



# **OPORTUNIDADES DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

**FEVEREIRO/2024**

## CONSELHO DO IEDI

<i>Conselheiro</i>	<i>Empresa</i>
Alberto Borges de Souza	Caramuru Alimentos S.A.
Amarílio Proença de Macêdo	J.Macêdo Alimentos S.A.
Bruno Uchino	Unipar Carbocloro S.A.
Carlos Eduardo Sanchez	EMS - Indústria Farmacêutica Ltda.
Dan Ioschpe <i>Vice-Presidente</i>	Ioschpe-Maxion S.A.
Daniel Feffer	Grupo Suzano S.A.
Décio da Silva	WEG S.A.
Eduardo de Salles Bartolomeo	Vale S.A.
Eduardo Fischer	MRV S.A.
Eugênio Emílio Staub	Conselheiro Emérito
Flávio Gurgel Rocha	Confecções Guararapes S.A.
Francisco Gomes Neto	Embraer S.A.
Guilherme c. Gerdau Johannpeter <i>Presidente</i>	Gerdau S.A.
Hélio Bruck Rotenberg	Positivo Informática S.A.
Henri Armand Slezzynger	Unigel S.A.
Horacio Lafer Piva	Klabin S.A.
João Guilherme Sabino Ometto	Grupo São Martinho S.A.
José Roberto Ermírio de Moraes	Votorantim Participações S.A.
Josué Christiano Gomes da Silva	Coteminas S.A.
Leonardo de Mattos Galvão	Mover Participações S.A.
Lírio Albino Parisotto	Videolar S.A.

## CONSELHO DO IEDI

<i>Conselheiro</i>	<i>Empresa</i>
Lucas Santos Rodas	Companhia Nitro Química Brasileira S.A.
Luiz Alberto Garcia	Algar S.A.
Luiz Cassiano Rando Rosolen	Indústrias Romi S.A.
Marcelo Facchini	Facchini S.A.
Marcelo Faria de Lima	Metalfrio S.A.
Marcelo Milliet	Paranapanema S.A.
Marco Stefanini	Stefanini S.A.
Marcos Lutz	Ultrapar Participações S.A.
Paulo Diederichsen Villares	Membro Colaborador
Pedro Luiz Barreiros Passos	Natura Cosméticos S.A.
Pedro Wongtschowski	Conselheiro Emérito
Raul Calfat <i>Vice-Presidente</i>	Aché Laboratórios Farmacêuticos S.A.
Ricardo Steinbruch	Vicunha Têxtil S.A.
Roberto Bischoff	Braskem S/A
Roberto Caiuby Vidigal	Membro Colaborador
Rodolfo Galvani Jr	Fosnor S.A.
Rodolfo Villela Marino	Itaúsa S.A.
Rubens Ometto	Cosan S.A.
Salo Seibel <i>Vice-Presidente</i>	Dexco S.A.
Sergio Francisco Monteiro de Carvalho Guimarães	Monteiro Aranha S.A.
Victório De Marchi	AmBev S.A.

## OPORTUNIDADES DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Introdução.....	5
Políticas industriais e de inovação para a abertura de janelas de oportunidade verdes.....	7
Identificação dos objetivos .....	9
Fortalecimento dos sistemas setoriais de inovação .....	11
Abrindo janelas de oportunidade verdes .....	14
Painéis solares fotovoltaicos e a China .....	16
Biocombustíveis e o Brasil .....	18
Hidrogênio Verde e o Chile .....	21
Hidrogênio de Baixo Carbono no Brasil .....	24
O estágio atual e perspectivas futuras para as janelas de oportunidades verdes.....	29
Maturidade das tecnologias verdes .....	32
Políticas industriais e de inovação em direção a uma produção mais sustentável.....	34

## OPORTUNIDADES DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

### Introdução

Este Estudo IEDI aborda a última edição do relatório “Technology and Innovation” da UNCTAD, que enfatizou as janelas de oportunidade que estão se abrindo aos países emergentes e em desenvolvimento com a necessidade de se reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O relatório defende estratégias industriais baseadas no desenvolvimento tecnológico associado à sustentabilidade ambiental.

As janelas de oportunidade verdes (*green windows of opportunity*) constituem condições favoráveis ao desenvolvimento dos países decorrentes da busca global por sustentabilidade ambiental. Mas a UNCTAD alerta: são oportunidades limitadas no tempo e seu aproveitamento exigirá desenvolvimento tecnológico, mudanças institucionais internas e externas e políticas públicas, bem como novas dinâmicas de mercado.

Desde ponto de vista, por melhor que um país esteja posicionado, nada é garantido. Por isso, a UNCTAD defende a adoção de estratégias industriais orientadas a missões com ênfase em PD&I. Tais políticas devem ser pautadas pelas melhores práticas internacionais e serem estruturadas em torno dos seguintes princípios:

- Definição clara de objetivos e dos processos de permanente monitoramento e avaliação das políticas;
- Fomento a projetos de P&D e tolerância aos eventuais fracassos de alguns destes, dado o elevado grau de incerteza da atividade inovativa;
- Correta distribuição de investimentos entre diferentes setores e agentes envolvidos nos objetivos parciais ou intermediários das missões;
- Envolvimento de um amplo número de instituições e agentes, públicos e privados, com responsabilidades bem definidas, coordenação e monitoramento permanente de desempenho.

O relatório adverte ainda que as ações adotadas possuem caráter seriado, isto é, integram um processo em que há aprendizados, ajustamentos e melhorias à medida em que são implementadas. Os objetivos buscados devem ser ambiciosos, mas não descolados das capacidades existentes e constituídas ao longo da estratégia, sob risco de inexecutabilidade.

Para reduzir essa incerteza e, logo, a possibilidade de erros, a UNCTAD sugere o alinhamento prévio entre políticas industriais, políticas de ciência, tecnologia e inovação,

políticas ambientais e energéticas. Ou seja, mais do que nunca, coordenação e sinergia estão na ordem do dia. O relatório cita como um exemplo positivo a experiência do Brasil no incentivo ao setor de energia eólica dos anos 2000.

De modo complementar às diretrizes anteriores, o relatório também defende que para aproveitar as janelas de oportunidade deve ser dada fundamental ênfase à pesquisa e desenvolvimento levando em conta as condições de partida dos sistemas de inovação de cada país e o grau de maturidade das tecnologias a serem incentivadas.

Em geral, tecnologias mais maduras (como eólica e solar) são menos incertas. Em contrapartida, por haver fornecedores internacionais bem consolidados, a entrada de países em desenvolvimento nos seus mercados de equipamentos e insumos encontra maiores barreiras, sobretudo, nas tecnologias *core*. As políticas devem então, segundo a UNCTAD, priorizar o incentivo ao desenvolvimento de projetos de engenharia, serviços associados etc.

Já tecnologias menos maduras (como hidrogênio por eletrólise e CSP – *concentrated solar power*) têm rotas mais incertas e exigem maiores esforços em PD&I e, a depender de sua *tradability*, pode ser necessário maior ou menor proteção de mercado e estímulos à demanda, argumenta a UNCTAD.

O relatório analisa, ainda, experiências particulares de alguns países com determinadas “tecnologias verdes” consideradas de sucesso pela UNCTAD, enfatizando os aspectos que influenciaram seu desenvolvimento. Entre estes casos estão os painéis fotovoltaicos na China, os biocombustíveis no Brasil, e o hidrogênio verde por eletrólise no Chile.

A partir de outras fontes, como relatórios da McKinsey, Bloomberg, BNDES e Abiogás, o IEDI buscou tratar das oportunidades do Brasil na produção de hidrogênio sustentável para além da rota tecnológica da eletrólise, que ainda carece da superação de obstáculos para a produção em larga escala. Outras rotas mais maduras, a partir de biocombustíveis e biomassa, por exemplo, estão disponíveis ao país.

A UNCTAD sintetiza quatro possíveis cenários a partir das precondições, isto é, do estágio prévio das competências tecnológicas já acumuladas, e da magnitude das respostas de política que os países dão diante das “janelas verdes de oportunidade”. O melhor deles é quando há uma combinação entre precondições fortes e respostas de envergadura.

No caso brasileiro, é o que ocorre com biocombustíveis, em geral, mas notadamente com o etanol. Seria, assim, um caminho a partir do qual poderíamos estabelecer presença importante em cadeias produtivas em construção e de grande potencial de crescimento, a exemplo do SAF (*Sustainable Aviation Fuel*), veículos elétricos a célula de combustível e hidrogênio sustentável.

## **Políticas industriais e de inovação para a abertura de janelas de oportunidade verdes**

A emergência climática, decorrente do progressivo aquecimento global, impõe a todos os países desafios sem precedentes para tornar suas estruturas econômicas mais sustentáveis e com menor emissão de gases de efeito estufa. Esta é uma condição que torna ainda mais complexa a trajetória de desenvolvimento socioeconômico dos países emergentes e dos menos desenvolvidos.

Mas, por outro lado, a exigência de sustentabilidade também abre novas oportunidades. É o que o relatório da Unctad “Technology and Innovation Report” identificou como *green windows of opportunity* ou “janelas verdes de oportunidade”, que podem ou não serem aproveitadas pelos países em desenvolvimento, dependendo das estratégias nacionais que adotarem.

As *green windows of opportunity* compreendem condições favoráveis, mas limitadas no tempo, para o desenvolvimento dos países associado à transformação sustentável, com base no surgimento de novas tecnológicas, em mudanças institucionais internas e externas e nas políticas públicas, bem em novas dinâmicas de mercado.

Segundo a instituição, a abertura de janelas de oportunidade para o desenvolvimento associadas a tecnologias verdes deve se basear em estratégias ou políticas orientadas a missões.

Essas políticas devem ser pautadas pelas melhores práticas internacionais e serem estruturadas em 4 eixos:

- (1) Definição clara de objetivos e dos processos de permanente monitoramento e avaliação das políticas;
- (2) Fomento a projetos de P&D e tolerância aos eventuais fracassos de alguns destes, dado o elevado grau de incerteza da atividade inovativa;
- (3) Assegurar a distribuição de investimentos entre diferentes setores e agentes envolvidos nos objetivos parciais ou intermediários das missões;
- (4) Envolver um amplo aspecto de instituições e agentes, públicos e privados, com responsabilidades bem definidas, bem como coordenação previamente estabelecida e monitoramento permanente do desempenho.

A partir desses eixos, o relatório da UNCTAD sugere uma sequência de passos para que essas missões sejam construídas. E adverte que a exequibilidade das políticas deve levar em

consideração as condições de partida da estrutura produtiva doméstica e o grau de desenvolvimento das instituições e organizações locais.

Em outros termos, as ações são seriadas, isto é, fazem parte de um processo, em que há aprendizados, ajustamentos e melhorias à medida em que são implementadas, e os objetivos buscados devem ser ambiciosos, mas não descolados das capacidades existentes e constituídas ao longo da estratégia orientada por missão.

## Identificação dos objetivos

É importante enfatizar de início que a identificação de janelas de oportunidades tecnológicas verdes para os países é marcada por forte incerteza, dado o caráter emergente das tecnologias. Neste contexto, pode haver fracassos, mas é importante que deles se obtenha aprendizados para minimizar fracassos futuros.

Para reduzir essa incerteza e, logo, a possibilidade de erros, a UNCTAD sugere o alinhamento prévio entre políticas industriais, políticas de ciência, tecnologia e inovação, políticas ambientais e energéticas. Ou seja, mais do que nunca, coordenação e sinergia estão na ordem do dia.

Por exemplo, o incentivo a energias alternativas por parte de usuários domésticos via tarifas de *feed-in* (quando a geração doméstica é acoplada às redes de transmissão) deve ser acompanhado de políticas industriais que incentivem o aumento de capacitações inovativas domésticas.

Vale lembrar que a definição dessas políticas também é afetada por elementos de economia política que refletem a correlação de forças e de interesses na sociedade e na estrutura produtiva. Assim a UNCTAD alerta que as políticas devem construir mecanismos para evitarem sua captura por interesses / *lobbies* de setores econômicos específicos.

Devem, ainda, fomentar a coordenação entre instituições e organizações públicas – as quais também podem ter comportamentos em busca de interesses próprios ao invés de associados aos objetivos das missões.

Segundo o relatório, um bom exemplo de política que conseguiu contornar tais limitações foi aquela utilizada no Brasil na década de 2000 para o incentivo a fontes eólicas e solares.

Estas políticas disponibilizavam financiamentos via BNDES para os projetos vencedores dos leilões de energia, garantiam a compra da energia gerada por um horizonte de várias décadas e, em contrapartida, exigiam o progressivo aumento do conteúdo local na fabricação dos equipamentos nas cadeias produtivas eólica e solar.

O provimento de financiamento adequado a estes projetos também é um pré-requisito para o sucesso destas iniciativas, segundo a UNCTAD. Isso porque demandam elevados recursos, configuram-se em projetos de longo prazo e têm elevada incerteza.

Quando o objetivo é o desenvolvimento de tecnologias ainda em fase inicial de experimentação, portanto com incerteza em níveis mais elevados, a UNCTAD sugere a utilização de projetos pilotos de demonstração destas tecnologias. Estes seriam uma boa

medida para aumentar as escalas iniciais de produção na referida tecnologia, reduzir incertezas e fomentar o aprendizado na prática.

De maneira geral, a mensagem central dessas orientações iniciais da UNCTAD para a identificação de janelas de oportunidades verdes é que se deve utilizar um *mix* de políticas que seja adequado aos desafios locais.

Exemplos complementares são a utilização de mecanismos por meio de tarifas *feed-in* para incentivar a expansão de energias renováveis em consumidores domésticos e a de leilões para fontes específicas para fomentar a competitividade de projetos de larga escala dessas tecnologias frente a fontes tradicionais de energia – como foi o caso do PROINFA no Brasil, segundo o relatório.

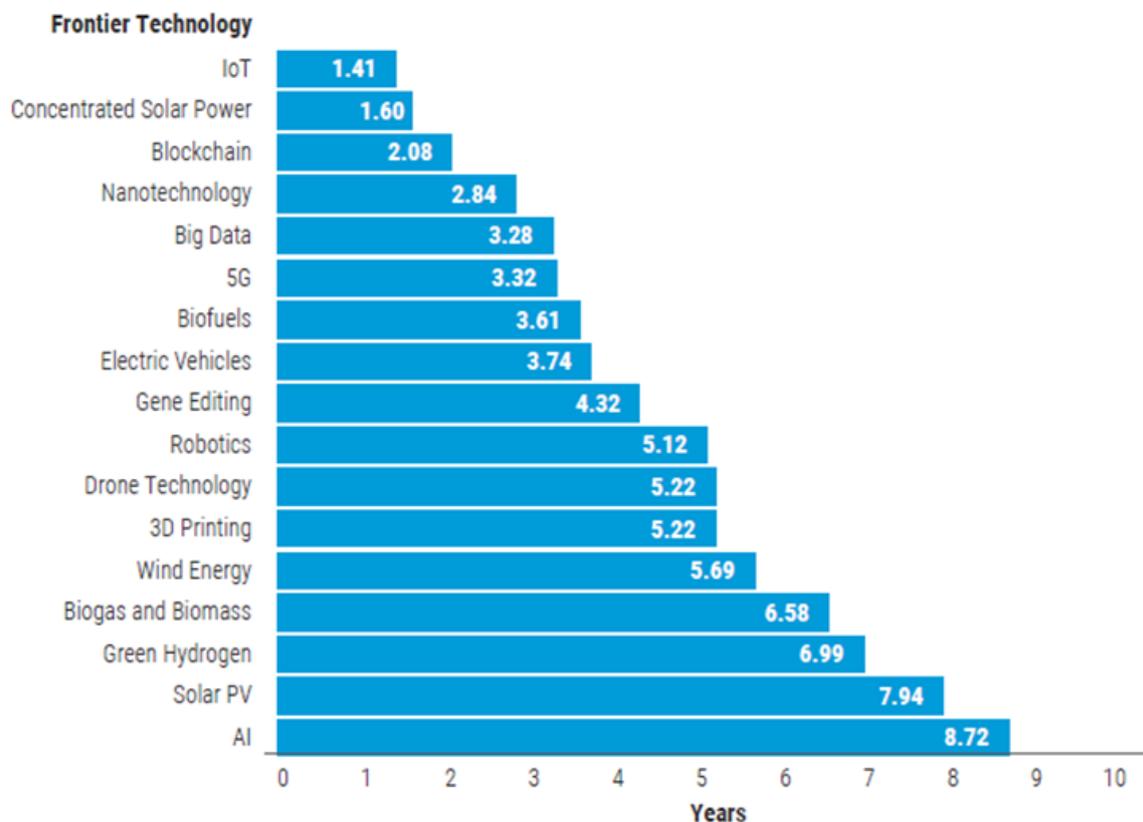
## Fortalecimento dos sistemas setoriais de inovação

Um segundo bloco de iniciativas necessárias para sustentar as missões para descarbonização da economia é derivado do fortalecimento dos sistemas setoriais de inovação.

Para complementar as diretrizes citadas na seção anterior, o relatório da UNCTAD sugere a necessidade de que a construção de janelas de oportunidade seja determinada fundamentalmente pela pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Inicialmente devem ser avaliadas as condições atuais dos sistemas de inovação de cada país. Em paralelo, deve-se avaliar o grau de maturidade das tecnologias a serem incentivadas. Uma maneira objetiva de identificar o grau de maturidade é o tempo entre o ano de depósito de uma determinada patente e o ano de depósito das patentes que ela mais cita em sua descrição.

### Grau de maturidade das tecnologias de acordo com as patentes



Source: UNCTAD.

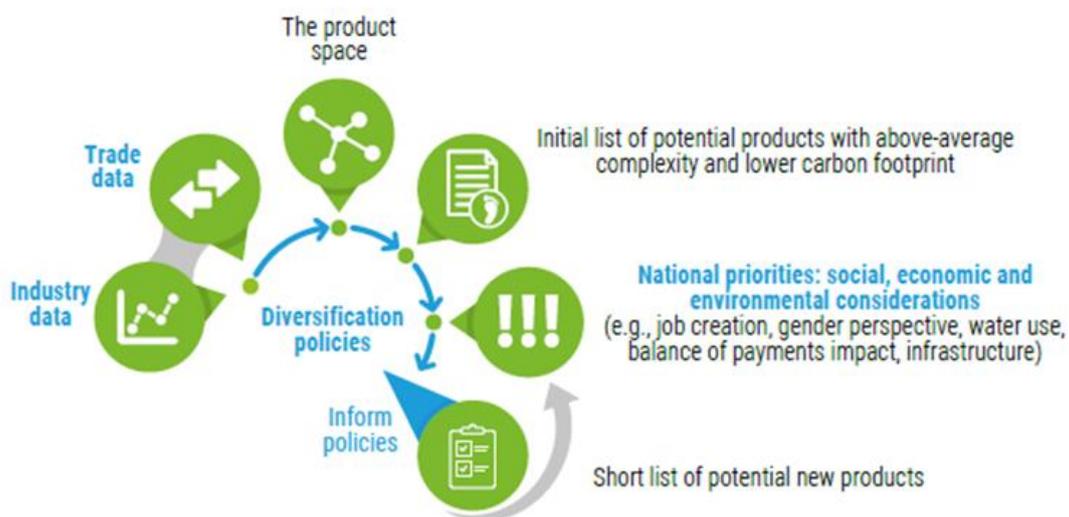
Note: For each technology, the number in the bar graph shows the patent maturity, which is the difference between the weighted average patent application year and the weighted average year of the 20 most cited patents between 2000 and 2021.

Assim, por exemplo, as patentes mais recentes de *IoT* (internet das coisas) citam em média patentes que foram depositadas há 1,41 ano. Já as patentes de energia solar fotovoltaica citam patentes que foram depositadas há 8,72 anos. Quanto maior é esse intervalo de tempo, mais madura seria a tecnologia em questão.

Em geral, tecnologias mais maduras (como eólica e solar) são menos incertas. Em contrapartida, como já têm fornecedores internacionais bem consolidados, a entrada de países em desenvolvimento nos seus mercados de equipamentos e insumos encontra fortes concorrentes. Assim, a dificuldade para produção local de tecnologias *core* é maior. As políticas devem então, segundo a UNCTAD, priorizar o incentivo ao desenvolvimento de projetos de engenharia, serviços associados etc.

Ou seja, tal como a figura a seguir sugere, a identificação de oportunidades face ao surgimento de novas tecnologias verdes, defendida pela UNCTAD, deve ser realista: levar em consideração a estrutura produtiva e tecnológica local e ser muito bem delimitada.

### Identificação de oportunidades realistas de diversificação



Source: UNCTAD.

Note: Product space is a network representation of the similarity between products traded in the global market in terms of the technology required for their production.

A partir dessa definição as sugestões da UNCTAD são baseadas na busca de fomento ao aprendizado inovativo local. Esse deve ocorrer por meio de políticas de incentivo ao P&D, à cooperação internacional e ao investimento em capital humano.

As diretrizes concluem enfatizando que a difusão dessas capacitações à indústria local deve fazer uso de políticas de incentivo ao estabelecimento de *clusters*, parques tecnológicos e grandes projetos pilotos de demonstração bem como a divulgação de *roadmaps* tecnológicos.

Iniciativas nesta direção destacadas pela UNCTAD incluem aquelas adotadas pela China (em todos os elementos citados anteriormente) e pelo Chile, principalmente com relação a projetos de demonstração relacionados ao hidrogênio verde.

Por fim, outro elemento enfatizado no relatório é a necessidade de flexibilização das regras de comércio e de direito de propriedade intelectual em órgãos multilaterais como a OMC. Os objetivos dessa flexibilização seriam dois.

- Primeiro, reduzir as regras que restringem o escopo de ação de políticas industriais nos países membros.
- Segundo, reduzir as barreiras à propriedade intelectual de modo a ampliar o acesso pelos países em desenvolvimento ao conhecimento gerado na fronteira tecnológica internacional.

## Abrindo janelas de oportunidade verdes

A UNCTAD enfatiza que o *catching up* tecnológico não costuma se dar de maneira espontânea, sendo alcançado, segundo as experiências internacionais, por meio de atuação estatal, isto é, através de políticas públicas.

Tratando-se das *green windows of opportunity (GWOs)*, o relatório observa que os países adotaram diversas estratégias a fim de criar ou de se apossar dessas oportunidades, por meio de políticas de estímulo à demanda doméstica, de atração de capital humano e de mudanças regulatórias, dentre outras.

Não são as condições iniciais de um país, como vantagens ou desvantagens naturais, as responsáveis por viabilizar ou impedir o desenvolvimento de uma dada tecnologia, segundo a UNCTAD. São, sobretudo, os esforços nacionais materializados em estratégias que estimulam o crescimento impulsionado pela transição verde o fator-chave.

Os países devem, portanto, analisar as oportunidades em cada estágio das cadeias de valor e orientar seus esforços em direção ao desenvolvimento das competências (*capabilities*) que permitam usufruir das oportunidades na medida que aparecem ou que são percebidas.

A UNCTAD chama atenção para o fato de que os países situam-se em cenários distintos, podendo possuir condições mais fortes ou mais fracas para o desenvolvimento das “tecnologias verdes”, assim como, podem responder a essas condições ou oportunidades de maneiras distintas.

A combinação de boas condições iniciais com políticas fortes é a melhor maneira de tomar proveito das “janelas verdes de oportunidade”, mas não é o único caminho, segundo o relatório, pois estratégias fortes e adequadas podem compensar condições iniciais desfavoráveis.

Além disso, argumenta a UNCTAD, outro fator a influenciar é a velocidade e profundidade do desenvolvimento das tecnologias, que podem variar a depender do setor, assim como, da maturidade e comercialidade (*tradability*) das tecnologias.

Tecnologias menos maduras têm rotas mais incertas e exigem maiores esforços, como investimento em P&D, para que alcancem um maior grau de maturidade e, a depender da *tradability* de uma tecnologia, pode ser necessário maior ou menor proteção de mercado e estímulos à demanda.

Todos estes aspectos, argumenta a UNCTAD, devem ser contemplados ao examinar as experiências e potencialidades dos países em desenvolvimento com as tecnologias de energia renovável.

As oportunidades verdes que se abrem são específicas de cada tecnologia e são afetadas por aspectos institucionais, do mercado ou mudanças tecnológicas. Assim, o relatório da UNCTAD analisa as experiências particulares de alguns países com determinadas “tecnologias verdes” e os aspectos que influenciaram seu desenvolvimento.

## Painéis solares fotovoltaicos e a China

O relatório da UNCTAD destaca a experiência da China, que assumiu a liderança global neste segmento por meio de fortes incentivos governamentais. A partir do suporte aos sistemas de produção e inovação domésticos, articulação de agentes públicos e privados e regulações, o país conquistou uma grande capacidade instalada.

Dentre os esforços para o desenvolvimento das *capabilities* necessárias foram destacados a Lei de Energia Renovável de 2006 (*Renewable Energy Law*), que estreitou laços entre firmas chinesas, institutos de pesquisa e parceiros no exterior, para uma maior inserção no mercado internacional, e o Programa de Atração de Talentos (*Thousand Talents Plan*), com o objetivo de recrutar especialistas no exterior e promover o reingresso de pesquisadores chineses que atuavam na área da energia solar.

Além disso, o governo chinês também realizou programas de incentivo à demanda doméstica, sobretudo após a crise de 2008, por meio de subsídios, como nos casos do *Concession Programme for Large-Scale Solar PV Power Plants*, *Solar Rooftop Subsidy Programme* e *Golden Sun Demonstration Programme*.

Ademais, vale mencionar que o governo chinês também promoveu cooperação entre empresas privadas e estas com empresas estatais, a fim de atrair investimentos, melhor gerir projetos, integrar construções, desenvolver P&D e gerir *hardwares*, estabelecer padrões e configurações. Isso se deu, inclusive, por meio do apoio de importantes instituições públicas como o Banco Central, assinala o relatório da UNCTAD.

Outros países também adotaram políticas de estímulo à demanda doméstica por energias renováveis como é o caso do México e da África do Sul. Entretanto, essas políticas se diferem muito da estratégia chinesa no que diz respeito ao seu formato, limites e implicações, na avaliação da UNCTAD.

No caso do México, o governo conduziu um leilão nacional onde os licitantes receberam contratos ou acordos de compra de energia que garantiam o preço por unidade de eletricidade gerada. O projeto atraiu muitos agentes estrangeiros e empresas verticalmente integradas, mas não foi capaz de estimular a capacidade doméstica nos diferentes estágios da cadeia de valor.

Na África do Sul, o governo também realizou um programa de compra de energia renovável através de um sistema de leilões (*Renewable Energy Independent Power Producer Procurement Program*), que, diferentemente do caso mexicano, estavam atrelados a requisitos regulatórios que visavam diversos objetivos: ações afirmativas de estímulo à

participação da população negra (*black economic empowerment*), estímulo à criação de empregos, à utilização de conteúdo local e à participação da comunidade local.

Deste modo, a UNCTAD avalia que o governo sul-africano logrou atrair investidores internacionais e locais e conseguiu integrar em sua estratégia as capacidades de engenharia nacional. Entretanto, o país encontrou barreiras no desenvolvimento tecnológico devido à escassez de mão de obra qualificada e às restrições impostas pelos requisitos de conteúdo local. Além disso, a regulamentação possuía brechas que permitiram que agentes externos utilizassem armazéns no país sem de fato implantarem fábricas de produção de componentes.

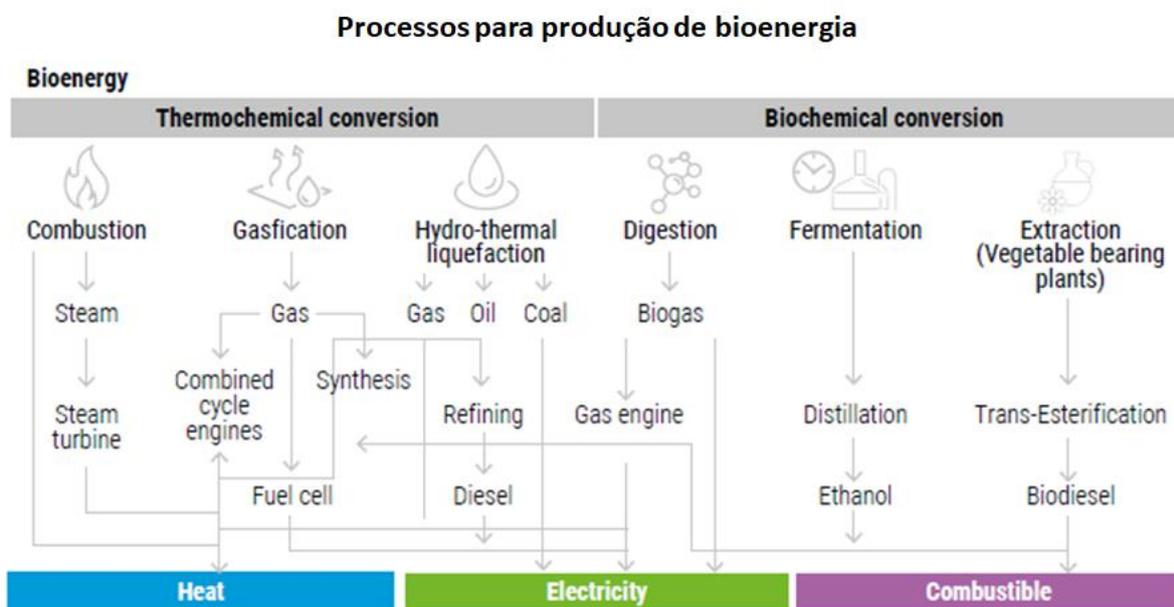
Alguns países caminharam na direção de estimular o uso de energias renováveis fotovoltaicas buscando promover a importação de tecnologias, como é o caso da Índia e do Vietnã. Entretanto, esses países seguiram enfrentando o desafio de constituir uma produção doméstica e desenvolver a capacidade tecnológica necessária para desenvolver o segmento, segundo o relatório da UNCTAD.

Outros países também avançaram no uso dessa tecnologia como é o caso da Quênia e Irã, mas esbarraram nas mesmas limitações para constituir uma indústria doméstica coordenada e os incentivos necessários para P&D local.

## Biocombustíveis e o Brasil

No que diz respeito aos biocombustíveis, a UNCTAD salienta, primeiramente, que diversos tipos de biomateriais são capazes de promover combustão, convertendo-se em eletricidade ou sendo processados para a produção de bioenergia.

Além disso, calor, eletricidade e combustíveis são obtidos de diversas formas, por processos bioquímicos distintos. A figura a seguir ilustra os diversos processos realizados para produção de bioenergia.



Source: UNCTAD.

Nos países em desenvolvimento, a produção de bioetanol e biodiesel tem criado oportunidades e destacam-se como estratégias de combate a mudanças climáticas. Dentre essas experiências, a UNCTAD enfatiza a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar liderada pelo Brasil e produção de biodiesel por meio do óleo de jatrofa em países como Gana, Tanzânia e Índia.

No primeiro caso, ocorre o processo de fermentação alcoólica, seguida da destilação a fim de se obter o combustível. Já no segundo caso, o óleo extraído passa por um processo químico distinto, conhecido como transesterificação, que permite a obtenção do biodiesel. Ambos seguem rotas de conversão bioquímica, tal como ilustrado na figura anterior.

O Brasil detém a liderança global do uso do etanol e do desenvolvimento de tecnologias relativas à sua produção, conservando 30% de *market share* global. Esta posição, argumenta a UNCTAD, foi alcançada por meio de políticas públicas iniciadas desde a década de 1930 e acentuadas após o choque do petróleo na década de 1970.

A partir dessas políticas o país conseguiu estimular tanto a demanda doméstica quanto a oferta e desenvolveu as *capabilities* necessárias através de esforços institucionais e programas de investimento. Entre os exemplos de programas citados pela UNCTAD estão o RenovaBio e o Fundo Clima do BNDES.

Por meios desses esforços o país conseguiu reduzir o custo total de produção do etanol, ganhando *market share*, e se tornou, inclusive, exportador de tecnologias de biocombustíveis para países desenvolvidos.

Além disso, o Brasil criou o potencial para desenvolvimento de produtos complementares como por exemplo através da invenção do carro *flex*, que permite a utilização simultânea de combustíveis tradicionais e biocombustíveis.

Apesar do grande sucesso no setor, a UNCTAD alerta para o fato de que o país ainda pode enfrentar limitações no futuro se não for capaz de migrar para o bioetanol de segunda geração, baseado em resíduos sólidos ou biomassa derivada das colheitas (palha, bagaço etc.).

Atualmente, a produção brasileira está orientada estritamente para a produção de cana-de-açúcar e o governo não tem mostrado comprometimento suficiente em desenvolver tecnologias futuras, segundo avaliação da UNCTAD. Isso pode ameaçar sua posição de liderança na área face às mudanças climáticas e tecnológicas globais. Se não progredir, ficará sujeito à armadilha de descontinuação tecnológica (*technological discontinuity trap*).

O relatório também cita outros países que tentaram aplicar políticas de incentivo à produção de biocombustíveis, mas através do biodiesel obtido do óleo de jatrofa, como é o caso de Gana, Tanzânia e Índia. Entretanto, essas iniciativas não alcançaram o sucesso esperado, segundo a UNCTAD, e os governos não lograram uma atuação efetiva como no caso do bioetanol brasileiro.

Em Gana, existiram dificuldades em aumentar a produção e obter melhores rendimentos, houve falta de maior apoio à P&D e falta de informações técnicas e gerenciais necessárias para adentrar em mercados internacionais.

Na Tanzânia, não se estabeleceu um bom sistema de inovação e as iniciativas estavam voltadas para a exportação coordenada por investidores estrangeiros. Assim, na avaliação da

UNCTAD, o país não conseguiu estabelecer uma capacidade nacional e estimular a oferta e demanda doméstica.

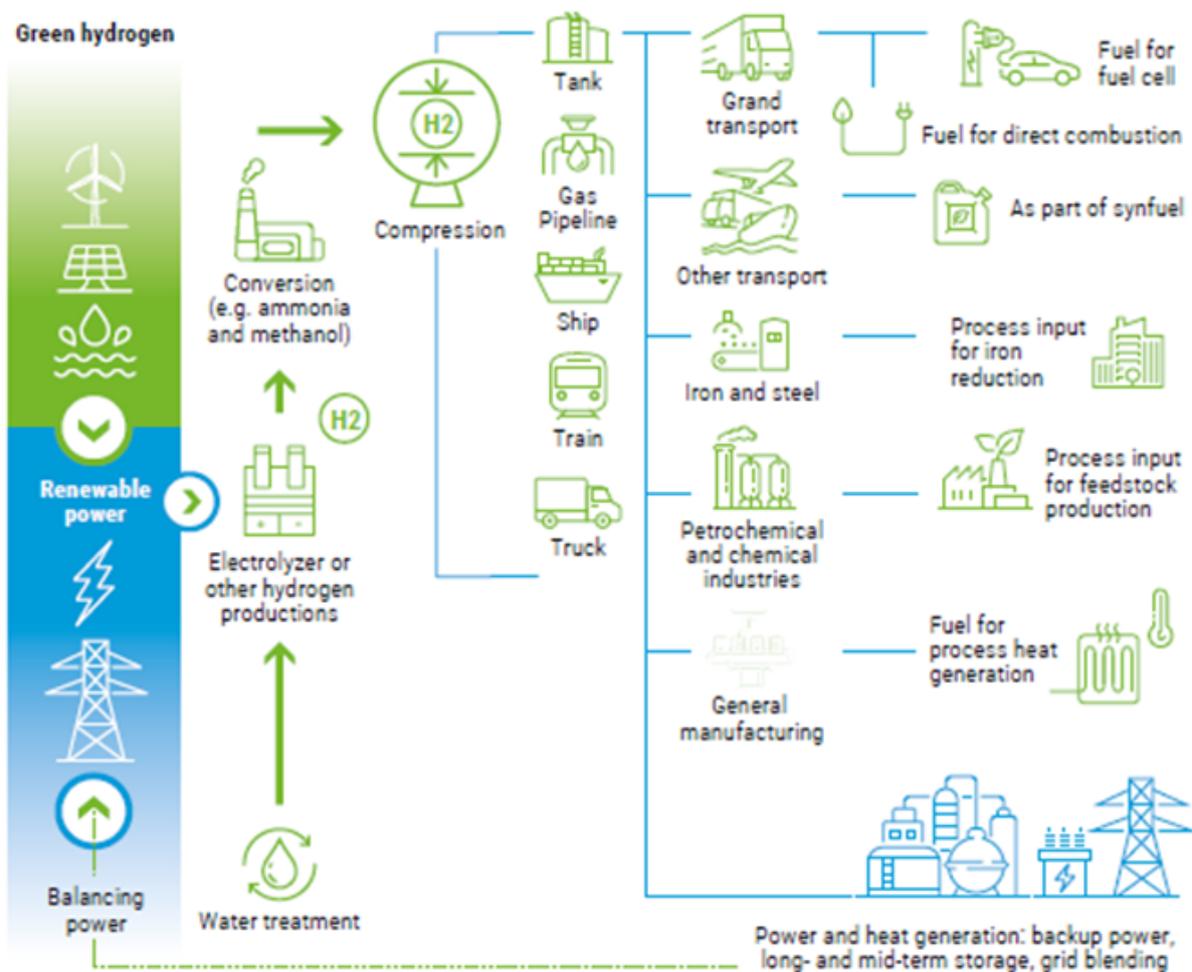
No caso da Índia, aperfeiçoamentos das políticas não foram implementados e a produção ficou aquém da capacidade, os institutos públicos não realizaram pesquisas suficientes, resultando em colheitas de curta duração.

## Hidrogênio Verde e o Chile

Em relação ao hidrogênio verde, o relatório da UNCTAD dá ênfase a uma de suas rotas de produção, a eletrólise da água, que permite librar grandes quantidades de energia quando comparado a fontes tradicionais - três vezes a gasolina, por exemplo.

Além da sua capacidade energética, o hidrogênio também pode ser armazenado por longos períodos e ser oferecido com mais facilidade e flexibilidade à demanda dos consumidores, na medida que pode ser convertido em outros materiais, como amônia e metanol que são mais fáceis de transportar do que a eletricidade.

### A cadeia de valor do hidrogênio verde



Source: UNCTAD.

Apesar de ainda ser um mercado incipiente, o hidrogênio verde por eletrólise possui muitas aplicações e pode ser utilizado, inclusive, em setores que não suportam a utilização de energia eólica ou solar, como o setor de aço e cimento.

O hidrogênio é atualmente a grande aposta para as atividades eletrointensivas de difícil descarbonização. A figura a seguir ilustra sua cadeia de valor e suas diversas aplicações.

Apesar de todas as vantagens em sua utilização, a UNCTAD assinala que o hidrogênio verde apresenta uma série de barreiras, como o custo e a imaturidade de tecnologias para sua utilização em larga escala, a exemplo dos eletrolisadores. A tabela a seguir mostra as regiões com maior potencial técnico para a produção.

**Potencial técnico para produção de hidrogênio a menos de \$1,50/Kg até 2050**

Sub-Saharan Africa	Middle East	North America	South America	Oceania	Asia	Europe
2 715	2 023	1 314	1 114	1 272	960	88

Source: IRENA (2022).

Dentre os países que se inserem no desenvolvimento da produção de hidrogênio verde, a UNCTAD destaca os casos do Chile, do Brasil, da China e da África do Sul.

O Chile, em 2020, apresentou um plano de três fases para a estratégia do hidrogênio verde e foi selecionado pela UNCTAD para ser analisado em maior detalhe em seu relatório.

O plano chileno intenta, inicialmente, direcionar esforços para o mercado doméstico, a partir de 2025. Posteriormente, a partir de 2030, o país quer conciliar o uso local com as exportações. Trata-se, então, de criar e compatibilizar oferta e demanda internas (mercados-âncoras), estabelecendo as bases para a posterior conquista de mercado externo.

Na fase final, a partir de 2030, o Chile contempla a identificação ou criação de novos usos para sua produção de hidrogênio, isto é, ampliando mercados tanto doméstico como internacional. Para isso, por meio de uma produção mais eficiente de hidrogênio verde, terá que superar a barreira da distância física entre alguns mercados consumidores, que impõem atualmente altos custos de transporte.

A UNCTAD pontua que grande parte da coordenação das iniciativas em torno do hidrogênio verde no Chile vem sendo realizada pelo Estado, que tem ajudado a reduzir

barreiras e riscos regulatórios, financeiros e técnicos. Atores privados, universidades e associações podem colaborar com o governo para desenvolver as *capabilities* necessárias.

O plano chileno aborda questões de financiamento, precificação, padrões de regulação, participação da comunidade e sistemas de inovação. O Chile é citado, pela UNCTAD e analistas internacionais, como um caso de país emergente com firme empenho no desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde.

Desde de 2017 o país já possuía experiências com essa tecnologia, possuindo micro redes alimentadas por hidrogênio verde, fornecendo energia limpa 24 horas por dia. Além disso, a Agência Nacional de Desenvolvimento do Chile tem seis projetos-piloto selecionados com o envolvimento de investidores internacionais.

Em relação à China, a UNCTAD lembra que o país é líder global na produção de hidrogênio e aborda a questão do hidrogênio verde desde o Décimo Plano Quinquenal (2001-2005), ou seja, há vinte anos. Entretanto, por não dominar algumas tecnologias importantes de armazenamento e transporte ainda fica para trás quando comparada a outras nações desenvolvidas neste segmento.

Isso não exclui, entretanto, seu potencial em contornar essas barreiras e desenvolver sua produção futuramente, já que vem apoiando a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico nesta área e adotando mais recentemente uma série de iniciativas que reafirmam o papel estratégico do hidrogênio verde, como o *Renewable Hydrogen 100 Initiative*, que almeja produzir 100 GW a partir do hidrogênio verde até 2030.

Na África do Sul, por sua vez, foi aprovada em 2021 a *Hydrogen Society Roadmap* que almeja alcançar produção doméstica competitiva até 2030. Já há 3 *hubs* de hidrogênio verde no país e o governo tem intensificado a cooperação entre agentes públicos e privados.

A UNCTAD ainda menciona que iniciativas incipientes estão sendo conduzidas na Namíbia, com grande potencial de inserir no mercado internacional de hidrogênio verde em construção. O país vem realizando parcerias e acordos internacionais na área.

Outras nações possuem grande potencial para a produção e exportação de hidrogênio verde, sendo o relatório, como Marrocos e Omã, e algumas iniciativas já começaram a ser idealizadas. Por fim, cabe mencionar que há também iniciativas de cooperação entre empresas africanas para promover estratégias para o hidrogênio verde como a *The Africa Hydrogen Partnership Trade Association (AHP)*.

## Hidrogênio de Baixo Carbono no Brasil

O Relatório da UNCTAD ao focar o hidrogênio verde enfatiza uma das possíveis rotas tecnológicas sustentáveis, a produção via eletrólise. Há, contudo, outros caminhos, recorrendo inclusive a tecnologias mais maduras para a produção de hidrogênio renovável em larga escala.

Para dar conta desta diversidade, a Agência Internacional de Energia (IEA) vem empregando o termo "hidrogênio de baixa emissão de carbono" (*low-emission hydrogen*) para designar o hidrogênio obtido com emissão nula ou reduzida de dióxido de carbono.

Além do hidrogênio por eletrólise com uso de energia renovável, o termo também contempla aquele produzido a partir da reforma do etanol e de outros biocombustíveis ou biomassas (resíduos urbanos, agrícolas, florestais), de energia nuclear; e o hidrogênio resultante do processo de reforma de gás natural com captura, sequestro e uso de carbono (CCUS), também conhecido como hidrogênio azul.

Para o Brasil, há potencialidades para o desenvolvimento de todas estas rotas, associando a produção de hidrogênio de baixo carbono a competências já constituídas, como em biocombustíveis, como notou o relatório da UNCTAD.

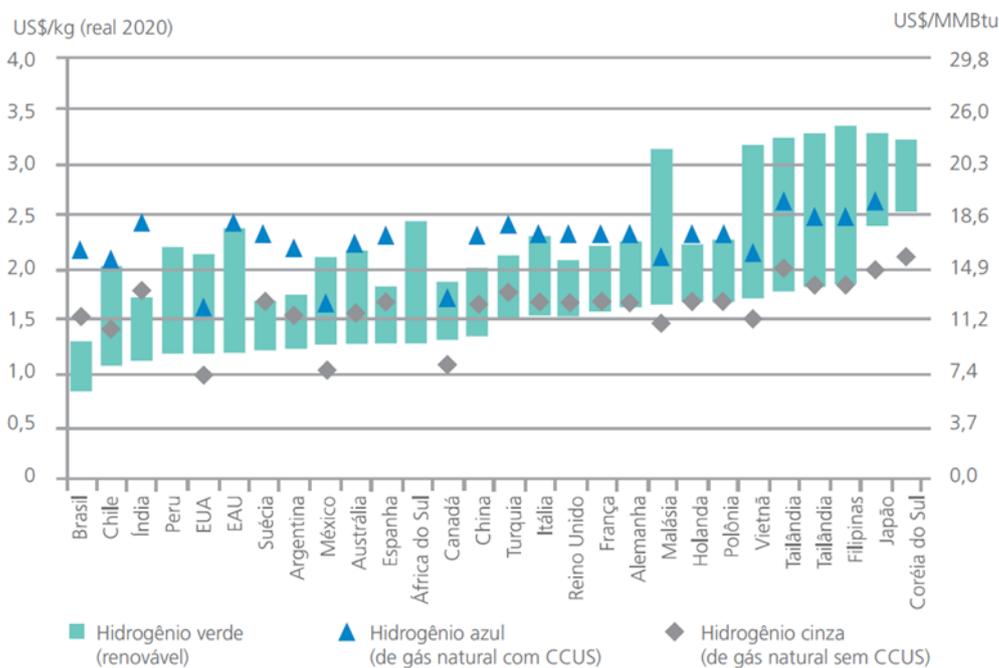
Para a economia global, as demais rotas de baixo carbono implicam o desenvolvimento de um mercado para o hidrogênio limpo, atenuando um dos principais obstáculos atualmente: o custo de capital do investimento associado ao preço dos eletrolisadores.

Em um cenário de elevadas expectativas para o mercado global de hidrogênio limpo, de US\$ 3 trilhões até 2050, segundo estimativas do *Hydrogen Council*, o Brasil é visto por inúmeras agências e consultorias especializadas como candidato natural a ser um dos principais produtores globais.

Embora as projeções de custo de produção variem segundo as hipóteses assumidas, em geral, apontam o Brasil como um dos mais competitivos na oferta de hidrogênio verde em 2030, como ilustrado nas figuras a seguir.

A título de comparação, segundo a Bloomberg New Energy Finance, espera-se que o preço de US\$/kg de hidrogênio verde brasileiro em 2030 esteja entre US\$ 0,8 e US\$ 1,30. No Chile, espera-se que estes preços oscilem entre US\$ 1,20 e US\$ 2,0. Em países como Alemanha e França, tais valores devem oscilar entre US\$ 1,6 e US\$ 2,20.

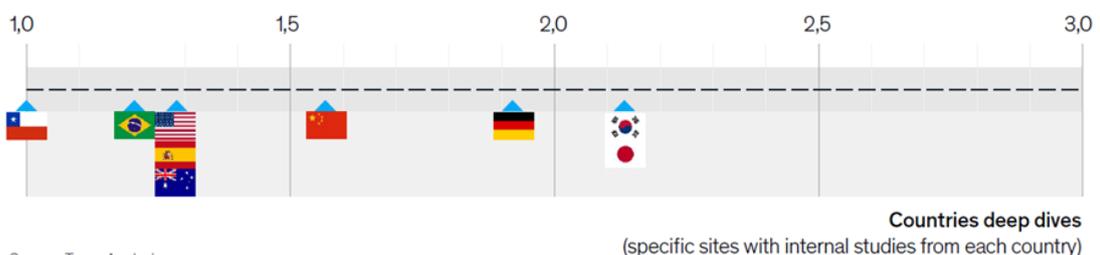
### Projeções de preços em diversos países para hidrogênio verde, azul e cinza em 2030



Fonte: BNDES (2022) "Hidrogênio de Baixo Carbono: oportunidades para o protagonismo brasileiro na produção de energia limpa", pág. 85, a partir de BNEF – Bloomberg New Energy Finance (2021).

### Estimativa de Custo do Hidrogênio Verde (Renovável) no Brasil em 2023

LCOH Benchmark, 2030 USD/kgH2



Source: Team Analysis

Fonte: McKinsey (2021) "Green Hydrogen: an opportunity to create sustainable wealth in Brazil and the world". Obs.: LCOH – Levelized Cost of Hydrogen: composto pelo custo de geração de energia, água, capex do eletrolisador e despesas operacionais. Não inclui custos de configuração, como linhas de transmissão, dutos e armazenamento, nem custos de distribuição e envio por navios. A McKinsey destaca que o Brasil pode ter vantagens quando se trata de custos de instalação, com condições ideais de incidência solar e regime de ventos para configurações fora da rede (off-grid) e rede de baixas emissões.

A principal razão para as projeções sobre a competitividade brasileira decorre do grande potencial local de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. A McKinsey

aponta que cerca de 70% do custo de produção de hidrogênio deriva do custo de energia. Dentre as fontes renováveis abundantes no Brasil, destaca-se a combinação entre eólica e solar fotovoltaica, as quais foram as grandes responsáveis pela expansão da matriz brasileira nos últimos anos (86,4% do aumento da capacidade de geração em 2023, segundo a Epr).

Com o intuito de aproveitar essa vocação natural, em 2021, foi anunciada uma estratégia nacional convocando *stakeholders* a desenvolver tecnologias associadas ao hidrogênio, incluindo sua versão verde. Alguns estados como Ceará, Bahia e Pernambuco apresentaram iniciativas para começarem a produção. No caso do Ceará, o estado está desenvolvendo um *hub* do hidrogênio verde no porto de Pecém que dialogará com empresas de vários países.

Apesar da esperada competitividade brasileira, ainda são destacados alguns entraves para o crescimento dos investimentos no setor. Os principais deles referem-se ao elevado custo de capital e a lacunas reminiscentes no marco regulatório para a geração eólica *offshore*, endereçado no final de 2023.

Adicionalmente, há também riscos quem envolvem as escolhas das rotas tecnológicas a serem trilhadas, bem como sua integração ao sistema industrial brasileiro, de modo contribuir à neindustrialização do país. As principais rotas tecnológicas para o caso brasileiro incluem:

- (a) produção via eletrólise, a partir da utilização de fontes eólica e solar;
- (b) utilização do biometano como fonte energética, com tecnologia próxima à já utilizada para produção hidrogênio a partir de gás natural;
- (c) produção de hidrogênio como de célula combustível, a partir da utilização do etanol.

A produção via eletrólise associada a fontes de energias renováveis tem sido escolhida como rota tecnológica dominante na maior parte dos países, notadamente na Europa. Este processo consiste na utilização de energia elétrica para a quebra da molécula de água em hidrogênio e oxigênio, e não gera emissão de gás carbono como subproduto. O hidrogênio assim gerado é classificado como verde ou uma das formas de obtenção de hidrogênio renovável.

Nesta opção, a configuração produtiva dominante internacionalmente é aquela em que a usina produtora de hidrogênio é abastecida por energia elétrica de fontes eólica e solar fotovoltaica. Assim, a competitividade internacional do Brasil neste método advém principalmente do grande potencial local destas duas fontes, como discutido na Carta IEDI n.

441 “Economia Verde: Energias Renováveis”, de nov/10. Dentre as regiões com maior potencial competitivo em nosso território destaca-se a nordeste.

Embora o custo global de produção de hidrogênio por eletrólise ainda seja elevado, espera-se redução desta rota tecnológica em 60% até 2030, segundo estimativas da *International Renewable Energy Agency (IRENA)* citadas pela ABiogás. Enquanto a eletrólise aumenta sua viabilidade econômica em larga escala, o Brasil tem a oportunidade de recorrer a outros métodos mais consolidados de produção de hidrogênio de baixo carbono a partir de biomassa, biogás e biometano.

O biometano, derivado da purificação do biogás, com origem na biomassa produzida como resíduo da indústria agroindustrial, da pecuária e do saneamento, é equivalente e intercambiável ao gás natural, com o mesmo tratamento regulatório e podendo utilizar a mesma infraestrutura de transporte deste último. Por isso, pode-se valer da tecnologia corrente de produção de hidrogênio com base no gás natural, mas com uma baixa pegada de carbono.

Na verdade, pelo biometano ter origem em um resíduo, a produção do hidrogênio com base nesta fonte energética, denominado hidrogênio musgo ou laranja (na classificação empregada pela Alemanha, por exemplo), pode representar emissões negativas de gases de efeito estufa, se o cálculo for realizado considerando todo o ciclo de vida do produto.

A ABiogás estima que o Brasil deixa de aproveitar anualmente cerca de 44 bilhões de metros cúbicos de biogás, que poderiam fornecer 19 GW de capacidade instalada para a produção de energia elétrica ou 120 milhões de m<sup>3</sup>/dia de biometano, o que, traduzido em equivalência energética, supriria 34,5% da demanda por energia elétrica ou 70% do consumo de diesel do país.

Diante de tal potencialidade, diversas vantagens marcam esta rota tecnológica, como a interação com atividades econômicas importantes do país, consistindo em alternativa de receita e mecanismo de redução da pegada de carbono à agropecuária, bem como ampliando as oportunidades do setor de saneamento, cuja meta de cobertura estabelecida pelo Novo Marco Regulatório (Lei 14.026/2020) do setor é de 90% até 2033. Também é um diferencial o fato de demandar menos recursos energéticos e hídricos para a produção de hidrogênio em comparação à rota da eletrólise.

Outra rota tecnológica no qual a economia brasileira também apresenta diferencial competitivo é a baseada na utilização de etanol. Neste método há a possibilidade de se obter hidrogênio a partir do etanol tanto em postos de comercialização quanto por meio da geração de célula a combustível. É uma vantagem em se tratando da mobilidade e das lacunas de nossa infraestrutura.

Na primeira opção, a produção se dá por meio de equipamentos específicos que podem ser projetados para formarem uma usina ou também podem ser de menor porte, localizados em unidades descentralizadas como postos de combustíveis. Na segunda opção o veículo é abastecido a etanol, o qual é convertido em hidrogênio em seu tanque e injetado na célula, gerando energia para um motor elétrico.

Assim, novamente, os investimentos são menores quando comparados à rota da eletrólise, dado o fato de já se aproveitarem de toda a cadeia produtiva e de distribuição e comercialização do etanol. Outras vantagens deste método são a possibilidade de produção descentralizada e principalmente os impactos na descarbonização da frota veicular nacional.

Dadas as capacitações tecnológicas em biocombustíveis no país, tem-se observado recentemente diversos esforços de P&D dos principais *players* globais da indústria automobilística em conjunto com instituições de pesquisa e universidades brasileiras para desenvolver soluções nesta rota tecnológica.

Dentre as iniciativas podem ser citadas as parcerias de Mercedes-Bens, Stellantis, Bosh, Umicore e Ipiranga com o IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – e entre Unicamp e Volkswagen, Toyota, Stellantis, Shell, Ford, Bosch, AVL e Caoa.

Em síntese, não obstante as diferenças entre as diferentes rotas tecnológicas e seus desafios específicos, o potencial competitivo do Brasil parece ser bastante promissor em todas elas. Para a efetividade do mesmo, entretanto, são necessárias políticas públicas e regulações adequadas.

## O estágio atual e perspectivas futuras para as janelas de oportunidades verdes

Retomando o estudo da UNCTAD, a análise das experiências selecionadas indica que os países possuem vantagens distintas e podem aproveitar de forma específica as chamadas *green windows of opportunities (GWOs)*.

Alguns possuem precondições que favorecem o desenvolvimento de “tecnologias verdes”, mas podem não responder de maneira adequadamente estratégica a essas oportunidades. Nada garante que irão direcionar esforços adicionais para desenvolver novas competências tecnológicas conexas. Correm, assim, o risco de permanecer presos a vantagens competitivas já existentes e aos padrões tecnológicos correntes, deixando a terceiros a captura de valor desses novos mercados.

Outros países, a seu turno, podem tentar usufruir dessas oportunidades, mas não é certo de que já têm as *capabilities* (competências) necessárias para o desenvolvimento das novas tecnologias “verdes” requeridas. Com isso, incorrem em maiores riscos de fracasso e podem se ver premidos a investir somas maiores para ações mais robustas de modo a constituir as competências habilitadoras faltantes.

### Cenários das “janelas verdes”

Responses \ Preconditions	Strong	Weak
Strong	<b>Scenario 1: Windows open</b> Solar PV, Biomass, CSP – China Bioethanol – Brazil Hydrogen – Chile (potentially)	<b>Scenario 2: Windows to be open</b> Solar PV – India Biogas – Bangladesh CSP – Morocco Wind – China
Weak	<b>Scenario 3: Windows within reach</b> Biomass – Thailand and Viet Nam Hydrogen – Namibia	<b>Scenario 4: Windows in the distance</b> Wind – Kenya Bioenergy – Mexico and Pakistan

Source: UNCTAD.

Dessa forma, a UNCTAD sintetiza quatro possíveis cenários a partir das precondições, isto é, do estágio prévio das competências tecnológicas já acumuladas, e da magnitude das respostas de política que os países dão diante das “janelas verdes de oportunidade”.

O melhor dos cenários para as oportunidades que se abrem com a sustentabilidade ocorre quando há uma combinação entre precondições fortes e respostas fortes de políticas. É neste primeiro quadrante, em que a UNCTAD inclui as experiências da China com painéis solares, do Brasil com o bioetanol e potencialmente do Chile com o hidrogênio, que se esperam impactos positivos mais expressivos.

O caso que melhor ilustra este cenário, segundo a UNCTAD, é a posição da China em energia solar e biomassa, pois apresenta grande mercado interno, estrutura industrial diversificada e prévias competências tecnológicas para o desenvolvimento das tecnologias, com iniciativas articuladas entre agentes privados e públicos para a promoção das tecnologias verdes nestas áreas.

Outros exemplos de destaque são o Chile com a indústria do hidrogênio verde e o Brasil, que constituiu boas condições para o mercado de bioetanol promovendo, concomitantemente, respostas estratégicas às oportunidades por meio de iniciativas do governo e cooperação entre agentes privados para desenvolver o mercado de etanol advindo da cana-de-açúcar.

Na ausência de uma estratégia firme do Brasil para o hidrogênio verde – que pode inclusive se valer de sua *expertise* em bioetanol, como visto anteriormente –, a UNCTAD não aprofunda as possibilidades abertas para o país com o desenvolvimento deste mercado.

Na figura a seguir, o relatório exemplifica o primeiro cenário a partir dos casos do etanol no Brasil e dos carros elétricos na China.

Segundo a UNCTAD, em geral, as economias em desenvolvimento se colocam no segundo quadrante identificado no relatório, isto é, em que há evidentes precondições para o desenvolvimento de tecnologias verdes, mas não há respostas fortes ou suficientes que permitam usufruir plenamente destas competências.

Neste segundo caso, a UNCTAD defende que são necessários esforços mais substanciais em treinamento, promoção de transbordamentos setoriais de investimento, estímulo a P&D, estímulos ao mercado doméstico e outras iniciativas para viabilizar o bom aproveitamento das janelas verdes. Como exemplos, o relatório cita os painéis fotovoltaicos na Índia e a energia eólica na China.

### Exemplos de oportunidades verdes em andamento

China: veículos elétricos	Brasil: etanol
Política industrial verde, infraestrutura, subsídios, contratos públicos	Incentivos presentes desde os anos 1970; aprendizado tecnológico derivado de políticas de inovação
Respostas fortes de Original Equipment Manufacturers existentes e de atores dedicados (pure players) – experimentação e inúmeros fracassos	Respostas do setor privado, que criou veículos flex-fuel
Vantagens competitivas novas e expressivas para a obtenção da liderança em tecnologias de baterias, integração de software, ônibus elétricos	Liderança no mercado global

Fonte: UNCTAD.

Já o terceiro cenário, ocorre em países que não possuem condições tão boas, mas que adotam ações firmes para aproveitar as *green windows of opportunities (GWOs)*, a partir de regulamentações, projetos direcionados, subsídios e demais iniciativas. Ainda que não possuam as circunstâncias ideais para aproveitar essas oportunidades, podem contornar isso com estratégias e esforços nacionais, por meio de políticas públicas. Como exemplos, são citados os casos o hidrogênio verde na Namíbia e a biomassa no Vietnã e Tailândia.

Por fim, o quarto e pior cenário se dá quando as condições iniciais são fracas e as respostas não caminham no sentido correto, dificultando o aproveitamento das *GWOs*. Essa situação resulta da falta de suporte financeiro, falta de políticas públicas, má regulamentação e falta de incentivos para o desenvolvimento das tecnologias como um todo. Foram identificados os casos da bioenergia no México e no Paquistão e da energia eólica no Quênia.

## Maturidade das tecnologias verdes

As tecnologias verdes podem ser examinadas do ponto de vista da sua maturidade e comercialidade (*tradability*). Para avaliar a maturidade de uma tecnologia, a UNCTAD recorre à idade da configuração técnica e social em que ela se insere, como regulações, infraestrutura, mercado, padrões técnicos, práticas dos agentes e redes de manutenção.

Já a *tradability*, varia de acordo com a fonte de energia empregada na tecnologia verde analisada. Por exemplo, a energia elétrica é uma fonte difícil de ser comercializada em longas distâncias, diferentemente dos combustíveis líquidos, que são mais fáceis de transportar. Não só as formas de produção da energia possuem diferentes graus de *tradability*, mas também as tecnologias associadas. A figura a seguir apresenta as tecnologias a partir destes dois aspectos.

Maturidade e comercialidade das indústrias verdes

Technological maturity \ Tradability	High	Medium	Low
High	Solar PV; Biofuels	Electric Vehicles	Green hydrogen
Medium			Concentrated solar power
Low	Bioenergy (excl. Biofuels)	Wind	

Source: UNCTAD.

As tecnologias maduras são aquelas que apresentam *designs* estáveis, em conjunto com uma infraestrutura existente, regulamentos bem estabelecidos, normas técnicas e de mercado conhecidas, redes de manutenção e práticas de usuário consolidadas.

Tecnologias maduras podem exigir menos investimentos para o aproveitamento das oportunidades verdes que se abrem, mas também podem apresentar as maiores barreiras aos países em desenvolvimento sobretudo, já que os *players* e as regras do mercado já estão estabelecidos.

Setores imaturos, por sua vez, também oferecem oportunidades, mas geralmente estão associadas a maiores níveis de incerteza e exigem maiores investimentos. Há, contudo, a possibilidade de ocorrer efeitos disruptivos, conferindo grandes vantagens competitivas.

A comercialidade (*tradability*), assim como a maturidade, não é fácil de avaliar, argumenta a UNCTAD, estando associada a pelo menos três aspectos da inovação: bens de capital, a tecnologia em si e os processos necessários para utilizá-la. A figura a seguir apresenta a escala de comercialidade para as tecnologias verdes adotada pela UNCTAD.

### Três dimensões da comercialidade

Dimensions of tradability	Capital equipment and inputs	Energy generation technology	Green energy outputs
<b>Bioethanol</b>	<i>Medium</i> (Distillery equipment)	<i>Low</i> (Ethanol distillery)	<i>High</i> (Ethanol)
<b>Biogas (a)</b>	<i>Low</i> (Heavy-duty machinery)	<i>Low</i> (Biogas plant, e.g., waste to energy)	<i>High</i> (Gas)
<b>Biogas (b)</b>	<i>High</i> (Anaerobic digestion equipment)	<i>Low</i> (Biogas digester)	<i>High</i> (Gas)
<b>Biomass</b>	<i>Low</i> (Equipment)	<i>Low</i> (Direct-fired biomass plant)	<i>Medium</i> (Electricity)
<b>Solar PV</b>	<i>High</i> (Industrial robots, assembly line designs)	<i>High</i> (Solar PV Panels)	<i>Medium</i> (Electricity)
<b>CSP</b>	<i>Low</i> (Heavy duty machinery)	<i>Low</i> (Solar farm)	<i>Medium</i> (Electricity)
<b>Wind power</b>	<i>Low</i> (Heavy duty machinery, steel)	<i>Medium</i> (Wind turbines)	<i>Medium</i> (Electricity)
<b>Green Hydrogen</b>	<i>Medium</i> (Electrolysis equipment)	<i>Low</i> (Conversion facility)	<i>High</i> (Ammonia)

Source: UNCTAD.

A comercialidade afeta a dinâmica competitiva, enfatiza o relatório. Por exemplo, setores com maior comercialidade podem exigir, para um desenvolvimento tecnológico doméstico mais intenso, um certo grau de proteção de mercado e estratégias de estímulo à demanda doméstica.

## Políticas industriais e de inovação em direção a uma produção mais sustentável

A UNCTAD argumenta que é fundamental que os países em desenvolvimento encontrem caminhos de diversificar suas estruturas produtivas em direção a setores com menor emissão de gases de efeito estufa.

É possível conciliar uma diversificação em direção à maior complexidade e à produção verde, defende o relatório da UNCTAD, mas haverá desafios importantes para países em desenvolvimento.

Os países que possuem sua produção direcionada para produtos primários necessitam desenvolver tecnologias e/ou obtê-las de outros países, o que tende a exigir, segundo a UNCTAD, apoio mais robusto de políticas públicas. Em contraste, os países que possuem maior capacidade industrial podem avançar mais rapidamente nas direções em que já possuem competências.

Ações governamentais devem ser estratégicas, no sentido de fortalecer e tornar mais complexas as capacidades nacionais que viabilizem setores e atividades sustentáveis, buscando inseri-los nas cadeias globais de valor da transição verde.

Ainda que a transição para setores com maior complexidade, que acompanha o desenvolvimento econômico dos países, possa inicialmente ampliar as emissões de carbono (*carbon footprint*), há estudos que apontam que, posteriormente, ocorre um declínio dessas emissões.

À medida que os países transitam de setores agrários para a indústria e manufatura de média e alta tecnologia há um aumento na "complexidade" econômica, isto é, do desenvolvimento de seus sistemas produtivos, isso, contudo, não implica, necessariamente, uma produção mais ecológica. Esta convergência guarda relação com *mix* de bens produzidos pelo país, seu grau de complexidade e a diversificação da estrutura produtiva.

Com isso, a UNCTAD defende que os países devem identificar os caminhos para uma produção mais sustentável e escolher como direcionar seus esforços levando esses aspectos em consideração. Identificar os caminhos viáveis e eleger quais produtos produzir não é uma tarefa simples, enfatiza o relatório. Os produtos com maior complexidade e produção mais sustentável são mais caros, envolvem mão de obra qualificada e tecnologias específicas, que devem ser levadas em conta.

Inicialmente, os países em desenvolvimento podem tentar diversificar sua estrutura produtiva, de modo a casar complexidade com sustentabilidade, emulando a experiência de países mais desenvolvidos, mas com o passar do tempo devem escolher o próprio caminho. Para isso, a UNCTAD chama atenção para a importância de promover a inovação e apoiar os investimentos públicos e privados em P&D, estimulando a criação de conhecimentos e tecnologias nacionais.