Acesso em: 18 mar. 2025.

BRASIL. Decreto 10.692, de 3 de maio de 2021. Institui o Cadastro Nacional de Municípios [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 4 maio 2021. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10692.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 12.114, de 9 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 10 dez. 2009a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12114.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 29 dez. 2009b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 12.340, de 1 de dezembro de 2010. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 2 dez. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Lei/L12340.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 11 abr. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 14.750, de 12 de dezembro de 2023. Altera as Leis 12.608, de 10 de abril de 2012, e 12.340, de 1 de dezembro de 2010 [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 13 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14750.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 14.904, de 27 de junho de 2024. Estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 28 jun. 2024a Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14904.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 14.926, de 17 de julho de 2024. Altera a Lei 9.795, de 27 de abril de 1999, [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 18 jul. 2024b Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/Lei/L14926.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria 150, de 10 de maio de 2016. Institui o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e dá outras providências [...]. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 153, n. 89, p. 131-32, 11 maio 2016. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-150-de-10-de-maio-de-2016-22804223>. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRUNO, F. M. R.; RAFAGNIN, T. R.; FERREIRA, R. J. O litígio climático como ferramenta de garantia da justiça climática e da transição energética. *Homa Publica – Revista Internacional de Derechos Humanos y Empresas*, Juiz de Fora, v. 8, n. 1, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/HOMA/article/view/45099>. Acesso em: 30 jun. 2024.

BULKELEY, H.; NEWELL, P. *Governing climate change*. London: Routledge, 2010.

CASTELHANO, F. J. *O clima e as cidades*. Curitiba: Intersaberes, 2020.

CNM - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Estudo emergência climática. Brasília, DF: CNM, 2024. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos_tecnicos/202405_ET_MAMB_Emergencia_climatica_2024.pdf. Acesso em: 29 mar. 2025.

CONTIPELLI, E. Da governança dos comuns ao policentrismo: considerações sobre Elinor Ostrom e mudança climática. *Revista Jurídica* (FURB), Blumenau, v. 24, n. 53, e8142, 2020. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/juridica/article/view/8142>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ESPINDOLA, I. B.; RIBEIRO, W. C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. *Cadernos Metrópole*, São Paulo, v. 22, n. 48, p. 365-395, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cm/a/ZY47nWVQJfMfCFcx7Q9hywn/?lang=pt>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *The impact of natural hazards and disasters on agriculture, food security and nutrition*. Roma: FAO, 2015. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ff476ceb-d044-438d-b4f8-fb027c76c05c/content>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FERREIRA, F. P. M.; LACERDA, G. C. Housing inadequacy and income in Brazil: water supply and sewage in metropolitan areas. *Water International*, Londres, v. 49, n. 1, p. 32-51, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02508060.2023.2290824>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FERREIRA, L. C. Indicadores político-institucionais de sustentabilidade: criando e acomodando demandas públicas. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, n. 6-7, p. 15-30, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/QHtc6zqtCy5ts5YTfPHj6fH/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. *Déficit habitacional no Brasil 2022*. Belo Horizonte: FJP, 2023. Disponível em: <https://repositorio.fjp.mg.gov.br/items/4ea6db72-4b2e-4dcb-af59-95202212ce9a/full>. Acesso em: 25 mar. 2025.

GALLO, A. As políticas públicas para cidades resilientes e os mecanismos de financiamento podem estar ampliando a desigualdade social no Brasil? In: COLÓQUIO POLÍTICAS PÚBLICAS ESTRUTURANTES PARA O BRASIL DO SÉCULO XXI, 1., 2024, Petrópolis. *Anais [...]*. Petrópolis: LNCC, 2024. p. 1-4. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/coloquio-politicas-publicas-estrurantes-para-o-brasil-seculo-xxi-423674/910641-as-politicas-publicas-para-cidades-resilientes-e-os-mecanismos-de-financiamento-podem-estar-ampliando-a-desiguald/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

GIDDENS, A. *The politics of climate change*. Cambridge: Polity, 2009. Disponível em: <http://www.strongwind.com.hk/pdfs/TuiJian/GiddensClimateChange.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

GRIFFITH-JONES, S.; ATTRIDGE, S.; GOUETT, M. *Securing climate finance through national development banks*. London: ODI – Overseas Development Institute, 2020. Disponível em: https://media.odi.org/documents/200124_ndbs_web.pdf. Acesso em: 18 mar. 2025.

HEGGER, D. L. T. *et al.* The roles of residents in climate adaptation: a systematic review in the case of the Netherlands. *Environmental Policy and Governance*, Chichester, v. 27, n. 4, p. 336-350, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eet.1766>. Acesso em: 18 mar. 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*: Special Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>. Acesso em: 26 jan. 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf. Acesso em: 25 mar. 2025.

KLEIN, R. J. T. *et al.* Inter-relationships between adaptation and mitigation. In: PARRY, M. L. *et al.* (eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 745-777. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter18-1.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MASSAÚ, G.; BERTOLDI, M. R. Solidariedade ambiental: entre mudanças climáticas e desigualdade. *Araucaria – Revista Iberoamericana de Filosofia, Política, Humanidades y Relaciones Internacionales*, Barcelona, ano 25, n. 51, p. 373-393, 2022. Disponível em: https://institucional.us.es/revistas/Araucaria/51/2_monografico_1_raylane/7._artigo_6.pdf. Acesso em: 30 jan. 2025.

MEDEIROS, A. P.; RAJS, S. As cidades e a pandemia: efeitos, desafios e transformações. In: MENDES, A. *et al.* (orgs.). *Diálogos sobre acessibilidade, inclusão e distanciamento social: Territórios existenciais na pandemia*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2020. p. 6-9. Disponível em: <https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2022/08/Dia%CC%81logos-sobre-acessibilidade-inclusa%CC%83o-e-distanciamento-social.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

MEES, H. Local governments in the driving seat? A comparative analysis of public and private responsibilities for adaptation to climate change in European and North-American cities. *Journal of Environmental Policy and Planning*, London, v. 19, n. 4, p. 374-390, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1523908X.2016.1223540>. Acesso em: 18 mar. 2025.

NOGUEIRA, F. R.; OLIVEIRA, V. E.; CANIL, K. Políticas públicas regionais para gestão de riscos: o processo de implementação no ABC, SP. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 177-194, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/d3PQFR8QXDr5N7sHkfVsdFj/?lang=pt>. Acesso em: 18 mar. 2025.

OJIMA, R.; HOGAN, D. J. Mobility, urban sprawl and environmental risks in Brazilian urban agglomerations: challenges for urban sustainability. In: SHERBINIIN, A. et al. (orgs.). *Urban population-environment dynamics in the developing world: case studies and lessons learned*. Paris: Committee for International Cooperation in National Research in Demography (CICRED), 2009. p. 281-316.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Mudanças climáticas podem levar mais de 100 milhões de pessoas à pobreza, aponta Banco Mundial. *Nações Unidas Brasil*, Brasília, DF, 9 nov. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/71330-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-podem-levar-mais-de-100-milh%C3%B5es-de-pessoas-%C3%A0-pobreza-aponta-banco-mundial>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Nova Agenda Urbana*. Tradução: Escritório da ONU-Habitat Brasil. Quito: Organização das Nações Unidas, 2016. Disponível em: <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Portuguese-Brazil.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.

OSTROM, E. *A polycentric approach for coping with climate change*. Washington, D.C.: World Bank, 2009. (World Bank Policy Research Working Paper, n. 5095). Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1494833. Acesso em: 18 mar. 2025.

RAMMÊ, R. S. A política da justiça climática: conjugando riscos, vulnerabilidades e injustiças decorrentes das mudanças climáticas. *Revista de Direito Ambiental*, Brasília, DF, v. 65, p. 1-15, 2012.

RECKFORD, J. For billions of people around the world, housing is the frontline in the fight against climate change. *World Economic Forum*, Cologny, 11 jan. 2024. Disponível em: <https://www.weforum.org/stories/2024/01/3-ways-we-can-use-housing-to-adapt-to-the-climate-crisis/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

RIBEIRO, W. C. Riscos e vulnerabilidade urbana no Brasil. *Scripta Nova – Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Barcelona, v. 14, n. 331, 2010. Disponível em: <https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-65.htm>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Lei 17.615, de 27 de dezembro de 2022. Institui o Fundo de Aval para Desenvolvimento da Eficiência Energética no Estado de São Paulo e constitui o Conselho Estadual de Orientação de Eficiência Energética [...]. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*: São Paulo, 28 dez. 2022. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2022/lei-17615-27.12.2022.html>. Acesso em: 26 maio 2025.

SILVA, M. F. *et al.* Silêncio perigoso: prefeitos ignoram defesa civil em planos de governo para 2024. *Revista Aracê*, São José dos Pinhais, v. 6, n. 3, p. 6436-6455, 2024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/1320>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SOLECKI, W. *et al.* A conceptual framework for an urban areas typology to integrate climate change mitigation and adaptation. *Urban Climate*, Amsterdam, v. 14, p. 116-137, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095515300080>. Acesso em: 26 jan. 2025.

SONGWE, V.; STERN, N.; BHATTACHARYA, A. *Finance for climate action: scaling up investment for climate and development*. London: London School of Economics and Brookings Institution, 2022. Disponível em: <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2022/11/IHLEG-Finance-for-Climate-Action-1.pdf>. Acesso: 29 maio 2025.

TORRES, P. H. C. *et al.* Justiça climática e as estratégias de adaptação às mudanças climáticas no Brasil e Portugal. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 35, n. 102, p. 159-176, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/190270>. Acesso em: 30 jan. 2025.

UN-HABITAT – UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. *Annual Progress Report 2016*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme, 2016. Disponível em: <https://unhabitat.org/annual-progress-report-2016>. Acesso em: 30 jan. 2025.

URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT IN BRAZIL: DIAGNOSIS, CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Letícia Pimentel

*Luciana Capanema**

Keywords: sanitation; urban solid waste; project structuring.

* Respectively, manager and head of the Sanitation Solutions Structuring Department of the BNDES's City Solutions Division.

Resumo

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil enfrenta desafios como o encerramento dos lixões e o cumprimento das metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares). A solução envolve políticas públicas eficazes, governança adequada e sustentabilidade econômico-financeira. Este artigo busca contribuir organizando informações sobre o setor e analisando a atuação de órgãos públicos, especialmente o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), na estruturação de projetos. A sustentabilidade financeira é um dos principais entraves, e a regionalização dos serviços por meio dos estados surge como uma solução promissora. No entanto, desafios como a integração dos entes públicos, a implementação de mecanismos de cobrança adequados e a inclusão de catadores ainda precisam ser superados para garantir soluções sustentáveis.

Abstract

Urban solid waste (USW) management in Brazil faces challenges such as closing landfills and meeting the targets of the National Solid Waste Plan (Planares). The solution involves effective public policies, adequate governance, and economic and financial sustainability. This study seeks to contribute to this issue by organizing information about the sector and analyzing the performance of public bodies, especially the Brazilian Development Bank (BNDES), in structuring projects. Financial sustainability is one of the main obstacles, and the regionalization of services by states seems to be a promising solution. However, challenges such as the integration of public entities, the implementation of adequate collection mechanisms, and the inclusion of waste pickers must still be overcome to ensure sustainable solutions.

Introdução

A Lei 14.026, de 20 de julho de 2020, conhecida como novo marco legal do saneamento, estabeleceu um prazo para encerramento dos lixões no país: agosto de 2024 (Brasil, 2020).¹ Para que eles sejam encerrados, porém, não basta apenas seu fechamento e remediação. É necessário, principalmente, dar uma solução adequada e sustentável para os resíduos que estavam sendo levados para os lixões. Nesse sentido, o serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU) ainda apresenta déficits relevantes, em especial no que diz respeito à destinação final.

A solução adequada para a gestão de RSU passa por diferentes fatores, com destaque para as políticas públicas que incidem sobre o setor, os atores envolvidos na gestão de RSU, os arranjos de governança possíveis e a sua sustentabilidade ambiental – que está diretamente relacionada com a sustentabilidade econômico-financeira. O objetivo deste artigo é contribuir para a discussão de como superar esse déficit de duas formas. Primeiro, organizando informações de distintas fontes sobre o setor, consolidando em um só documento um diagnóstico da condição atual da gestão de RSU, de seu arranjo de governança e principais atores, e de sua situação econômico-financeira. Segundo, apresenta-se, a partir das informações compiladas, a atuação dos órgãos públicos que estruturam projetos – em especial o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – e quais são os desafios e oportunidades associadas a essa atividade no setor de gestão de RSU.

¹ Apesar de vencido o prazo, a lei não estabelece explicitamente nenhuma penalidade para os titulares. Não obstante, o prazo estabelecido em lei pode embasar a atuação de órgãos de controle e fiscalização, como Ministério Público e Tribunais de Contas.

Importante frisar que o artigo não pretende dar uma solução única ou definitiva para o setor, mas sim começar a mapear, a partir do diagnóstico, alguns caminhos para a implementação de políticas públicas, em especial no que se refere à modelagem de projetos para concessões privadas. Uma premissa relevante para que essa atividade seja efetiva é que muitas outras políticas públicas e atores precisam atuar positivamente sobre a gestão desses serviços.

Para fazer essa contribuição, este artigo se divide em cinco seções, além desta introdução e das considerações finais. A primeira apresenta o que são os resíduos sólidos urbanos – sua caracterização como serviço público, as etapas de sua gestão, quais as políticas relacionadas a esses serviços e o que elas preconizam. Na segunda seção, é feita uma exposição das deficiências desse serviço, tanto em termos de etapas da gestão quanto de regiões geográficas. Em seguida, na terceira seção, é delineada a governança atual do setor, detalhando quem são os principais atores e seus papéis. Na quarta seção, é feita uma análise econômico-financeira do setor sob os seguintes aspectos: qual é o investimento estimado necessário para atingir a universalização; quais são as despesas anuais geradas por esses serviços; qual é a condição atual dos mecanismos de cobrança; e como está a sustentabilidade econômico-financeira desses serviços.

O que são os resíduos sólidos urbanos

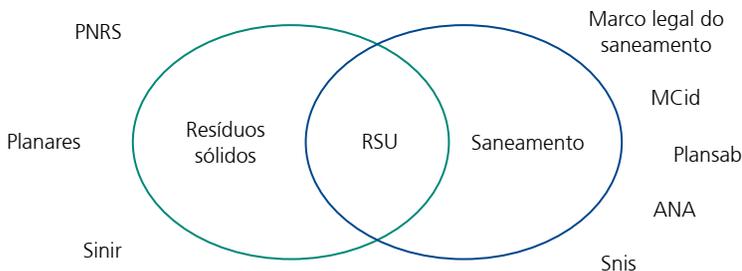
Definição de RSU

Apesar de ser comumente utilizado como sinônimo dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, o saneamento também abrange outros dois serviços públicos essenciais: drenagem e manejo das águas pluviais urbanas; limpeza urbana e manejo de RSU. Este último

componente – limpeza urbana e manejo de RSU –, além de compor os serviços de saneamento, é também um subconjunto dos resíduos sólidos.

Esse duplo pertencimento tem consequências para o arcabouço regulatório e institucional do setor de RSU. Dois ministérios têm atribuições relacionadas a esse serviço: o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Ministério das Cidades (MCid), sendo o primeiro responsável pelas políticas públicas de resíduos sólidos e o segundo pelas de saneamento. Consequentemente, os serviços de RSU são regulados tanto pela Lei de Saneamento (Brasil, 2007; 2020) quanto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010), estando incluídos no Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) e no Plano Nacional de Resíduos (Planares). Além disso, são objeto de coleta de informações tanto para o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Snis) quanto para o Sistema Nacional de Informações de Resíduos Sólidos (Sinir).² Ademais, também são objeto das normas de referência de regulação dos serviços de saneamento emitidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Figura 1 | Arcabouço regulatório e institucional dos serviços de manejo de RSU



Fonte: Elaboração própria.

² Disponíveis, respectivamente, em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/ acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis> e <https://sinir.gov.br/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

Assim, para compreender o setor de RSU, é preciso reunir informações e regulamentações de fontes diversas. O presente artigo procura diagnosticar esse setor a partir, principalmente, de duas normas legais: a Lei de Saneamento (Brasil, 2007; 2020) e a PNRS (Brasil, 2010); e de três documentos do Governo Federal: o diagnóstico do Snis para 2022 (Brasil, 2023b), o Planares (Brasil, 2022) e o Caderno Temático Plansab referente à necessidade de investimentos do saneamento (Brasil, 2023c), além do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023, publicado pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema, 2023), entidade representativa de empresas privadas do setor.

Os resíduos sólidos urbanos são um subconjunto dos resíduos sólidos. Ou seja, nem todo material descartado é RSU, pois isso depende do tipo de resíduo e de seu gerador. Segundo a Lei de Saneamento (Brasil, 2007; 2020), os RSU são compostos por: (i) resíduos domésticos; (ii) resíduos originários dos serviços públicos de limpeza urbana; e (iii) resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços, cuja quantidade e qualidade sejam similares às dos resíduos domésticos e considerados RSU por decisão do titular do serviço³ – desde que sua gestão não seja responsabilidade do gerador. São de responsabilidade dos próprios geradores – que devem elaborar um plano de gerenciamento, cuidar de toda a coleta, tratamento e destinação final – os resíduos de saneamento, industriais, de serviços de saúde, de construção civil, de mineração e aqueles considerados perigosos. Há, ainda, os resíduos que devem ser objeto de acordos setoriais de logística reversa, como embalagens plásticas e de vidro,

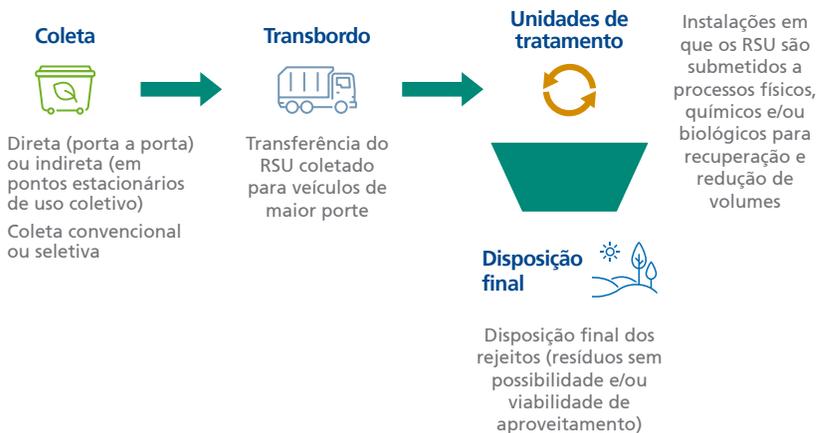
3 Cabe esclarecer que predomina no Brasil a interpretação de que a titularidade dos serviços de saneamento, inclusive de resíduos sólidos urbanos, é municipal, ainda que se preveja na Constituição Federal Brasileira e na Lei de Saneamento o exercício compartilhado da titularidade entre estados e municípios nos casos de prevalência do interesse comum. Esse tema será mais desenvolvido na quarta seção.

cuja gestão é de responsabilidade compartilhada entre fabricantes, distribuidores e comerciantes. Este artigo, entretanto, aborda a gestão de RSU, sem se aprofundar em questões pertinentes a outros tipos de resíduos.

Gestão integrada e adequada de RSU

Outra questão relevante é a compreensão das diretrizes estabelecidas pela PNRS quanto às etapas da gestão de RSU. A PNRS estabelece como um de seus objetivos a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, além da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Isso significa que, em tese, só deveriam ir para a disposição final em aterros sanitários os resíduos sem possibilidade ou viabilidade de aproveitamento. Em realidade, porém, não é isso que acontece. A cadeia de serviços de RSU se constitui, principalmente, das seguintes atividades: coleta, transbordo, tratamento e disposição final.

Figura 2 | Cadeia de serviços de RSU



Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2023b).

Diagnóstico dos serviços de RSU no Brasil

Estima-se que, em 2022, foram geradas cerca de 77 milhões de toneladas de RSU no Brasil. Desse total, 93% passaram por algum tipo de coleta, sendo a maior parte convencional, também conhecida como indiferenciada (Abrema, 2023). Apesar de isso significar que cerca de cinco milhões de toneladas são descartadas em corpos hídricos e em locais inadequados ou queimadas de maneira ambientalmente incorreta, pode-se dizer que a coleta é um serviço quase universalizado. No entanto, a coleta seletiva, bem como o tratamento e destinação final dos RSU, ainda apresentam déficits importantes.

Gráfico 1 | Comparação entre geração, coleta e recuperação de RSU no Brasil em milhões de toneladas/ano (2022)



Fonte: Elaboração própria com base em Abrema (2023) e Brasil (2023b).

Coleta seletiva

A coleta seletiva ainda é bastante incipiente no Brasil: apenas 30% dos municípios a realizam, e 18% fazem parcerias com catadores. Pelos

dados sobre a massa coletada, percebe-se que, mesmo nos municípios em que esse serviço existe, sua aplicação se restringe a áreas específicas, representando uma proporção bem inferior à da massa total coletada. A eficácia desse tipo de coleta depende tanto da sua implementação por parte do titular dos serviços quanto da adequada separação de RSU pela população. O Planares aponta que, mesmo onde há coleta seletiva, um grande volume de resíduos ainda chega misturado, o que reduz o aproveitamento dos materiais (Brasil, 2022). Para enfrentar essa questão, é essencial que o titular do serviço promova ações de educação ambiental e disponibilize infraestrutura adequada.

Recuperação e tratamento de RSU

A massa de RSU recuperada corresponde a uma porção ínfima de seu potencial e é ainda menor que a da coleta seletiva. Segundo estimativas da composição gravimétrica dos RSU, em 2022, o Brasil gerou aproximadamente 25 milhões de toneladas de massa seca de RSU e 40 milhões de toneladas de massa orgânica (Brasil, 2022). O Planares identifica algumas razões para o baixo aproveitamento da massa seca na reciclagem:

[...] baixa adesão da população aos sistemas de coleta seletiva (seja por carência na infraestrutura dos serviços, seja por desconhecimento); mercados locais de comercialização e reciclagem de materiais inexistentes ou mal estruturados; cadeia logística oscilante e descontinuada, que não assegura constância, estabilidade e segurança no provimento dos materiais; elevada tributação incidente sobre as diferentes etapas, principalmente sobre a matéria-prima secundária; concorrência desleal com alternativas de destinação final inadequadas (lixões e aterros controlados) (Brasil, 2022, p. 30).

Reciclagem e cooperativas de catadores

Quando se observa a reciclagem por material, nota-se que os que apresentam índices mais elevados – como as latas de alumínio – são aqueles cuja reciclagem tem custos relativamente menores em comparação à produção de novos materiais. Além disso, a vantajosidade da recuperação de materiais recicláveis depende de fatores como “a sazonalidade do mercado, a situação econômica do país, a distribuição geográfica da indústria e a existência de mercado consumidor” (Brasil, 2022, p. 31), bem como da infraestrutura disponível para esses serviços.

Uma das formas de realização de coleta seletiva é por meio de cooperativas de catadores. Essas cooperativas realizam o trabalho de coleta e triagem de materiais recicláveis e podem atuar em parceria com o poder público municipal, seja por meio de rotas próprias de coleta seletiva domiciliar e de grandes geradores, seja via pontos de entrega voluntária. A integração dos catadores na gestão dos RSU está entre os objetivos da PNRS, que prevê a inclusão de programas e políticas voltadas a essa categoria nos planos de gestão integrada de resíduos sólidos.

Os dados do Snis, por serem declarados pelos municípios, nem sempre captam corretamente a atividade das associações que não atuam em parceria com o poder público. Não obstante, ainda que não se tenha um quadro completo da questão, é possível apresentar alguns dados. O diagnóstico do Snis (Brasil, 2023b) mapeou 1.921 cooperativas ou associações de catadores, com atuação em 1.372 municípios e com um total de 39 mil associados em 2022 – ainda que 3.644 municípios reconheçam a atuação de catadores de forma autônoma em suas cidades.

As cooperativas, com apoio da prefeitura, são responsáveis por 34% da coleta seletiva domiciliar, embora esse percentual varie entre as regiões. Em termos absolutos, porém, esse número ainda é pequeno, uma vez que

a massa de RSU coletada via coleta seletiva é baixa (cerca de 1,8 milhão de toneladas em 2022).

A maior parte das cooperativas está nas regiões Sul e Sudeste, refletindo a influência da distribuição territorial das indústrias de reciclagem, fator essencial para a viabilidade econômico-financeira dessa atividade, uma vez que ela depende da comercialização dos materiais coletados. A sustentabilidade econômico-financeira e a autonomia dessas cooperativas ainda representam um desafio, pois dependem tanto da venda dos recicláveis para a indústria quanto do pagamento das prefeituras pelos serviços prestados, o qual muitas vezes é insuficiente para cobrir seus custos.

Recuperação energética

O aproveitamento energético dos RSU, por meio de processos como digestão anaeróbia, coprocessamento e *waste-to-energy*, também é bastante restrito em relação ao seu potencial. Cada um desses processos possui vantagens e dificuldades específicas:

- A digestão anaeróbia consiste na decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio, resultando em biogás, que pode ser utilizado para geração de calor, energia ou combustível. As principais dificuldades encontradas para sua aplicabilidade são a precariedade da coleta seletiva, que dificulta a separação do RSU para esse fim, e a competição com outras fontes renováveis de energia e combustível. Como método complementar, há também a captação de biogás produzido pelos aterros sanitários, adotada como forma de mitigar a emissão de gases de efeito estufa dessa solução de destinação final e de geração de receitas adicionais – uma vez que o biogás gerado pode ser utilizado como fonte sustentável de energia e combustível.
- O coprocessamento resulta na produção de combustível derivado de resíduos (CDR), utilizado em fornos industriais, gerando

insumos para usinas termelétricas e para a indústria do cimento. As principais barreiras para a expansão dessa tecnologia são a necessidade de proximidade com plantas cimenteiras; a existência de alternativas eventualmente mais baratas, como o clínquer; e a falta de separação adequada dos RSU, já que apenas a fração seca pode ser utilizada nesse processo.

- As tecnologias de *waste-to-energy* dizem respeito ao tratamento térmico em ambiente controlado, que geram energia enquanto reduzem o volume e a massa de RSU. O principal problema enfrentado para a implementação desse tipo de tecnologia é que sua viabilidade depende de um preço de compra da energia mais elevado em comparação às demais fontes disponíveis no mercado brasileiro.

De fato, há margem para ampliar os índices de recuperação energética dos RSU em localidades em que seria possível incentivar a adoção de tecnologias de reciclagem e aproveitamento energético. Mas é importante mencionar que existem limitações quanto ao mercado consumidor, à localização das indústrias que se beneficiam desses insumos e à própria viabilidade econômico-financeira dos empreendimentos (como no caso do *waste-to-energy*, que depende de uma escala mínima). Além disso, o custo dessas tecnologias mais complexas pode ser um limitador, pois resultaria numa tarifa incompatível com a capacidade de pagamento de grande parte da população, em especial considerando que a cobrança por esses serviços ainda é incipiente no Brasil.

É importante considerar as externalidades proporcionadas pelo aproveitamento energético de RSU quando do cálculo dos custos e benefícios desse tipo de projeto, visto que benefícios ao meio ambiente e à qualidade de vida da população justificam eventuais subsídios para o setor. Isso ajudaria a tornar essas soluções mais viáveis, equiparando os ganhos privados ao tamanho do interesse público envolvido.

Destinação final em aterros sanitários

Por todos esses motivos, a principal forma de destinação final dos RSU no país ainda é o aterro sanitário. No entanto, ainda convivem lado a lado aterros sanitários e lixões ou aterros controlados (estas duas últimas soluções consideradas inadequadas), subsistindo um déficit importante na destinação final dos RSU no país. A título de comparação, atualmente existem 1.572 lixões e 598 aterros controlados. Já os aterros sanitários, que representam a solução ambientalmente adequada, somam 626 unidades e recebem 60% da massa de RSU gerada no país.

Figura 3 | Geração, coleta, recuperação, tratamento e destinação final adequada de RSU (milhões de toneladas por ano)



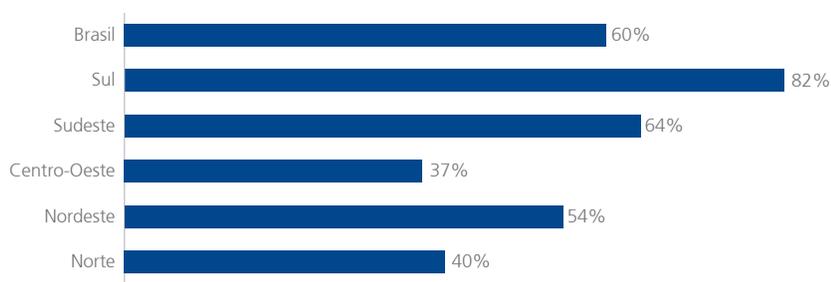
Fonte: Elaboração própria com base em Abrema (2023) e Brasil (2023b).

Assim, tem-se que cerca de 40% dos RSU gerados no país têm destinação final inadequada. Ao observar a situação sob a ótica dos municípios, tem-se que 49% deles não contam com solução de destinação final adequada para os RSU gerados. Os números refletem o fato de que boa parte dos municípios maiores, que são grandes geradores – principalmente os do Sul, Sudeste e Centro-Oeste –, já implementaram aterros sanitários para destinação final do RSU gerado. Nesses casos, inclusive, já estão sendo utilizadas tecnologias complementares ao aterro sanitário para aproveitamento energético dos RSU, como a

de geração de biogás, o qual pode ser utilizado como combustível ou como fonte para geração de energia.

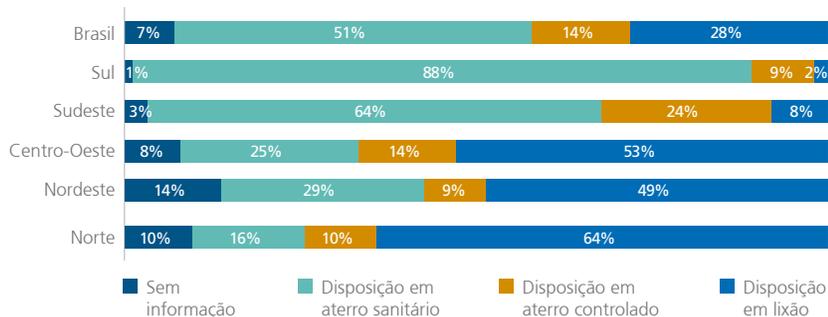
A distribuição desse déficit também é desigual entre os estados e regiões do país. Enquanto 88% dos municípios do Sul apresentam solução de destinação final adequada, o que abrange 82% da massa gerada, no Norte são apenas 16% dos municípios, o que corresponde a 40% da massa gerada.

Gráfico 2 | Percentual da massa de RSU com destinação final adequada, por macrorregião



Fonte: Elaboração própria com base em Abrema (2023) e Brasil (2023b).

Gráfico 3 | Formas de destinação final dos municípios de cada macrorregião



Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2023b).

Examinando os dados apresentados, é possível concluir que o serviço de manejo de RSU ainda apresenta um déficit relevante, em especial na

etapa de destinação final. A coleta seletiva, o tratamento e o aproveitamento energético dos RSU ainda são bastante subexplorados. Ademais, mesmo a solução de destinação final mais difundida e menos custosa para a maioria das localidades no Brasil – o aterro sanitário – ainda não alcança todos os municípios nem abrange toda a massa gerada.

Sinteticamente, no diagnóstico do setor, os desafios mapeados são os seguintes:

- i) Ampliação da coleta seletiva, do reuso e da reciclagem, em razão das barreiras culturais e educacionais e da necessidade de dar viabilidade econômico-financeira a essas atividades, o que depende da proximidade de mercados consumidores e dos custos comparativos em relação à confecção de novos produtos.
- ii) Viabilização da atividade dos catadores, pelos mesmos motivos do ponto (i), somados à necessidade de proximidade de indústrias de reciclagem e à incipiência do pagamento desses serviços.
- iii) Incipiência de solução de tratamento energético dos RSU, em razão da qualidade do RSU coletado (muitas vezes com secos e úmidos misturados), da existência de substitutos, dos custos elevados em comparação a outras fontes de energia disponíveis no país, escala mínima e da necessidade de se promover a modicidade tarifária.
- iv) Déficit relevante e bastante desigual entre os municípios e regiões da destinação final adequada via aterros sanitários, hoje a mais difundida.

As próximas seções tratam das características desse setor que dificultam a expansão da destinação final adequada, isto é, que contribuem para esse diagnóstico constatado anteriormente. Em especial, serão abordados: (i) a governança e gestão dos serviços de manejo de RSU; (ii) a sustentabilidade econômico-financeira, abrangendo o investimento

estimado para universalização e os custos de operação, incluindo o desafio de implementar a cobrança; e, por fim, (iii) como esses fatores se relacionam com os desafios e oportunidades para estruturação de projetos nesse setor.

Gestão e governança dos serviços de RSU

Titularidade e atores da gestão dos serviços

Historicamente, a titularidade dos serviços de saneamento é compreendida como sendo do município. A criação das companhias estaduais de saneamento básico (Cesb) durante o regime militar acabou por centralizar a prestação dos serviços de água e esgoto em empresas estaduais e, conseqüentemente, ampliou o papel dos estados na gestão desses serviços. O mesmo não ocorreu com o manejo de RSU, cuja gestão⁴ continuou no nível municipal, com pouca participação dos estados.

Em alguns casos, os municípios se organizam em consórcios para otimizar a gestão dos RSU. Em 2022, o Snis identificou 252 consórcios, abrangendo 1.491 municípios e 33,5 milhões de habitantes (Brasil, 2023b). As etapas do serviço de RSU que ficam sob responsabilidade do consórcio podem variar – a título de exemplo, em 58,7% dos municípios em que prevalece essa organização, o consórcio presta apenas o serviço de disposição final em aterro. Ou seja, o fato de o município fazer parte de um consórcio não implica, necessariamente, que todas as etapas da gestão dos RSU serão feitas de forma conjunta. Vale notar que a capacidade

4 A gestão inclui o planejamento, a regulação, a fiscalização, a prestação dos serviços e o controle social.

técnica e financeira do consórcio para gerir os serviços ou o contrato de concessão pode estar aquém do necessário, assim como a composição do consórcio pode ser instável, em razão da voluntariedade da adesão municipal e do alinhamento dos interesses dos municípios consorciados.

Mais recentemente, a Lei de Saneamento (Brasil, 2007; 2020) tornou obrigatória a regionalização dos serviços de saneamento pelos estados. Essa regionalização implica o envolvimento do estado nas funções públicas de saneamento, por meio de uma governança interfederativa, que pode se dar de três formas:

- i) região metropolitana, aglomeração urbana ou microrregião, a serem criadas por lei complementar, com adesão compulsória por parte dos municípios envolvidos;
- ii) unidade regional, que deve ser criada via lei ordinária, com adesão voluntária dos municípios; e
- iii) bloco de referência, criado por decreto da União na ausência de ação do estado, com adesão voluntária dos municípios.

Poucos estados, porém, incluíram os serviços de RSU em suas leis de regionalização: Amazonas, Bahia, Goiás, Espírito Santo e Santa Catarina, na Região Metropolitana de Florianópolis, têm leis aprovadas; e Minas Gerais tinha um projeto de lei, mas foi arquivado. A situação é bastante diferente no caso dos componentes de água e esgoto, em relação aos quais 23 estados já aprovaram leis de regionalização. Tal comparação ilustra a falta de centralidade que o tema de RSU tem para esses entes.

Prestação dos serviços

A prestação dos serviços pode se dar diretamente pelo poder público, via órgãos da administração pública indireta (autarquias, empresas públicas ou sociedades de economia mista) ou por concessões e parcerias

público-privadas (PPP). Cada etapa do manejo de RSU – coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final – pode ter formas de prestação distintas entre si. Segundo dados do Snis referentes a 2022, dos 5.060 municípios respondentes, 97,2% prestam o serviço diretamente (atendendo 78% da população); 1,4% via autarquias (15% da população); 0,7% por meio de empresas públicas (1% da população); 0,2% por sociedades de economia mista (5% da população); e 0,5% por concessões a empresas privadas (1% da população) (Brasil, 2023b).⁵ A proporção dos municípios com prestação direta diminui à medida que o tamanho da população aumenta, sendo substituída principalmente pela prestação via autarquias, sociedades de economia mista ou empresas públicas.

Esses números, porém, não refletem totalmente o grau de envolvimento do setor privado nos serviços de RSU. Em muitos casos, o município faz prestação direta ou via órgãos da administração indireta, mas terceiriza toda ou parte da gestão de RSU para empresas privadas, por meio da Lei de Licitações (Brasil, 2021) ou de uma sociedade de economia mista, autarquia ou empresa pública que firma contrato de PPP com o setor privado para uma ou mais etapas da gestão desses serviços (caso de Rio de Janeiro e São Paulo, por exemplo). Assim, o que se observa no Snis é que a natureza jurídica do prestador é geralmente declarada conforme o órgão gestor, mesmo quando há terceirização ou concessão parcial dos serviços.

A participação privada nos serviços de manejo de RSU ocorre principalmente por meio de contratações regidas pela Lei de Licitações (Brasil, 2021), ainda que as concessões e PPPs tenham ganhado fôlego mais

5 Essa classificação é autodeclarada pelos municípios e as formas de prestação são estabelecidas pelo Snis. Em relação à prestação direta, configura-se quando o órgão responsável faz parte da administração pública direta (secretaria, departamento, serviço, seção ou setor), conforme Glossário de Informações do Snis. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/Glossario_Informacoes_RS2022.pdf. Acesso em: 26 mar. 2025.

recentemente, principalmente por meio de estruturações de projetos via Fundo de Estruturação de Projetos da Caixa Econômica Federal (FEP Caixa) e, desde 2022, via BNDES.⁶ Essas iniciativas visam estruturar melhor a participação da iniciativa privada em concessões regionalizadas e em contratos de longo prazo para os serviços de RSU.

Nesse sentido, a Lei 14.026/2020 estabeleceu que a delegação da prestação dos serviços de saneamento deve ser feita por concessão, ou seja, depende de prévia licitação (Brasil, 2020). Não obstante, deve-se ressaltar que o Decreto 11.599, de 12 de julho de 2023, apresentou a ressalva de que pode haver a terceirização dos serviços no caso de prestação direta (Brasil, 2023a). Esse dispositivo apaziguou a dúvida a respeito da legitimidade dessa forma de contratação diante da reforma do marco legal de saneamento e impactou principalmente o setor de RSU. Com isso, devem permanecer lado a lado a prestação privada via terceirização e via concessões e PPPs.

Outros atores relevantes, além dos titulares e das empresas privadas, são as cooperativas de catadores. Elas atuam na coleta e na triagem do material reciclável, e sua relação pode ser com os titulares dos serviços, com os proprietários dos aterros ou diretamente com as indústrias que fazem a reciclagem do material. Sua estrutura e condições de trabalho são muito variáveis e há grande dificuldade para garantir sua remuneração adequada. Também há o desafio da capacitação das cooperativas de catadores nos temas de gestão e uso de novas tecnologias de triagem, por exemplo.

Regulação

Em relação à regulação dos serviços, as informações indicam um estágio ainda incipiente. No diagnóstico do Snis referente a 2022 (Brasil, 2023b),

6 Por meio do FEP Caixa, já foram licitados dois projetos regionais – via consórcios – de gestão de RSU, e estão em estruturação outros 13. O BNDES atualmente está estruturando dois projetos de âmbito estadual.

consta que 65 agências reguladoras atuam em uma ou mais etapas da gestão de RSU, mas abrangem apenas 504 municípios. Nesse relatório, porém, não há detalhamento sobre as atividades de regulação desempenhadas por esses entes nem sobre sua governança.

Já no estudo sobre informações e indicadores de manejo de resíduos sólidos urbanos no contexto regulatório, feito pela Associação Brasileira de Agências Reguladoras (Abar), também referente a 2022, foram identificadas vinte agências reguladoras que tratam do tema de RSU – seis municipais, seis intermunicipais e oito estaduais (Abar, 2022). Dessas, apenas 13 editaram normas regulatórias e/ou fiscalizatórias dos serviços de RSU, distribuídas da seguinte forma: cinco normas sobre indicadores de desempenho, quatro sobre contabilidade regulatória, nove sobre transbordo e disposição final, oito sobre tarifas e 12 sobre condições gerais de prestação.

Observa-se, de forma geral, que boa parte dos serviços de RSU não é regulada. E, quando são, as entidades reguladoras infranacionais nem sempre dispõem de normas que cubram todas as etapas e aspectos da gestão dos serviços.

A Agência Nacional de Águas (ANA), em sua atribuição de editar normas de referência para o setor de saneamento, já editou duas normas relacionadas aos serviços de RSU: a Norma de Referência (NR) 1, de 19 de março de 2021, que trata da cobrança pelos serviços de RSU (ANA, 2021), e a NR 7, de 19 de março de 2024, que trata das condições gerais de prestação dos serviços de RSU (ANA, 2024b). Ainda assim, a ANA recebeu um quantitativo pequeno de informações quanto à comprovação de adoção das normas por parte dos municípios e agências reguladoras. Em relação à NR 1/2021, apenas 437 municípios inseriram no sistema da ANA informações sobre a cobrança pelos serviços de RSU (ANA, 2024a).

Sustentabilidade econômico-financeira

Nesta seção, serão abordados dois aspectos: os investimentos necessários para a universalização dos serviços (Capex) e os custos de operação envolvidos na prestação dos serviços de RSU (Opex), aos quais está intrinsecamente ligada a questão da cobrança. É importante destacar que, ao contrário do setor de água e esgoto, os volumes de Opex são mais significativos que os de Capex. Nesse sentido, torna-se ainda mais relevante a cobrança pelos serviços, que, como será visto, ainda é incipiente e, portanto, insuficiente para cobrir os custos com a gestão dos RSU.

Investimentos

Começando pelo Capex, o Plansab traçou três cenários de investimentos para alcançar a universalização dos serviços de RSU até 2033 (Brasil, 2023c), com base nas metas do Planares e da PNRS (Brasil, 2010, 2020). As metas nacionais a serem alcançadas são:

- coleta indiferenciada para 95,4% da população;
- 100% da população urbana com coleta seletiva;
- reciclagem de 20% da massa coletada nas regiões Sul e Sudeste, e 10% nas demais regiões;
- 10% de compostagem; e
- 100% dos municípios e da massa de RSU gerada com destinação final adequada em aterro sanitário (o prazo desta última meta era o ano de 2024, já descumprido).

Essas estimativas não incluem nenhuma forma de aproveitamento energético dos RSU (biogás, coprocessamento ou *waste-to-energy*). Segundo o Plansab, isso se deve ao fato de não haver dados suficientes sobre as unidades existentes, impossibilitando uma projeção adequada de novas unidades, demandando estudos mais aprofundados.

Os investimentos estimados levam em consideração todas as etapas da gestão dos serviços de RSU, e os cenários variam conforme os graus de regionalização, que impactam os investimentos nas etapas de transbordo, triagem, compostagem e aterros sanitários. Os três cenários são: (i) sem regionalização; (ii) com regionalização parcial, que considera os municípios com potencial de agrupamento (integrantes de região metropolitana, de consórcios para gestão de RSU ou que compartilham unidades de disposição final); e (iii) com regionalização total, que considera o compartilhamento de soluções de destinação final em aterro sanitário por todos os municípios. Essas diferentes formas de organização da gestão dos serviços impactam as estimativas de investimentos por meio de ganhos de escala na destinação final, que se refletem principalmente nos investimentos estimados em aterro (menor investimento quanto maior for a regionalização) e transbordo (maior investimento quanto maior for a regionalização).

Tabela 1 | Estimativas de investimento do Plansab para os serviços de manejo de RSU (R\$ bilhões, 2023)

Cenário	Expansão	Reposição	Total
Sem regionalização	31,7	52,1	83,8
Regionalização parcial	29,8	49,4	79,2
Regionalização total	28,7	47,5	76,2

Fonte: Brasil (2023c).

Um primeiro dado que chama a atenção é o volume total de recursos estimados. Comparando com os dados de água e esgoto, cujas estimativas são apresentadas também no Plansab, é possível compreender que o esforço de mobilização de capital para investimentos no setor de RSU é bem inferior. O investimento total estimado para água e esgoto é de cerca de R\$ 564 bilhões (a preços de 2023), ou seja, mais de sete vezes o valor previsto para o manejo de RSU no cenário de regionalização parcial.

O segundo dado é que os valores de reposição são superiores aos de expansão. Isso se deve, principalmente, aos altos valores de reposição dos serviços de coleta regular – quase universalizada e com baixo valor de expansão – e dos aterros sanitários – que, apesar de necessitarem de uma expansão significativa, já contam com estoque suficiente para demandar reposição devido à depreciação. Esse ponto pode ser melhor observado em uma análise mais minuciosa do cenário de regionalização parcial, que parece o mais provável de se concretizar, dadas as diretrizes da Lei de Saneamento (Brasil, 2007; 2020) e dos programas de estruturação vigentes (tanto o FEP Caixa quanto os do BNDES).

Tabela 2 | Estimativas de investimento do Plansab para os serviços de manejo de RSU no cenário de regionalização parcial, estratificado por etapas (R\$ bilhões, 2023)

Cenário regionalização parcial	Transporte coleta regular	Transporte coleta seletiva	Transbordo	Aterro sanitário	Compostagem	Triagem	Total
Expansão	2,3	5,1	0,6	12,6	1,4	7,8	29,8
Reposição	19,8	6,9	0,7	17,3	0,4	4,3	49,4
Total	22,2	12,0	1,3	29,9	1,8	12,0	79,2
%	28%	15%	2%	38%	2%	15%	100%

Fonte: Brasil (2023c).

Juntos, os investimentos em transporte da coleta regular e em aterro sanitário somam 66% do total necessário para o atingimento das metas. Os valores do investimento em transporte da coleta seletiva e triagem são representativos, o que provavelmente se deve à meta bastante ousada de 100% de coleta seletiva na área urbana. Isso porque, como visto antes, a coleta seletiva e a triagem são etapas importantes para a reciclagem, mas sua viabilidade depende – além da infraestrutura – de fatores como existência de mercado consumidor, proximidade da indústria e custos comparativos em relação à produção de novos materiais.

Por outro lado, essas estimativas não incluem formas de destinação final relacionadas ao aproveitamento energético dos RSU, cujos custos seriam mais elevados do que os de implantação de aterro sanitário. Ainda que essas tecnologias não sejam viáveis em todo o território, poderiam ser aplicadas em algumas localidades, substituindo parcialmente ou complementando a destinação final no aterro sanitário.

Por fim, cabe mencionar que o Plansab estimou o investimento necessário para recuperar as áreas degradadas (lixões) existentes no país. O montante, relacionado aos projetos de recuperação de áreas degradadas (PRAD), foi estimado em R\$ 269,5 milhões (preços de 2023), o que representa 0,34% do investimento estimado para expansão e reposição dos ativos para a universalização dos serviços de manejo de RSU no cenário com regionalização parcial. Isso demonstra que o grande desafio para o encerramento dos lixões é fazer com que os resíduos, antes destinados inadequadamente, passem a contar com uma solução integrada apropriada.

O diagnóstico do Snis para os serviços de RSU não inclui um levantamento do investimento no setor, como faz para água e esgoto. Assim, não é possível comparar o nível de investimento atual em serviços de RSU com o estimado pelo Plansab.

Custos de operação

Em relação ao Opex, o Snis aponta que, em 2022, foram gastos R\$ 31,6 bilhões (preços de 2023) com os serviços de manejo de RSU. Ou seja, o custeio anual dos serviços é 40% do investimento necessário para a universalização no cenário de regionalização parcial. Esse fato indica que os gastos com Opex são mais relevantes para a sustentabilidade econômico-financeira do setor do que os com Capex. Comparando mais uma vez com os serviços de água e esgoto, as despesas de exploração declaradas pelos prestadores para o ano de 2022 representam 11% do valor total necessário para a universalização.⁷

A estratificação em gastos com agentes privados executores desses serviços e com execução direta por agentes públicos revela também a expressiva participação do setor privado: dos R\$ 31,6 bilhões de despesas anuais, R\$ 21,6 bilhões (69%) são gastos com a contratação de serviços privados sob diferentes formas. A Tabela 3 apresenta esses dados por região.

Tabela 3 | Despesas com serviços de manejo de RSU por região e por tipo de agente executor

Região	Despesa total com serviços de manejo de RSU*	Despesa com agentes privados executores de serviços de manejo de RSU*	Despesas dos agentes públicos com manejo de RSU*	% Despesa com agentes privados executores de serviços de manejo de RSU
Norte	1,67	0,99	0,68	59%
Nordeste	6,59	4,56	2,02	69%
Centro-Oeste	2,54	1,42	1,12	56%
Sudeste	16,69	11,50	5,19	69%
Sul	4,06	3,15	0,91	78%
Brasil	31,55	21,63	9,93	69%

Fonte: Brasil (2023b).

*Valores em bilhões, atualizados para preços de 2023.

⁷ O cálculo foi feito a partir dos dados de despesa de exploração (DEX) do Snis 2022, que incluem despesas com: pessoal próprio, produtos químicos, energia elétrica, serviço de terceiros, água importada, fiscais ou tributárias computadas na DEX, outras despesas de exploração e despesa com esgoto exportado. Esses dados foram atualizados para preços de 2023 e comparados com os dados de investimentos necessários para a universalização do Plansab.

Observa-se que a região Sudeste corresponde a mais da metade das despesas totais, o que pode ser decorrente tanto do fato de essa região ser a mais populosa quanto do de contar com o segundo maior índice de destinação final adequada, correspondente a 64% da massa de RSU gerada, abaixo apenas da região Sul, que destina adequadamente 82% de seu RSU. Outro dado interessante é que, em todas as regiões, mais de metade das despesas é destinada a agentes privados executores dos serviços de manejo de RSU. Fica, portanto, expressa a relevância da participação privada na gestão dos serviços, na maior parte das vezes via terceirização ou subcontratação, pois, como visto na seção anterior, concessões e PPPs com essa finalidade são minoria.

Cobrança pelos serviços

Para dar conta dessas despesas e assegurar a sustentabilidade dos serviços públicos de manejo de RSU, a Lei 14.026/2020, que reformou a Lei de Saneamento, estabeleceu que os entes públicos devem cobrar pelos serviços ou, quando necessário, utilizar subsídios ou subvenções. Especificamente em relação aos serviços de RSU, a lei estabeleceu que o titular deveria propor instrumento de cobrança em até 12 meses, ou seja, até julho de 2021, podendo ser penalizado nos termos da Lei de Responsabilidade Fiscal caso não o fizesse (Brasil, 2020). Conforme mencionado anteriormente, a ANA está acompanhando a implementação desse dispositivo legal, mas até o momento recebeu informações de apenas 437 municípios. Já segundo dados do Snis, 44% dos municípios da amostra de 5.060 cobram pelos serviços, como pode ser visto a seguir (Brasil, 2023b).

Tabela 4 | Percentual dos municípios que cobram pelo manejo de RSU comparado com o índice de destinação final adequada

Região	Municípios que cobram	Municípios que não cobram	Municípios da amostra do Snis	% Massa de RSU com destinação final adequada
Norte	27%	73%	272	40%
Nordeste	10%	90%	1.495	54%
Centro-Oeste	27%	73%	556	37%
Sudeste	53%	47%	1.577	64%
Sul	88%	12%	1.160	82%
Brasil	44%	56%	5.060	60%

Fonte: Brasil (2023b).

Esses dados identificam uma situação bastante desigual de cobrança entre as regiões, semelhante à situação da destinação final adequada. Ademais, é possível observar uma correlação positiva entre os índices de cobrança e de destinação final adequada, exceto para o Nordeste.

No entanto, a mera cobrança não é suficiente para garantir sustentabilidade econômico-financeira, sendo necessário que ela seja feita em valor adequado. O indicador de autossuficiência financeira do Snis reflete a relação entre as receitas e as despesas com os serviços de RSU. A Tabela 5 apresenta esse dado sobre o universo total de municípios e apenas sobre o universo dos municípios que cobram pelos serviços.

Tabela 5 | Relação entre despesas e receitas com os serviços de manejo de RSU em 2022

Região	Despesa total com serviços de manejo de RSU*	Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU*	Indicador de autossuficiência financeira do total de municípios (receitas/despesas)	Indicador de autossuficiência financeira dos municípios que cobram (receitas/despesas)
Norte	1,7	0,2	11,7%	28,5%
Nordeste	6,6	0,9	13,0%	31,5%
Centro-Oeste	2,5	0,5	19,2%	30,7%
Sudeste	16,7	6,4	38,3%	60,5%
Sul	4,1	2,5	60,6%	65,8%
Brasil	31,6	10,4	33,0%	53,8%

Fonte: Brasil (2023b).

*Valores em bilhões, atualizados para preços de 2023.

Mais uma vez, a desigualdade entre as regiões fica evidente. Além disso, apenas um terço das despesas totais com os serviços de manejo de RSU são cobertas pelas receitas arrecadadas por meio de taxas e tarifas. Um exemplo emblemático é o município de São Paulo, que, apesar de destinar adequadamente seu RSU, não realiza a cobrança. Não obstante, mesmo entre os municípios que cobram pelos serviços, as receitas cobrem apenas pouco mais de metade das despesas. Ou seja, a cobrança tem problemas de duas ordens: sua instituição e sua capacidade de cobrir adequadamente as despesas.

A forma de cobrança também importa. Em 81,9% dos municípios que realizam a cobrança, ela é feita por meio de taxa no boleto de imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana (IPTU). Outros mecanismos utilizados incluem: taxa em boleto de água (12,8% dos municípios), boleto específico (4,9% dos municípios) e tarifas (0,4% dos municípios).⁸ A cobrança via IPTU pode gerar problemas de base

8 Para saber mais sobre as variáveis que devem ser levadas em consideração quando da cobrança pelos serviços, acesse: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/proteger/roteiro-para-a-sustentabilidade-do-200bservico-publico-de-manejo-de-rsu/RoteiroparaaSustentabilidadedoServioPblicodeManejodeRSU.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

cadastral desatualizada e altos níveis de inadimplência. Por outro lado, a cobrança em boleto de água sofre resistência tanto de alguns prestadores desses serviços, por receio de aumentar a inadimplência, quanto de alguns prestadores de serviços de RSU, por não permitir o relacionamento direto com seus usuários.

A relação entre a natureza jurídica do órgão responsável pela gestão de RSU no município e a forma de cobrança adotada está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 | Relação entre a natureza jurídica do prestador ou responsável pela gestão dos serviços de RSU e a forma de cobrança adotada (%)

Natureza jurídica	Tarifa	Taxa em boleto específico	Taxa específica no mesmo boleto de água	Taxa específica no mesmo boleto do IPTU	Total geral
Administração pública direta	0,3%	4,9%	11,2%	83,6%	100,0%
Autarquia	3,3%	6,6%	72,1%	18,0%	100,0%
Empresa privada	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Empresa pública	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Sociedade de economia mista com administração pública	0,0%	9,1%	18,2%	72,7%	100,0%
Total geral	0,4%	4,9%	12,8%	81,9%	100,0%

Fonte: Brasil (2023b).

Nessa análise, observa-se a predominância da cobrança via IPTU em todos os tipos de natureza jurídica, seguida pela taxa específica no boleto de água, pela taxa em boleto específico e, por último, pela cobrança de tarifa. Nos casos em que os serviços de gestão de RSU e limpeza urbana são prestados conjuntamente, a cobrança deve ser feita via taxa, em razão de os serviços de limpeza urbana serem indivisíveis e, portanto, não passíveis de cobrança de tarifa (que pressupõe uma relação

individualizada do serviço). Esse é um elemento que ajuda a explicar a predominância das taxas como forma de cobrança.

Outro elemento trazido pela Tabela 6 é que, apesar de a cobrança de tarifa estar normalmente associada às prestações via empresas privadas ou sociedades de economia mista, é interessante notar que esse tipo de prestador realiza a cobrança via taxa (principalmente no IPTU). Pelo contrário, a cobrança de tarifa está presente nas prestações direta e via autarquias. Isso pode estar associado ao fato, já mencionado, de que, em alguns casos, o município é quem declara a natureza jurídica do órgão gestor dos serviços de manejo de RSU, e não o prestador de fato. Uma análise mais detalhada desses pontos pode ser objeto de próximos estudos.

Por fim, cumpre ressaltar que a cobrança dos serviços de manejo de RSU é feita para os domicílios, comércios e indústrias classificados como geradores desse tipo de resíduo. Ou seja, a prestação dos serviços deve ter seu equilíbrio econômico-financeiro garantido apenas pela cobrança dos geradores de RSU. Grandes geradores de resíduos que não são considerados RSU (como resíduos hospitalares, da construção civil e da grande indústria) não são incluídos no cálculo e nem na cobrança da tarifa. Caso a destinação final seja realizada em um aterro privado ou concessionado, esses outros tipos de resíduos podem ser recebidos, mediante contrato entre os grandes geradores e o prestador responsável pelo aterro, mas a receita recebida é acessória. Assim, há um menor alcance do mecanismo de subsídio cruzado entre classes de geradores de RSU, pois os grandes geradores estão excluídos desse cálculo, outra diferença importante em relação aos serviços de água e esgoto.

Síntese dos desafios do setor

A partir dos dados apresentados neste artigo, é possível destacar alguns desafios a serem superados para alcançar a universalização dos serviços de manejo de RSU. O encerramento dos lixões é um desafio, não tanto pelo custo de recuperar as áreas degradadas (que não é alto), mas pelo esforço a ser empreendido para destinar adequadamente os RSU que neles estão sendo despejados incorretamente. Esse esforço inclui a mobilização de capital para investimento, mas principalmente a sustentabilidade econômico-financeira para dar conta dos custos de operação dos serviços (proporcionalmente muito mais elevados). Para tal, é necessário tanto uma governança adequada – que inclui atores capacitados, organizados de forma a gerar ganhos de escala e escopo, e submetidos à regulação – quanto a garantia de recursos para financiar os serviços, principalmente sob a forma de receitas provenientes das cobranças (sejam aplicadas diretamente ou servindo como garantias para financiamentos), buscando promover o subsídio cruzado de forma a viabilizar os serviços em todas as localidades.

Em relação à governança, há o desafio de viabilizar ganhos de escala e escopo para as etapas de destinação final. A forma mais tradicional de organização dos municípios no setor dos RSU é por meio de consórcios. Ainda que o consórcio possa ser bastante efetivo para algumas finalidades – como compras públicas, por exemplo –, quando se trata da prestação ou delegação dos serviços, pode haver alguns entraves quanto à sua funcionalidade – como a complexidade de alinhamento de interesses entre as partes. Por outro lado, os estados ainda participam pouco da gestão dos serviços de manejo de RSU, mesmo tendo sido incentivados

a fazê-lo pelo comando de instituição de estruturas regionalizadas que consta na Lei 14.026/2020 (Brasil, 2020).

Os atores privados, como visto, participam ativamente do setor, sendo os principais destinatários dos recursos de custeio do manejo de RSU. Sua participação, porém, se dá principalmente sob a forma de terceirização, modelo de relação contratual de curto prazo e menos robusto (em relação a metas e alocação de risco) do que uma concessão. A convivência desse tipo de modelo com o de concessões e PPPs deve ser uma realidade no setor nos próximos anos e representa um desafio na estruturação de novos projetos. Em muitos casos, municípios maiores e mais populosos já contam com uma solução de destinação final, tornando mais complexa a estruturação de um projeto que a inclua.

Por fim, a forma de inclusão dos catadores na cadeia dos serviços é uma questão relevante. O relacionamento com o prestador de serviços, o escopo de suas atividades, a forma de sua remuneração, a capacitação para inserção eficiente no negócio de RSU e a estrutura adequada de trabalho são fatores cuja definição deve combinar os objetivos de garantir maior autonomia financeira e técnica a esses atores e de encontrar a melhor solução para a gestão dos RSU.

Em relação ao aspecto da sustentabilidade econômico-financeira, a cobrança adequada é de suma importância, ainda que subsídios e subvenções para esses serviços se justifiquem, dadas suas externalidades positivas. O desafio é de duas ordens. Primeiro, há a dificuldade de calcular taxas e tarifas necessárias para a adequada gestão dos RSU. Como visto, nem as estimativas do Plansab incluíram rotas tecnológicas de destinação final que resultassem na recuperação energética dos RSU. A dificuldade de estimar o potencial e o custo dessas soluções precisa ser superada na modelagem de novos projetos.

Ainda que possam contar com receitas acessórias, como as recebidas em razão da venda da energia produzida pelo RSU ou pelo recebimento de outros tipos de resíduos, o serviço precisa viabilizar sua sustentabilidade econômico-financeira por meio da taxa ou tarifa cobrada. Para a inclusão de municípios e populações mais carentes, podem ser utilizados mecanismos de subsídios cruzados ou, em caso de necessidade, outras fontes de recursos.⁹ Há também o desafio de se instituir a cobrança, medida considerada impopular por boa parte dos gestores municipais.

Questões relacionadas tanto à titularidade e governança quanto à cobrança foram objeto de alterações da Lei de Saneamento (Brasil, 2007; 2020) e têm sofrido modificações mais recentemente. No entanto, a necessidade de se criar uma transição para o novo modelo proposto – regionalização com participação do estado; prestação de serviços por terceiros via concessão; e ampliação da regulação – fez com que os decretos regulamentadores trouxessem regramentos que excepcionalizaram ou flexibilizaram o cumprimento dos normativos. O estabelecimento da regionalização, por exemplo, só será condição de acesso a recursos federais a partir de 2025; e, como já mencionado, a terceirização via Lei de Licitações (Brasil, 2021) foi explicitamente considerada legítima no âmbito da prestação direta.

9 Segundo o artigo 29 da Lei de Saneamento (Brasil, 2007): “os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada por meio de remuneração pela cobrança dos serviços, e, quando necessário, por outras formas adicionais, como subsídios ou subvenções”.

Considerações finais: oportunidades e desafios para a estruturação de projetos do BNDES

Considerando os motivos apresentados e o fato de que, em muitos casos, os entes subnacionais têm dificuldades de cumprir os normativos – em termos de sua capacidade técnica e institucional –, a simples modificação da lei não é suficiente para gerar mudanças concretas. Políticas públicas que apoiem estados e municípios na consecução dos objetivos legais são essenciais para que os incentivos da lei sejam colocados em prática. É nesse sentido que o FEP Caixa, o BNDES e o Fundo de Desenvolvimento da Infraestrutura Regional Sustentável (FIDRS) atuam.

Desde 2016, o FEP Caixa vem estruturando projetos visando contribuir para a universalização dos serviços de manejo de RSU, buscando superar alguns dos desafios mencionados. Sua atuação se dava, inicialmente, com municípios e consórcios, e atualmente as seleções se direcionam apenas a consórcios,¹⁰ haja vista a diretriz de regionalização dada pela Lei de Saneamento. Recentemente, o BNDES atuou em parceria com o FEP Caixa na estruturação de projetos de consórcios selecionados por meio do chamamento público organizado pela própria Caixa Econômica Federal (CEF).

O FIDRS, ligado ao Ministério de Desenvolvimento Regional, também pode atuar na estruturação de concessões e PPPs no setor de manejo de RSU. Esse fundo foi criado em 2021, mas sua operacionalização – seleção

10 Desde o início do FEP Caixa, já foram firmadas duas concessões, ambas por meio de consórcios de municípios: a do Consórcio Municipal Comares, no Ceará, e a do Consórcio Municipal Convale, em Minas Gerais. Em 2023, fez-se um novo chamamento público, em que foram selecionados 39 consórcios a serem apoiados por meio de estruturação de projetos.

da instituição administradora do fundo, aprovação do estatuto e política de investimento – só se completou mais recentemente. Até o momento, o FIDRS ainda não tem nenhuma estruturação em curso.

Em 2022, o BNDES passou a estruturar projetos de manejo de RSU via estado.¹¹ Nesse caso, o estado assume o papel de coordenador do projeto e integrador dos municípios em torno da estrutura de regionalização para os serviços de RSU, facilitando o processo de gestão da estruturação e a licitação do projeto de concessão. Esse tipo de projeto consegue abranger mais municípios em uma única estruturação – ainda que possa resultar em mais de um bloco de municípios a ser licitado –, gerando maiores ganhos de escala. O desafio está em engajar entes estaduais nesse tipo de projeto, dado seu pouco envolvimento histórico no manejo de RSU. Não obstante, a liderança do estado pode contribuir tanto no sentido de proporcionar uma visão mais abrangente dos serviços, permitindo uma melhor forma de agrupamento dos municípios, quanto de apoiar os municípios técnica, financeira e institucionalmente na busca de uma solução, já que nem todos têm os recursos adequados.

Sem prejuízo de outras formas de estruturação de projetos no setor de RSU, a estruturação de projetos de gestão de RSU via estado, atualmente em curso no BNDES, segue os seguintes princípios norteadores:

- i) Governança regionalizada capitaneada pelo estado, principalmente na destinação final: estado como coordenador de políticas, garantindo subsídio cruzado, exercendo papel de poder concedente e atendendo ao novo marco legal do saneamento.
- ii) Contrato abrangendo a gestão de várias soluções de destinação final: adotar uma nova lógica, em que um contrato possa

11 Atualmente estão em curso estruturas de projetos de manejo de RSU no Amapá e em Goiás, ambas abrangendo a totalidade dos municípios em cada estado.

abranjer muitas unidades de destinação final, dando escala e economicidade às concessões e promovendo subsídio cruzado.

- iii) Monitoramento do projeto por meio de indicadores de desempenho estabelecidos em contrato: permite alinhar interesses entre as partes e dar transparência à eficiência e eficácia da prestação dos serviços, aproximando-se do que já é feito nos contratos de água e esgoto, e em outras concessões recentes do setor de RSU.
- iv) Cobrança pelos serviços via tarifa: sustentabilidade do Opex no longo prazo garante sustentabilidade do negócio (esse ponto é comum a todos os formatos de concessão, mas merece destaque por sua relevância).

Não obstante, a estruturação de projetos de RSU, em geral, e esse modelo com liderança do estado, em específico, incorrem em alguns desafios, que devem ser tratados ao longo do processo de construção conjunta do projeto. Os principais desafios e questões identificados pelo BNDES, fruto de sua experiência inicial como estruturador de projetos de gestão de RSU, são:

- i) Diversidade de estágios do manejo de RSU entre os municípios: como agregar municípios que estão em momentos diferentes da estruturação da sua gestão de RSU (alguns que já têm contratos de licitação com aterros, outros que ainda utilizam lixão ou aterro controlado, por exemplo) em um mesmo projeto?
- ii) Escolha das etapas da gestão de RSU a serem incluídas no projeto: a coleta é uma etapa fundamental para a correta destinação final do RSU e para a garantia de recebimento do lixo por parte do concessionário responsável pela destinação final, mas costuma ter natureza bastante local e relevância na governança política municipal, então como mapear os benefícios e riscos da inclusão dessa etapa no projeto?

- iii) Estados ainda não são atores relevantes nesse setor: mesmo com o advento da Lei 14.026/2020 (Brasil, 2020), que incentiva a regionalização, a adesão dos estados a se tornarem coordenadores da gestão de RSU ainda é baixa. Disso, decorrem duas questões: como atrair esses entes para coordenar projetos? E, quando isso ocorrer, qual a melhor forma de promover a regionalização desses serviços, considerando que a gestão de RSU possui uma lógica distinta da de água e esgoto? E, mesmo se essas perguntas forem respondidas, ainda há o desafio de desenvolver um mercado para o novo modelo de prestação regionalizada.
- iv) Incentivo ao tratamento e valorização precisa ser combinado com modicidade tarifária: a incipiência de dados sobre a gestão atual dos serviços e a inexistência de cobrança, ou a cobrança inadequada, na maior parte das localidades dificulta o cálculo de uma tarifa módica e sustentável. E, considerando que parte da atratividade do projeto pode vir de seu potencial de receitas acessórias, cujo potencial e estabilidade ainda não foram demonstrados em casos concretos (por exemplo, venda de créditos de carbono), como incorporá-las no modelo, sem que sejam necessárias para garantir seu equilíbrio econômico-financeiro, mas, ao mesmo tempo, permitindo que contribuam para a modicidade tarifária por meio de algum compartilhamento?
- v) Governança e alinhamento entre grupos de interesses: em projetos liderados pelo estado, é preciso incluir os municípios na governança, endereçando suas principais questões para garantir sua viabilidade e sustentabilidade política: qual a melhor forma de fazer isso, considerando as estruturas de governança interfederativa preconizadas pelo novo marco legal do saneamento? Em relação às cooperativas de catadores, há o desafio de incluí-los no projeto de forma sustentável tanto para as cooperativas quanto para o contrato a ser firmado.

- vi) Cobrança: esse ponto é comum a todos os projetos do setor, mas merece destaque, pois é, ao mesmo tempo, um pilar de sustentação do projeto e um de seus grandes desafios. Nesse sentido, os desafios estão associados às questões de como instituir a tarifa, mitigando o risco de alta inadimplência. E, uma vez instituída a tarifa, qual é a melhor estratégia de cobrança?

Esses desafios devem ser objeto de discussão conjunta entre todos os participantes da estruturação do projeto, incluindo BNDES e entes públicos. Sua solução passa também pela coordenação e incentivos dos órgãos do Governo Federal responsáveis pelas políticas públicas de gestão de RSU (principalmente MMA e MCid). Políticas para o desenvolvimento de mercado para os produtos reciclados também podem envolver o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio e Serviços (MDIC), e políticas para a inclusão da energia proveniente de RSU na matriz brasileira podem envolver o Ministério de Minas e Energia (MME). Ademais, a atuação da Secretaria Especial do Programa de Parcerias de Investimentos do Governo Federal, a experiência acumulada e o conhecimento trocado entre as iniciativas de estruturação realizadas por meio do BNDES, da CEF e do FIDRS são essenciais para avançar nessas questões. O desenvolvimento das estruturações em curso no BNDES e em outras instituições ainda deve gerar mais reflexões e contribuições, que podem ser objetos de novos artigos.

Referências

ABAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS REGULADORAS. *Estudo sobre informações e indicadores de manejo de resíduos sólidos urbanos no contexto regulatório 2022*. Brasília, DF: Abar, 2022. Disponível em: <https://abiar.org.br/biblioteca/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023*. São Paulo: Abrema, 2023. Disponível em: https://boletimdosaneamento.com.br/wp-content/uploads/2024/01/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Resolução 79, de 14 de junho de 2021. Aprova a Norma de Referência 1 [...]. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 159, n. 110, p. 23, 15 jun. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-ana-n-79-de-14-de-junho-de-2021-325658638>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Comprovação do atendimento à Norma de Referência 1*. Brasília, DF: ANA, 30 abr. 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/conformidade-com-normas-de-referencia-ana/atendimento-a-nr-1-em-2023>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Resolução 187, de 19 de março de 2024. Aprova a Norma de Referência 7 [...]. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 162, n. 53, p. 83, 21 mar. 2024b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-ana-n-187-de-19-de-marco-de-2024-549335066>. Acesso em: 13 nov. 2024.

BRASIL. Decreto 11.599, de 12 de julho de 2023. Dispõe sobre a prestação regionalizada dos serviços públicos de saneamento básico [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 13 jul. 2023a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11599.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei 9.984, de 17 de julho de 2000 [...]. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Lei 14.133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 1º abr. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)*. Brasília, DF: MMA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Diagnóstico temático: manejo de resíduos sólidos urbanos (visão geral, ano de referência: 2022)*. Brasília, DF: MCid, 2023b. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/RESIDUOS_SOLIDOS/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2023_ATUALIZADO.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Modelo para cálculo de necessidade de investimentos – Plano Nacional de Saneamento Básico: caderno temático 1*. Brasília, DF: MCid, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/arquivos/CadernoTemtico11.pdf>. Acesso em: 11 nov 2024.

EXPORT COMPLEXITY AND BNDES SUPPORT

*Alexandre Kusunoki Lautenschlager**

Keywords: exports; foreign trade; economic development; economic complexity.

* Economist of the Foreign Trade Department 2 of the BNDES's Foreign Trade Division.

Resumo

Em sua atuação no financiamento às exportações brasileiras, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) tem como foco principal bens de capital e suas partes e peças. Entre outros fatores, tal ênfase reflete a percepção de que o segmento é, de forma geral, caracterizado por alto conteúdo tecnológico e valor agregado, características que costumam credenciar para apoio pelas políticas públicas no mundo. Um ângulo alternativo para entender o setor surgiu com a linha de pesquisa que analisa a complexidade dos produtos por meio de seus padrões de comercialização internacional, chegando-se a um indicador que evidencia a relação entre vantagens comparativas na exportação de bens complexos e maiores níveis de renda. Este artigo apresenta a trajetória de origem e os conceitos por trás dos indicadores de complexidade dos produtos, seus resultados, sua aplicação à pauta brasileira e à relação de produtos financiáveis das linhas de exportação BNDES Exim.

Abstract

The Brazilian Development Bank (BNDES) focuses primarily on capital goods and their parts and pieces when financing Brazilian exports. Among other factors, this emphasis reflects the segment is generally characterized by high technological content and added value, which are characteristics that tend to qualify it to be supported by public policies worldwide. An alternative way to understand the sector emerged with the line of research that analyzes the complexity of products through their international trade patterns, reaching an indicator that highlights the relation between comparative advantage in the export of complex goods and higher income levels. This article shows the path of origin and concepts behind the product complexity indicators, their results, and their application to Brazilian exports and to the list of financeable products of the BNDES Exim export lines.

Introdução

Apesar de sua posição como um dos principais fornecedores de crédito de médio e longo prazo para o comércio exterior nacional, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) necessariamente circunscreve seu escopo de atuação a uma parte das exportações brasileiras. Nesse sentido, o alvo primário de apoio do Banco é expresso na definição do chamado grupo 1 da relação de produtos financiáveis (RPF), uma lista com 2.721 produtos definidos por códigos da nomenclatura comum do mercosul (NCM), correspondentes em grande parte a bens de capital e suas partes e peças. Tal foco reflete o entendimento de que esses produtos necessitam de crédito em prazos mais longos, seja para produção ou comercialização, e que constituem um conjunto de bens com maior conteúdo tecnológico e valor agregado, atributos que frequentemente coincidem com o apoio público internacional.

A realização de vendas externas sem a correspondente oferta de financiamento para o importador é relevante principalmente em setores que precisam de grandes volumes de recursos e maior prazo de pagamento, características presentes nos produtos de maior sofisticação industrial, como aeronaves, embarcações, veículos ferroviários, ônibus, caminhões, máquinas e equipamentos (Catermol; Cruz, 2017). O crédito e a maturidade financeira dos países são fatores determinantes para a capacidade de exportar, não sendo os fatores tradicionalmente apontados na literatura econômica como suficientes para explicar os determinantes das exportações (Berman; Héricourt, 2010; Amit; Weinstein, 2011; Manova, 2013). Para superar os obstáculos existentes nos mercados privados, uma resposta recorrente é a criação de sistemas públicos de apoio às exportações, que se

mostram ferramentas efetivas na sua promoção (Stephens, 1999; Moser; Nestmann; Wedow, 2006; Auboin, 2021; Kabir *et al.*, 2024).

A percepção de que as características tecnológicas das exportações são um fator-chave para o desenvolvimento econômico remonta ao menos à escola cepalina (Bielschowsky, 2020) e, nas últimas duas décadas, estudos empíricos reforçaram tal argumento. A inauguração dessa nova linha de pesquisa foi realizada por Hausmann e Rodrik (2003), que defenderam razões teóricas para a importância da especialização setorial na explicação de armadilhas de pobreza. Desenvolvimentos posteriores buscaram, na esfera do comércio internacional, a correlação entre indicadores de vantagem comparativa revelada e níveis de renda, encontrando concentração de valores altos em uma gama restrita de produtos (Hausmann; Hwang; Rodrik, 2006). Autores dessa linha de pesquisa exploraram a estrutura da rede de especialização nas exportações mundiais (Hausmann; Klinger, 2007; Hidalgo *et al.*, 2007) e, a partir dela, derivaram indicadores de complexidade para produtos e países (Hausmann *et al.*, 2011). Os resultados desses cálculos são publicados e atualizados periodicamente no portal *on-line* Observatory of Economic Complexity (OEC).¹

Nas últimas duas décadas, a pesquisa no campo da complexidade econômica cresceu consideravelmente e hoje é aplicada por diversos autores para tratar questões como variações em padrões de diversificação, crescimento econômico, desigualdades de renda e gênero e sustentabilidade. Seu uso foi adotado em discussões de política e estratégias de desenvolvimento nacionais, inclusive em observatórios de dados em ministérios e agências governamentais de países como México, Chile, Brasil, Peru e Estônia (Hidalgo, 2023).

1 Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 26 mar. 2025.

Tratando do caso brasileiro, Britto, Romero e Freitas (2015) oferecem uma análise da dinâmica de competitividade e inovação da indústria nacional; Queiroz, Romero e Freitas (2024) investigam os resultados de complexidade a nível regional; e Britto *et al.* (2019) comparam as trajetórias de desenvolvimento e complexidade do Brasil e da Coreia do Sul. Com foco especificamente na atuação do BNDES, Romero *et al.* (2023) comparam os índices de complexidade em atividades que receberam desembolsos do Banco e as respectivas médias regionais nos períodos da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (2004-2008), da Política de Desenvolvimento Produtivo (2008-2011), do Plano Brasil Maior (2011-2014) e entre 2015 e 2022. Lopes *et al.* (2024) realizam exercício semelhante para o apoio nas linhas de comércio exterior (BNDES Exim) com base na classificação de atividades disponibilizada publicamente pelo BNDES.

Este artigo pretende oferecer novas informações para o debate sobre a complexidade do apoio do BNDES, efetuando o cruzamento entre os indicadores publicados pelo OEC e as informações a nível do produto sobre o conjunto de bens elegíveis e os que receberam efetivamente desembolsos nas linhas de comércio exterior. Além desta introdução, o trabalho está dividido em duas seções, seguidas pela conclusão. A primeira reconstitui o histórico da linha de pesquisa que levou ao indicador de complexidade, explicitando seu método de cálculo e analisando suas características e resultados. A segunda aborda de forma mais específica a pauta brasileira de exportações, mostrando a trajetória recente de sua complexidade e como o índice está refletido na RPF e nas exportações efetivamente apoiadas. A conclusão sumariza os principais resultados encontrados.

O índice de complexidade: antecedentes e forma de cálculo

Origens e desenvolvimento da linha de pesquisa: PRODY/EXPY e *product space*

Segundo Hausmann e Rodrik (2003), as vendas externas dos países frequentemente se concentram em poucos produtos, e nações menos desenvolvidas podem sofrer com o subinvestimento em setores mais modernos e dinâmicos. Para solucionar esse problema, os autores recomendam o desenho e a aplicação de políticas públicas que estimulem o investimento em tais indústrias, bem como a adoção de mecanismos disciplinadores na forma de exigências de desempenho. A atuação governamental via oferta de crédito e garantias seria uma das opções de apoio, tendo até algumas vantagens vis-à-vis subsídios diretos ou proteção tarifária.

A partir dessa base conceitual, Hausmann, Hwang e Rodrik (2006) avançam e dizem que certos setores são mais produtivos que outros, de modo que os países que privilegiam o desenvolvimento de suas capacidades nesses setores são beneficiados com maior crescimento econômico. Para o teste empírico de sua hipótese, os autores aproximam a estrutura econômica dos países pela composição setorial de suas exportações e avaliam como tal composição se correlaciona com distintos níveis de riqueza. Dois índices são calculados no exercício econométrico: o PRODY é a soma do produto interno bruto (PIB) *per capita* dos países exportadores de certo produto, ponderada pela vantagem comparativa revelada de cada país no produto; e EXPY é o nível de renda associado à pauta

de exportação de um país, obtido por meio da ponderação do PRODY de todos os produtos exportados por sua participação na pauta total.

Definindo as exportações totais do país j como a soma de suas vendas de cada produto, tem-se:

$$X_j = \sum_l x_{jl}$$

A vantagem comparativa revelada (RCA, na sigla em inglês) desse mesmo país j no produto k é dada por:

$$RCA_{j,k} = \frac{(x_{jk}/X_j)}{\sum_j (x_{jk}/X_j)}$$

com o PRODY do produto k sendo uma ponderação do PIB *per capita* do país j :

$$PRODY_k = \sum_j VCR_j Y_j$$

que é utilizado na definição de EXPY para um país i :

$$EXPY_i = \sum_l \left(\frac{x_{il}}{X_l} \right) PRODY_l$$

Utilizando a base de dados do UN Comtrade e Feenstra *et al.* (2005) para estimar modelos que controlam as variáveis comumente associadas com o crescimento econômico, Hausmann, Hwang e Rodrik (2006) encontram resultados estatisticamente significativos apontando que: (i) alguns produtos têm um PRODY sensivelmente mais elevado do que outros, ou seja, países ricos tendem a exportar um mesmo conjunto de produtos de alta produtividade e países mais pobres se concentram na

ponta oposta do espectro; e (ii) variações de EXPY são um instrumento para previsão de maior ou menor crescimento futuro. Para os autores, o crescimento econômico reflete um processo custoso de descoberta empresarial, no qual os recursos são direcionados das atividades de menor produtividade para as de maior, sendo uma característica importante de tais atividades a sua demanda internacional elástica, que permite produção em maior escala sem grandes prejuízos em termos de troca.

O próximo passo da linha de pesquisa foi a criação do *product space*, uma representação visual construída a partir de técnicas de análise de redes que mapeia como a proximidade entre dois pontos, a probabilidade de que um par de produtos seja exportado pelo mesmo país com vantagem comparativa revelada (Hausmann; Klinger, 2007; Hidalgo *et al.*, 2007). Para um par de produtos x e y , a distância $\Phi_{x,y}$ resulta de:

$$\Phi_{x,y} = \min \{P(VCR_x|VCR_y), P(VCR_y|VCR_x)\}$$

O fundamento teórico do trabalho reside em um modelo no qual sucessivas gerações “aprendem” a maneira de produzir diferentes bens e carregam essa informação para o futuro na forma de conhecimento tácito. Assim, avançar na produção de um bem para outro mais rentável implicaria uma dificuldade proporcional à “distância” entre eles.

No mapa gerado pela aplicação da metodologia à base de dados do comércio internacional de Feenstra *et al.* (2005), percebem-se regiões mais densas, que abrangem principalmente produtos manufaturados (Hausmann *et al.*). Porém, existe certa diversidade de categorias dentro dos maiores *clusters*, já que quase todas as divisões da Standard International Trade Classification (SITC) são representadas entre os cinquenta mais conectados. De forma similar, parte do padrão de proximidade entre produtos é capturada por classificações como a de Leamer (1984), baseada na intensidade de uso dos fatores, e a de Lall (2000), cujo critério

é conteúdo tecnológico, mas ainda assim existe um valor explicativo exclusivamente atribuído à estrutura do *product space*, demonstrando-se que a conectividade dos produtos atualmente exportados com vantagem comparativa revelada por um país é um fator importante na previsão de quais oportunidades serão exploradas em períodos subsequentes (Hausman; Klinger, 2007).

A análise mostra também que os países desenvolvidos e do Leste Asiático apresentam vantagem comparativa revelada justamente nos produtos mais conectados; em contrapartida, as nações em desenvolvimento, principalmente da América Latina e África Subsaariana, são especializadas em ramos mais isolados. Como a variável de proximidade é fortemente correlacionada com a probabilidade de que um país competitivo em determinados produtos ganhe também vantagem comparativa em seus vizinhos, o trabalho oferece, assim, uma explicação para a chamada armadilha de pobreza: o insucesso persistente de várias nações em convergir seu nível de renda para aquele do mundo desenvolvido.

O cálculo do índice de complexidade

Hidalgo (2009) reconheceu críticas de que os estudos anteriores são vulneráveis ao argumento de que meramente expressam uma relação de circularidade na forma de “países ricos exportam bens característicos de países ricos”. Para tentar solucionar essa fragilidade e isolar as características estruturais da rede das exportações mundiais, retirando a influência do dado da renda, Hidalgo e Hausmann introduzem o método dos reflexos, assim denominado por “produzir um conjunto simétrico de variáveis para dois tipos vértices na rede (países e produtos)” (2009, p. 2).

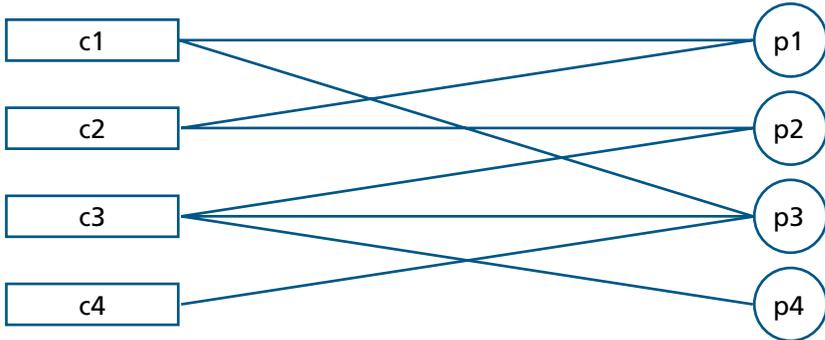
A hipótese por trás dessa nova família de trabalhos é que a competitividade de um país como exportador de um determinado produto revela a

existência de uma combinação de capacidades específicas (*capabilities*), as quais são exigidas em maior número quanto mais sofisticado o produto. Como ilustração, os autores oferecem uma analogia com o jogo *scrabble*, no qual os participantes devem montar palavras a partir das peças que possuem, cada uma contendo uma letra. O indicador de complexidade seria análogo a uma tentativa de estimar a quantidade de letras diferentes que um jogador possui observando, ao mesmo tempo, quantas palavras diferentes ele consegue montar e quantos dos outros jogadores conseguem montar as mesmas palavras. Jogadores que montam muitas palavras provavelmente possuem uma maior variedade de letras, enquanto palavras longas são mais raras e só podem ser montadas por poucos jogadores (Hausmann *et al.*, 2011).

Todavia, a própria analogia deixa claro que o simples fato de um produto ser exclusivo por possuir um número pequeno de exportadores, não é evidência suficiente de que ele seja complexo no sentido de sua produção requerer um grande número de capacidades. Tal condição é mais evidente quando o país exportador é também competitivo em outros produtos pouco ubíquos. Um jogador pode ser o único a formar uma palavra rara, não por deter um conjunto diverso de letras, mas porque suas letras são uma combinação tão específica que talvez não lhe permita criar outras palavras. No comércio internacional, esse seria o cenário para países detentores de recursos naturais muito exclusivos. A evidência de abundância de capacidades é então a capacidade de produzir exclusivamente uma grande gama de produtos não ubíquos (Hausmann *et al.*, 2011).

Em termos práticos, o método específico para o cálculo do índice de complexidade econômica (ECI, na sigla em inglês) ou de produto é mais facilmente compreendido por meio de um exemplo simplificado. Considere-se a seguinte rede que relaciona um conjunto de quatro países (c) com os respectivos produtos (p) em que eles têm vantagem comparativa, considerando-se o universo de quatro produtos disponíveis:

Figura 1 | Exemplo de rede bipartite entre países e produtos



Fonte: Elaboração própria com base na seção quatro do material suplementar de Hidalgo e Hausmann (2009).

A matriz M_{cp} traduz a estrutura dessa rede atribuindo a cada célula o valor 1, caso o produto (p) seja exportado com vantagem comparativa revelada acima de um certo limite pelo país (c), e 0, em caso contrário:

Tabela 1 | Exemplo de matriz M_{cp}

	p1	p2	p3	p4
c1	1	0	1	0
c2	1	1	0	0
c3	0	1	1	1
c4	0	0	1	0

Fonte: Elaboração própria.

O índice de complexidade pode ser calculado em qualquer uma de suas duas dimensões, produtos ou países, para um número arbitrário de níveis, ou reflexos. Seu resultado corresponde à média do índice no nível imediatamente anterior na dimensão oposta. Para o nível 0, os índices medem inicialmente a ubiquidade do produto; quantos países o exportam com vantagem comparativa; e a diversidade da pauta, é

dizer, quantos produtos o país exporta com vantagem comparativa. Para níveis posteriores, o índice de complexidade do produto p , após n iterações, é definido como:

$$k_{p,n} = \frac{1}{k_{p,0}} \sum_c M_{cp} k_{c,n-1}$$

onde:

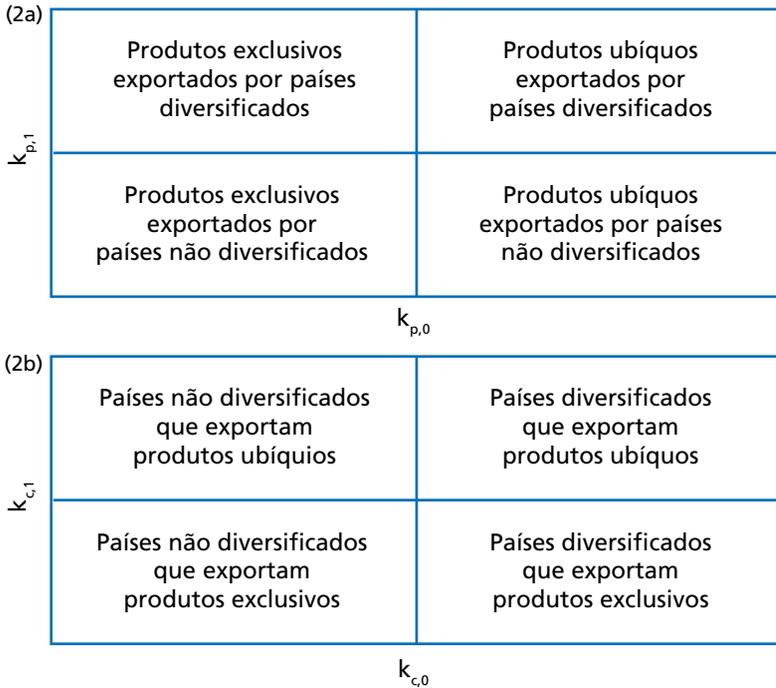
$$k_{p,0} = \sum_c M_{cp}$$

e vice-versa para o índice de complexidade da pauta do país $k_{c,n}$.

Como sugerido pela analogia do início desta seção, o arcabouço teórico conectando *capabilities* com produtos sugere uma relação inversa entre ubiquidade e diversidade: produtos que exigem um grande número de capacidades seriam exportados por um grupo pequeno de países, donos também de pautas diversificadas, enquanto produtos mais simples seriam exportados por muitos países, em sua maioria com pautas concentradas. Graficamente, a maioria dos produtos e países ficaria distribuída em torno de uma linha conectando o quadrante superior esquerdo e inferior direito nos diagramas que relacionam os dois primeiros reflexos de cada índice, tal como nas figuras 2a e 2b da página seguinte.

Assim, é possível estabelecer uma ordem crescente de complexidade para produtos observando os reflexos ímpares de seu indicador, e, no caso dos países, os reflexos pares. Quanto maior o nível do reflexo, mais refinada será a informação. A vantagem do método é demonstrada pela sua aplicação ao exemplo da Tabela 2, que gera os resultados apresentados na página seguinte.

Figuras 2a e 2b | Diagramas dos dois primeiros reflexos dos índices de complexidade de produtos e países



Fonte: Elaboração própria.

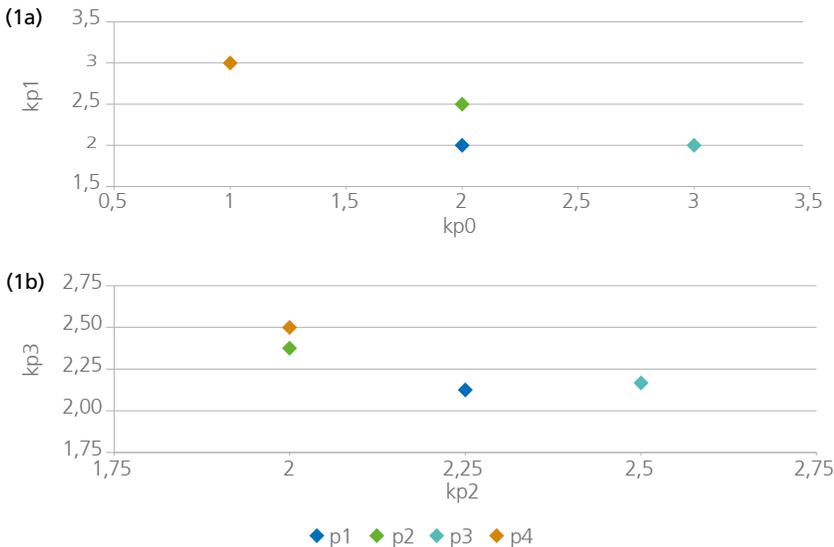
Tabela 2 | Exemplo da aplicação do método dos reflexos

n	0	1	2	3
p1	2	$1/2 * (2+2) = 2$	$1/2 * (2,5 + 2) = 2,25$	$1/2 * (2 + 2,25) = 2,13$
p2	2	$1/2 * (2+3) = 2,5$	$1/2 * (2+2) = 2$	$1/2 * (2,25 + 2,5) = 2,38$
p3	3	$1/3 * (2+3+1) = 2$	$1/3 * (2,5+2+3) = 2,5$	$1/3 * (2+2,5+2) = 2,17$
p4	1	$1/1 * (3) = 3$	$1/1 * (2) = 2$	$1/1 * (2,5) = 2,5$
c1	2	$1/2 * (2+3) = 2,5$	$1/2 * (2+2) = 2$	$1/2 * (2,25+2,5) = 2,38$
c2	2	$1/2 * (2+2) = 2$	$1/2 * (2+2,5) = 2,25$	$1/2 * (2,25+2) = 2,13$
c3	3	$1/3 * (2+3+1) = 2$	$1/3 * (2,5+2+3) = 2,5$	$1/3 * (2+2,5+2) = 2,17$
c4	1	$1/1 * (3) = 3$	$1/1 * (2) = 2$	$1/1 * (2,5) = 2,5$

Fonte: Elaboração própria.

Pela ótica dos produtos, a primeira iteração ($k_{p,1}$) já indica como item mais complexo o produto 4, uma vez que ele é exportado exclusivamente pelo país 3, que é também exportador dos produtos 2 e 3, de ubiqüidades mediana e alta, respectivamente. O produto 2 também aparece inequivocamente como o segundo mais complexo, mas a terceira colocação abriga os produtos 1 e 3. O motivo é que cada um dos produtos tem características opostas, de modo que se cancelam. Se, por um lado, o produto 1 é exportado por dois países medianamente diversificados (países 1 e 2), por outro lado o produto 3 é exportado por três países, cada um com diferentes níveis de diversificação (países 1, 3 e 4). Um desempate é possível quando se considera o próximo reflexo ímpar ($k_{p,3}$), que estabelece a ordem definitiva de complexidade, com o produto 1 no posto mais baixo da escala. Os gráficos 1a e 1b ilustram essa mudança de posições ao longo dos eixos k_c e k_p para a sequência de reflexos.

Gráficos 1a e 1b | Diagramas do método dos reflexos aplicado



Fonte: Elaboração própria.

Dado o grande número de pares país-produto existentes no mundo, a aplicação do método dos reflexos à base de dados do comércio internacional demanda a análise dos índices em níveis elevados, para que se visualize de forma clara o *ranking* de complexidade. Por isso, Hidalgo (2009) utiliza $k_{p,19}$ e $k_{c,18}$ para medir a complexidade de produtos e países. Hausmann *et al.* (2011) dispensam a necessidade de arbitrar um número de iterações nos índices ao introduzirem uma fórmula generalizada que atende aos mesmos conceitos definidos anteriormente. Formalmente, a combinação das equações de $k_{p,n}$ e $k_{c,n-1}$ resulta:

$$k_{p,n} = \frac{1}{k_{p,0}} \sum_c M_{cp} \frac{1}{k_{c,0}} \sum_{p'} M_{cp'} \cdot k_{p',n-2}$$

ou:

$$k_{p,n} = \sum_{p'} k_{p',n-2} \sum \frac{M_{cp} M_{cp'}}{k_{p,0} k_{c,0}}$$

que pode ser simplificada para:

$$k_{p,n} = \sum_{p'} \tilde{M}_{pp'} \cdot k_{p',n-2}$$

com:

$$\tilde{M}_{pp'} = \sum \frac{M_{cp} M_{cp'}}{k_{p,0} k_{c,0}}$$

Na penúltima equação, $k_{p,n-2}$ é um autovetor da matriz $\tilde{M}_{pp'}$ e $k_{p,n} = k_{p,n-2} = 1$ é uma solução possível para a igualdade. Como um vetor constituído apenas por repetições do número 1 não é informativo, os autores escolhem como base para a medida de complexidade o autovetor \vec{Q} , associado com o segundo maior autovalor da matriz $\tilde{M}_{pp'}$ (Hausmann *et al.*, 2011).

Com $\langle \vec{Q} \rangle$, a média do autovetor \vec{Q} e $stdev$, seu desvio-padrão, o índice de complexidade do produto (PCI, na sigla em inglês) é dado por:

$$PCI = \frac{\vec{Q} - \langle \vec{Q} \rangle}{stdev(\vec{Q})}$$

Sendo o análogo para países, o já mencionado ECI é calculado pelo mesmo procedimento, com substituição das variáveis necessárias.

A complexidade das exportações mundiais e brasileiras

Resultados dos índices de complexidade econômica e do produto

Assim como as outras iniciativas da linha de pesquisa citadas na seção "Origens e desenvolvimento da linha de pesquisa: PRODY/EXPY e *product space*", o índice de complexidade acumula volume considerável de evidência empírica em seu favor como instrumento de diferenciação entre produtos no comércio internacional. Hausmann *et al.* (2011) utilizam como método para validação o cálculo econométrico de uma equação de crescimento, contrastando o poder explicativo do ECI em prever a variação do PIB *per capita* em intervalos de cinco ou dez anos, desde 1978, em comparação a outras variáveis tradicionais em exercícios desse tipo. A comparação inicial, que serve de base para as demais, abrange duas versões da equação: uma que, além de uma constante, considera como variáveis independentes apenas o PIB *per capita* inicial e o aumento de exportações de recursos naturais; e outra que incorpora

à primeira o ECI no primeiro ano do período e sua interação com o PIB *per capita* inicial. Os resultados obtidos dão conta de que a adição do ECI eleva a variância explicada pela equação (R^2) de 28,5% para 43,4%, representando o aumento de praticamente um terço.

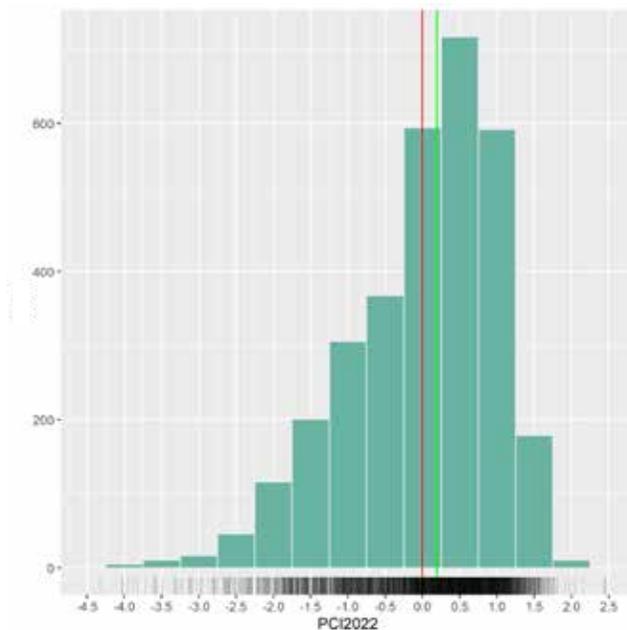
Nesse contexto, os autores enfatizam que o ECI não é meramente uma medida de diversificação das exportações, uma vez que a concentração da pauta de comércio exterior, medida pelo índice Hirschman-Herfindahl, não tem significância estatística para a equação de crescimento depois que o ECI é incorporado como uma variável explicativa. Outros exercícios econométricos realizados concluem que a contribuição do ECI para o R^2 da equação é mais significativa que a soma de diversas medidas de qualidade institucional, como estabilidade política, *accountability*, *rule of law*, regulação, efetividade do governo e controle da corrupção. A complexidade econômica também se revela de forma consistente, melhor para explicar trajetórias de crescimento do que fatores educacionais (anos de escolaridade, desempenho em testes padronizados internacionais e matrículas no segundo e terceiro grau) e a nota aferida pelo país no índice de competitividade global do Fórum Econômico Mundial.

Consoante a estrutura da rede do comércio internacional revelada pelo *product space*, a distribuição de valores do PCI é heterogênea. Em 2022, ano mais recente disponível na base de dados do OEC, que abrange 3.167 produtos classificados de acordo com a abertura de seis dígitos do sistema harmonizado, revisão de 2022 (SH22), a mediana do PCI foi de 0,19, próxima da média (0,0).² Enquanto certa concentração é observada em faixas intermediárias, conforme se avança no sentido dos extremos da distribuição, o número de observações é progressivamente reduzido,

2 Os códigos da NCM com oito dígitos são um desdobramento da classificação do sistema harmonizado (SH), que possui apenas aberturas até seis dígitos. Para produtos, o OEC fornece cálculos do índice de complexidade para as revisões de 1992, 1996, 2012 e 2022 do SH. A análise nesta e na próxima seção utiliza a revisão de 2022 do SH (SH22) porque ela é a classificação que facilita a correspondência com a RPF.

mas com um ritmo de queda menos acentuado no espectro inferior de valores (Gráfico 2). Especificamente, as faixas de -4,5 a -4 e de 2 a 2,5 contam, cada uma, com três e seis produtos. Apenas seis códigos têm PCI aferido acima de 2, e 24 o têm abaixo de -3. Os valores mínimo e máximo da escala foram, no ano em questão, -4,32 e 2,46.

Gráfico 2 | Distribuição de valores do PCI (2022)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC. Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 26 mar. 2025.

Nota: Média e mediana representadas, respectivamente, pelas linhas em vermelho e verde.

Entre os dez produtos mais complexos de acordo com o PCI, encontramos bens do complexo de máquinas e instrumentos, bem como insumos industriais especializados (produtos químicos e plásticos e borrachas); na ponta oposta estão produtos baseados em recursos naturais ou intensivos em trabalho. Reforçando a validade dos cálculos econométricos citados anteriormente, chama a atenção que, a despeito de o índice de

complexidade não incorporar a renda em seu cálculo, sua correlação com o desenvolvimento econômico fica evidente na lista de países que lideram as exportações dos produtos em cada extremo da ordem de complexidade de produtos. A China é o único país em desenvolvimento com comércio relevante entre produtos muito complexos, e seu rápido crescimento nas últimas décadas torna o país uma clara exceção à regra. Demais exportadores de produtos de altíssima complexidade são Alemanha, Coreia do Sul, Estados Unidos da América (EUA), Japão, Reino Unido, Singapura e Suíça. Ao mesmo tempo, países com baixo PIB *per capita* são os líderes em exportações de produtos com baixa complexidade. Os dez produtos menos complexos em 2022 têm como principal origem países pobres e em desenvolvimento da América Latina, África e Ásia (Tabela 3).³

Tabela 3 | Dez produtos mais e menos complexos (2022)

Rk	SH22	Descrição	Setor	Principais exportadores 2022	PCI 2022
1	846140	Máquinas para cortar ou acabar engrenagens	Máquinas	Alemanha (53,6%); Suíça (18,0%)	2,46
2	392073	Outras chapas de acetato de celulose	Plásticos e borrachas	Japão (71,2%); Coreia do Sul (10,6%)	2,44
3	900120	Matérias polarizantes em folhas ou em placas	Instrumentos	Coreia do Sul (40,5%); Japão (36,9%)	2,44
4	284190	Sais dos ácidos oxometálicos ou peroxometálicos, outros	Produtos químicos	Coreia do Sul (55,7%); Japão (24,7%)	2,15

(Continua)

3 A classificação dos países exportadores de cada produto e demais informações a seguir sobre os fluxos de comércio mundial são baseadas nos dados da Base pour l'analyse du commerce international (BACI), do Centre d'études prospectives et d'informations internationales (CEPII). Para mais informações sobre a BACI, ver Gaulier e Zignago (2010).

(Continuação)

Rk	SH22	Descrição	Setor	Principais exportadores 2022	PCI 2022
5	848610	Máquinas e aparelhos para fabricação de boules ou wafers	Máquinas	Japão (39,6%); Outros Ásia (19,5%)	2,04
6	400249	Borracha de cloropreno (clorobutadieno) (CR) exceto látex	Plásticos e borrachas	Japão (53,6%); Alemanha (16,5%)	2,01
7	846024	Máquinas-ferramentas para retificar, de comando numérico	Máquinas	Alemanha (29,0%); Japão (23,0%)	1,97
8	846242	Máquinas (incluindo as prensas) para puncionar ou para chanfrar, de comando numérico	Máquinas	Alemanha (25,3%); Japão (19,7%)	1,92
9	290613	Esteróis e inositóis	Produtos químicos	Alemanha (66,2%); China (16,0%)	1,81
10	901210	Microscópios, exceto ópticos; difratógrafos	Instrumentos	Chêquia (30,2%); Países Baixos (18,8%)	1,80
3158	400129	Borracha natural em outras formas	Plásticos e borrachas	Laos (22,1%); Costa do Marfim (19,7%)	-3,57
3159	30572	Cabeças, caudas e bexigas-natatórias de peixes	Produtos animais	China, Hong Kong (14,5%); Vietnã (12,0%)	-3,59
3160	71360	Feijão-guando	Produtos vegetais	Moçambique (47,6%); Mianmar (23,0%)	-3,61
3161	120740	Sementes de gergelim	Produtos vegetais	Sudão (14,7%); Índia (12,7%)	-3,71
3162	400121	Borracha natural em folhas fumadas	Plásticos e borrachas	Tailândia (57,6%); Mianmar (13,5%)	-3,82

(Continua)

(Continuação)

Rk	SH22	Descrição	Setor	Principais exportadores 2022	PCI 2022
3163	400122	Borracha natural tecnicamente especificada (TSNR)	Plásticos e borrachas	Indonésia (31,5%); Tailândia (24,6%)	-3,88
3164	440349	Madeira em bruto, mesmo descascada, desalburnada ou esquadriada; outras de madeiras tropicais	Produtos de madeira	Papua-Nova Guiné (25,5%); Ilhas Salomão (12,3%)	-3,95
3165	180100	Cacau inteiro ou partido, em bruto ou torrado	Alimentos	Costa do Marfim (37,0%); Gana (13,8%)	-4,03
3166	130120	Goma arábica	Produtos vegetais	França (36,4%); Sudão (36,2%)	-4,03
3167	80131	Castanha de caju com casca	Produtos vegetais	Costa do Marfim (29,6%); Gana (15,7%)	-4,32

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC e Base pour l'analyse du commerce international (BACI), disponíveis, respectivamente, em: <https://oec.world/en> e https://www.cepii.fr/cepii/fr/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37. Acesso em: 25 mar. 2025.

Os resultados do cálculo do PCI também se alinham à base conceitual descrita na seção anterior. Em conformidade com a teoria que relaciona capacidades com competitividade exportadora, países com pauta mais complexa tendem a exportar um grande número de produtos relativamente exclusivos, e países com exportações de menor complexidade estão presentes em menos produtos, os quais, por sua vez, são produzidos por uma gama maior de competidores. Dentro do clube de dez nações com economias muitíssimo complexas, de acordo com o ECI, o número médio de produtos exportados com vantagem comparativa revelada acima de 1 é de 1.357, sendo que esses enfrentam nesses mercados uma média de 19 concorrentes na mesma condição ($RCA > 1$). Tais estatísticas são marcadamente diferentes entre os dez países cujas economias são consideradas como de menor complexidade, que exportam, em média, 45 produtos

com RCA maior que 1 e enfrentam uma média de 29,8 concorrentes também competitivos na exportação desses bens (Tabela 4).⁴

Tabela 4 | Número de produtos e competidores exportados por países menos e mais complexos (2022)

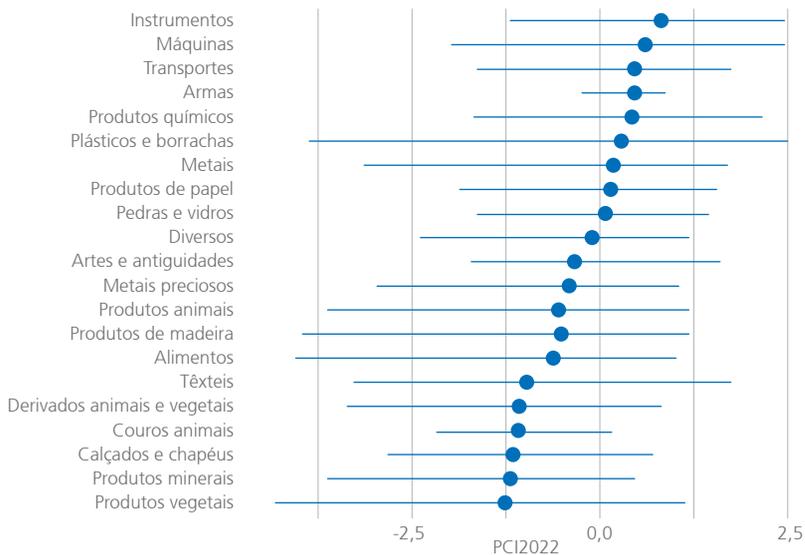
Rk	País	ECI	Produtos com RCA > 1	Número médio de competidores
1	Japão	1,82	1.445	16,2
2	Suíça	1,74	772	18,4
3	Coreia do Sul	1,62	998	16,9
4	Alemanha	1,61	2.247	18,2
5	Singapura	1,50	612	18,6
6	Reino Unido	1,42	1.494	20,6
7	EUA	1,42	1.667	18,3
8	Chêquia	1,42	1.422	20,8
9	Suécia	1,41	1.285	21,2
10	Áustria	1,41	1.628	21,0
48	Brasil	0,39	600	20,6
120	Angola	-1,73	23	31,4
121	Papua-Nova Guiné	-1,75	60	28,8
122	Congo	-1,83	43	29,5
123	Gabão	-1,86	47	27,7
124	Rep. Dem. do Congo	-1,89	51	28,5
125	Mali	-1,98	34	31,3
126	Camarões	-2,01	92	30,0
127	Libéria	-2,20	43	28,9
128	Guiné	-2,37	46	33,3
129	Chade	-2,92	10	28,6

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC e BACI, disponíveis, respectivamente, em: <https://oec.world/en> e https://www.cepii.fr/cepii/fr/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37. Acesso em: 25 mar. 2025.

4 Nos termos introduzidos na seção sobre o cálculo do índice de complexidade, as duas estatísticas citadas correspondem às dos grupos que compõem o topo e o fundo na escala do ECI, e a relação encontrada é exatamente aquela que liga os quadrantes superior-esquerdo e inferior-direito na Figura 2b.

É necessário fazer a ressalva de que, ainda que as posições mais altas e baixas no PCI contrastem certas diferenças setoriais de complexidade mais extremas, a distribuição do índice entre o conjunto de todos os setores é menos clara. Das 21 grandes seções do SH, dez têm um PCI médio maior que a média agregada. Contudo, os intervalos entre valores mínimos e máximos são amplos em todos os grupos, evidenciando que, mesmo naqueles grupos que poderiam ser classificados como menos complexos em princípio – como produtos vegetais; produtos minerais; derivados animais e vegetais; e calçados e chapéus –, existem produtos específicos de complexidade tão ou mais elevada que aqueles dos grupos mais complexos, como instrumentos, máquinas, plásticos e borrachas e produtos químicos (Gráfico 3). Portanto, a análise da pauta brasileira e da orientação do apoio do BNDES às exportações na próxima seção terá como ênfase preferencialmente a complexidade ao nível do produto.

Gráfico 3 | Média e desvio-padrão do PCI por grupo de produtos (2022)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC. Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 25 mar. 2025.

A complexidade das exportações brasileiras e o apoio do BNDES

Em 2022, de um total de US\$ 340,1 bilhões exportados, três códigos do SH concentraram 34,4% da pauta brasileira, todos com PCI nos estratos inferiores da escala de complexidade. A soja, cujo PCI é de -1,79, é responsável sozinha por 14% das exportações, ocupando a primeira posição, enquanto petróleo (PCI -2,81) e minério de ferro (PCI -2,67) ocupam, respectivamente, a segunda e terceira posições, obedecendo ao mesmo padrão de baixa complexidade. Entre os seiscentos produtos em que o Brasil é considerado competitivo ($RCA > 1$), a média do PCI é de -0,38. Em um prazo mais longo, o índice para o país como um todo, ou seja, o ECI brasileiro, após um período de alta entre 2003 e 2013, registra uma queda acentuada desde então, chegando, em 2022, ao menor nível da série, correspondente a 0,29 (Gráfico 4).

Gráfico 4 | ECI brasileiro (1998-2022)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC. Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 25 mar. 2025.

É interessante entender se os focos de apoio do BNDES às exportações contribuem negativa ou positivamente à complexidade da pauta nacional. A questão pode ser tratada a partir de pelo menos três ângulos: (i) a complexidade dos produtos apoiados pelas linhas de exportação; (ii) a complexidade dos produtos elegíveis ao apoio, tal como definidos pela RPF; e (iii) a existência de produtos de complexidade relativamente alta exportados pelo Brasil, mas que não estão enquadrados na definição atual da RPF.

No que diz respeito ao perfil de complexidade das exportações apoiadas pelo BNDES no segmento específico definido pelo grupo 1 da RPF, é perceptível que a maior parte dos produtos ostenta um PCI maior do que a média das vendas externas brasileiras, em alguns casos até mesmo ocupando estratos superiores da escala global de complexidade. Considerando-se as declarações únicas de exportação (DUE) entregues pelos exportadores financiados pelo produto BNDES Exim Pós-embarque, entre 2018 e 2023, do valor total de US\$ 3,8 bilhões, 85,7% estão classificadas sob o código 880240 do SH (aviões e outros veículos aéreos, de peso superior a 15.000 kg), cujo PCI é 0,51.⁵ Entre os dez produtos do grupo 1 com maior valor exportado no período, os maiores índices de complexidade são atribuídos a tratores superiores a 130kW (1,21) e pás mecânicas e escavadoras, com estrutura giratória (1,40). Curiosamente, o único índice negativo é visto justamente na categoria “outros” de pás mecânicas e escavadoras (-0,46).

5 O resultado para aeronaves exemplifica aquela que pode ser entendida como uma das limitações do índice de complexidade, derivada do fato de seu cálculo ser baseado em informações de comércio internacional classificadas em níveis algumas vezes ainda muito agregados e ultimamente expressas no valor de RCA de cada país. Nesse caso específico, o fluxo comercial do produto entre países, por se tratar de veículos amortizados em longo prazo e com alto preço, pode muitas vezes significar tão somente transferências de propriedade/uso dos bens. Ainda que a produção de aeronaves civis de maior porte ocorra em pouquíssimos países (EUA, Canadá, Brasil e nações europeias que formam a cadeia de fornecedores da Airbus), em 2022 países com RCA acima de 1 para tal código SH incluíam também Tailândia e Quirguistão. Nos quatro anos anteriores, constavam também na lista Chile, Mianmar, Namíbia, Cazaquistão e Kuwait, sem que eles demonstrassem desempenho consistente no setor em período anterior ou posterior.

Tabela 5 | PCI das exportações do grupo 1 apoiadas no BNDES Exim Pós-embarque

Código SH	Descrição	US\$ milhões	PCI 2022
880240	Aviões e outros veículos aéreos, de peso superior a 15 toneladas	3.194,79	0,51
841013	Turbinas hidráulicas, de potência superior a 10.000 kW	89,65	0,46
870210	Ônibus movidos a <i>diesel</i>	64,96	0,17
850164	Geradores de corrente alternada, de potência superior a 750 kVA	44,20	0,64
842959	Pás mecânicas, escavadores, carregadoras e pás carregadoras, outras	18,51	-0,46
870423	Caminhões movidos a <i>diesel</i> , de peso máximo superior a 20 toneladas	16,39	0,82
870193	Tratores, superior a 37 kW, mas não superior a 75 kW	14,11	0,54
843351	Ceifeiras-debulhadoras	12,74	0,78
870195	Tratores, superior a 130 kW	11,63	1,21
842952	Pás mecânicas e escavadoras, com estrutura giratória	11,03	1,40

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do BNDES e OEC, este último disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 25 mar. 2025.

Em relação às companhias que receberam desembolsos em operações de financiamento para capital de giro no produto BNDES Exim Pré-embarque entre 2018 e 2021, o exame da informação disponível quanto aos valores por elas exportados confirma a tendência à concentração do apoio em produtos de maior complexidade relativa. Entre os dez produtos com maiores exportações, quatro coincidem com os da lista apoiada no BNDES Exim Pós-embarque, incluindo os dois maiores índices de complexidade de ambas as seleções. Entre os demais, destacam-se partes para motores a *diesel* e *semi-diesel* (PCI 0,63) e outras máquinas e aparelhos para colheita (PCI 0,70), e mesmo o menor índice de complexidade ainda é positivo, na categoria de ônibus movidos a *diesel* (PCI 0,17).

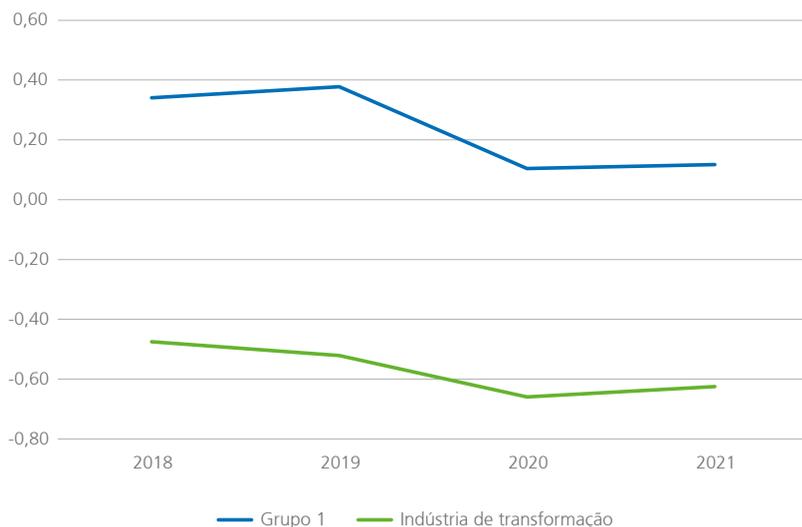
Tabela 6 | PCI das exportações do grupo 1 de apoiados no BNDES Exim Pré-embarque

Código SH	Descrição	Exportações 2018-2021 (US\$ milhões)	PCI 2022
880240	Aviões e outros veículos aéreos, de peso superior a 15 toneladas	2.584,76	0,51
850300	Partes para motores elétricos e geradores	525,81	0,59
870790	Carrocerias para tratores, ônibus, caminhões	440,08	0,49
842449	Outros pulverizadores para agricultura ou horticultura	274,69	0,51
840999	Partes para motores <i>diesel</i> e <i>semi-diesel</i>	270,08	0,63
843390	Partes de máquinas agrícolas	238,40	0,83
870195	Tratores, superior a 130 kW	214,98	1,21
870210	Ônibus movidos a <i>diesel</i>	185,54	0,17
843359	Outras máquinas e aparelhos para colheita	181,73	0,70
842952	Pás mecânicas e escavadoras, com estrutura giratória	140,03	1,40

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC. Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 25 mar. 2025.

Quando combinadas as exportações de produtos do grupo 1 das empresas apoiadas tanto no BNDES Exim Pós-embarque quanto no BNDES Exim Pré-embarque, o PCI ponderado permanece em patamar positivo durante todo o período de 2018 a 2021, com leve declínio do máximo de 0,38 em 2019. A redução pode ser atribuída, principalmente, a uma diminuição nas exportações de partes para motores elétricos e geradores (SH 850300) e de carrocerias para tratores, ônibus e caminhões (SH 870790), que ostentam PCIs bastante elevados. Como base de comparação, o mesmo cálculo do PCI ponderado das exportações brasileiras da indústria de transformação mostra resultados marcadamente negativos (Gráfico 5).

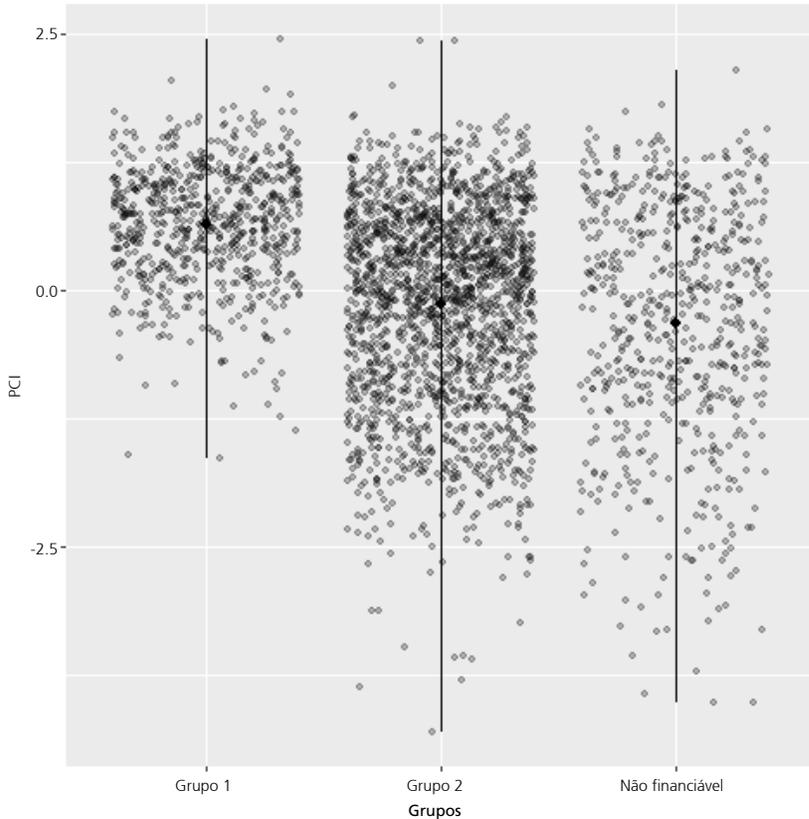
Gráfico 5 | PCI das exportações do grupo 1 de apoiados no BNDES Exim Pré-embarque e BNDES Exim Pós-embarque e da indústria de transformação



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC. Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 25 mar. 2025.

O cruzamento de todos os códigos da RPF com a complexidade de seus equivalentes no SH sustenta novamente que a orientação de política do BNDES tem certo sucesso em mirar produtos considerados como complexos. Existe uma perceptível aglomeração de casos do grupo 1 na porção mais alta de valores para o PCI de 2022, com bens do grupo 2 um pouco abaixo na mesma escala, ainda que com certa superposição (Gráfico 6). O grupo 2 abrange bens de consumo e intermediários industrializados, como têxteis, calçados, móveis, eletrodomésticos, farmoquímicos, produtos siderúrgicos e alguns alimentos. Ambiguidade maior é vista entre os bens não financiáveis, já que são excluídos produtos com complexidade menor que o mínimo observável em produtos financiáveis, mas há ainda os que exibem PCI elevado e estão alocados fora da RPF. Como ilustração, nada menos que 72 desses códigos superam o valor PCI de 1,0.

Gráfico 6 | Distribuição de PCI nos grupos da RPF e não financiáveis (2022)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC. Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 25 mar. 2025.

Nessa ótica, é premente saber em que proporção produtos mais complexos estão excluídos do apoio do BNDES para comércio exterior e são de fato exportados pelo Brasil com alguma expressividade. Em 2022, das exportações brasileiras totais de US\$ 336,59 bilhões registradas na BACI com correspondência na RPF, US\$ 33,67 bilhões foram de produtos do grupo 1, sendo que: 25,69% destes possuem PCI maior que 1; 62,28% PCI entre 0 e 1; e apenas 12,03% menor que 0. Em contraste, produtos não financiáveis estão fortemente concentrados na

faixa de PCI negativo, com somente US\$ 611,52 milhões exportados com PCI maior que 1. Produtos do grupo 2 são caracterizados por um perfil intermediário (Tabela 7).

Tabela 7 | Distribuição de PCI nos grupos da RPF e não financiáveis entre as exportações brasileiras (2022)

Faixa PCI	Grupo 1		Grupo 2		Não financiável		Total	
	US\$ bilhões	%	US\$ bilhões	%	US\$ bilhões	%	US\$ bilhões	%
Maior que 1	8,65	25,69%	2,00	2,95%	0,66	0,28%	11,31	3,36%
Entre 0 e 1	20,97	62,28%	18,26	26,98%	6,25	2,65%	45,47	13,51%
Menor que 0	4,05	12,03%	47,41	70,07%	228,35	97,06%	279,81	83,13%
Total	33,67	100,00%	67,67	100,00%	235,25	100,00%	336,59	100,00%

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC e BACI, disponíveis, respectivamente, em: <https://oec.world/en> e https://www.cepii.fr/cepii/fr/bdd_modele/bdd_modele_item.asp?id=37. Acesso em: 25 mar. 2025.

Por fim, entre 2018 e 2023, o valor médio anual de exportação de produtos do grupo 1 de empresas apoiadas no BNDES Exim Pré-embarque foi de US\$ 1,69 milhão, com um PCI médio de 0,69. Tendo tais pontos como requisitos mínimos, 56 produtos atualmente classificados como não financiáveis atendem a esses critérios de corte. Considerando-se apenas os dez com maior valor exportado, as exportações brasileiras somaram US\$ 776,7 milhões, com um PCI médio de 1,05, sendo quase todos produtos químicos (Tabela 8).

Tabela 8 | Produtos não financiáveis com PCI elevado (2022)

Código SH	Descrição	Exportação 2022 (US\$ milhões)	PCI 2022
811292	Gálio, háfnio, nióbio (colômbio), rênio e vanádio: obras, incluindo desperdícios, resíduos e sucata	122,46	0,96
284390	Compostos de metais preciosos exceto ouro, prata, amálgama	122,45	1,51
293339	Compostos heterocíclicos com ciclo piridina não condensado; outros	112,84	1,02
292610	Acrilonitrilo	98,45	1,26
130220	Matérias pécticas, pectinatos e pectatos	78,75	0,76
291612	Ésteres de ácido acrílico	54,20	0,83
291614	Ésteres de ácido metacrílico	52,97	1,00
292249	Aminoácidos e seus ésteres; sais destes produtos; outros	52,41	1,13
293299	Vários compostos heterocíclicos de oxigênio; outros	41,67	0,93
291020	Metiloxirano (óxido de propileno)	40,44	1,07

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do OEC. Disponível em: <https://oec.world/en>. Acesso em: 25 mar. 2025.

Conclusão

Ao longo da primeira seção, detalhou-se a evolução dos ECI e PCI atualmente publicados pelo OEC. Partindo de pesquisas iniciais que correlacionaram a exportação de produtos específicos com altos níveis de renda (PRODY e EXPY), o segundo foco da linha de pesquisa foi o padrão de coexportação entre produtos de diferentes categorias, o que pôde ser visualizado graficamente na rede do *product space*. O terceiro e mais recente estágio foi alcançado com a articulação de uma teoria sobre capacitações, estabelecendo uma relação inversa entre número de

produtos exportados competitivamente e número de competidores nos respectivos mercados. As versões generalizadas dos índices desenhados para capturar tal conceito, o ECI e o PCI, mostraram-se instrumentos robustos para previsão de crescimento do PIB, quando comparados a outras variáveis explicativas tradicionais, mesmo seus cálculos não envolvendo a renda de países exportadores.

Na seção sobre a complexidade das exportações mundiais e brasileiras, ao analisar a complexidade do comércio exterior brasileiro, expresso pelo ECI, evidenciou-se um claro declínio desde 2013. Fica colocado, então, o questionamento se o apoio do BNDES por meio dos financiamentos de suas linhas Exim busca e consegue alcançar produtos de maior complexidade. A importância de tal preocupação é justificada pela própria construção do índice de complexidade, que aponta que tais bens estão associados a capacidades para produção de outros também complexos, possibilitando uma diversificação virtuosa, com possíveis impactos de aumento do valor agregado na pauta e desenvolvimento nacional.

Os resultados obtidos demonstram que a orientação do BNDES em suas linhas de apoio às exportações se revelou relativamente acertada, tanto no conjunto de bens financiáveis quanto naqueles produtos concretamente exportados, já que ambos superaram a complexidade média da pauta nacional e da própria indústria de transformação como um todo. Porém, foi possível observar que existem produtos que, pela metodologia apresentada, acrescentam complexidade às exportações brasileiras com valores expressivos, mas não são passíveis de apoio pelo BNDES em suas linhas de comércio exterior.

Referências

AMIT, M.; WEINSTEIN, D. Exports and financial shocks. *The Quarterly Journal of Economics*, Cambridge, v. 126, n. 4, p. 1841-1877, 2011. Disponível em: <https://academic.oup.com/qje/article-abstract/126/4/1841/1922651?redirectedFrom=full-text>. Acesso em: 11 mar. 2025.

AUBOIN, M. *Trade finance, gaps and the COVID-19 pandemic: a review of events and policy responses to date*. Geneva: World Trade Organization, 2021. (WTO Staff Working Paper, n. ERSD-2021-5). Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/230619/1/1748274872.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.

BERMAN, N.; HÉRICOURT, J. Financial factors and the margins of trade: evidence from cross-country firm-level data. *Journal of Development Economics*, Amsterdam, v. 93, n. 2, p. 206-217, 2010. Disponível em: <https://shs.hal.science/halshs-00321632v1/document>. Acesso em: 11 mar. 2025.

BIELSCHOWSKY, R. (org.). *Cinquenta anos de pensamento na CEPAL*. Rio de Janeiro: Record: Cepal, 2020.

BRITTO, G. *et al.* The great divide: economic complexity and development paths in Brazil and the Republic of Korea. *CEPAL Review*, Santiago, v. 127, p. 191-213, 2019. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/9218a46b-4d68-42df-98bb-8ba5a8be6f6d/content>. Acesso em: 11 mar. 2025.

BRITTO, G.; ROMERO, J.P.; FREITAS, E. Competitividade industrial e inovação na abordagem da complexidade: uma análise do caso brasileiro. In: BARBOSA, N.; MARCONI, N.; PINHEIRO, M. C.; CARVALHO, L. (org.). *Indústria e desenvolvimento produtivo no Brasil*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. v. 1. p. 417-440.

CATERMOL, F. B.; CRUZ, L. E. M. *Lógica de atuação e efetividade das agências de crédito à exportação*. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. (Textos para discussão, n. 115). Disponível em: <http://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/handle/1408/11494>. Acesso em: 11 mar. 2025.

- FEENSTRA, R. C. *et al.* *World Trade Flows: 1962-2000*. Cambridge: NBER – National Bureau of Economic Research, 2005. (NBER Working Paper 11040). Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w11040>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- GAULIER, G.; ZIGNAGO, S. *BACI: International trade database at the product-level – the 1994-2007 version*. Paris: CEPII – Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales, 2010. (CEPII Working Paper, n. 2010-23). Disponível em: https://www.cepii.fr/pdf_pub/wp/2010/wp2010-23.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.
- HAUSMANN, R. *et al.* *The Atlas of Economic Complexity: mapping paths to prosperity*. Cambridge: MIT Press, 2011. Disponível em: https://growthlab.hks.harvard.edu/files/growthlab/files/atlas_2013_part1.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.
- HAUSMANN, R.; HWANG, J.; RODRIK, D. What you export matters. *Journal of Economic Growth*, Boston, v. 12, n. 1, p. 1-25, 2006. Disponível em: <https://drodrik.scholar.harvard.edu/files/dani-rodrik/files/what-you-export-matters.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- HAUSMANN, R.; KLINGER, B. *The structure of the product space and the evolution of comparative advantage*. Boston: CID – Center for International Development, 2007. (CID Working Paper, n. 146). Disponível em: <https://www.hks.harvard.edu/centers/cid/publications/faculty-working-papers/structure-product-space-and-evolution-comparative-advantage>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- HAUSMANN, R.; RODRIK, D. Economic development as self-discovery. *Journal of Development Economics*, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 603-633, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438780300124X?via%3Dihub>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- HIDALGO, C. A. *The dynamics of economic complexity and the product space over a 43 year period*. Boston: CID – Center for International Development, 2009. (CID Working Paper, n. 189). Disponível em: <https://www.hks.harvard.edu/centers/cid/publications/faculty-working-papers/dynamics-economic-complexity-and-product-space-over-42-year-period>. Acesso em: 11 mar. 2025.

- HIDALGO, C. A. The policy implications of economic complexity. *Research Policy*, Amsterdam, v. 52, n. 9, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733323001476>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- HIDALGO, C. A. *et al.* The product space conditions the development of nations. *Science*, New York, v. 317, n. 5837, p. 482-487, 2007. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1144581>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, D.C. v. 106, n. 26, p. 10570-10575, 2009. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0900943106>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- KABIR, P. *et al.* *Exim's exit*: the real effects of trade financing by export credit agencies. Cambridge: NBER – National Bureau of Economic Research, 2024. (NBER Working Paper, n. 32019). Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w32019/w32019.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.
- LALL, S. *The technological structure and performance of developing country manufactured exports, 1985-1998*. Oxford: University of Oxford, 2000. (Queen Elizabeth House Working Paper, n. 44). Disponível em: https://www.qeh.ox.ac.uk/sites/default/files/pdf_docs/qehwps44.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.
- LEAMER, E. E. *Sources of comparative advantage: theory and evidence*. Cambridge: MIT Press, 1984.
- LOPES, J. V. *et al.* *BNDES-EXIM: uma análise do financiamento e da complexidade das exportações de bens e serviços entre 2002 e 2023*. Belo Horizonte: Cedeplar UFMG – Grupo de Pesquisa em Políticas Públicas e Desenvolvimento da UFMG, 2024. (Nota Técnica 02-2024). Disponível em: <https://dataviva-site-production.s3.amazonaws.com/scholar/95/files/article>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- MANOVA, K. Credit constraints, heterogeneous firms, and international trade. *The Review of Economic Studies*, Oxford, v. 80, n. 2, p. 711-744, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/restud/rds036>. Acesso em: 11 mar. 2025.

MOSER, C.; NESTMANN, T.; WEDOW, M. Political risk and export promotion: evidence from Germany. *The World Economy*, Oxford, v. 31, n. 6, p. 781-803, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9701.2008.01102.x>. Acesso em: 11 mar. 2025.

QUEIROZ, A. R.; ROMERO, J. P.; FREITAS, E. Relatedness and regional economic complexity: good news for some, bad news for others. *Economia*, Niterói, v. 25, n. 2, p. 1-25, 2024. Disponível em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/econ-11-2023-0185/full/html?utm_source=repec&utm_medium=feed&utm_campaign=repec. Acesso em: 11 mar. 2025.

ROMERO, J. P. *et al.* Uma análise regionalizada dos desembolsos do BNDES por nível de complexidade e regiões. In: ARAUJO, E.; FEIJO, C. (org.). *Industrialização e desindustrialização no Brasil: teorias, evidências e implicações de política*. Curitiba: Appris, 2023. p. 347-378.

STEPHENS, M. *The changing role of export credit agencies*. Washington, D.C. International Monetary Fund, 1999.

ECONOMIC DEVELOPMENT AND EXPORTS OF KNOWLEDGE- INTENSIVE BUSINESS SERVICES: CAUSAL RELATIONSHIPS AND EMPIRICAL EVIDENCE

*Bruno Galvão dos Santos**

Keywords: export of services; knowledge-intensive business services; development.

*Economist of the Foreign Trade 2 Department of the BNDES's Foreign Trade Division, and PhD in Economic Sciences from Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ).

Resumo

Este artigo analisa a relevância da exportação dos serviços empresariais intensivos em conhecimento (Seic) para o desenvolvimento de um país e os principais fatores responsáveis pelas vendas externas desses serviços. A revisão teórica revela que a relação entre desenvolvimento e Seic é uma via de mão dupla. Por um lado, a construção de um complexo robusto e competitivo de Seic, em geral, exige que o país esteja em estágios mais avançados de desenvolvimento. Por outro lado, os Seic são importantes porque representam os setores mais dinâmicos do comércio exterior e são decisivos para a competitividade industrial e para o progresso tecnológico. Evidências empíricas demonstram a associação entre desenvolvimento econômico e exportação de Seic, sendo este o segmento com maior participação dos países desenvolvidos nas exportações mundiais. Destaca-se que os países que lograram crescer mais rapidamente suas exportações o fizeram antes, e de maneira mais forte, na indústria do que nos Seic.

Abstract

This article analyzes how the export of knowledge-intensive business services (KIBS) is relevant for a country's development and the main factors responsible for the external sales of such services. The theoretical review reveals that the relation between development and KIBS is a two-way street. On the one hand, the construction of a complex, robust and competitive KIBS generally requires the country to be in more advanced stages of development. On the other, KIBS are relevant because they represent the most dynamic sectors of foreign trade and are decisive for industrial competitiveness and technological progress. Empirical evidence shows the association between economic development and KIBS export, which represent the segment with the greatest participation of developed countries in world exports. Notably, the countries that managed to increase their exports faster did so earlier, and more strongly, in industry than in KIBS.

Introdução

O setor de serviços é a principal atividade na economia global e representa mais de dois terços do total do produto interno bruto (PIB) mundial. Contudo, na literatura econômica, a atenção dedicada a esse setor é bem inferior a sua relevância no PIB. Isso se deve principalmente à ideia de que o setor de serviços, de um modo geral, não seria responsável por progresso técnico e por expansão econômica, pois comumente ele é associado à produtividade baixa e estagnada.

Ao mesmo tempo em que estão incluídas atividades simples de subsistência da população, há segmentos de serviços com produtividade alta e em rápida expansão. Em alguns deles, os ganhos de escala, dinamismo da produtividade e capacidade de apropriação de valor agregado são tão altos que a grande maioria das empresas mais lucrativas e com maior valor de mercado no mundo são de serviços ou de manufaturas associadas a serviços, como Google, Apple, Alibaba, Tencent, Facebook, Amazon e Shein. Embora nominalmente façam parte do mesmo setor, não faz muito sentido econômico agrupar atividades de subemprego e estratégias de sobrevivência de trabalhadores com aquelas que estão na fronteira de tecnologia, conduzidas por empresas que têm maior poder de mercado e são capazes de multiplicar o capital rapidamente.

O foco deste artigo é o que muitos autores denominam como serviços empresariais intensivos em conhecimento (Seic, ou *knowledge intensive business services*). Esse grupo representa um conjunto de atividades associadas, principalmente, ao fato de disporem de determinados conhecimentos técnicos ou científicos capazes de prover soluções a terceiros. Estão incluídas nesse grupo atividades de tecnologia da informação (TI), pesquisa e desenvolvimento (P&D), educacionais,

jurídicas, médicas, e de *design*, arquitetura e engenharia. As exportações de serviços financiáveis nas linhas de apoio à exportação pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) estão dentro dessa categoria.

Os Seic estão no centro do progresso técnico e representam hoje grande parte do comércio internacional. Estão associados a uma mudança estrutural verificada na indústria desde a década de 1980, na qual houve transferência de parte do valor agregado da indústria para o setor de serviços. Além disso, houve uma mudança na divisão de trabalho entre setores. A redução dos custos de *outsourcing* e o fortalecimento das cadeias globais de valores permitiram crescente especialização em Seic, exploração de economias de escala para o capital humano e aumento das relações inter e intrassetoriais, com resultados positivos sobre o crescimento da produtividade.

A detenção do conhecimento de “saber fazer” é a parte mais importante em muitos processos produtivos, sendo o que permite comandar cadeias produtivas internacionais, envolvendo bens ou mesmo outros serviços. Hoje, ao comprarmos um bem de alto valor agregado, como um telefone celular ou um *notebook*, o mais relevante é o conjunto de peças ou a capacidade de continuamente desenvolvê-los e de agregar serviços, como *softwares* e *streamings*? Esses exemplos se multiplicam abrangendo desde equipamentos médicos avançados e seus serviços associados até a execução de uma obra complexa de engenharia, como uma hidrelétrica.

A participação do Brasil nas exportações mundiais em Seic (0,8% em 2023) é significativamente maior do que em manufaturados (0,5%), embora ainda menor do que a representatividade mundial do país pelo tamanho de sua economia (2,3%). O Brasil foi bem-sucedido nas exportações de serviços de engenharia há alguns anos, segmento em que

apresenta grande tradição de desenvolvimento de projetos para construções no próprio mercado doméstico. A conta do balanço de pagamentos do Brasil denominada outros serviços de negócio, inclusive arquitetura e engenharia, chegou a ter um superávit acumulado de US\$ 79,3 bilhões entre 2008 e 2017, com exportações totais de US\$ 164,6 bilhões. As outras contas externas brasileiras de serviços são tradicionalmente deficitárias ou têm pequenos superávits.

O objetivo deste estudo é responder a duas questões: qual a relevância da exportação dos Seic para o desenvolvimento de um país e quais os principais fatores responsáveis pelas vendas externas desses serviços. Para isso, este artigo é dividido em quatro seções. A primeira apresenta o debate teórico e a resenha bibliográfica. A segunda mostra as evidências empíricas. A terceira discute as exportações brasileiras e os grandes desafios a serem enfrentados. A última apresenta as conclusões.

A literatura sobre desenvolvimento e serviços

Nesta seção, a relação entre serviços modernos e desenvolvimento é mostrada do ponto de vista teórico e da literatura sobre o tema. Para isso, dividimos a seção em quatro subseções. A primeira apresenta o marco teórico; a segunda discute a hipótese de que o desenvolvimento de setores de serviços pode ser uma alternativa à industrialização; a terceira aborda as principais modificações do setor nas últimas décadas e o papel dos serviços no progresso técnico; por fim, a quarta destaca o objetivo principal do artigo: examinar a relação entre Seic e desenvolvimento.

Kaldor e o papel das exportações no desenvolvimento

Há uma longa tradição teórica que defende que a industrialização é o motor do desenvolvimento econômico (Kaldor, 1966). Os principais argumentos para isso são: suas externalidades positivas; sua importância nas exportações; a alta e crescente produtividade do setor ser o centro das inovações da economia; e o fato de, em geral, pagar os melhores salários (Nübler, 2014).

Ao tentar entender os diferenciais de crescimento econômico entre os países, Kaldor estabeleceu as relações do crescimento da produção industrial com o PIB e com a produtividade da economia (Morrone, 2006). A hipótese de que a manufatura tem um papel mais importante do que outros setores pode ser vista tanto pelo lado da demanda quanto da oferta.¹

Pelo lado da oferta, o desenvolvimento industrial eleva a produtividade da economia como um todo por três mecanismos. O primeiro é que o aumento da participação dos setores mais produtivos reverbera no todo (McMillan, Rodrik e Verduzco-Gallo, 2014). O segundo é que a indústria tem uma taxa mais alta de expansão da produtividade, maior curva de aprendizado e é o centro das inovações na economia. Esses fatores permitem aos países industrializados, além de uma maior expansão do PIB, uma maior apropriação do valor adicionado – ou seja, maiores lucros e salários não prejudicam a competitividade. O terceiro é que o crescimento industrial impulsiona a expansão da produtividade de outros setores. Esse ponto torna-se o mais importante em uma situação

¹ Em geral, a economia da oferta e da demanda são grandes antagonistas na teoria econômica. Mas, no debate em favor da industrialização, elas são complementares. O dinamismo da produtividade e a capacidade inovativa são fundamentais para o aumento das exportações e do investimento, que, por sua vez, podem impactar positivamente a proporção de trabalhadores em atividades de alta produtividade e reduzir a ociosidade de capital e de trabalho.

de cada vez menor participação da manufatura no PIB e no emprego. Conforme Rowthorn e Ramaswamy (1999), cerca de dois terços do emprego no setor de serviços são ligados à manufatura nos países centrais. Pelo lado da demanda, a principal diferença entre a manufatura e os outros setores é que a sua participação no comércio mundial (52% em 2022) é bem maior do que no PIB mundial (16% em 2022), e as exportações líquidas têm um papel fundamental no dinamismo econômico.² Além da alta proporção da indústria no comércio, houve, por muitas décadas, uma tendência de longo prazo de expansão da manufatura no comércio mundial.

O papel especial das exportações líquidas deve-se ao fato de ser um componente autônomo do PIB que não aumenta o endividamento do país e gera divisas.

A teoria econômica keynesiana classifica os gastos em autônomos e induzidos pela atividade econômica. Apesar dos gastos induzidos corresponderem a uma parcela muito maior do PIB, são os autônomos que têm um papel determinante no crescimento econômico por serem responsáveis pela variação dos gastos induzidos. As exportações líquidas são o componente autônomo dos gastos que não elevam o endividamento público.³ O consumo das famílias é determinado principalmente pela sua renda disponível, enquanto grande parte do investimento privado é induzido pelo nível de ociosidade e pela expectativa da demanda futura dos produtos.⁴

2 Os dados da proporção das manufaturas no PIB mundial são do Banco Mundial, e nas exportações mundiais são da Organização Mundial do Comércio (OMC).

3 Isso se torna relevante em um contexto de grande pressão política para limitar a dívida e o déficit público.

4 Entre os economistas de demanda efetiva, há um debate se todos os investimentos são induzidos ou se uma parcela deles é autônoma.

Além dos efeitos das exportações líquidas sobre a demanda, países não emissores da moeda internacional não conseguem no longo prazo manter uma taxa de crescimento das importações persistentemente superior à das exportações. É esse o princípio da Lei de Thirlwall, demonstrado em diversos estudos empíricos, como Silva, Neder e Santos (2016) e Gouvea e Lima (2010): o crescimento de longo prazo dos países é determinado pela elasticidade da renda das exportações e das importações.

Um dos principais fatos estilizados do comércio mundial é a tendência de longo prazo de aumento da participação das manufaturas no comércio mundial às expensas das matérias-primas, principalmente produtos agropecuários. Prebisch (2011), assim como outros autores estruturalistas, apontava a tendência de deterioração dos termos de troca de países exportadores de matérias primas e importadores de bens industriais. Esse argumento é o mesmo da extensa literatura da Lei de Thirlwall: países devem se concentrar em exportar produtos e serviços com tendência de aumento na participação mundial. Por outro lado, a industrialização era vista por estruturalistas como uma forma de adensar a cadeia produtiva e reduzir a elasticidade-renda das importações.

Há diferentes mecanismos de transmissão pelos quais a escassez de divisas diminui o crescimento do PIB. O principal deles é a restrição da possibilidade de execução de políticas fiscais e monetárias expansionistas, sob pena de que crises ou desvalorização cambial provoquem uma inflação mais alta do que o desejado pelo governo. Outro mecanismo é a instabilidade macroeconômica. Países com estrangulamento no balanço de pagamentos estão sujeitos a racionamento de divisas, crises com desvalorização da taxa de câmbio e necessidade de manutenção da taxa de juros em nível elevado, fatores que desorganizam a produção e limitam o crescimento. Em casos extremos, o racionamento de divisas pode impedir a produção por falta de peças e equipamentos com substitutos

nacionais. Há duas maneiras de elevar a oferta de divisas: aumentar o passivo externo ou as exportações. A primeira opção apenas adiará e aumentará o problema no futuro.

A hipótese de serviços como alternativa à industrialização

Nos anos 2000, alguns autores defendiam que os serviços poderiam ser uma alternativa à industrialização para o desenvolvimento dos países pobres⁵ e que esse caminho estaria mais disponível para tais países.

O sucesso do modelo indiano de exportação de Seic, principalmente de TI, era a referência para todas as análises otimistas em relação à capacidade dos países emergentes em aumentar fortemente as exportações de serviços. No período, havia uma crença de que a Índia seguiria os passos e o ritmo da China no desenvolvimento acelerado, alcançando em serviços um sucesso semelhante ao da China em manufaturas.

Diversos autores defendem a replicabilidade do sucesso indiano. Eichengreen e Gupta (2012), apesar de afirmarem que o sucesso indiano é excepcional, argumentam que países emergentes têm sido crescentemente bem-sucedidos em exportação de serviços. Os autores citam motivos para que o mercado de TI se desloque para países como a Índia: escassez de mão de obra qualificada nos países desenvolvidos devido à demografia adversa; aumento do *outsourcing*; baixo custo de aluguel e ampla disponibilidade de trabalhadores qualificados que falam inglês. Ghani e Kharas (2010), embora admitam que os outros países do sul asiático ainda não conseguiram decolar suas exportações de serviços, apontam motivos para que a força de serviços no PIB se manifeste nas

5 Segundo Mishra, Lundstrom e Anand (2011), a experiência indiana desafia a ideia de que a industrialização é o único caminho para o desenvolvimento.

exportações: (i) há uma forte correlação entre crescimento do PIB de serviços e de suas exportações; (ii) em contraste com o leste asiático, as economias do sul do continente são lideradas por serviços; (iii) o diferencial dos custos no setor de serviços entre os países é muito grande; e (iv) por ser 70% do PIB mundial, há muito espaço para crescer o comércio mundial de serviços. Em resumo, os autores associam a participação de serviços no PIB nos países do sul da Ásia, com reduzidas exportações de serviços, como um potencial para eles aumentarem fortemente essas exportações. Dado que é elevada a proporção de serviços e emprego na maioria dos países subdesenvolvidos em outras regiões, esse argumento pode ser generalizado.

Meliciani e Savona (2015) denominam de *footloose hypothesis* a ideia de que o desenvolvimento das tecnologias de informação e de comunicação faria com que a localização onde os serviços empresariais fossem ofertados fosse cada vez menos importante, favorecendo regiões periféricas. Ghani e Kharas (2010) apresentam ainda o argumento de que o desenvolvimento de serviços prescinde de grandes investimentos em infraestrutura de transporte e que seria um caminho mais fácil para o desenvolvimento do que a industrialização. Dessa forma, esse tipo de desenvolvimento exigiria níveis menos elevados de investimento. O fato de a proporção de formação bruta de capital fixo sobre o PIB na Índia ser bem menor do que na China seria uma evidência favorável a isso.

Nas subseções seguintes, serão apresentados os motivos para a discordância da hipótese de que desenvolvimento exclusivo de serviços seria uma alternativa à industrialização em países pobres. Por um lado, serão mostrados alguns argumentos que concordam com um ponto dessa hipótese: os Seic têm o maior potencial de crescimento no comércio internacional e são importantes para o desenvolvimento. Por outro lado, os motivos para a discordância da hipótese são: (i) as evidências

empíricas indicam que as barreiras para países pobres se tornarem grandes exportadores são bem maiores nesses tipos de serviços do que em manufaturas; (ii) políticas e condições para o desenvolvimento dos Seic são em geral convergentes com as favoráveis à industrialização; (iii) os dois setores são cada vez mais integrados e semelhantes; (iv) serviços que crescem por causa do subdesenvolvimento nada têm a ver com os Seic que se tornam mais comercializáveis no exterior; e (v) a dicotomia entre a China ser exportadora de manufaturas e a Índia ser de serviços não é corroborada pelos dados.

Terciarização, heterogeneidade e junção de serviços e manufaturas

Nas últimas décadas, houve no setor de serviços importantes transformações inter-relacionadas, das quais destacaremos três. A primeira é a tendência de aumento da participação desse setor no PIB e no emprego de modo generalizado em países em desenvolvimento e desenvolvidos, fenômeno conhecido como terciarização (*tertiarization*). A segunda é o aumento da sua heterogeneidade, com parcela cada vez maior do setor que não se identifica com características tradicionalmente associadas a ele. O terceiro é que os serviços estão cada vez mais integrados e parecidos com a indústria.

O setor de serviços é definido como todas as atividades que não estão nos setores primário e secundário. Por essa razão, ele é intrinsecamente heterogêneo. Contudo, as tendências tecnológicas recentes têm acentuado a diferença intrassetorial, aumentando a proximidade entre os serviços de alta produtividade com a indústria de transformação.

O setor de serviços era comumente caracterizado pelos seguintes aspectos: (i) produtividade baixa e estagnada; (ii) absorção de mão de

obra excedente; (iii) predominância de bens não comercializáveis; e (iv) ganhos de escala e desenvolvimento tecnológico muito menores do que na manufatura.

A tendência mundial de aumento da participação dos serviços no PIB em praticamente todos os países do mundo encobre a distinção entre dois fenômenos distintos. Em países pobres, a terciarização significa precarização do trabalho e é consequência da acelerada urbanização não acompanhada pela geração de emprego na indústria, fenômeno típico do subdesenvolvimento. Em contraste, em países ricos, a expansão da participação dos Seic na economia é um estágio mais avançado de desenvolvimento (Souza; Bastos; Perobelli, 2016). Este artigo tratará apenas da terciarização relacionada ao desenvolvimento, e não daquela que é consequência do subdesenvolvimento.

Três forças globais - tecnologia, transportabilidade e comercialidade (*tradability*), conhecidas como 3 Ts – são responsáveis por tornar os Seic totalmente diferentes da antiga caracterização do setor. A tecnologia, principalmente de comunicação e de informação, permite que os serviços possam ser produzidos e estocados, viabilizando a presença física deles. Os serviços de telecomunicação e de internet permitem o transporte a longa distância a custos mínimos com qualidade, confiabilidade e agilidade. Com a comercialidade, os serviços podem ser transportados digitalmente através das fronteiras dos países (Ghani; Kharas, 2010). Todos esses fatores ampliam a escala produtiva, estimulam a inovação e possibilitam que os fornecedores de serviços estejam distantes dos consumidores. Os autores apontam que a internet amplia essa “revolução de serviços”, permitindo que mais processos produtivos sejam digitalizados e realizados à distância, como gerenciamento remoto, manutenção da rede de TI, auditorias e análise financeira.

Os dois pontos a serem destacados neste artigo são o aumento da comercialidade dos Seic e a relação deles com o progresso técnico e a expansão da produtividade.

Terciarização, Seic e progresso técnico

Atualmente, na maioria dos países, a participação do setor primário no PIB é pequena. Dessa forma, desindustrialização e terciarização fazem parte de praticamente um mesmo fenômeno visto de ângulos distintos. A tendência à desindustrialização foi formulada inicialmente por Clark (1957): em países avançados, a proporção de serviços na cesta de consumo é crescente e acaba diminuindo a parcela dos gastos em manufaturados. Rowthorn e Wells (1987) acrescentaram mais um motivo para a desindustrialização: o fato de a produtividade do setor manufatureiro crescer a taxas mais rápidas do que no setor de serviços. Essa diferença na taxa de crescimento resultaria na redução da proporção da manufatura no emprego total da economia e na queda de seus preços relativos.

Há, ainda, um extenso debate sobre desindustrialização prematura em alguns países subdesenvolvidos, onde há deslocamento do emprego em direção a atividades de baixa produtividade (IEDI, 2016). Como já foi dito, esse tipo de desindustrialização não é objeto deste artigo. Na literatura, a diferenciação entre desindustrialização prematura e natural se dá pelo nível de renda *per capita*, ao qual a indústria começou a perder participação no PIB. Neste artigo, a distinção entre os dois tipos de terciarização será pelo tipo de serviços, denominados de Seic ou não tradicionais. Uma justificativa para isso é encontrada no estudo de Meglio *et al.* (2018) de 29 países em desenvolvimento na Ásia, América Latina e África subsaariana, para o período de 1975 a 2005. Os autores se apoiam no argumento kaldoriano de que manufatura e serviços empresariais contribuem com o crescimento

da produtividade agregada da economia e que os outros serviços desaceleraram o crescimento da produtividade e do PIB. Souza, Bastos e Perobelli (2016) ao compararem a terciarização entre o Brasil e os Estados Unidos da América (EUA), concluem que a melhora do desempenho do setor de serviços no Brasil requer o fortalecimento de alguns segmentos, como os serviços empresariais e os de transporte, estoque e comunicação.

Como o foco do texto são as exportações, estamos interessados na classificação de serviços no comércio internacional. Tradicionalmente, os dois segmentos de serviços comercializáveis no exterior eram transporte e turismo internacional. Não existe comércio de bens sem transporte de mercadorias. Também o turismo em países estrangeiros é uma atividade por natureza comercializável. Anand, Mishra e Spatafora (2012) acrescentam como tradicionais os segmentos de seguro, construção, comunicação e atividades pessoais e recreacionais. Os autores afirmam que, diferentemente dos segmentos tradicionais, os serviços modernos têm pouca interação presencial e se tornam cada vez mais similares às manufaturas por causa do progresso técnico, de economias de escala, de aglomeração, de rede e da divisão do trabalho. Eichegreen e Gupta (2012) afirmam que serviços de seguros e financeiros podem estar na categoria de serviços tradicionais, uma vez que estão fortemente correlacionados com a exportação de bens. Esses autores denominam as demais categorias como Seic ou não tradicionais.

Por causa das controvérsias nas classificações de serviços, definiremos previamente os conceitos utilizados neste artigo. Dada a limitação dos dados disponíveis do comércio internacional de serviços, há vantagens no uso do conceito de serviços não tradicionais, que exclui apenas turismo e transporte. Na parte empírica deste estudo, serão utilizados dados dos

serviços não tradicionais, porque a série de dados para os segmentos de Seic são restritas nas estatísticas mundiais.

Um segundo conceito existente na literatura econômica é o de serviços modernos. Seguindo Eichengreen e Gupta (2012), serviços modernos serão definidos excluindo seguros, pensões e os serviços financeiros, além de turismo e transporte, já excluídos da classificação anterior.

Grande parte da bibliografia utilizada neste artigo trabalha com o conceito de serviços empresariais, que não são destinados aos consumidores finais, mas considerados insumos para a produção de bens e de outros serviços. Kox e Rubalcaba (2007) dividem os serviços empresariais em: (i) operacionais, como limpeza, segurança, administração e recrutamento de mão de obra temporária; e (ii) intensivos em conhecimento (os Seic). Esses últimos, por estarem no centro do progresso técnico e por representarem uma parte significativa do comércio internacional, serão tratados com mais detalhes neste artigo. Os intensivos em conhecimento envolvem: (i) *software* e computação; (ii) consultoria de gerenciamento e estratégia; (iii) serviços técnicos e de engenharia; (iv) *marketing* e opinião pública; (v) treinamento de pessoal e caça-talentos; e (vi) auditoria, contabilidade, jurídico.

A definição do que é ou não Seic é controversa (Ciarli; Meliciani; Savona, 2012). Aqui iremos adotar a classificação de Doloreux, Freel e Muller (2008), acrescentando os encargos para uso de propriedade intelectual, que é um dos principais resultados de Seic (ver Tabela 1). Dado que 94% do comércio de serviços empresariais é de categorias intensivas em conhecimento, será também feita resenha da bibliografia sobre serviços empresariais.

Tabela 1 | Classificação de serviços utilizada neste artigo

Código	Segmentos de serviços	Modernos	Empresariais	Intensivos em conhecimento	% do comércio de serviços não tradicionais
SE	Construção	x			3%
SF	Seguros e pensão				4%
SG	Serviços financeiros				16%
SH	Encargos para o uso da propriedade intelectual	x	x	x	11%
SI	Telecomunicações, computadores e de informação	x			22%
SI1	Serviços de telecomunicações	x			3%
SI2	Serviços informáticos	x	x	x	18%
SI3	Serviços de informação	x			1%
SJ	Outros serviços empresariais	x	x	*	41%
SJ1	Serviços de P&D	x	x	x	6%
SJ2	Consultoria profissional e de gestão	x	x	x	18%
SJ3	Técnico, comercial	x	x	*	17%
SJ31	Arquitetura, engenharia, científicos e outros serviços técnicos	x	x	x	3%
SJ33	Leasing operacional	x	x		2%
SJ34	Serviços relacionados ao comércio	x	x		2%
SJ35	Outros serviços empresariais, não enquadrados nas demais categorias	x	x	x	7%
SK	Serviços pessoais, culturais e recreativos	x			2%
% do comércio de serviços não tradicionais		84%	78%	73%	100%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Organização Mundial do Comércio (OMC). Disponível em: wto.org. Acesso em: 6 fev. 2024.

*Quase todo segmento.

Os serviços empresariais estão no centro do processo de terciarização dos países desenvolvidos. A partir da década de 1980, houve uma progressiva delegação de diversas atividades de dentro das empresas industriais para empresas de serviços. O valor agregado dessas atividades, anteriormente contabilizado como manufatura, passou a ser contado dentro do setor de serviços. Por isso, Kox e Rubalcaba (2007) denominam o processo simples de transferência da execução de funções como ilusão de ótica.

Para os autores, não houve apenas uma transferência de atividades para empresas de serviços. Eles defendem que o crescimento dos serviços representou uma mudança da divisão do trabalho entre setores (tecnologia e organização). A redução dos custos de *outsourcing* e o fortalecimento das cadeias globais de valores permitiram a crescente especialização em Seic, a exploração de economias de escala para o capital humano e o aumento das relações intersetoriais e intrasetoriais, com resultados positivos sobre o crescimento da produtividade.

Blázquez, Díaz-Mora e González-Díaz (2020) concordam que o desenvolvimento de tecnologia de informação e de telecomunicação estabeleceu um círculo virtuoso de redução do custo e *upgrading* desses serviços, além de favorecer a fragmentação internacional da produção, com maior sofisticação e especialização. Miroudot e Cadestin (2017) lembram que, desde Adam Smith, a divisão do trabalho é vista como o “coração” do crescimento da produtividade.

Segundo Kox e Rubalcaba (2007), os serviços empresariais se beneficiariam duplamente desse processo de mudança estrutural. A revolução das tecnologias de informação e telecomunicação é realizada pelos serviços de TI e de *software* e elas criam novas oportunidades de negócio para outros serviços empresariais. Em coerência com a visão de que a divisão do trabalho está no centro do progresso econômico, os autores

argumentam que a desaceleração da globalização seria responsável pela baixa taxa de crescimento econômico após meados dos anos 2000.

Seic e manufatura

A junção entre Seic e manufaturas pode ser vista por dois ângulos interligados. O primeiro é o aumento da integração entre empresas de serviços e industriais, com uso elevado e crescente de serviços como insumo para a produção industrial. Há uma forte integração de empresas de serviços, em particular dos Seic, na produção de inovações. O segundo aspecto é a distinção cada vez menos clara entre empresas de serviços e industriais.

A redução das diferenças entre empresas de serviços e industriais ocorreu nos dois sentidos. Por um lado, Mishra, Lundstrom e Anand (2011) destacam que um crescente número de empresas de serviços se assemelha a empresas industriais, pelas economias de escala, de aglomeração, de rede, além de oportunidade de inovação e de criação de empregos *high-tech* em países de baixa e média renda. Os autores lembram que a atividade de serviços, tal como a das indústrias, pode atualmente ser fragmentada, produzida e comercializada separadamente em diferentes locais, com possibilidades de especialização que não eram possíveis anteriormente.

Por outro lado, nas últimas décadas, empresas manufatureiras passaram a oferecer produtos em sistemas integrados a serviços (Vandermerwe; Rada, 1988). Esse processo tem sido documentado pela literatura sob diferentes nomes: servitização, serviços relacionados a produtos, soluções integradas, sistemas produto-serviço (Dachs *et al.*, 2012). Story *et al.* (2016) definem servitização como o oferecimento de serviços pela manufatura para atingir vantagem competitiva e criar valor para o cliente. Mathieu (2001, *apud* Dachs *et al.*, 2012), classifica três tipos

de benefícios da servitização: (i) financeiros – redução da volatilidade e da vulnerabilidade do fluxo de caixa, embora o autor questione o aumento da margem de lucro; (ii) estratégicos – construção de barreiras à entrada, diferenciação dos competidores; e (iii) de *marketing* – como satisfação dos clientes, durabilidade dos laços com eles e credibilidade.

Miroudot e Cadestin (2017) relacionam o aumento do setor de serviços com a digitalização da indústria. Segundo os autores, parte do aumento do conteúdo de serviços na manufatura é uma mudança para tecnologia digital em todas as etapas da produção : (i) *design* e P&D são mais dependentes de computadores; (ii) logística e distribuição foram redefinidas com plataformas digitais de *business to business* (B2B) e *e-commerce*; (iii) os serviços de *marketing*, venda e pós-venda são os mais intensivos na utilização de dados na cadeia de valor; e (iv) o gerenciamento do negócio pode ser centralizado e administrado à distância por meio das novas tecnologias de comunicação. Esses autores afirmam que, com o processo de servitização, algumas empresas manufatureiras podem decidir focar em serviços, citando o caso da IBM.

Christensen e Drejer (2007) argumentam que estudos recentes desmentem a ideia de que serviços são somente usuários, e não produtores, de inovação. Ciarli, Meliciani e Savona (2012) associam a emergência de serviços empresariais com a economia do conhecimento. Segundo eles, a mudança estrutural de aumento da participação de serviços estaria ligada à evolução do conhecimento técnico e científico. Diversos estudos, como o de Amancio *et al.* (2022), apontam a colaboração dos Seic com as indústrias na transferência de conhecimento e na produção de inovações. Corrocher e Cusmano (2014) defendem que esses serviços são os motores dos sistemas regionais de inovação. Assim, as regiões onde há escassez ou baixo crescimento de Seic caracterizam-se por serem pouco inovadoras.

O gerenciamento do conhecimento é uma atividade de serviços e isso se torna mais evidente pela tendência de empresas a terceirizarem suas

atividades. Um bom exemplo de sucesso da integração entre empresas na produção de inovações é a disseminação de organizações de manufatura e desenvolvimento por contratos (*contract development and manufacturing organization*, CDMO) em setores muito dinâmicos tecnologicamente, como o farmacêutico, o de biotecnologia e o de equipamentos médicos. Em 2022, o mercado global dessas organizações foi de US\$ 150 bilhões (Jain, 2022).

Seic e desenvolvimento econômico: relações de causalidade

Países industrializados são frequentemente utilizados como sinônimos de países desenvolvidos. De fato, exceto para países excepcionalmente ricos em recursos naturais, o desenvolvimento envolve um processo de industrialização (Daudt; Willcox, 2016; Chang, 2009). Contudo, como será mostrado na parte empírica deste artigo, a concentração de países desenvolvidos nas exportações de Seic é muito maior do que nas de manufaturados. Montar uma estrutura competitiva internacionalmente na maioria dos segmentos de Seic é, em geral, resultado de uma etapa de desenvolvimento mais avançada do que a necessária para a manufatura. Blázquez, Díaz-Mora e González-Díaz (2020) sustentam que países com baixo custo de mão de obra tendem a se integrar na cadeia global de valor por meio da produção de manufaturas, enquanto muitas vezes demandam do exterior serviços altamente especializados e qualificados para manter sua competitividade.

O crescimento do comércio mundial de Seic tem sido persistentemente mais alto do que o de produtos industrializados. Os serviços são cada vez mais importantes para a competitividade industrial e, se considerado o valor agregado das exportações, eles são responsáveis por metade do comércio mundial.

O objetivo desta seção é apresentar o que a literatura especializada diz em relação à causalidade entre desenvolvimento e Seic. Na teoria econômica, para um melhor entendimento de uma realidade complexa, procura-se separar as variáveis explicativas e aquelas a serem explicadas. Para facilitar a análise, a variável exógena será, na primeira subseção, o nível de desenvolvimento e, na segunda, o tamanho e a competitividade do setor de Seic.

Seic e o nível de desenvolvimento

O desenvolvimento econômico influencia o tamanho e a competitividade dos Seic de diferentes modos: extensão do mercado consumidor; existência de empresas que detêm patentes, tecnologias e diferentes conhecimentos técnicos; existência de uma cadeia produtiva de indústrias e serviços competitivos; e uma rede de infraestrutura extensa e de qualidade. A influência de cada um desses fatores varia bastante nos diferentes segmentos de serviços. Há, ainda, fatores não relacionados ao desenvolvimento que influenciam no crescimento dos Seic.

Meliciani e Savona (2015), confirmando outros estudos, como os de Rodriguez-Pose (1999 *apud* Meliciani; Savona, 2015) e de Chapman e Meliciani (2012 *apud* Meliciani; Savona, 2015), concluem que os serviços empresariais reforçam a assimetria entre regiões centrais e periféricas, contrariando a hipótese de que as tecnologias de comunicação e de informação beneficiariam locais de menores salários e aluguéis. Os serviços empresariais tendem a se concentrar não só em grandes regiões metropolitanas, mas também onde quer que haja manufaturas de alta tecnologia e indústrias de uso intensivo de serviços empresariais.

Meliciani e Savona (2015) classificam três conjuntos de determinantes para a especialização regional em serviços empresariais. O primeiro são fontes clássicas de economia de aglomeração: (i) externalidades de localização, que

permitem economias internas e externas de escala; (ii) externalidades de urbanização, que facilitam *spillover* de conhecimento; e (iii) externalidades de Jacob, que derivam da existência da variedade de atividades na região. As autoras, ao citarem Kox e Rubalcaba (2007), argumentam que cidades tendem a concentrar trabalhadores qualificados, necessários para serviços empresariais. Em nível nacional, esses fatores, notadamente a diversidade e a concentração de atividades produtivas, podem levar ao aumento de competitividade de países com uma rede produtiva grande e diversificada e com disponibilidade de mão de obra qualificada e com variedade de especializações. Enquanto esses fatores estão geralmente associados ao desenvolvimento, autores destacam que a Índia e outros países subdesenvolvidos contam com abundância de trabalhadores qualificados. Já nos países ricos, segundo Eichengreen e Gupta (2012), as taxas de natalidade muito baixas por décadas diminuem a disponibilidade de mão de obra qualificada nesses países.

O segundo conjunto é o papel da demanda intermediária, ou seja, a estrutura da cadeia produtiva entre serviços empresariais e seus clientes industriais. Meliciani e Savona (2014), citando Hirschman (1958), defendem a importância da proximidade geográfica dos clientes industriais para o desenvolvimento dos serviços empresariais. Segundo as autoras, a crescente complexidade da manufatura, resultado de novas tecnologias, eleva o conteúdo de serviços. Guerrieri e Meliciani (2005) encontraram que, em particular, as manufaturas intensivas em conhecimento usam mais serviços financeiros, de comunicação e empresariais. Outros estudos empíricos chegaram a resultados parecidos. Nesse caso, o fator para o desenvolvimento dos Seic seria um grande parque industrial em setores de ponta, uma vez que os segmentos industriais mais sofisticados tendem a estar nos países mais desenvolvidos. As nações que lograram avançar para renda alta o fizeram pela mudança setorial de produtos simples para atividades mais complexas e baseadas no conhecimento (Hartmann *et al.*, 2020). Há países, como a China, que têm um nível de

complexidade setorial bem acima do que seria esperado pelo seu nível de renda.⁶

O terceiro conjunto é a importância da infraestrutura de conhecimento e de inovações específicas da região para o desenvolvimento dos serviços empresariais. Meliciani e Savona (2015) defendem que, dada a importância dos serviços empresariais na criação e difusão de novas tecnologias, o conhecimento tácito dentro das firmas aumenta a importância da proximidade espacial. Ciarli, Meliciani e Savona (2012) também defendem a forte dependência da proximidade geográfica e citam Doloreux e Sheamour (2011) para argumentar que os Seic têm um papel central na inovação regional e que a produção de conhecimento entre as empresas de serviços e seus clientes se dá por uma relação bidirecional. Meliciani e Savona (2015) destacam também a importância das universidades e laboratórios de P&D. O papel do conhecimento tácito ou codificado varia conforme o ramo industrial. Por exemplo, o conhecimento tácito tende a ter uma relevância relativa bem maior no complexo metalmeccânico do que indústrias com níveis elevados de investimento em P&D, como fármacos. Estar na fronteira tecnológica e ter um sistema nacional de inovação de ponta são consequências de um estágio bastante avançado do nível de desenvolvimento. Cada um desses fatores é uma dimensão distinta do desenvolvimento – políticas de inovação podem, por exemplo, agir de modo mais efetivo na existência de universidades e de laboratórios de P&D do que no conhecimento tácito.

O sucesso indiano parece contrariar a visão de autores citados anteriormente no sentido de que um estágio elevado de desenvolvimento apresenta condições muito favoráveis para os Seic. Ciarli, Meliciani e Savona (2012) admitem que entender o caso de países como a Índia

6 Essas diferenças de PIB *per capita* irão diminuir no futuro por causa do crescimento mais alto de países mais complexos do que indicaria sua renda *per capita* (Hausmann; Hidalgo, 2011).

demanda estudos futuros. Eichengreen e Gupta (2012) apontam motivos diversos – e não diretamente ligados à estrutura industrial e à complexidade econômica – que são importantes para as exportações de serviços, para além da oferta de mão de obra: proficiência em inglês, existência de diáspora e liberalização comercial. Goswami *et al.* (2012), estudando os determinantes para o sucesso do aumento das exportações de serviços em países em desenvolvimento, apontam os seguintes fatores: infraestrutura eletrônica, educação de nível superior e ambiente institucional. Eles também destacam fortes esforços de governos nos investimentos em educação que produziram efeitos nas exportações de TI e na importância de políticas de superação de deficiências nas infraestruturas necessárias ao setor, citando os parques de *software* da China, Índia e Filipinas. Em resumo, políticas podem ser efetivas na diminuição das desvantagens competitivas de países em desenvolvimento nas exportações de Seic, aproximando-os das práticas vigentes nas economias mais avançadas.

Em termos de política, o Brasil tem um histórico bem-sucedido de apoio às exportações de serviços de engenharia há décadas. Esse segmento é o principal motivo para o país ter um desempenho bem melhor em serviços do que a grande maioria dos países emergentes e ser o maior exportador da América Latina.

Seic: fonte de competitividade industrial

Há três pontos que destacam a importância dos Seic para o desenvolvimento:

- O progresso técnico e a expansão da produtividade, discutidos na seção "Terciarização, heterogeneidade e junção de serviços e manufaturas".
- O fato de ser o setor mais dinâmico do comércio mundial, como será visto na seção "Relação entre desenvolvimento e exportações de serviços não tradicionais".

- A relevância dos Seic para a competitividade industrial e as exportações indiretas de serviços nas exportações de outros setores, itens intrinsecamente associados.

Tanto o aumento da cooperação entre empresas dos dois setores quanto a elevação do conteúdo de serviços no valor agregado da manufatura contribuem para a maior relevância do setor terciário para a competitividade industrial via redução de custo e contribuição à inovação e disseminação dos conhecimentos.

Herrero e Rial (2023), na comparação do desempenho exportador dos países do Mediterrâneo com o da Alemanha, concluem que, para promover o crescimento das exportações, uma relação mais forte entre Seic e manufaturas teria um efeito mais positivo do que restringir o aumento do custo de mão de obra. Além disso, a natureza de trabalho intensiva desses serviços e seus *spillovers* sobre outros setores ajudaria a reduzir o desemprego sem prejudicar a produtividade agregada.

Francois e Woerz (2008) encontraram evidências de crescente importância do uso de serviços como insumo nos países de alta renda da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que eles denominam de pós-industrial. Segundo os autores, dado aumento dos serviços como insumo da manufatura, o aumento do coeficiente de importação tem um efeito positivo sobre a tecnologia do *mix* importado e proteger serviços intermediários é uma desvantagem competitiva. Em termos de geração de divisas, a escolha entre proteger e abrir o mercado para serviços empresariais importados tem um efeito ambíguo de diminuição/aumento das importações de serviços e de aumento/diminuição da competitividade das exportações. O efeito final dependeria de qual dos dois resultados é maior. Em contraste, o desenvolvimento de Seic competitivos teria um inequívoco resultado

positivo na geração de divisas, tanto na balança de serviços quanto na de bens (Blázquez; Díaz-Mora; González-Díaz, 2020).

Dados disponíveis

Nesta seção são apresentadas as evidências empíricas a partir da análise dos dados disponíveis. A primeira parte trata das evidências entre desenvolvimento e exportações de serviços não tradicionais e a segunda mostra separadamente os principais segmentos de Seic.

Relação entre desenvolvimento e exportações de serviços não tradicionais

Infelizmente, há limitações nos dados de comércio dos Seic: (i) os dados do Balance of Payments and International Investment Position Manual 6 (BPM), a classificação internacional mais recente para balanços de pagamento, começam em 2005 e alguns segmentos de Seic não estão discriminados na versão anterior, BPM5; e (ii) para muitos países, não há dados com a desagregação necessária para todos ou alguns anos entre 2005 e 2022. Por isso, primeiramente, será feita uma análise dos serviços não tradicionais como um todo, e não apenas do subconjunto representado pelos Seic.

Serviços não tradicionais são os setores mais dinâmicos do comércio internacional, com maior concentração em países desenvolvidos nas exportações e com maior correlação com a renda *per capita* (ver Tabela 2). Países que tiveram sucesso em aumentar o *market-share* nas exportações, em geral, o fizeram bem antes em manufaturas do que em serviços não tradicionais.

Tabela 2 | Indicadores do comércio mundial por setores de atividade

Setores	% do comércio mundial em 2023	Variação da participação		Correlação com a renda <i>per capita</i> em US\$ em 2019	Participação dos subdesenvolvidos nas exportações em 2019
		1980-2005	2005-2023		
Serviços não tradicionais	15%	75%	54%	54%	20%
Transporte e turismo	9%	-2%	-7%	-4%	36%
Manufaturados	49%	22%	-11%	13%	35%
Matérias-primas	21%	-43%	3%	-32%	53%

Fonte: Adaptado de OMC e Fundo Monetário Internacional (FMI).

Em 2023, os serviços não tradicionais corresponderam a 14,8% das exportações mundiais de bens e serviços, resultado quase três vezes maior que o registrado em 1980 (5,4%). A participação deles no comércio mundial tem crescido praticamente sem interrupção desde então, enquanto nenhuma outra categoria apresenta uma expansão consistente. Em contraste, o setor manufatureiro, considerado o mais dinâmico do comércio mundial até a década de 1990, tem perdido participação desde os anos 2000. Primeiramente, por causa de motivos temporários: melhora dos termos de troca para as matérias-primas durante o conhecido super ciclo das *commodities* entre 2005 e 2014. E, depois, pelo próprio crescimento dos serviços não tradicionais.

Nesse sentido, Mishra, Lundstrom e Anand (2011) concluem que a sofisticação das exportações de serviços tem implicações para superar a armadilha da renda média e para sustentar o crescimento acelerado.

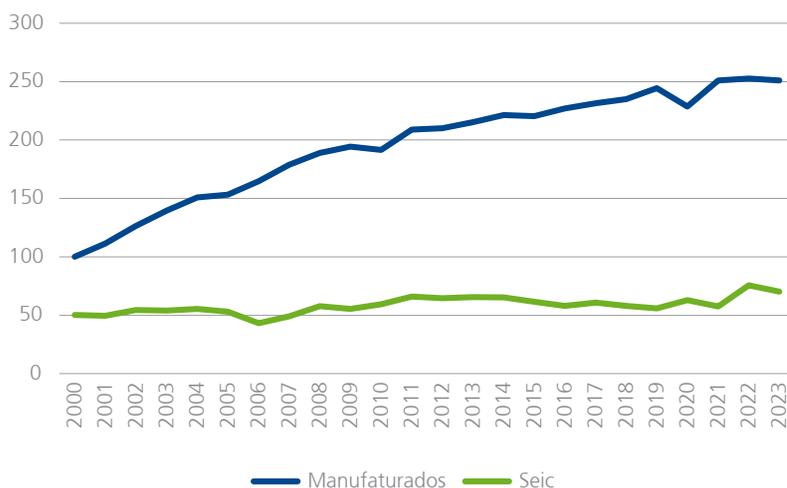
A correlação entre a parcela dos Seic na pauta exportadora e a renda *per capita* foi de 54% quando analisados os dados de 2019, resultado bem mais alto do que a correlação com a participação da indústria (13%). Se retirados os países exportadores de petróleo de renda alta e não considerados desenvolvidos, a correlação dos Seic com a renda sobe

para 58%. Entre as cem maiores economias do mundo, apenas quatro países de baixa renda – Nepal (42%), Índia (33%), Quênia (20%) e Gana (32%) – têm uma participação de Seic na pauta de exportação superior à média dos desenvolvidos. Entre as nações avançadas, Austrália (6%), Eslovênia (7%), Eslováquia (5%) e Taiwan (6%) têm parcela inferior à média dos subdesenvolvidos.

Com exceção da Índia, praticamente todos os países que lograram aumentar suas exportações acima da média mundial o fizeram antes em manufaturados do que em serviços. Esse é o caso de todos os países que conseguiram multiplicar por mais de cinco vezes sua participação nas exportações não dependentes da disponibilidade de matérias-primas. O Gráfico 1 demonstra que até mesmo esses países emergentes, que lograram aumentar as exportações a um ritmo bem mais alto do que a média mundial, têm dificuldade de expandir seu *market-share* em serviços não tradicionais.

Esse resultado é coerente com a conclusão do estudo de Stojkoski, Utkovski e Kocarev (2016), que apontam que a produção de serviços sofisticados requer muito mais capacitações do que a produção de bens. Deve-se notar que os segmentos de serviços não tradicionais são mais complexos do que os de transporte e turismo.

Gráfico 1 | Mediana do *market-share* em manufaturados e em serviços não tradicionais dos países mais bem-sucedidos em aumentar as exportações



Fonte: Elaboração própria com base em dados da OMC.

Nota: *Market-share* das exportações industriais em 2000 = 100.

Comparação entre Seic e os outros serviços não tradicionais

Há uma expressiva variabilidade da participação dos países nas exportações e da importância e crescimento do comércio mundial nos diferentes segmentos do setor.⁷ O crescimento dos Seic e, em particular, dos serviços de alta tecnologia, é mais alto do que o dos outros serviços não tradicionais (ver Tabela 3). Há uma diferença significativa entre os segmentos intensivos em conhecimento na participação dos países desenvolvidos nas exportações. De acordo com Stojkoski, Utkovski e Kocarev (2016), todos os quatro segmentos com maior complexidade são serviços não tradicionais: dois são Seic (encargos pela propriedade

7 Apenas a partir de 2005 é possível analisar os componentes dos Seic.

intelectual e informática e de informação);⁸ e os outros são serviços não tradicionais (financeiros e seguros). Em 2010, os denominados outros serviços empresariais, segmento que inclui desde P&D até serviços técnicos e de consultoria, constituíram o oitavo mais complexo.

O segmento de Seic mais comercializado é o de serviços de informática. Em 2022, as exportações mundiais foram de US\$ 814 bilhões (21% do total de não tradicionais). Ele também é o mais dinâmico no comércio mundial. A forte presença da China e da Índia – que juntos exportaram 20,1% do total mundial em 2019, último ano com dado disponível – é a principal razão de a participação dos países desenvolvidos (69% em 2020, último dado disponível) ser menor nesse segmento do que no dos serviços não tradicionais como um todo (77%).⁹ Boa parte das maiores economias emergentes, mesmo as bem-sucedidas em ampliar as exportações, como Brasil, México, Tailândia, Malásia e Indonésia, têm participação reduzida nas vendas externas de serviços de informática.

8 Os autores não separam informática de serviços de informação, mas quase 90% do comércio internacional desse grupo é de informática.

9 Suíça e Taiwan foram excluídos para viabilizar a comparação da participação de países desenvolvidos em serviços não tradicionais e em informática.

Tabela 3 | Comércio internacional no mundo por segmentos de serviços não tradicionais

Segmentos de serviços	Valor comercializado em 2022		Crescimento do comércio mundial entre 2005 e 2022	% dos desenvolvidos nas exportações mundiais em 2020
	US\$	% do total		
Seic*	2630	67%	505%	78%
High tech	1501	38%	515%	79%
Informática**	814	21%	704%	69%
Propriedade intelectual	447	11%	258%	95%
P&D	240	6%	355%	87%
Outros Seic*	1129	29%	Dado não disponível	Dado não disponível
Consultoria de gestão e profissional	781	20%	484%	75%
Engenharia e arquitetura**	128	3%	Dado não disponível	Dado não disponível
Outros serviços técnicos***	220	6%	Dado não disponível	Dado não disponível
Outros serviços não tradicionais*	1305	33%	249%	83%
Construção	102	3%	222%	53%
Seguros e pensão	184	5%	283%	72%
Financeiros	623	16%	266%	95%
Telecomunicação e de informação**	115	3%	75%	75%
Pessoais, culturais e recreacionais	111	3%	299%	81%
Operações de <i>leasing</i>	68	2%	Dado não disponível	78%
Serviços associados ao comércio	102	3%	Dado não disponível	77%

Fonte: Elaboração própria com base em dados da OMC.

* Para o cálculo da média, consideramos apenas os dados disponíveis.

**Não há dados de Suíça e Taiwan.

***Não há dados de Suíça, Japão, Noruega e Taiwan.

****Não há dados de Suíça, Japão, Singapur, Israel e Hong Kong.

Serviços profissionais e de consultoria de gestão representam o segundo segmento de Seic com maior volume de receitas internacionais. Eles são divididos em dois subgrupos: serviços jurídicos, contábeis, consultoria de gestão e de relações públicas (J21) (US\$ 427 bilhões em 2021) e publicidade, estudos de mercado e sondagens de opinião (J22) (US\$ 182 bilhões). A participação dos países desenvolvidos nas exportações desses serviços é de 76%, ou seja, é um pouco superior à média dos não tradicionais. Uma característica comum entre os principais exportadores mundiais é o inglês ser o idioma oficial, ou ao menos um deles, ou a população ter alta proficiência na língua inglesa. Os maiores exportadores em 2022 foram: EUA (18,4%), Índia (12,3%), Reino Unido (10,7%), Singapura (8,0%), Alemanha (4,8%), Países Baixos (4,3%), Canadá (2,4%) e Irlanda (2,2%).¹⁰

O terceiro principal segmento dos Seic foram os encargos pelo uso de propriedade intelectual (H), responsável por 95% das receitas com exportação em 2020. Isso é esperado porque estar na fronteira tecnológica e da indústria cultural é requisito para receber encargos pela propriedade intelectual. Os três maiores exportadores são: EUA (28,6%), Alemanha (10,8%) e Japão (10,4%). A China, no caminho de uma transição para uma economia produtora de inovações, aumentou a receita internacional com propriedade intelectual em 86 vezes desde 2005, contra 2,6 vezes a média mundial do período. Contudo, sua participação, que corresponde a 3,0%, ainda é reduzida em comparação ao tamanho da sua economia. Esse é um segmento no qual políticas públicas dificilmente geram resultados expressivos em curto ou médio prazo, especialmente, em países subdesenvolvidos, como se pode ver pelo caso chinês. Depois de décadas de um processo de desenvolvimento muito bem-sucedido com fortes investimentos em inovação e *upgrade* tecnológico, a participação da China nesse segmento é ainda pequena em comparação ao tamanho de sua economia. Outro exemplo é o da Índia, cuja participação é de apenas 0,3%.

10 Não há dados sobre a China nesse nível de desagregação.

O quarto principal segmento de serviços intensivos em conhecimento são os de P&D. Embora em menor escala, também há uma grande concentração das exportações em países desenvolvidos: EUA (25,0% em 2017); Alemanha (14,6%); Reino Unido (7,2%); França (5,8%) e Japão (3,8%). Algumas pequenas economias têm participação relevante: Israel (3,6%); Suíça (2,8%) e Suécia (2,7%).¹¹ Desses países, apenas a França (12º lugar) e o Japão (13º) não estão entre as dez economias mais inovadoras pelo *ranking* do índice global de inovação (WIPO, 2022). Como esperado, economias em desenvolvimento têm uma participação reduzida nas exportações desses serviços (11% em 2017). A estrutura necessária para a produção de inovação não exige somente um grande volume de capital, mas também estar na fronteira tecnológica, vantagem que existe em um número muito restrito de países. A pequena participação da Coreia do Sul (0,4%) nos serviços em P&D é surpreendente por ser uma economia considerada fortemente inovadora.

Por último, a categoria serviços técnicos, relacionados ao comércio e outros, na desagregação a dois dígitos, apresenta segmentos que são intensivos em conhecimento (arquitetura, engenharia, científicos e outros serviços técnicos; tratamento de resíduos e despoluição, agrícolas e de mineração) e outros que não são (arrendamento operacional; serviços relacionados ao comércio). Nessa categoria a dois dígitos, há uma concentração dos países desenvolvidos nas exportações mundiais (78%) um pouco acima da média dos não tradicionais.

Entre os segmentos de serviços não tradicionais não incluídos em intensivos em conhecimento, alguns apresentam alta concentração em países desenvolvidos, como os serviços financeiros (95%); alguns estão dentro da média, como seguros e pensões (72%); e outros estão bem

11 Não há dados desagregados para a China. Mas, possivelmente, a participação chinesa é relevante uma vez que não há outros países em desenvolvimento com parcela significativa nesse segmento.

abaixo, como construção (53%). Por outro lado, em todos os segmentos dos outros serviços não tradicionais, houve expansão do comércio mundial menor do que a média dos intensivos em conhecimento.

As exportações de serviços no Brasil e os desafios a serem enfrentados

Exportações brasileiras de Seic

O Brasil é o maior exportador de Seic da América Latina e, diferente da grande maioria das economias emergentes, detém uma participação mais elevada em Seic do que em manufaturas no mercado internacional. Além disso, há um histórico bem-sucedido de apoio às vendas externas do setor. Contudo, a situação piorou significativamente nos últimos anos e o país vem perdendo participação no mercado internacional.

Entre os vinte maiores exportadores de manufaturados e de serviços não tradicionais nas economias emergentes, apenas Índia e Filipinas tiveram, em 2023, uma participação relativa maior do que a do Brasil em Seic na comparação com bens manufaturados (ver Tabela 4).

Como mencionado anteriormente, em geral, é mais difícil entrar no mercado de exportações de Seic do que no de manufaturados. Países bem-sucedidos em elevar significativamente as exportações não dependentes de recursos naturais, como a China, os países do Sudeste Asiático, a Turquia e o México, demoraram um tempo razoável para desenvolver um setor de serviços robusto e competitivo. E, do ponto de vista internacional, ainda hoje, o setor industrial dessas economias é bem maior e competitivo do que o de serviços. As principais exceções,

além da Índia e das Filipinas, são os países em desenvolvimento da União Europeia, que contam com a ausência de barreiras não tarifárias e uma forte integração com as economias desenvolvidas da Europa.

Tabela 4 | Market-share nas exportações mundiais em 2023 dos vinte maiores países emergentes exportadores de manufaturados e de Seic

País	Market-share em Seic (A)	Market-share em manufaturados (B)	A/B
Índia	7,4%	1,8%	420%
Filipinas	0,9%	0,4%	241%
Brasil	0,8%	0,5%	148%
Romênia	0,5%	0,5%	111%
Bulgária	0,2%	0,2%	100%
Paquistão	0,1%	0,1%	87%
Marrocos	0,3%	0,4%	85%
Rússia	0,2%	0,2%	76%
Polônia	1,4%	1,9%	71%
Emirados Árabes	0,5%	1,1%	47%
Hungria	0,4%	0,9%	43%
Tailândia	0,6%	1,3%	42%
Indonésia	0,3%	0,7%	37%
China	6,1%	20,0%	30%
Malásia	0,3%	1,4%	24%
Turquia	0,2%	1,2%	20%
Bangladesh	0,1%	0,3%	15%
Irã*	0,0%	0,1%	14%
México	0,0%	3,0%	8%
Vietnã*	0,1%	1,9%	6%
Total	20,3%	37,9%	53%

Fonte: Elaboração própria com base em dados da OMC.

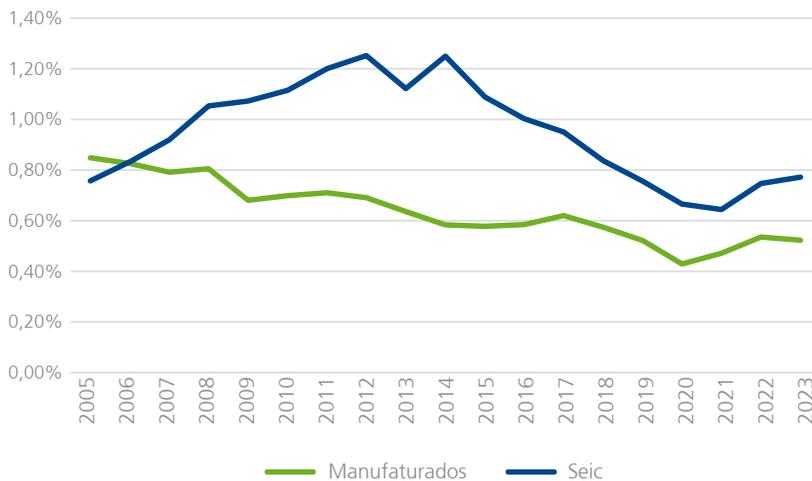
*O market-share de Seic do Vietnã é de 2019 e do Irã, de 2018, pois a OMC não disponibiliza dados de 2023 para esses países.

Ao contrário de outros países emergentes, uma boa parte do resultado desse indicador para o Brasil deve-se à forte redução do *market-share*

em manufaturados nos últimos vinte anos (ver Gráfico 2). De 2005 até 2023, houve uma queda contínua do *market-share* do Brasil em manufaturados: de 0,85% para 0,52%. Deve-se enfatizar que essa proporção é bem menor do que a participação do Brasil no PIB mundial (2,33% em 2022, segundo o FMI) e está próxima do menor valor desde 1980 (0,43% atingido em 2020). Esses indicadores mostram a gravidade do problema da competitividade da indústria de transformação no Brasil.

Já as exportações brasileiras de Seic têm uma trajetória diferente. Entre 2005 e 2012, elas mais do que triplicaram – expansão bem maior do que a média mundial – e atingiram US\$ 19,2 bilhões. A partir de 2013, elas estagnaram e o Brasil perdeu rapidamente participação. Entre 2022 e 2023, houve uma retomada do crescimento dessas exportações, que alcançaram US\$ 25,8 bilhões, e uma modesta recuperação do *market-share* do Brasil, que chegou a 0,77% do total mundial.

Gráfico 2 | Participação do Brasil nas exportações mundiais de manufaturas e Seic



Fonte: Elaboração própria com base em dados da OMC.

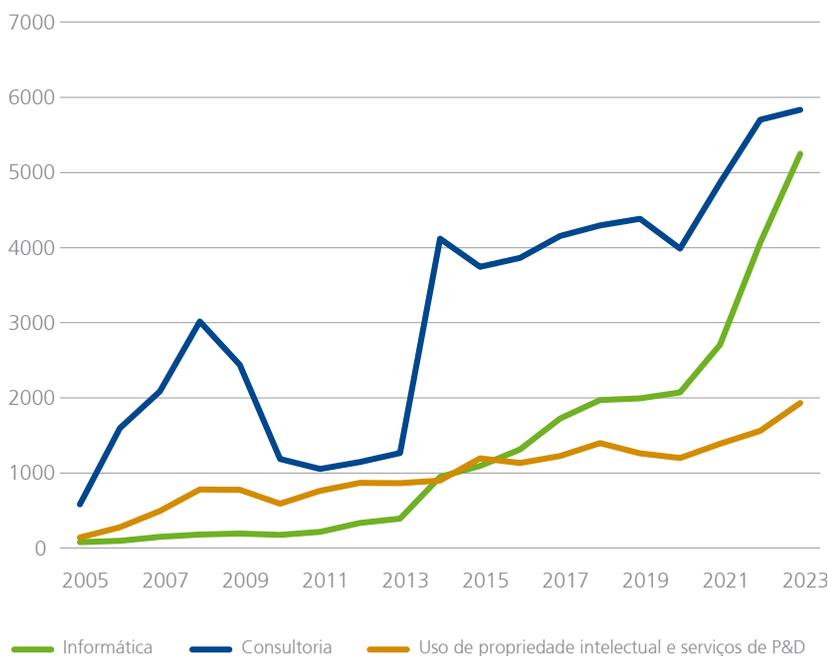
De 2005 a 2013, os serviços técnicos relacionados ao comércio e outros serviços empresariais, que incluíam serviços de arquitetura e engenharia, corresponderam em média a 83% das vendas externas do Brasil e, embora tenham caído para 50% em 2023, as duas proporções foram bem acima da média mundial (respectivamente, 32% e 24%). Dessa forma, o sucesso relativo do Brasil em Seic, a volatilidade e o crescimento das exportações devem-se basicamente a essa rubrica.

Tradicionalmente, um dos principais setores nas exportações brasileiras era o de serviços de engenharia e arquitetura. Infelizmente, a OMC não disponibiliza dados brasileiros com essa desagregação, e a série do Banco Central do Brasil (BCB) para serviços de engenharia e arquitetura foi descontinuada em 2014. Em 2012, a receita desses serviços foi de US\$ 9,2 bilhões (48% do total das vendas de Seic), mas, em 2014, houve uma acentuada redução na receita, que alcançou US\$ 3,6 bilhões (19% do total). Deve-se ressaltar que essa rubrica contrasta com o restante da balança de serviços por ser persistentemente superavitária. A queda da participação dos serviços técnicos ocorreu pela combinação de redução do seu valor exportado e pelo aumento das receitas dos outros Seic.

O apoio público às exportações de serviços de engenharia no Brasil remonta à década 1970, por meio de recursos do Fundo de Financiamento às Exportações (Finex), com prioridade para aqueles associados à venda de bens (Hirata; Souza, 2019). Os autores destacam que o então Ministro da Fazenda defendia o apoio às exportações de serviços de engenharia pela capacidade de gerar divisas e pelo conhecimento brasileiro no setor. Naquele período, o setor de construção civil cresceu por causa dos elevados investimentos em infraestrutura e as exportações de serviços de engenharia foram importantes para diminuir o impacto da desaceleração das obras após a crise da dívida dos anos 1980 (Vasconcellos, 2014).

Ressalta-se que, nos últimos anos, houve um forte crescimento das exportações brasileiras de serviços de consultoria e, principalmente, de serviços de informática (ver Gráfico 3). O *market-share* do Brasil nas vendas mundiais de serviços de informática multiplicou por oito e atingiu 0,57% em 2023. O setor tem sido um dos principais focos das políticas industriais do Brasil há mais de vinte anos. Em 2003, a Política Industrial Tecnológica de Comércio Exterior (PITCE) escolheu o setor de *software* como um dos quatro prioritários. As políticas industriais posteriores – Política de Desenvolvimento Produtivo, de 2008, e Plano Brasil Maior, de 2011 – também destacaram a relevância do setor e incluíram serviços de TI (Medrado; Rivera, 2013).

Gráfico 3 | Exportações de Seic do Brasil, exceto de serviços técnicos (US\$ milhões)



Fonte: Adaptado de OMC.

Os grandes desafios para os países em desenvolvimento

Desde a Revolução Industrial, há uma forte e quase contínua tendência de aumento da divergência de renda entre países ricos e pobres.¹² Entre as décadas de 1950 e 1970, algumas economias emergentes conseguiram se desenvolver rapidamente. Contudo, com poucas exceções, países em desenvolvimento, quando atingiram o nível de renda próximo à média mundial, desaceleraram expressivamente o crescimento econômico e interromperam o processo de convergência da renda *per capita* em direção às nações industrializadas. Muitos, inclusive, passaram a se distanciar do nível de renda *per capita* dos EUA. Esse fenômeno é conhecido na literatura de desenvolvimento como armadilha da renda média, que aponta a dificuldade em avançar na sofisticação produtiva da economia (Hartmann *et al.*, 2020). Os autores estudaram os poucos casos de sucesso de países que conseguiram atingir alto nível de desenvolvimento – Coreia do Sul, Singapura, Israel e Irlanda – e concluíram que foram necessárias políticas industriais inteligentes para avançar na sofisticação produtiva e que seria difícil imaginar esse processo sem empresas inovadoras e produtivas.

Baldwin (2011) defende que, a partir dos anos 1980, o mundo estaria passando por uma segunda globalização, o que permitiu que a industrialização fosse mais fácil e rápida. O grande volume de investimento direto externo, aliado ao aumento das importações de máquinas e insumos, dispensava que economias emergentes desenvolvessem a própria tecnologia e toda a cadeia produtiva. Mas, exatamente por esse motivo,

12 De acordo com os dados do Projeto Maddison, em 1820, a renda *per capita* dos EUA era cerca do dobro da média da África e América Latina. Atualmente, é oito vezes maior do que a da América Latina e mais de cinquenta vezes maior do que a da África Subsaariana. Mais informações sobre o projeto estão disponíveis em: <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/>.

a industrialização desses países teria um impacto menos positivo para o desenvolvimento. O argumento é que a produção poderia ser substituída por outros concorrentes muito rapidamente,¹³ por ter menor valor agregado gerado no país. Essa seria a diferença entre os Tigres Asiáticos e outros emergentes.

Por um lado, muitas economias têm ficado pressionadas entre países desenvolvidos com empresas robustas e altos investimentos em inovações, ao mesmo tempo que China e Vietnã avançam rapidamente no desenvolvimento tecnológico e na rede de fornecedores. Além disso, países próximos aos grandes mercados consumidores da Europa e dos EUA tendem a se integrar ao sistema produtivo de seus vizinhos desenvolvidos. O acirramento de disputas geopolíticas e as interrupções das cadeias produtivas reforçaram essas tendências de *nearshoring* e de *friendshoring*, o que favoreceu países como o México e a Polônia. Todos esses movimentos têm feito com que boa parte dos países emergentes apresentem, desde 2005, uma perda de participação nas exportações mundiais de manufaturas, baixo investimento na produção industrial e diminuição relativa da complexidade de suas economias. Por exemplo, Oreiro, D'Agostini e Gala (2020) mostram que o índice de complexidade do Brasil caiu de 0,65, em 2005, para 0,24, em 2017, uma redução de 63%.

Por outro lado, a importância dos Seic para a geração de divisas e para a competitividade industrial agrava esse cenário, pois esses países emergentes, como já discutido em seção anterior, estão em desvantagem em relação aos países desenvolvidos.

Não bastassem esses motivos, nos últimos anos, o governo dos EUA vem promovendo as políticas industriais mais fortes possivelmente desde o pós-guerra (Artecona; Velloso, 2022). Além de pacotes de subsídios

13 O autor cita o exemplo da indústria de calçados do Brasil, substituída pela da China.

de dezenas de bilhões de dólares para atrair a produção em setores mais promissores, como *chips* e automóveis elétricos, os EUA têm restringido severamente o acesso da China às tecnologias mais avançadas. Em resposta, Europa, Japão e China ofereceram incentivos fiscais robustos para a instalação de indústria de *chips* e de novas tecnologias, enquanto os países emergentes não têm disponibilizado recursos para isso.

A ampliação do atraso relativo da indústria e dos Seic no Brasil já representava uma tendência forte antes da expansão das políticas industriais dos países desenvolvidos após a pandemia. Além disso, a ausência de consenso da sociedade brasileira a respeito da necessidade de impulsionar a sofisticação da estrutura produtiva do país torna as perspectivas ainda mais negativas. Contudo, a história é dinâmica, e a sociedade e o Estado brasileiro já mostraram que são capazes de formular políticas públicas exemplares. No cenário atual, há oportunidades que podem ser aproveitadas. O acirramento geopolítico entre o Ocidente e a China pode fornecer possibilidades de o Brasil substituir exportações de manufaturas da China no mercado ocidental e induzir investimentos produtivos das duas partes no Brasil.

Conclusão

A relação entre desenvolvimento econômico e um robusto e competitivo setor de Seic é uma via de mão dupla. Por um lado, esse setor é consequência de uma etapa mais avançada de desenvolvimento industrial. Por outro, ele é cada vez mais fundamental para o desenvolvimento tecnológico, para a competitividade das manufaturas e para a geração de divisas. Atualmente, metade do valor agregado do comércio mundial origina-se em atividades de serviços.

Exatamente pela centralidade dos Seic no desenvolvimento tecnológico, os países em desenvolvimento têm dificuldade em conquistar participações relevantes nas exportações mundiais desses serviços. Para a formação de um setor de Seic robusto e competitivo, é essencial estar na fronteira tecnológica e ter um forte sistema nacional inovador, com indústrias mais sofisticadas, mercado de capital profundo, grandes empresas nacionais e elevada demanda interna para sustentar economias de escala. Todos esses fatores demandam que o país tenha características de estágios mais avançados de desenvolvimento.

O bom desenvolvimento de setores de Seic representa uma etapa mais avançada de países que conseguiram um bom desenvolvimento industrial. O caso da China é emblemático. O país só se tornou um grande *player* em Seic muito tempo após o início do bem-sucedido processo de desenvolvimento e de expansão da produção industrial. A expansão das exportações chinesas de serviços encontrou maiores dificuldades e em nenhum momento o país obteve ganhos no *market-share* tão rápidos como ocorreu em manufaturas. Diversos outros países bem-sucedidos nas exportações de manufaturas, como Vietnã e México, ainda têm uma participação muito tímida em Seic no mercado internacional.

O sucesso indiano é uma exceção e há um superdimensionamento dele como uma contraposição ao da China em manufaturas. Em primeiro lugar, os dois países têm revezado a posição de terceiro maior exportador mundial em Seic. Em segundo lugar, as vendas externas de bens industriais pela Índia, mesmo excluindo derivados de petróleo, ainda é 13% maior do que em Seic. É um equívoco menosprezar a capacidade industrial indiana. Atualmente, o país conta com o quarto maior parque industrial do mundo e é o segundo maior produtor de aço, o principal insumo das manufaturas.

Embora existam políticas industriais específicas para o setor de serviços, como o financiamento em condições competitivas de exportações e políticas fiscais e tributárias favoráveis, o fortalecimento dos Seic depende do desenvolvimento econômico e tecnológico do país como um todo. Os pesados gastos nos países desenvolvidos para atrair atividades produtivas estratégicas e de ponta tornam o cenário bastante desafiador para países em desenvolvimento.

O Brasil é o maior exportador de Seic da América Latina e, diferentemente da maior parte das economias emergentes, apresenta uma participação mais elevada no comércio mundial de Seic do que em manufaturas. Em um passado recente, as exportações de serviços de engenharia do Brasil chegaram a apresentar grande expansão e expressivos superávits nas contas externas correspondentes a essa atividade, ajudando a equilibrar o tradicional déficit brasileiro no total de serviços.

Vale destacar que a maior participação relativa do Brasil nas exportações de Seic ocorre também pela forte perda de competitividade industrial brasileira. O *market-share* do Brasil em Seic, de forma similar às manufaturas, está com uma tendência de redução desde o início da década passada, embora ainda tenha conseguido se manter mais elevada.

Apesar do grande valor negociado de Seic no comércio internacional, o conhecimento sobre o setor ainda é limitado em comparação a sua crescente importância. A falta de uma desagregação mais detalhada dos dados reforça essa constatação. Por esses motivos, é necessário o aprofundamento de estudos sobre o setor. Os casos excepcionais, tanto de países em desenvolvimento que têm participação elevada nas exportações mundiais (Índia) quanto de desenvolvidos que exportam relativamente pouco (Japão, Coreia do Sul e Taiwan), devem ser mais bem compreendidos.

Referências

AMANCIO, I. R. *et al.* The interplay between KIBS and manufacturers: a scoping review of major key themes and research opportunities. *European Planning Studies*, London, v. 30, n. 10, p. 1919-1941, 2022. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/taf/eurpls/v30y2022i10p1919-1941.html>. Acesso em: 4 abr. 2024.

ANAND, R.; MISHRA, S.; SPATAFORA, N. *Structural transformation and the sophistication of production*. Washington, D.C.: International Monetary Fund, 2012. (IMF Working Paper, 12/59). Disponível em: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2012/wp1259.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ARTECONA, R.; VELLOSO, H. *Towards a new industrial policy. The United States economic policy agenda post-COVID*. Washington, D.C.: ECLAC Office in Washington, D.C., 2022. (Studies and perspectives, n. 22). Disponível em: https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/towards_a_new_industrial_policy.pdf. Acesso em: 10 fev. 2024.

BALDWIN, R. *Trade and industrialisation after globalisation's 2nd unbundling: how building and joining a supply chain are different and why it matters*. Cambridge: National Bureau of Economic Research (NBER), 2011. (NBER Working Paper Series, n. 17716). Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w17716>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BLÁZQUEZ, L.; DÍAZ-MORA, C.; GONZÁLEZ-DÍAZ, B. The role of services content for manufacturing competitiveness: A network analysis. *PLoS ONE*, San Francisco, v. 15, n. 1, 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0226411>. Acesso em: 14 fev. 2024.

CHANG, H. *Maus samaritanos: o mito do livre-comércio e a história secreta do capitalismo*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

CHRISTENSEN, J. L.; DREJER, I. *Blurring boundaries between manufacturing and services*. Aarhus: ServINNo – Service Innovation in the Nordic countries: Key Factors for Policy Design, 2007. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=9b02f2290d9197a352eb7aeae606e8cf8a3f046a>. Acesso em: 14 fev. 2024.

CIARLI, T.; MELICIANI, V.; SAVONA, M. Knowledge dynamics, structural change and the geography of business services. *Journal of Economic Surveys*, Avon, v. 26, n. 3, p. 445-467, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-6419.2012.00722.x> Acesso em: 14 fev. 2024.

CLARK, C. *The conditions of economic progress*. London: MacMillan, 1957.

CORROCHER, N.; CUSMANO, L. The ‘KIBS engine’ of regional innovation systems: empirical evidence from European regions. *Regional Studies*, London, v. 48, n. 7, p. 1212-1226, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.1080/00343404.2012.731045>. Acesso em: 7 mar. 2024.

DACHS, B. *et al. The servitization of European manufacturing industries*. München: MPRA – Munich Personal RePec Archive, 2012. (MPRA Paper, n. 38873). Disponível em: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/38995/2/MPRA_paper_38995.pdf. Acesso em: 5 jan. 2024.

DAUDT, G. M.; WILLCOX, L. D. Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 44, p. 5-45, set. 2016. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9936>. Acesso em: 5 jan. 2024.

DOLOREUX, D.; FREEL, M.; MULLER, E. Getting to grips with innovation in Knowledge Intensive Business Services (KIBS). *International Journal of Services Technology and Management*, v. 10, n. 2/3/4, 2008.

EICHENGREEN, B.; GUPTA, P. *Exports of services: Indian experience in perspective*. München: MPRA – Munich Personal RePec Archive, 2012. (MPRA Paper, n. 37409). Disponível em: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/37409/1/MPRA_paper_37409.pdf. Acesso em: 5 jan. 2024.

FRANCOIS, J.; WOERZ, J. Producer services, manufacturing linkages, and trade. *Journal of Industry, Competition and Trade*, Amsterdam, v. 8, p. 199-229, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10842-008-0043-0>. Acesso em: 14 fev. 2024.

GHANI, E.; KHARAS, H. *The service revolution in South Asia: an overview*. Oxford: Oxford University Press, 2010.

GOSWAMI, A. G. *et al.* Service exports: Are the drivers different for developing countries? In: GOSWAMI, A. G.; MATTOO, A.; SÁEZ, S. (eds.). *Exporting services: a developing country perspective*. Washington, D.C.: World Bank, 2012. p. 25-79.

GOUVEA, R. R.; LIMA, G. T. Structural change, balance-of-payments constraint, and economic growth: evidence from the multisectoral Thirlwall's law. *Journal of Post Keynesian Economics*, London, v. 33, n. 1, p. 169-204, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2753/PKE0160-3477330109>. Acesso em: 6 mar. 2025.

GUERRIERI, P.; MELICIANI, V. Technology and international competitiveness: the interdependence between manufacturing and producer services. *Structural Change and Economic Dynamics*, Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 489-502, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0954349X05000202?via%3Dihub>. Acesso em: 14 mar. 2024.

HARTMANN, D. *et al.* *Why did some countries catch-up, while others got stuck in the middle? Stages of productive sophistication and smart industrial policies*. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2020. (Working Paper, n. 526). Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/0fd7072c-81ae-445c-b666-738f2e15628e/content>. Acesso em: 14 mar. 2014.

HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. The network structure of economic output. *Journal of Economic Growth*, Dordrecht, v. 16, p. 309-342, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10887-011-9071-4>. Acesso em: 5 jan. 2024.

HERRERO, D.; RIAL, A. Labor costs, KIBS, and export performance: a comparative analysis of Germany and Mediterranean economies. *Structural Change and Economic Dynamics*, Amsterdam, v. 65, p. 184-198, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0954349X23000255?via%3Dihub>. Acesso em: 14 mar. 2024.

HIRATA, E. S.; SOUZA, V. M. R. Histórico do apoio público brasileiro às exportações, com ênfase na exportação de serviços. *BNDDES Setorial*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 49, p. 81-153, mar. 2019. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/17003>. Acesso em: 25 mar. 2024.

IEDI – INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Desindustrialização prematura: um mal para o desenvolvimento. *IEDI*, São Paulo, 29 set. 2016. Disponível em: https://iedi.org.br/artigos/top/analise/analise_iedi_20160929_ind_desenv.html. Acesso em: 5 jan. 2024.

JAIN, A. CDMOs and their importance in tech startups. *Innovare Academic Sciences*, Bhopal, 11 nov. 2022. Disponível em: <https://innovareacademics.in/blog/cdmos-and-their-importance-in-tech-start/>. Acesso em: 29 mar. 2024.

KALDOR, N. *Causes of the slow rate of economic growth of the United Kingdom: an inaugural lecture*. Cambridge: Cambridge University Press, 1966.

KOX, H.; RUBALCABA, L. *Business services and the changing structure of European economic growth*. München: MPRA – Munich Personal RePEc Archive, 2007. (MPRA Paper, n. 3750). Disponível em: <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/3750/>. Acesso em: 14 mar. 2024.

MCMILLAN, M.; RODRIK, D.; VERDUZCO-GALLO, Í. Globalization, structural change, and productivity growth, with an update on Africa. *World Development*, Amsterdam, v. 63, p. 11-32, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X13002246?via%3Dihub>. Acesso em: 14 mar. 2024.

MEDRADO, A.; RIVERA, R. Avaliação do apoio do BNDES ao setor de *software* e serviços de TI. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 38, p. 329-372, set. 2013. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4783>. Acesso em: 14 mar. 2024.

MEGLIO, G. *et al.* Services in developing economies: the deindustrialization debate in perspective. *Development and Change*, The Hague, v. 49, n. 6, p. 1495-1525, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/dech.12444>. Acesso em: 5 jan. 2024.

MELICIANI, V.; SAVONA, M. The determinants of regional specialisation in business services: agglomeration economies, vertical linkages and innovation. *Journal of Economic Geography*, Oxford, v. 15, n. 2, p. 387-416, 2015. Disponível em: <https://academic.oup.com/joeg/article/15/2/387/926975>. Acesso em: 21 mar. 2024.

- MIROUDOT, S.; CADESTIN, C. *Services in global value chains: from inputs to value-creating activities*. Paris: OECD – Organisation for Economic Co-Operation and Development, 2017. (OECD Trade Policy Papers, n. 197). Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/services-in-global-value-chains_465f0d8b-en.html. Acesso em: 21 mar. 2024.
- MISHRA, S.; LUNDSTROM, S.; ANAND, R. *Service export sophistication and economic growth*. Washington, D.C.: World Bank, 2011. (Policy Research Working Paper, n. 5606). Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/170221468339911476/pdf/WPS5606.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- MORRONE, H. *A lei de Kaldor-Verdoor no Brasil: uma análise dos setores industrial e agropecuário*. 2006. Dissertação (Mestrado em Economia do Desenvolvimento) – Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3853>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- NÜBLER, I. A theory of capabilities for productive transformation: learning to catch up. In: SALAZAR-XIRINACHS, J.; NÜBLER, I.; KOZUL-WRIGHT, R. (eds.). *Transforming economies: making industrial policy work for growth, jobs and development*. Genebra: International Labour Office, 2014, p. 113-149.
- OREIRO, J. L.; D'AGOSTINI, L. L. M.; GALA, P. Deindustrialization, economic complexity and exchange rate overvaluation: the case of Brazil (1998-2017). *PSL Quarterly Review*, Roma, v. 73, n. 295, p. 313-341, 2020. Disponível em: https://rosa.uniroma1.it/rosa04/psl_quarterly_review/article/view/17308/16534. Acesso em: 10 fev. 2024
- PREBISCH, R. O desenvolvimento econômico da América Latina e alguns de seus principais problemas. In: PREBISCH, R. *O manifesto latino-americano e outros ensaios*. Rio de Janeiro: Contraponto; Centro Internacional Celso Furtado, 2011, p. 95-151.
- ROWTHORN, R.; RAMASWAMY, R. Growth, trade, and deindustrialization. *IMF Staff Papers*, Washington, D.C., v. 46, n. 1, p. 18-41, 1999. Disponível em: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/staffp/1999/03-99/pdf/rowthorn.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- ROWTHORN, R.; WELLS, J. *De-industrialization and foreign trade*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

SILVA, G. J. C.; NEDER, H. D.; SANTOS, H. S. A lei de Verdoorn-Kaldor-Thirlwall: uma análise empírica. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 149-166, 2016. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/414>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SOUZA, K. B.; BASTOS, S. Q. A.; PEROBELLI, F. S. Multiple trends of tertiarization: a comparative input-output analysis of the service sector expansion between Brazil and United States. *Economia*, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 141-158, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1517758015000442?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jan. 2024.

STOJKOSKI, V.; UTKOVSKI, Z.; KOCAREV, L. The impact of services on economic complexity: service sophistication as route for economic growth. *PLoS ONE*, San Francisco, v. 11, n. 8, 2016. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0161633>. Acesso em: 12 jan. 2024.

STORY, V. *et al.* Capabilities for advanced services: a multi-actor perspective. *Industrial Marketing Management*, Amsterdam, v. 60, p. 54-68, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019850116300712?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jan. 2024.

VANDERMERWE, S.; RADA, J. Servitization of business: adding value by adding services. *European Management Journal*, Oxford, v. 6, n. 4, pp. 314-324, 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0263237388900333?via%3Dihub>. Acesso em: 10 fev. 2024.

VASCONCELLOS, P. M. C. As construtoras brasileiras e o processo de integração regional na América do Sul. *Polis, Revista Latinoamericana*, Santiago, v. 13, n. 39, p. 151-172, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.cl/pdf/polis/v13n39/art08.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

WIPO - WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. *GII 2022 results*. Geneva: WIPO, 2022. Disponível em: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2022-section3-en-gii-2022-results-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>. Acesso em: 15 mar. de 2024.

ISSN 1414-9230



Nesta edição:

Energia

Desenvolvimento urbano

Infraestrutura urbana

Exportação

Editado pelo Departamento de Relacionamento
da Área de Relacionamento, Marketing e Cultura do BNDES
Março de 2025



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO,
INDÚSTRIA, COMÉRCIO
E SERVIÇOS

